



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**

Diseño de cámara de arenado para reducir nivel de contaminación
del personal en una empresa de estructuras metálicas - MOTUPE

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTOR:

Salazar Cumpa, Jorge Fernando (orcid.org/0000-0002-3315-6541)

ASESOR:

Mg. Davila Hurtado, Fredy (orcid.org/0000-0001-8604-8811)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Modelamiento y Simulación de Sistemas Electromecánicos

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIO:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

CHICLAYO – PERÚ

2023

Dedicatoria

A Dios por guiarme en cada uno de mis pasos, a mis padres Walter y Gricelda por su apoyo, a mis hermanos por su amor incondicional y a mi novia por su amor y apoyo constante.

Salazar Cumpa, Jorge Fernando

Agradecimiento

Agradezco a un gran asesor Ing. Freddy Dávila Hurtado por sus conocimientos, capacidades y confianza la cual fueron de gran ayuda para lograr esta tesis.

Agradezco a la Universidad César Vallejo por brindarme la oportunidad de ser profesional.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, DAVILA HURTADO FREDY, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - CHICLAYO, asesor de Tesis titulada: "Diseño de cámara de arenado para reducir nivel de contaminación del personal en una empresa de estructuras metálicas-MOTUPE", cuyo autor es SALAZAR CUMPA JORGE FERNANDO, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 9%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

CHICLAYO, 11 de Julio del 2023

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
DAVILA HURTADO FREDY DNI: 16670066 ORCID: 0000-0001-8604-8811	Firmado electrónicamente por: FRDAVILAH el 18-07- 2023 15:35:36

Código documento Trilce: TRI - 0586014



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

Declaratoria de Originalidad del Autor

Yo, SALAZAR CUMPA JORGE FERNANDO estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - CHICLAYO, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Diseño de cámara de arenado para reducir nivel de contaminación del personal en una empresa de estructuras metálicas-MOTUPE", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
JORGE FERNANDO SALAZAR CUMPA DNI: 71751567 ORCID: 0000-0002-3315-6541	Firmado electrónicamente por: JSALAZARCU el 11-07- 2023 23:53:30

Código documento Trilce: TRI - 0586017

Índice de contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Declaratoria de autenticidad del asesor.....	iv
Declaratoria de originalidad del autor(es)	v
Índice de contenidos	vi
Índice de tablas	vii
Índice de figuras	ix
Índice de gráficos	xi
Resumen.....	xii
Abstract.....	xiii
i. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA.....	11
3.1. Tipo y diseño de investigación	11
3.2. Variables y operacionalización.....	11
3.3. Población, muestra y muestreo.....	11
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	12
3.5. Procedimientos	12
3.6. Método de análisis de datos.....	13
3.7. Aspectos éticos	13
IV. RESULTADOS	14
V. DISCUSIÓN.	114
VI. CONCLUSIONES.....	118
VII. RECOMENDACIONES.....	119
VIII. REFERENCIAS	120
Anexos:	124

Índice de tablas

Tabla 1.	Límites de exposición permisibles según la OSHA:.....	8
Tabla 2.	Costos Mensuales.	15
Tabla 3.	Resultados de filtros analizados por laboratorio.	17
Tabla 4.	Armado y soldado de tuberías bridadas	20
Tabla 5.	Factor Kc	30
Tabla 6.	Polipastos eléctricos	33
Tabla 7.	Trabajo de boquillas venturi largo según la calidad del trabajo	38
Tabla 8.	Consumo de aire por boquilla	39
Tabla 9.	Características de la arena	43
Tabla 10.	Capacidad de los transportadores	43
Tabla 11.	Tamaño de la arena.....	43
Tabla 12.	Factor del diámetro del transportador.....	44
Tabla 13.	Factor del buje para colgante	45
Tabla 14.	Factor porcentaje de carga de transportador.....	46
Tabla 15.	Dimensión de eje	47
Tabla 16.	Elección de componentes.....	48
Tabla 17.	Capacidad del elevador	49
Tabla 18.	Dimensiones de cangilones	52
Tabla 19.	Velocidades de válvulas rotativas según el caudal.....	60
Tabla 20.	Tiempo de limpieza abrasiva por pasada para cada tubería.	80
Tabla 21.	Velocidad de rotación de las tuberías.....	80
Tabla 22.	Velocidad de limpieza del carro longitudinal.....	81
Tabla 23.	Velocidad de limpieza del carro longitudinal con respecto de un variador. 81	
Tabla 24.	Factor en transmisiones por cadena.....	83
Tabla 25.	Velocidades estimadas por variador.....	84
Tabla 26.	Velocidades estimadas por variador.....	85
Tabla 27.	Estimaciones de concentraciones de esfuerzos	86
Tabla 28.	Factor de acabado superficial.....	87
Tabla 29.	Factor a considerar por la cantidad de dientes envueltos.....	92
Tabla 30.	Factor a considerar por su velocidad.....	93
Tabla 31.	Dispositivo de limpieza interna	96
Tabla 32.	Velocidades estimadas para limpieza interna mediante la aplicación de	

variador de frecuencia.....	99
Tabla 33. Velocidades recomendadas en ductos de ventilación	99
Tabla 34. Dimensiones del ciclón.....	101
Tabla 35. Factor de corrección	105
Tabla 36. Selección de ventilador.....	107
Tabla 37. Materiales	110
Tabla 38. Equipos electromecánicos.....	111
Tabla 39. Ingresos anuales	112
Tabla 40. Evaluación de egresos anuales.....	113
Tabla 41. Calculo VAN y TIR.....	113

Índice de figuras

<i>Figura 1.</i>	Croquis de la empresa.....	15
<i>Figura 2.</i>	Filtro.....	16
<i>Figura 3.</i>	Bomba gravimétrica gillian BDX II	16
<i>Figura 4.</i>	Operario de arenado con equipo bomba gravimétrica Gillian BDX II.....	17
<i>Figura 5.</i>	Medición en oficina de técnicos	18
<i>Figura 6.</i>	Armado y soldado de tuberías.....	19
<i>Figura 7.</i>	Vista isométrica de cámara de arenado	23
<i>Figura 8.</i>	Medidas de tubería sin costura SCH	25
<i>Figura 9.</i>	Medidas de la viga.....	25
<i>Figura 10.</i>	Medidas de la viga.....	26
<i>Figura 11.</i>	Diagramas de esfuerzos	27
<i>Figura 12.</i>	Fuerzas de compresión y tensión actuando sobre la viga	28
<i>Figura 13.</i>	Factor kb, por el tamaño.....	29
<i>Figura 14.</i>	Desplazamientos ante la aplicación de carga, mediante el software SolidWorks	32
<i>Figura 15.</i>	Factor de seguridad mediante el programa SolidWorks.....	32
<i>Figura 16.</i>	Estructura de acero ASTM A36	34
<i>Figura 17.</i>	Estructura de cabina 1 en el software solidworks 2018.....	35
<i>Figura 18.</i>	Estructura de cabina 2 en el software SolidWorks.....	35
<i>Figura 19.</i>	Análisis estático mediante SolidWorks 2018	36
<i>Figura 20.</i>	Tolva recolectora de arena	41
<i>Figura 21.</i>	Forma del cangilón.	52
<i>Figura 22.</i>	Dimensiones de faja	55
<i>Figura 23.</i>	Tolva de almacenamiento de arena.....	59
<i>Figura 24.</i>	Dimensiones de válvulas rotativas.....	61
<i>Figura 25.</i>	Capacidad del tanque arenador.....	61
<i>Figura 26.</i>	Diagrama de esfuerzos y cortantes de tubería sobre 2 apoyos.....	65
<i>Figura 27.</i>	Posicionamiento de polines.	66
<i>Figura 28.</i>	Esquema de soporte de tubería.....	66
<i>Figura 29.</i>	Análisis de esfuerzos en MDSolids 4.0.....	70
<i>Figura 30.</i>	Momento alternante mediante Software MDSolids 4.0.....	70
<i>Figura 31.</i>	Análisis de eje de polín en SolidWorks.....	71

<i>Figura 32.</i>	Tornillo sometido a fuerzas de compresión	72
<i>Figura 33.</i>	Representación de eje de potencia para levantar tuberías.....	72
<i>Figura 34.</i>	Roscas ACME	73
<i>Figura 35.</i>	Tornillo sometido en software SolidWorks 2018.....	77
<i>Figura 36.</i>	Tornillo sometido a software SolidWorks.....	78
<i>Figura 37.</i>	Tornillo sometido en software SolidWorks.....	78
<i>Figura 38.</i>	Datos de motor	84
<i>Figura 39.</i>	Representación esquemática teórica de un actuador lineal con soporte y faja	89
<i>Figura 40.</i>	Elección del motor.	95
<i>Figura 41.</i>	Dispositivo de limpieza interna de tubos CLEMCO SPIN-BLAST.....	98
<i>Figura 42.</i>	Dimensiones de ventilador de catálogo de fabricantes SOLER y PALAU VENTILACION GROUP	108

Índice de gráficos

Gráfico 1. Factor k_a , acabado superficial.....	29
Gráfico 2. Valores k_t con respecto a la relación de radio y diámetro de libro Shigley.....	68
Gráfico 3. Valores q con respecto al radio del libro de Shigley	68
Gráfico 4. Selección de faja	91

Resumen

El presente proyecto tuvo como objetivo primordial erradicar el polvo contaminante en los procesos de arenado realizados en las empresas metálicas, donde se influye mucho el uso de las tuberías de acero como material de fabricación de sistemas de conducción de fluidos. En donde se parte de un sistema normal realizado al aire libre sin mecanismos, para tomar datos y emplearlos como base para la solución ante una problemática clara y precisa.

Este proyecto es de tipo aplicada porque permitió emplear los conceptos y teorías del diseño mecánico para poder diseñar la cámara de arenado para reducir la contaminación del personal de una empresa y no experimental porque no hubo manipulación en las variables, los datos se obtuvieron desarrollándose en su contexto real.

Este proyecto contó desde del análisis del agente contaminante como partículas suspendidas en el aire hasta la simulación de los elementos mecánicos en software, la cual dieron resultados favorables para la reducción de la contaminación de las áreas circundantes en la empresa, además de la evaluación económica para desarrollar el proyecto, concluyendo que es necesario la implementación de sistemas electromecánicos para el control del agente contaminante para evitar problemas de sanciones por las entidades competentes como el Ministerio del Ambiente.

Palabras clave: Arenado, educación de contaminación, polvo de arenado, diseño, cámara de arenado.

Abstract

The main objective of this project was to eradicate polluting dust in sandblasting processes carried out in metal companies, where the use of steel pipes as a material for manufacturing fluid conduction systems is highly influenced. where it starts from a normal system carried out outdoors without mechanisms, to take data and use it as a basis for the solution to a clear and precise problem.

This project is of an applied type because it allowed the use of the concepts and theories of mechanical design to be able to design the sandblasting chamber to reduce the contamination of the personnel of a company and non-experimental because there was no manipulation in the variables, the data was obtained by developing it in its actual context.

This project counted from the analysis of the polluting agent as particles suspended in the air to the simulation of the mechanical elements in software, which gave favorable results for the reduction of contamination of the surrounding areas in the company, in addition to the economic evaluation for develop the project, concluding that it is necessary to implement electromechanical systems for the control of the polluting agent to avoid problems of sanctions by the competent entities such as the Ministry of the Environment.

Keywords: Sandblasting, contamination reduction, sandblasting dust, design, sandblasting chamber.

i. INTRODUCCIÓN

Las industrias que fabrican productos con superficies que deben ser protegidas con variadas técnicas que aseguran el nivel de calidad requerido, deben cumplir con los requisitos de resistencia a las influencias ambientales y ataques mecánicos, físico químicos, de manera que el producto pueda cumplir con las exigencias del cliente, esto es posible si la superficie se trata adecuadamente antes de pintar para garantizar una excelente calidad de pintura en las superficies (Boér y Blaga, 2018)

Teniendo en cuenta que para tener un buen acabado superficial debemos de tratar primero la superficie entonces; el arenado es uno de los tratamientos que se le aplica a las superficies de un material, consiste en impulsar a presión un chorro de partículas de origen mineral o metálicas sobre la superficie con el objetivo de limpiar capas contaminadas y modificar la rugosidad de la superficie (Bechikh et al., 2020).

Sin embargo, las labores con chorro abrasivo en las industrias son consideradas las más inseguras y extremadamente potenciales en exposición de sílice cristalina en el aire y se reconoce como una de las primeras enfermedades ocupacionales en el mundo (Zulkarnain et al. 2021).

En el ámbito internacional, las complicaciones de enfermedades pulmonares como la silicosis en los países de China, India, Unión Europea, Turquía y Brasil en un total de 39.7 millones de trabajadores están expuestos a la sílice cristalina respirable RCS por sus siglas en inglés, pero aun así el chorro abrasivo con arena continúa siendo una de las labores para realizar el pulido de materiales como acero y vidrios. La sílice cristalina se asocia contaminando los pulmones, se compone de oxígeno y silicio llamado dióxido de silicio. (Silpa et al., 2020)

La sílice es abundante en la naturaleza además es común a su exposición ocupacional, cerca de 2 millones de estadounidenses están expuestos a sílice cristalina respirable (RCS), la cual puede causar enfermedades pulmonares crónicas, la OSHA (Occupational Safety and Health Administration) en EE. UU., referente al límite de exposición recomendado (REL) para la RCS es de 0,05 mg/m³ como

concentración media ponderada en el tiempo (TWA) hasta una jornada laboral de 10 horas.(Zulkarnain et al. 2021).

En Chile se realizó un modelo de fiscalización conjunto entre la Dirección de trabajo y las Seremis de Salud, la cual acatan un plan ya establecido llamado PLANESI (Plan Nacional para la Erradicación de la Silicosis) la cual se realizan actividades de prevención e información sobre los Protocolos de Vigilancia de Exposición a Sílice, además se expresó que por mandato de la Organización Mundial de la Salud (OMS) se espera erradicar la exposición de sílice para no tener más casos de silicosis. (Ministerio De Salud- Seremi Chile, 2019)

En el Perú el CENSOPAS (Centro Nacional de Salud Ocupacional y Protección del Ambiente para la Salud) se encarga de evaluar, investigar y recomendar la prevención de enfermedades y daños a la salud. CENSOPAS es líder frente al marco del “Programa Global de Eliminación de la Silicosis en el Mundo para el 2030”, la cual se han realizado lineamientos de evaluación médica y psicológica, en donde se proponen normativas técnicas para asegurar las actividades de la salud ocupacional en los sectores públicos y privados. (Instituto Nacional de Salud Del Perú)

En las empresas de estructuras metálicas las cuales dan servicios de fabricación y montaje de tuberías en empresas agroindustriales. Uno de los requisitos en fabricación de las tuberías es contar con un acabado superficial de 12 mils (1 mils = 0.001”) que se consiguen mediante el proceso de arenado y luego pintura, por lo tanto se desea realizar esta tarea de arenado para cumplir con lo estimado del cliente. Cumpliendo con el Reglamento de Valores Límites Permisibles para Agentes Químicos en el Ambiente de Trabajo aprobado por el decreto supremo N° 015-2005-SA siendo una de las medidas necesarias dictadas por el Ministerio de Salud, basándose en la norma UNE EN 481 que estiman la sílice cristalina en TWA 0.05 mg/m³, siendo una cantidad promedio del agente químico en el área donde respira el operario, la cual es calculada con respecto al tiempo para 8 horas diarias lo que corresponde a una jornada laboral, además se debe salvaguardar la salud de los trabajadores ya que una de las formas común en el norte del Perú es un sistema de arenado al aire libre, en donde hay

presencia de partículas en el ambiente producido por el impacto de la arena en superficies duras por lo tanto el trabajador tiende a exponerse como consecuencia teniendo enfermedades pulmonares irreversibles.

La formulación del problema de esta investigación se planteó con la siguiente interrogante: ¿En cuanto se reduce el nivel de contaminación de partículas mediante el diseño de una cámara de arenado?

Mediante el diseño de una cámara de arenado se podrá reducir el nivel de contaminación del personal en una empresa de estructuras metálicas-Motupe.

Esta investigación se justificó en el ámbito económico, siendo un proceso importante de la empresa, la cual implica obtener precisión y rapidez para desarrollar el trabajo de arenado disminuyendo horas hombre para ejecutarlo. También se justificó en el ámbito social ya que al diseñar una cámara de arenado que comprenda la características de hermeticidad, estaría restringiendo la expansión de partículas en la empresa, así evitando que el personal y personas aledañas tenga enfermedades pulmonares. Además se justificó de manera técnica ya que estaría cumpliendo con el reglamento estimado por el estado peruano aprobado con el decreto supremo N° 015-2005-SA.

Como respuesta al problema, se elaboró el siguiente objetivo general el cual fue: Diseñar una cámara de arenado para reducir nivel de contaminación del personal en una empresa de estructuras metálicas.

Se establecieron los siguientes objetivos específicos que fueron esenciales para lograr el objetivo general: (1) Diagnosticar la situación actual del proceso de arenado indicando los niveles de contaminación del aire en las áreas de producción de la empresa. (2) Determinar los parámetros de diseño de la cámara de acuerdo a la capacidad de producción de la empresa. (3) Seleccionar los componentes de la cámara de arenado según los parámetros de diseño, acompañados de los planos y láminas empleando programas de diseño CAD. (4) Realizar evaluación económica mediante los indicadores de VAN y TIR.

II. MARCO TEÓRICO

En cuanto a las variables, se logró encontrar investigaciones realizadas a nivel internacional, como Zhang et al. (2018), quien realizó un estudio en el país de China enfocándose en el área de mantenimiento de municiones, uno de sus objetivos primordiales era aislar al hombre de la máquina realizando una cabina con principios herméticos para que el proceso de arenado de la munición se realice en el interior, automatizando la eliminación de polvo y darle mejoría al producto, todo esto se realizó por el acondicionamiento de sistemas mecánicos, eléctricos y la automatización por PLC, se realizó pruebas repetitivas durante un tiempo para conocer los parámetros de funcionamiento, logró obtener los resultados de potencias tanto del compresor como la potencia de la máquina de chorro abrasivo siendo 44kW y 22 kW respectivamente, la presión de trabajo fue de 0.7MPa y la de aire fue de 0.8MPa, el recorrido fue de 10m³/min, la velocidad de giro de 0 a 78 mm/s, obtuvo de 20 a 75 mm la velocidad regulable, se eliminó la oxidación a una profundidad de 50 a 75 m y su calidad de Sa2.5. Concluyendo que con este diseño de máquina de chorro de arena se logró alcanzar las exigencias de diseño, se logró la mejora del acabado superficial, además de que el material particulado se almacenará de forma automática dentro de la máquina ahorrando materia prima, lo que mejora el ambiente de operación dejando otras áreas circundantes libres de polvo y contaminación.

También se encontró a Jientrakul et al. (2018) en su investigación realizada en Tailandia en el rubro del sistema por tele operación aplicado al sistema de limpieza por chorro abrasivo, esto permite que el operario no sea expuesto a las condiciones laborales peligrosas como es la exposición de contaminantes y los accidentes laborales. Empleando 2 estaciones como la estación de mando o controlador maestro y un dispositivo esclavo, su objetivo es realizar una propuesta ante los errores de precisión que tiene el hombre ante el uso del tele arenado, usando el filtro kalman como enfoque la cual minimiza la variación de salida a través de la lectura predecida de la salida, en base a la función de los valores anteriores registrados. Obtuvo como resultado que su enfoque es aceptado por muchos de los operarios porque les permite mayor precisión en el proceso de arenado.

Liu et al. (2021) en su artículo de investigación desarrollado en el país de China en el rubro de la salud ocupacional de los trabajadores, se realiza el estudio a la campana extractora de cortina de agua tipo gabinete con el objetivo de prevenir y controlar las partículas de sílice en las máquinas de arenado de pequeñas dimensiones, para lograrlo se realizaron pruebas en una sala de un instituto, la inspección in situ y la simulación del flujo de aire fueron esenciales para obtener resultados favorables, la simulación del flujo de aire mostró que el flujo de aire de la campana extractora si es efectiva para controlar la emisión de partículas de sílice, siendo anteriormente el TWA de 7,00 mg/m³ a 0.50 mg/m³ y el polvo de sílice (RCS) disminuyó de 3,36 mg/m³ a 0,27 mg/m³, siendo los índices de reducción de polvo total de 92,2 % y la respiración de polvo C TWA 92,0% , se concluye que la unión de la campana y la cortina de agua optimiza la prevención y el control del polvo, siendo eficiente en la eliminación de polvo protegiendo el ambiente.

Además Herrera et al. (2021) en el país de España comprometido en el rubro del estudio de elementos de aleación de aluminio para uso aeronáutico, tuvo como objetivo diseñar una cámara de arenado para arenar probetas de aleaciones de aluminio para luego someterlas a estudios de resistencia a la fatiga, obteniendo acabados superficiales como (Ra) desviación media aritmética de 1.597µm y (Rz) la mayor altura del perfil de 7.077µm y todos los acabados superficiales demostrados en las probetas varían según el ángulo de proyección de partículas, además se concluyó que la cámara de arenado para las probetas de aleación de aluminio se diseñó y fabricó bajo las normas ISO 12100:2010, siendo una cámara la cual puede arenar distintas geometrías y materiales, además que fue fabricada a base de otras máquinas por consiguiente su valor tuvo un ahorro de 85 % de lo que cuesta un máquina comercializada.

En cuanto a los parámetros de funcionamiento Yu et al. (2022) quien en su investigación realizada en la línea de generación de energía eólica para realizar el tratamiento de la capa superficial de las aspas del generador la cual están hechas de fibra de vidrio, busca determinar los parámetros como presión de chorreado de 0.5 a 0.8 MPa, la distancia de chorreado de 300 a 600 mm y el diámetro del abrasivo de 0.2

a 0.5mm mediante simulación en el software Gambit, obteniendo como resultado que en la combinación de parámetros como la presión de chorreado en 0.7MPa, el diámetro de abrasivo de 0.4mm y la distancia de pulverización de 500 mm es la mejor combinación, llegando a la conclusión que es mejor establecer bien los parámetros de arenado con chorro de arena para que la pintura adquiriera fiabilidad, y que además es más confiable que hacerlo puliendo manualmente.

En el ámbito nacional Vargas y Canasa (2018) en su investigación en el rubro de arenado de vidrio en la capital Lima, buscó desarrollar un sistema de control para sustituir al sistema de control averiado que proviene de fábrica de la máquina operativa, su objetivo es dar sustento ante la falla de la máquina actual para que no perjudique la producción, usando el procesamiento de data RaspBerry PI 3 siendo este tipo computador de una sola placa además siendo barata y como lectura de entradas y salidas uso el micro controlador Arduino, acondicionando una pantalla HDMI para visualizar e ingresar datos, se realizaron pruebas en vidrios de diferentes áreas y en diferentes ocasiones de operación, se concluye que este dispositivo alternativo podrá aumentar la competitividad de las empresas y en costo es más barato que el ofrecido por el fabricante.

Se encontró a Churata y Roque (2021) en su investigación realizada en el rubro metalmecánica en Arequipa, buscó determinar la rugosidad del acero A-36 realizándose con 3 variables diferentes como el tamaño de la arena, numero de boquilla y ciclos, y cada una de ellas tendrán datos de bajo, medio y alto, se realizó el estudio en 27 probetas de acero ASTM A-36 con medidas de 10cm x 7.5cm x esp. 3.175 mm. A las probetas se les realizó el acabado superficial utilizando la norma "limpieza por chorro abrasivo seco SSPC-SP5" realizando el ensayo de rugosidad bajo la norma de ASTM D4417. Después de haber aplicado el recubrimiento de marca Sherwin Williams se realizó la medición de película seca bajo la norma SSPC-PA2, se realizó el ensayo de adhesión utilizando la norma ASTM D3359 "método de prueba estándar para la medición de adhesión por prueba de cinta", los resultados indicaron que la rugosidad de 2.60mils que fue el más alto, se logró con el tamaño de arena N° 20 y la boquilla de 6 mm fueron las que más resaltaron en el estudio, concluyendo que

a mayor rugosidad del material se obtiene una buena adherencia de pintura epóxica.

En el ámbito local tenemos a Acosta (2017), en su investigación realizada en la ciudad de Chiclayo logró optimizar la limpieza de balones de GLP, la cual diseñó una cabina para granallado por la que pasan los balones en serie para su limpieza mediante una faja transportadora, para ello se estudió las normas establecidas por la institución pública reguladora Osinergmin, en el estudio se tomaron entrevistas a los trabajadores operadores de la máquina, como resultados se garantizó que la máquina soportará todos los esfuerzos mecánicos analizados por software y en cuanto al VAN Y EL TIR pues denota que es muy rentable ya que existen muchos envasadores de GLP y además que se comercializa a diario.

Las teorías que se establecen en el proyecto de investigación son: el arenado su funcionamiento es proyectar partículas de abrasivo que están almacenadas en un cilindro, estas son impulsadas a alta velocidad por el empuje del aire comprimido proveniente de un compresor, el impacto de las partículas en el material para arenar su fin es realizar un tratamiento superficial para un determinado posterior proceso (Zhiquan et al., 2020).

Este procedimiento es muy usado en las industrias para realizar la eliminación de sustancias contaminantes como oxidación de los metales, pinturas deterioradas, incrustaciones de tratamientos térmicos, aceites, grasas y todo tipo de contaminante que esté adherida a la superficie, además sus ventajas es ser muy económico, eficaz y rentable. Siendo usado en áreas cerradas como cámaras de arenado o en lugares a cielo abierto como en buques, edificaciones etc. (Zulkarnain et al., 2021)

Tabla 1. *Límites de exposición permisibles según la OSHA:*

sustancias	PEL
Sílice Cristalina Respirable (RCS)	0.1 mg/m ³
Polvos respirables que contiene cuarzo	10 (mg/m ³)/(%SiO ₂ + 2)
Polvo total que contiene cuarzo	30 (mg/m ³)/(%SiO ₂ + 2)
Polvos que contienen cristobalita y tridimita	1/2 (PEL formulas for quartz)
Partículas no reguladas	5 mg/respirable dust
reguladas (PNOR)	15 mg/m ³ total dust

Fuente: Zulkarnain et al. 2021

La presión es la fuerza aplicada por unidad de área y esto se da en gas o líquido, siendo su unidad de medida:

$$1Pa = 1N/m^2$$

Pa = Pascal

N=Newton

m²= metro cuadrado

(Cengel y Boles, 2012)

La energía mecánica se relaciona con la energía cinética y la energía potencial

$$EM=EC+EP$$

Energía Cinética, es aquella que posee un cuerpo debido a su movimiento

$$EC = m \frac{V^2}{2}$$

m= masa, kg

v= velocidad, m/s

(Cengel y Boles, 2012)

Energía Potencial, esta energía puede ser transformada en cinética

$$EP = mgz$$

m= masa, kg

g=aceleración de la gravedad, m/s^2

z=altura, m

(Cengel y Boles, 2012)

Los análisis de elementos finitos se utilizan en los programas CAD, en donde el diseñador busca la manera de tener resultados cercanos para el fin de determinado elemento de máquina. La generación de malla dentro del análisis por elementos finitos se trata de tener valores más exactos, la creación de malla será más densa si la pieza a analizar tiene más características de diseño, en cuanto al software se puede realizar el enmallado de forma manual, semiautomática y totalmente automática (Budynas y Nisbett, 2008)

Los mecanismos por cadenas son considerados para transmitir potencia y usarlos en sistemas de transporte. Estos mecanismos requieren de una inspección periódica ya que están en constante rozamiento.

$$D = \frac{P}{\text{Sen}(180^\circ/N)}$$

D= Diámetro de la catarina

p=Paso de la cadena

N=Número de dientes de la catarina

(Budynas y Nisbett, 2008)

La velocidad de la catarina

$$V = \frac{Npn}{12}$$

N=Número de dientes de la catarina

p= Paso de la cadena en pulgadas

n= Velocidad de la catarina en rpm

(Budynas y Nisbett, 2008)

Potencia eléctrica

$$P = VxI$$

V= Tensión

I= Corriente

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación

Aplicada, porque permitió emplear los conceptos y teorías del diseño mecánico para poder diseñar la cámara de arenado para reducir la contaminación del personal de una empresa.

Diseño de investigación

No Experimental, porque no hubo manipulación en las variables. Los datos se obtuvieron desarrollándose en su contexto real.

3.2. Variables y operacionalización

Variable 1: Diseño de cámara de arenado.

Variable 2: Reducir nivel de contaminación del personal en la empresa.

3.3. Población, muestra y muestreo

Población:

Las partículas del proceso de arenado en diferentes empresas de la región Lambayeque.

Muestra:

Las partículas del proceso de arenado en la empresa.

Muestreo:

El muestreo no probabilístico se utiliza porque la muestra se selecciona deliberadamente en función del problema en cuestión.

Unidad de análisis:

Partículas de arena

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas de recolección de datos

Observación

Permitió visualizar las diferentes características e innovaciones de cámaras de arenado, con el fin de observar cual es el funcionamiento, la operación que realiza de acuerdo al material que se arena, las medidas de seguridad que se requieren para contrarrestar los problemas pulmonares, los parámetros de funcionamiento y las dimensiones que luego fueron de gran ayuda para el modelado de la cámara de arenado.

Revisión bibliográfica

La revisión documentaria nos permitió extraer datos de los niveles de contaminación en la empresa antes del proyecto para justificar el diseño de la cámara.

Instrumentos de recolección de datos

Guía de observación

Esto permitió verificar en la realidad los niveles de contaminación de polvo en los trabajos de arenado

Guía de análisis de documentos

Se revisaron fichas técnicas, dimensiones y características de los distintos sistemas de arenado aplicados a diferentes estructuras.

3.5. Procedimientos

- a) Primero se realizó la inspección y medición de las condiciones de aire en el medio ambiente del proceso de arenado, mediante un equipo (analizador de partículas en el aire), se tomó lectura en el sitio del operario y en las oficinas más cercanas. Se registraron los datos de producción de acuerdo a las dimensiones que más se procesan.

- b) Se determinó los parámetros de diseño de la cámara de acuerdo a la data histórica de la producción de la empresa de hace 2 años con la finalidad de proyectar a futuro la cámara, tomando en cuenta las dimensiones de la tubería y la cantidad, mediante los análisis de partículas contaminantes se determinó los parámetros de restricción de expansión del polvo de arenado.
- c) Se dimensionó la cámara de arenado de acuerdo a los parámetros obtenidos, empleando programa de diseño y simulación CAD, para analizar los diseños de cabina y soportes para un óptimo desempeño.
- d) Finalmente, se registraron los datos de costos para la evaluación económica, **VAN** que corresponde al Valor Actual Neto y el **TIR** siendo la Tasa Interna de Retorno.

3.6. Método de análisis de datos

La data recopilada en cuanto al diseño de la cámara de arenado fue sometida a software CAD para sus condiciones de diseño, hojas de cálculo para someter los datos a fórmulas matemáticas y procesador de textos para la redacción del proyecto.

3.7. Aspectos éticos

Los principios éticos fueron considerados en el transcurso de la investigación. La información fidedigna que he recopilado no fue alterada.

IV. RESULTADOS

4.1. Diagnosticar la situación actual del proceso de arenado indicando los niveles de contaminación del aire en las áreas de producción de la empresa.

La empresa está ubicada en el distrito de Motupe - departamento de Lambayeque, en el norte del Perú las industrias tienen una gran proyección en la realización de sus proyectos y no minimizan en exigir parámetros de calidad, uno de esos parámetros de calidad es el acabado superficial. Es por ello que la empresa realiza el proceso de arenado en tuberías para su producción y también para servicio de terceros, dando servicio a las empresas agroindustriales de Olmos, Motupe, Jayanca, Ica y Piura en sus instalaciones de filtrados, tanto en la fabricación, montaje y mantenimiento. Las empresas que requieren de un arenado eficiente para tuberías son las que cuentan con sistemas de distribución de fluidos, en donde desean conservar más el tiempo útil de los sistemas, ya que permiten de una manera eficiente la penetración del recubrimiento de la pintura anticorrosiva y el acabado estético de la estructura, evitando la pronta oxidación del material.

El proceso de producción en la empresa, consiste en trasladar la tubería hacia el sitio de arenado, retirarlo para su acabado con pintura y posteriormente embalar para su transporte hacia el sitio del proyecto, es en el proceso de arenado en donde se involucran muchas personas de 4 a 10 personas, 4 personas para realizar el proceso de arenado que están perennes y una mayor cantidad de personas para mover la pieza a arenar, el proceso de arenado se realiza en una de las áreas en donde está colindante con el área de proceso de corte y soldadura, teniendo consecuencia de contaminación sobre las áreas de la empresa y afectando la salud de los trabajadores, además de expandirse el polvo en las afueras de la empresa ya que el proceso se realiza al aire libre.

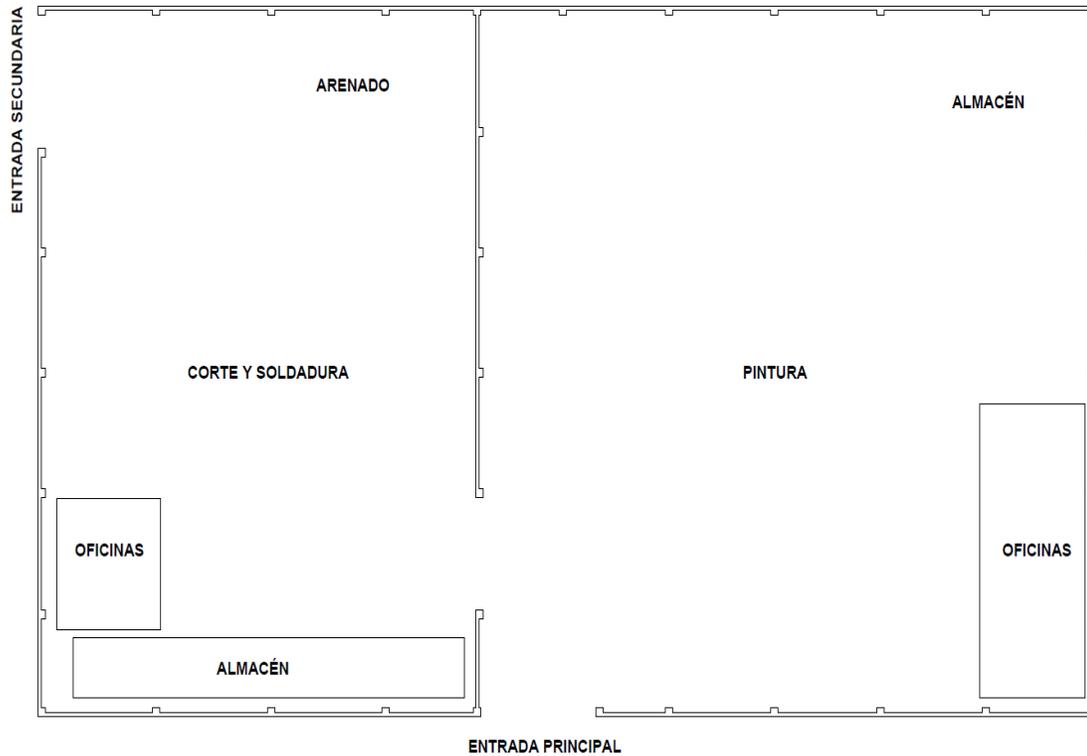


Figura 1. Croquis de la empresa

Dentro de las 4 personas que están perennes en el proceso de arenado, uno se encarga de realizar el arenado, dos se encargan de llenar el tanque arenador, y otro de apoyo para mover mangueras y estar al pendiente del compresor, el proceso de arenado se realiza con 5 bar de presión de trabajo, por lo que el proceso es más lento, el precio de arenado es de 32 soles, y se trabaja con boquilla de 5 mm, teniendo un consumo de abrasivo 200 kg/h con una producción de 6m²/h.

Tabla 2. Costos Mensuales.

Costos Mensual			
Item.	Cant.	Unid. S/.	Total S/.
Operarios	6	1800	10 800.00
Arena	98 Kg/h	S/. 40/m ³	529.00
Consumo eléctrico	---	---	800.00
Mantenimiento	—	—	1500.00
Costo			13 629

Fuente: Empresa x

Como parte esencial del objetivo es importante determinar el grado de partículas respirables contaminantes ocasionado en el proceso de arenado descrito anteriormente, basándonos en la normas estimadas por el Estado Peruano mediante el Decreto Supremo N° 074-2001-PCM- Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire, la cual estima un análisis gravimétrico para partículas suspendidas en el aire, se realizó el análisis de partículas generadas en el proceso de arenado, el equipo comprende de una bomba gravimétrica Gillian BDX II, consiste en una bomba de muestreo para monitoreo ocupacional, siendo su función principal la succión de aire en litros por minuto, la bomba se calibró a 1.75 litros por minuto, la cual está estimado bajo la norma NIOSH 500 la cual se alinea a la norma del Estado Peruano, la succión de aire permite el arrastre de las partículas que están suspendidas en el aire para que queden atrapadas en un filtro conectado mediante una manguera hacia la bomba.



Figura 2. Filtro



Figura 3. Bomba gravimétrica gillian BDX II

Tabla 3. *Resultados de filtros analizados por laboratorio.*

Tipo de medición		Salud Ocupacional	
Puntos de medición		Proceso de arenado (operario)	Oficina
Unidad	Límite de detección	Resultados	
g/filtro	0.000015	26.6	0.000028

Fuente: Laboratorio Jireh Lab.

Se realizaron 2 mediciones, una fue en el área de arenado en donde el proceso se hace al aire libre, tomándose como punto central al operario, el equipo se le instaló en el cuerpo tal como se aprecia en la figura 4, colocando el filtro de captación de partículas cerca de las vías respiratorias y la bomba gravimétrica instalada en el cinturón, de acuerdo a los análisis de laboratorio dieron como resultado 26.6 g superando el límite de detección por el método NIOSH Method 0500, Issue 2. 1994 el cual es de 0.000015 g/filtro.



Figura 4. Operario de arenado con equipo bomba gravimétrica Gillian BDX II

La otra medición se sustenta en la oficina más alejada al punto de trabajo que son ocupadas por el personal técnico de la empresa, mediante los análisis de laboratorio dieron como resultado 0.000028 g superando por poco el límite de detección.



Figura 5. Medición en oficina de técnicos

En resumen, a pesar que el arenado se realiza cumpliendo las especificaciones técnicas, también es cierto que existe demasiada concentración de partículas de polvo en suspensión por encima del nivel permitido por la norma NIOSH Method 0500, Issue 2. 1994.

De acuerdo al proceso de corte y soldadura en el armado de tuberías bridadas de la empresa se pudo determinar la capacidad de producción de la empresa, la imagen muestra tuberías que son habilitadas, armadas y soldadas por la empresa, la cual tienen presencia de capas de aceite y pintura anticorrosiva proveniente de fábrica, siendo una protección ineficiente para las tareas futuras a la cual se van a someter, las tuberías tienen 6 metros de longitud para poder ser usadas en distintos proyectos en donde se requiera, como en sistemas de fluidos de agua, combustibles, gas, vapor, etc.



Figura 6. Armado y soldado de tuberías

El uso de tuberías en el rubro agroindustrial está expuesta a agentes físicos y químicos tanto internos y externos, es por ello que se debe realizar el arenado para una mejor adherencia del material protector como la pintura.

Se analizó la información de la empresa mediante la tabla 2, donde hace referencia a la producción de carretes de tuberías o también llamado tuberías bridadas, desde el año 2021 y 2022 se tomaron los datos de fabricación, no considerándose 2020 por motivos de la pandemia covid-19 en donde afectó la ejecución de proyectos.

En la tabla de fabricación de carretes, los diámetros de tubería con mayor demanda son los de 6", 8" y en baja cantidad las tuberías de 18". Ya que cada dimensión de tuberías cuenta con un rol en específico. Como las de 8" hasta 18" son conectadas a las matrices de 24" o también llamados manifold, es por ello que la demanda es más grande. En cuanto a los años se notó un mayor crecimiento en el año 2022, ya que en el 2021 se estuvo en la reactivación económica. En la producción de manifold, donde

la mayor demanda son las tuberías de 24” como también de 8”, son utilizadas para distribuir el fluido desde la red principal siendo la parte esencial del sistema.

Tabla 4. Armado y soldado de tuberías bridadas

Tuberías por diámetros	CARRETES		MANIFOLD	
	Unid.	Unid.	Unid.	Unid.
	2021	2022	2021	2022
3” ANSI W/ACC	6	12		
4” ANSI W/ACC	4	18	8	12
6” ANSI W/ACC	21	25		
8” ANSI W/ACC	20	71	10	15
10” ANSI W/ACC	7	30	9	12
12” ANSI W/ACC	10	16		
14” ANSI W/ACC	4	6		
18” ANSI W/ACC	6	8	8	11
20” ANSI W/ACC	4	6	6	9
24” ANSI W/ACC	6	8	10	18

Fuente: Empresa x

4.2. Determinar los parámetros de diseño de la cámara de acuerdo a la capacidad de producción de la empresa.

El diseño tiene características propias hechas a medida para el proceso de arenado en la empresa, entre ellos tenemos:

a. Tamaño de la cámara

De acuerdo con la producción de armado y soldado de tuberías se estimó que la cámara sea diseñada para tuberías SCH 40 de 3" a 24" de diámetro con 1 a 6 m metros de longitud, sus características dimensionales de la cámara comprende una área rectangular, de largo 10.1 m se estimó esta medida de longitud para facilitar la maniobrabilidad de la tubería porque está suspendida por el pórtico para poder entrar en la cámara, el ancho de la cámara es de 3.1 m en la cual comprende el diámetro de la tubería de 24" y en las paredes están ubicados los sistemas que realizan el proceso de limpieza abrasiva tanto interno como externo. Además, comprende una altura de 3.5 m en donde comprenden los soportes de la tubería y el diámetro de la tubería, la cámara tiene un volumen de 109.58 m³.

En el interior de la cámara está ocupada por la tubería a arenar y por los equipos propios del proceso como es el mecanismo de accionamiento de la tubería donde comprende la bancada y soportes, sistemas y equipamiento del arenado donde lo constituye los mecanismos de arenado exterior e interior, además del sistema de recolección de arena.

b. Polvo del proceso de arenado.

De acuerdo a los análisis de polvo respirable estimado en las 2 lecturas en un ambiente abierto, se analizó y observó que las partículas llegan a viajar desde el punto de trabajo hasta un radio de 12 metros en forma de polvo y 3 a 4 metros de altura cuando se realiza el arenado, además que las ráfagas de viento que existen en la zona ayuda que esta distancia fluctúa de 12 a 20 metros de distancia.

Además, en el punto de trabajo, mediante la observación se visualizó que, hay algunas partículas que salen proyectadas de forma que pueden causar daños como golpes,

raspones a cualquier otro cuerpo presente en la zona, considerándose quizás que alguna partícula de mayor dimensión se pasó de forma ocasional por el colador de arena.

La cantidad de polvo inhalable encontrado en las pruebas que se realizó fue de 26.6 g, este dato es motivo de la instalación de un extractor de polvo mediante una campana de extracción instalado en la parte superior lateral de la cámara con la finalidad de extraer las partículas y conducirlo hacia una ciclón, la cual lograra que las partículas pierdan velocidad y se almacenen en la parte baja del ciclón y no salgan al exterior.

c. Material de la cámara.

El material de la cámara para restringir la expansión de partículas de polvo, se estimó en 3 secciones eficientes, primero los perfiles de acero ASTM A36 para el esqueleto de la estructura, segundo para restringir la expansión se estimó con placas de acero de espesor de 1/20" instaladas en sistema contraplacado y por último para restringir la contaminación acústica un elemento aislante del ruido como es la espuma acústica instalado en el vacío del sistema contraplacado ya que según el MINSA el nivel de ruido permitido para jornadas laborales es de 85dB.

d. Parámetros de operación

Se estimó realizar el arenado por una tubería de SH40 de 24" cada 60 min, la limpieza externa como interna a una presión de 7 bar=100 psi, con un sistema de limpieza externa abrasiva por proyección de partículas por boquilla de forma longitudinal, y una limpieza interna de forma longitudinal rotatoria por dos boquillas teniendo en cuenta la compensación de pérdidas de presión.

La limpieza externa de la tubería, está determinado por el área de proyección de la boquilla refiriéndose a boquillas venturi largo, cada tubería tiene un determinado giro de velocidad respecto a su eje longitudinal, a la vez el carro porta boquilla también tiene una determinada velocidad para cada tubería.

En el transcurso del proceso el tornillo helicoidal y el transportador de cangilones están en funcionamiento para el llenado del silo, en el momento que el silo esté llenado al

100 % de su capacidad se cierra la válvula de aire a presión, para despresurizar el tanque arenador y llenarlo por acción de una válvula de paletas rotativa.

En el proceso de arenado interior, se determinó una sola velocidad para todas las tuberías, por el motivo de que el sistema mecánico para la limpieza interna es un rotor accionado por la misma presión del abrasivo que sale expulsado de las boquillas instaladas de forma tangencial en el rotor, ocasionando una fuerza centrípeta en las partículas que posteriormente se impactan contra las paredes internas de la tubería.

El sistema de extracción de polvo, se acciona de forma alternada cada 5 minutos en todo el proceso de arenado, para poder abrir las compuertas superiores y retirar la tubería con la seguridad de que el polvo no se expanda por la empresa, este sistema comprende de un ventilador centrífugo y un ciclón.

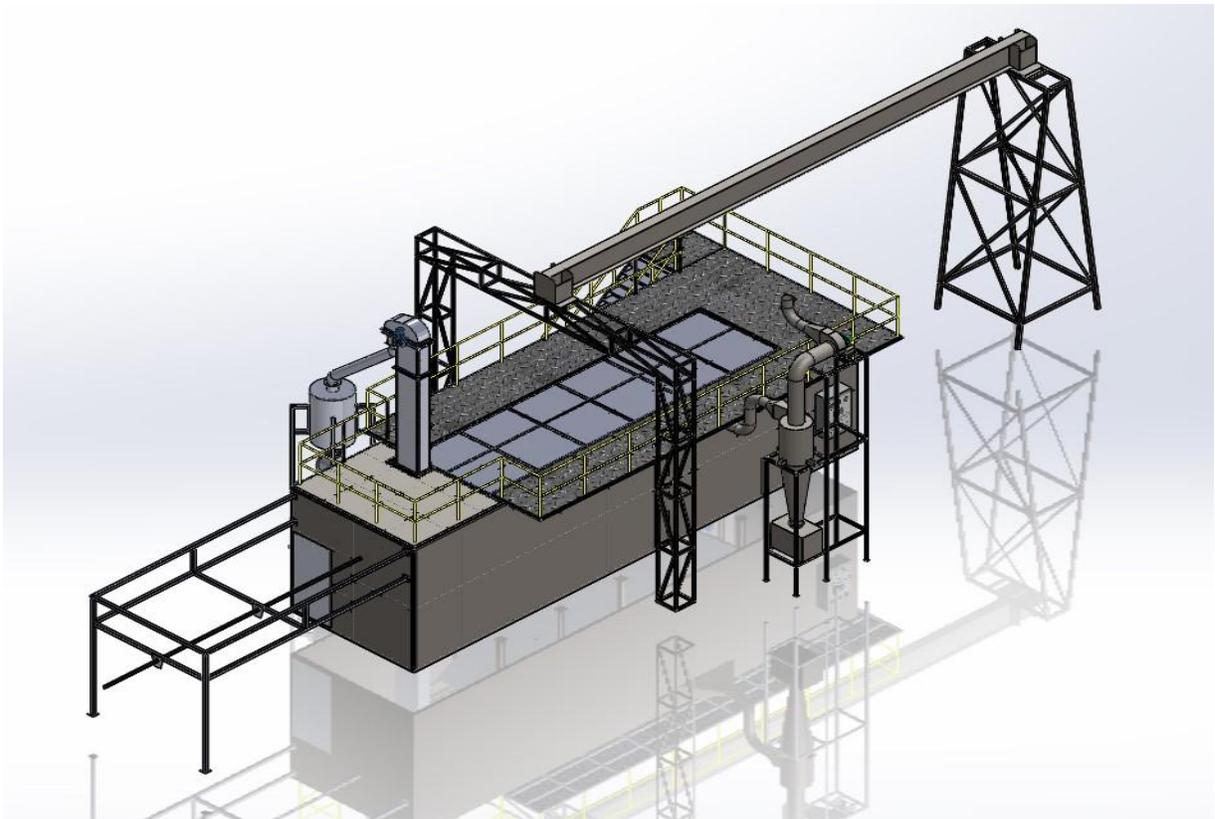


Figura 7. Vista isométrica de cámara de arenado

3. Seleccionar los componentes de la cámara de arenado según los parámetros de diseño, acompañados de los planos y láminas empleando programas de diseño CAD.

¿Cuáles son los componentes de la cámara?

Componentes de transporte de la tubería

Estructura de cámara de arenado

Sistema equipamiento del arenado, donde comprenden los equipos que realizan la circulación de la arena.

Mecanismo de accionamiento de la tubería.

Mecanismo de evacuación de aire contaminado

Para realizar el cálculo de la cámara de arenado se calculó la viga para el izaje de tuberías, la recolección del material abrasivo, los mecanismos que componen la limpieza abrasiva y la estructura para restringir la expansión de polvo de arena.

3.1. Cálculo de viga para izaje de tuberías.

Para el diseño de la viga se empleó el peso de la tubería de acero al carbono de 24” SCH 40, la cual según catálogos tiene $1531.44 \text{ kg} = 15\,023.43 \text{ N}$.

TUBOS SIN COSTURA SCH



DIMENSIONES Y PESOS NOMINALES

DIÁMETRO NOMINAL	DIÁMETRO EXTERIOR		ESPESOR DE PARED		PESO kg/m	PESO TIPO	SCH N°	PRESIÓN DE PRUEBA GRADO B psi
	pulgada	mm	pulgada	mm				
24"	24	610	0.250	6.35	94.46	-	10	440
24"	24	610	0.281	7.14	106.08	-	-	490
24"	24	610	0.312	7.92	117.51	-	-	550
24"	24	610	0.344	8.74	129.50	-	-	600
24"	24	610	0.375	9.52	140.88	STD	20	660
24"	24	610	0.406	10.31	152.37	-	-	710
24"	24	610	0.438	11.13	164.26	-	-	770
24"	24	610	0.469	11.91	175.54	-	-	820
24"	24	610	0.500	12.70	186.94	XS	-	880
24"	24	610	0.562	14.27	209.50	-	30	980
24"	24	610	0.688	17.48	255.24	-	40	1,200
24"	24	610	0.938	23.83	344.23	-	-	1,640

Figura 8. Medidas de tubería sin costura SCH

Para el cálculo se estimó una masa de 2.5 Tm. Para ello se seleccionó una viga del catálogo del fabricante como opción tentativa de W24"x9"x 68 lb/pie.

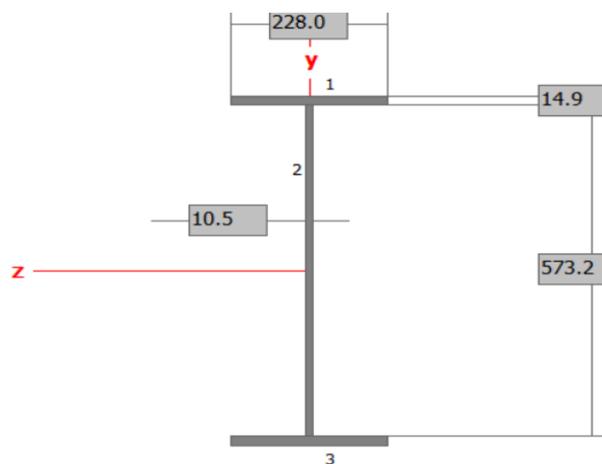


Figura 9. Medidas de la viga

Z Axis Properties			
Elastic Modulus	E	1.0000	GPa
From bottom to centroid	y (bot)	301.5000	mm
From centroid to top	y (top)	301.5000	mm
Area of shape	A	12,813.0000	mm ²
Moment of Inertia	Iz	752.3946E+06	mm ⁴
Section Modulus	Sz	2.4955E+06	mm ³
Section Modulus (bottom)	S (bot)	2.4955E+06	mm ³
Section Modulus (top)	S (top)	2.4955E+06	mm ³
Radius of Gyration	rz	242.3246	mm
Plastic Modulus	Zz	2.8604E+06	mm ³
Shape Factor		1.1462	
From bottom to plastic n.a.	yp (bot)	301.5000	mm
From plastic n.a. to top	yp (top)	301.5000	mm
Polar Moment of Inertia	J	781.8833E+06	mm ⁴
Product of Inertia	Iyz	0.0000	mm ⁴
Maximum Moment of Inertia	Imax	752.3946E+06	mm ⁴
Minimum Moment of Inertia	Imin	29.4886E+06	mm ⁴
Angle from z axis to Imax axis	β	0.0000	degrees
		Clockwise	

Figura 10. Medidas de la viga

Conversión de masa a kN: 2500 kg x 9.81 m/s²= 24 525 N= 24.5kN

a. Cálculo de sumatoria de fuerzas.

$$\begin{aligned} \Sigma Fy &= 0 \\ R_A + R_B - 24.5 \text{ kN} &= 0 \\ R_A + R_B &= 24.5 \text{ kN} \quad (1) \\ \Sigma M_A &= 0 \\ -24.5 \text{ kN}(6\text{m}) + R_B(12\text{m}) &= 0 \\ R_B(12\text{m}) &= 24.5 \text{ kN}(6\text{m}) \\ R_B &= 12.25 \text{ kN} \quad (2) \end{aligned}$$

Reemplazamos (2) en (1) para R_A

$$\begin{aligned} R_A + R_B &= 24.5 \text{ kN} \\ R_A + 12.25 \text{ kN} &= 24.5 \text{ kN} \\ R_A &= 12.25 \text{ kN} \end{aligned}$$

Siendo el momento máximo 73.5kNm

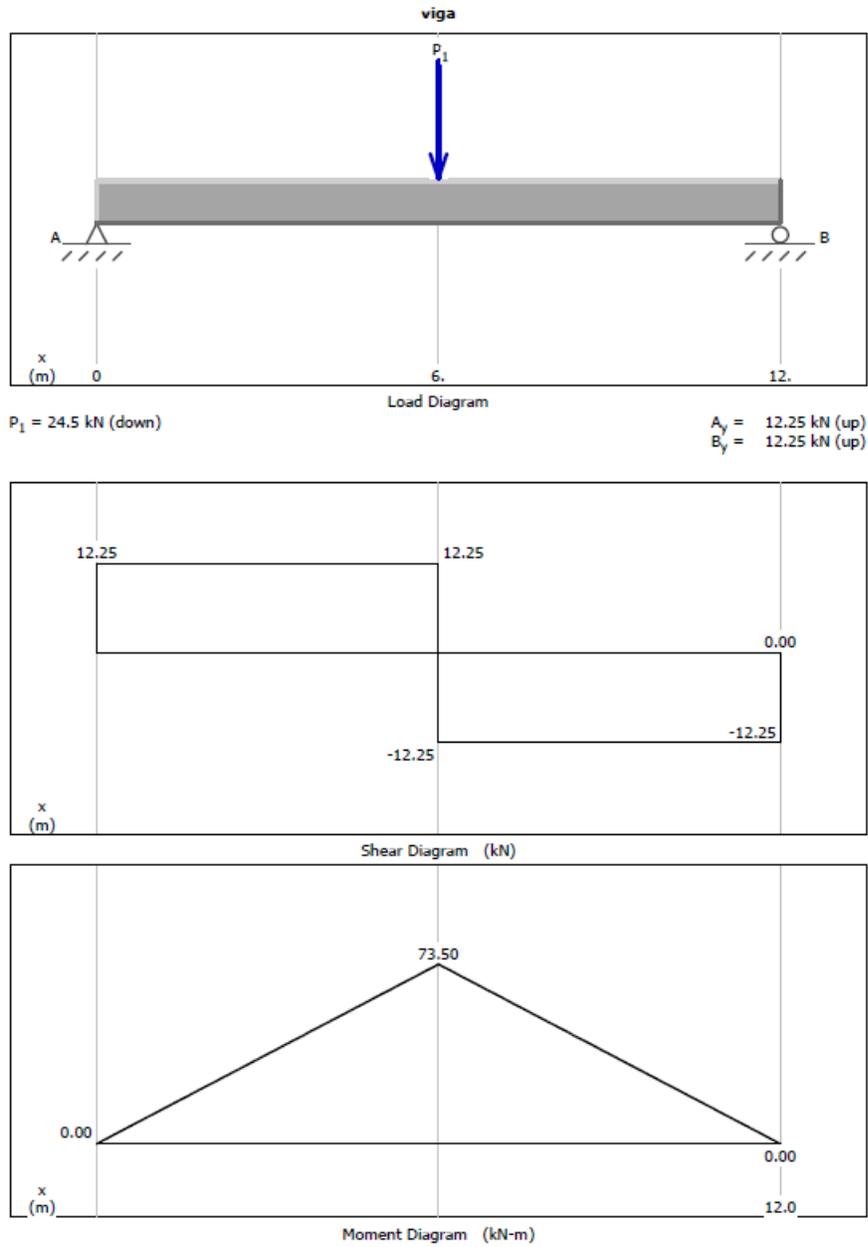


Figura 11. Diagramas de esfuerzos

Esfuerzo máximo.

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}xy_{max}}{I}$$

$$\sigma_{max} = \frac{73.5 \times 10^3 \text{ Nm} \times 0.2866 \text{ m}}{0.7523946 \times 10^{-3} \text{ m}^4}$$

$$\sigma_{max} = 27.997 \text{ MPa}$$

El punto 2 está en compresión y el punto 1 está en tracción. Los esfuerzos medios y alternativos en el punto 1 están dado por la ecuación.

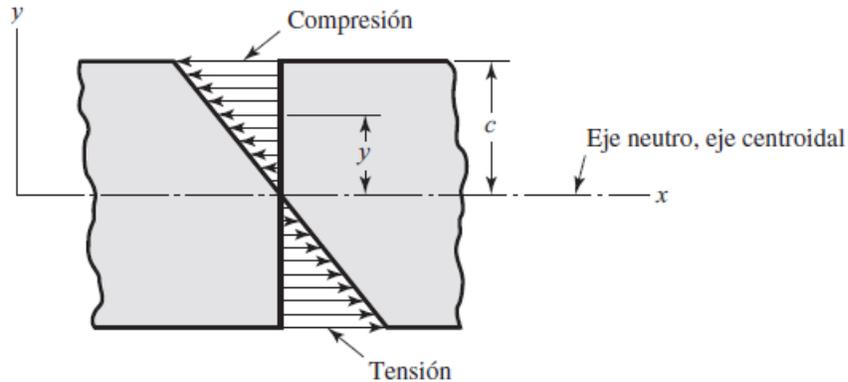


Figura 12. Fuerzas de compresión y tensión actuando sobre la viga

$$S_m = S_a = \frac{M_{max}C_1}{2I}$$

M máx: momento máximo; 73.5kNm

C1: 603/2 mm= 301.5 mm= 0.3015 m

Eje de inercia: $0.7523946 \times 10^{-3}m^4$

$$S_m = S_a = \frac{M_{max}C_1}{2I}$$

$$S_m = S_a = \frac{73\,500Nm (0.3015\,m)}{2(0.7523946 \times 10^{-3}m^4)}$$

$$S_m = S_a = 14.7\,MPa$$

Propiedades del material. Se estimó un acero ASTM A36

Fluencia mínima S_y : 250 MPa; Resistencia a la tracción S_u : 400 MPa

$$S_e' = 0.5S_u$$

$$S_e' = 0.5(400\,MPa)$$

$$S_e' = 200\,MPa$$

b. Se determinó los factores que afectan a la reducción de la resistencia a la fatiga:

Factor de acabado superficial: $K_a = 0.74$ (acabado: laminado en caliente, acero con $S_u = 400 \text{ MPa} = 60 \text{ ksi}$)

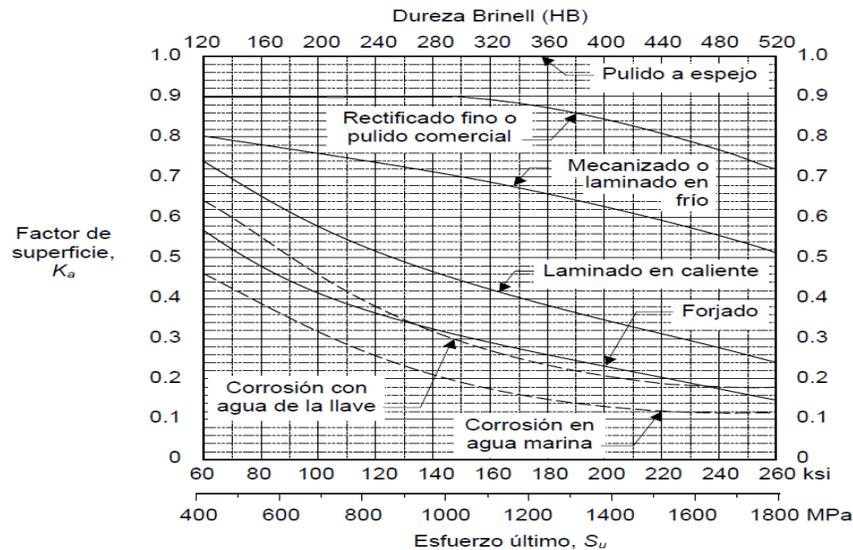


Gráfico 1. Factor k_a , acabado superficial.

Factor por el tamaño: $k_b = 0.6$ (para perfiles en I; $d_e = 0.10b$ (espesor de base); si $d_e > 10$ in, $k_b = 0.6$; $d_e = 0.10$ (228) (14.9) = 339 mm).

$K_b = 1, \quad \text{si } d_e \leq 8 \text{ mm (0.3 in)}$ $K_b = 1.24d_e^{-0.107}, \quad \text{si } 8 \leq d_e \leq 51 \text{ mm}$ $K_b = 1.51d_e^{-0.157}, \quad \text{si } 51 < d_e \leq 254 \text{ mm}$ $(K_b = 0.879d_e^{-0.107}, \quad \text{si } 0.3 \leq d_e \leq 2 \text{ in})$ $(K_b = 0.91d_e^{-0.157}, \quad \text{si } 2 < d_e \leq 10 \text{ in})$ $K_b \approx 0.6, \quad \text{si } d_e > 254 \text{ mm (10 in)}^{[1]}$	}	Flexión o torsión
--	---	-------------------

Figura 13. Factor k_b , por el tamaño.

Factor de confiabilidad: $K_c = 0.753$ (trabajando con una confiabilidad de 99.9%)

Tabla 5. Factor K_c

Confiabilidad (%)	K_c
50	1
90	0.897
99	0.814
99.9	0.753
99.99	0.702
99.999	0.659

Fuente: Shigley.

Factor de temperatura: $K_d = 1$ (ecuación 5.26.c, la temperatura en la viga es menor de 250 °C)

$$k_d = 1, \text{ si } 20^\circ\text{C} \leq T_{emp} \leq 250^\circ\text{C}$$

Factor de efectos varios: $K_e = 1$ (no se prevé corrosión ni otros factores que reduzcan o aumenten la resistencia).

Factor de carga: $K_{car} = 1$, el elemento está sometido a flexión

$$K_{car} = 1, \text{ para flexión}$$

Factor de concentración de esfuerzos por fatiga para vida finita

$$K_{ff} = 1 \text{ para materiales frágiles o de alta resistencia se emplea } k_{ff} = k_f$$

(Se determinó $K_t = 1$ porque no existe concentración de esfuerzo)

Factor de concentración de esfuerzos por fatiga: K_f

$$K_f = 1 + q(K_t - 1) = 1$$

Factor de concentración de fatiga al esfuerzo medio: K_{fm}

$K_{fm} = 1$, por el tema de fluencia en las discontinuidades se recomendó $K_{fm} = K_f$.

Hallando k :

$$\begin{aligned} k &= k_a \times k_b \times k_c \times k_d \times k_e \times k_{car} \\ k &= 0.74 \times 0.6 \times 0.753 \times 1 \times 1 \times 1 \\ k &= 0.334 \end{aligned}$$

c. Determinación del factor de seguridad usando el criterio de Soderberg:

La resistencia a la fatiga corregida está dada por la siguiente ecuación, entonces.

$$S_n = k S_e'$$
$$S_n = (0.334) 200 \text{ MPa}$$
$$S_n = 66.8 \text{ MPa}$$

Ecuación Soderberg.

$$\frac{1}{N} = \frac{K_{fm} S_m}{S_y} + \frac{k_{ff} S_a}{S_n}$$

Donde:

N: factor de seguridad

K_{fm} y *k_{ff}*: concentradores de esfuerzos.

S_m: esfuerzo medio

S_y: Fluencia mínima

S_a: esfuerzo alternativo

S_n: resistencia a la fatiga corregida:

$$\frac{1}{N} = \frac{K_{fm} S_m}{S_y} + \frac{k_{ff} S_a}{S_n}$$
$$\frac{1}{N} = \frac{1(14.7 \text{ MPa})}{250 \text{ MPa}} + \frac{1(14.7 \text{ MPa})}{66.8 \text{ MPa}}$$
$$N = \frac{1}{0.276} = 3.6$$

Aquí se estima un buen factor de seguridad para la viga de medidas tentativas W24"x 9"x 68 lb/pie.

Mediante el software SolidWorks se constató que el factor de seguridad es de 2.4 cercano al calculado, con un peso de 24525 N, como se puede observar en las siguientes figuras.

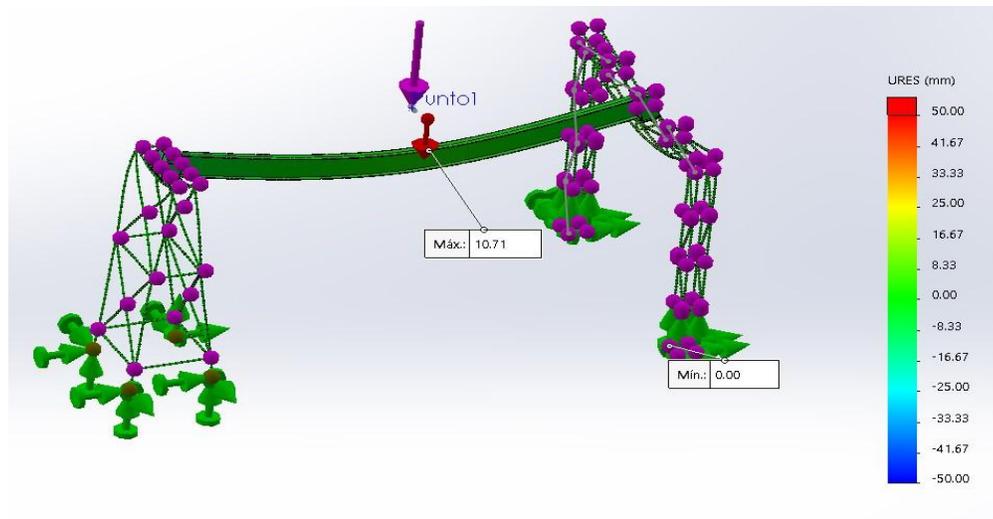


Figura 14. Desplazamientos ante la aplicación de carga, mediante el software SolidWorks .

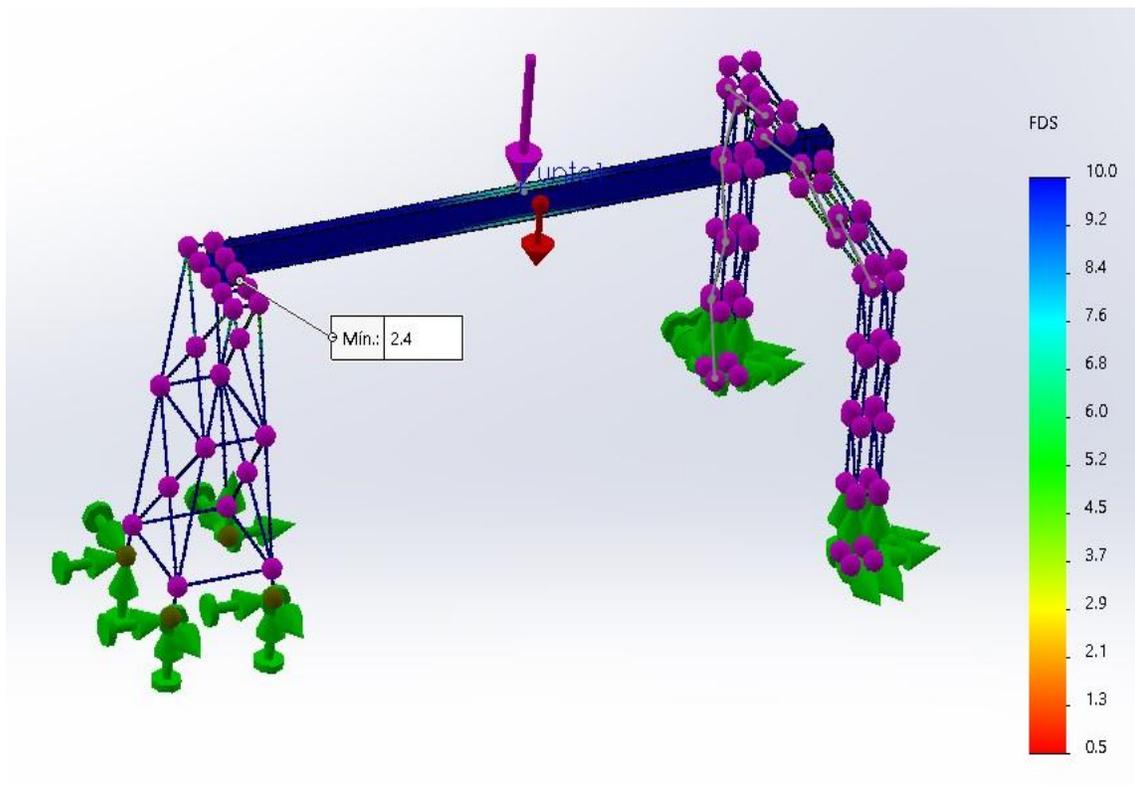


Figura 15. Factor de seguridad mediante el programa SolidWorks.

d. Selección de polipasto eléctrico.

Se seleccionó un polipasto eléctrico de 2.5 TM de la marca GH- Cranes y components, que tiene una velocidad de 5m/min, siendo la mínima ya que se necesita la precisión de poder maniobrar dentro de la cámara para posicionar el producto.

Tabla 6. Polipastos eléctricos

kg.	POLIPASTO	VEL. m/min	RAMALES	GRUPO FEM	RECORRIDO DEL GANCHO [M]			
					H1	H2	H3	H4
1.000	GHA12_014105M6	5	4/1	M6	4,5	8	10,8	
	GHA12_012110M6	10	2/1	M6	9	16	21,6	
	GHB11_011116M5	16	1/1	M5	14,5	27,1	37,2	47,3
	GHB11_012216M5	16	2/2	M5	4	10,3	15,4	20,5
	GHB11_011120M5	20	1/1	M5	14,5	27,1	37,2	47,3
	GHB11_012220M5	20	2/2	M5	4	10,3	15,4	20,5
1.600	GHA12_014105M6	5	4/1	M6	4,5	8	10,8	
	GHA12_012110M5	10	2/1	M5	9	16	21,6	
	GHB11_012216M5	16	2/2	M5		10,3	15,4	20,5
	GHB11_011116M5	16	1/1	M5	14,5	27,1	37,2	47,3
	GHD13_012220M6	20	2/2	M6		15,9		31
	GHD13_011120M6	20	1/1	M6	15,2	28,8		51
2.000	GHA12_024105M6	5	4/1	M6	4,5	8	10,8	
	GHB11_022108M5	8	2/1	M5	7,26	13,55	18,6	23,6
	GHB11_024208M5	8	4/2	M5		5	7,5	10
	GHB11_022110M5	10	2/1	M5	7,26	13,55	18,6	23,6
	GHB11_024210M5	10	4/2	M5		5	7,5	10
	GHD13_022216M6	16	2/2	M6		15,9		31
	GHD13_021116M6	16	1/1	M6	15,2	28,8		51
	GHD13_022220M6	20	2/2	M6		15,9		31
	GHD13_021120M6	20	1/1	M6	15,2	28,8		51
	GHA12_024105M6	5	4/1	M6	4,5	8	10,8	
2.500	GHB11_022108M5	8	2/1	M5	7,26	13,55	18,6	23,6
	GHB11_024208M5	8	4/2	M5		5	7,5	10
	GHB11_022110M5	10	2/1	M5	7,26	13,55	18,6	23,6
	GHB11_024210M5	10	4/2	M5		5	7,5	10
	GHD13_022110M6	10	2/1	M6	7,6	14,4		25,5
	GHD13_024210M6	10	4/2	M6		7		14,7
	GHD13_022216M6	16	2/2	M6		15,9		31
	GHD13_021116M6	16	1/1	M6	15,2	28,8		51

Fuente: GH- Cranes y components

3.2. Cámara de arenado.

La cámara de arenado comprende una estructura de acero ASTM A36, la cual la comprenden perfiles estructurales de 3"x 3 mm, que sirven para armar el área y la altura de la cámara, tiene las dimensiones de 11 m de largo x 3 m de ancho siendo el área la cual facilita la maniobrabilidad de la tubería de 24" de diámetro con 6 m de longitud, además de una altura de 3 metros necesaria para la instalación del equipo extractor de aire contaminado con polvo de arena, esta estructura es capaz de contener un ambiente cerrado y con la capacidad de no dejar que el aire contaminado de partículas se escape hacia el exterior, además deberá soportar la interacción de hombre máquina, ya que deberá el operario transportarse por encima de la cabina para dirigir la carga y estar dentro de la cabina para asegurar la carga para el respectivo arenado.



Figura 16. Estructura de acero ASTM A36

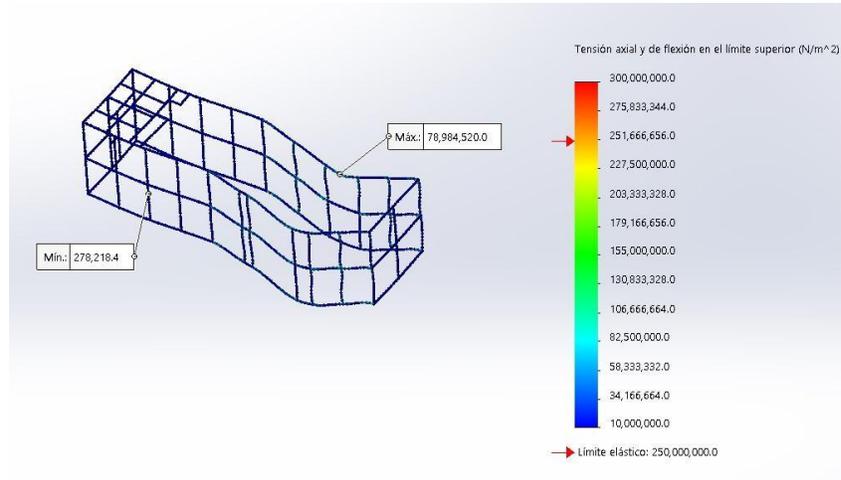


Figura 17. Estructura de cabina 1 en el software solidworks 2018

Se realizó el análisis estático de la estructura, en la posible ocasión que por emergencia la tubería debería de ser apoyada sobre la estructura, aplicando la carga de 20 000 N de forma distribuida en cada lado de la parte superior de la cabina, teniendo como esfuerzo máximo 78 984 520 N/m² superior a las características del material ASTM A36.

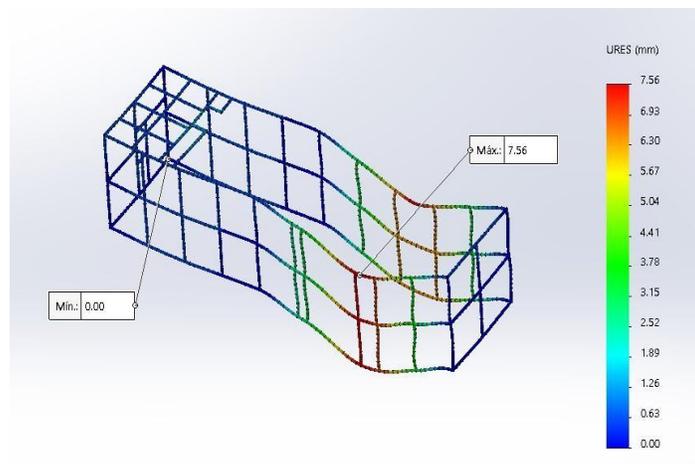


Figura 18. Estructura de cabina 2 en el software SolidWorks

En los resultados de la simulación se observa un desplazamiento de 7.56 mm en los puntos de acción de fuerza, siendo un desplazamiento aceptable ya que al incorporar las planchas que funcionan como tapa y contraplacado para cerrar la estructura esta distancia será menor.

Análisis de estructura de bancada para soportar la tubería

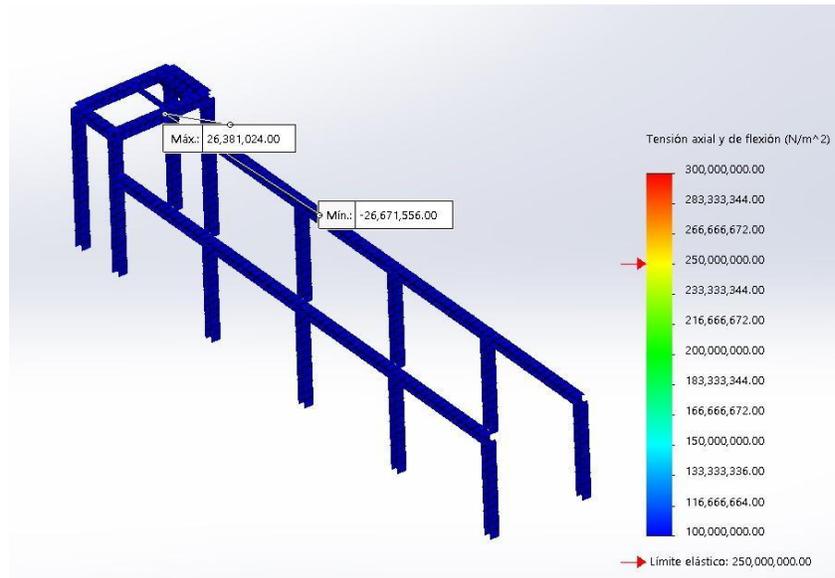


Figura 19. Análisis estático mediante SolidWorks 2018

La estructura donde está soportada la tubería denominada por el autor como bancada, fue simulada en el software SolidWorks 2021 en donde el gráfico de colores muestra una gran diferencia en cuanto a las propiedades del material y los resultados del software al haberse sometido a 20000 N de forma puntual y distribuida en dos puntos haciendo referencia a los puntos de apoyo de una tubería, teniendo un esfuerzo máximo de 26 381 024 N/m² muy por debajo de los 250 000 000 N/m² de la propiedad del material, .

3.3. Cálculo de área de tubería para arenar

El área al que se refiere es la superficie lateral externo e interno de un cilindro (tubería), debido a que es un dato necesario, ya que se trata de una operación de arenado superficial para determinar la cantidad de material abrasivo y el tiempo que demora el proceso de arenado.

Cálculo del área de la tubería 24" SCH 40.

Área externa de tubería.

$$\begin{aligned}L_c &= \pi \times \emptyset \text{ ext.} \\L_c &= 3.1416 \times 609.6\text{mm} \\L_c &= 1.915 \text{ m} \\A \text{ ext.} &= L_c \times \text{long. de tubería} \\A \text{ ext.} &= 1.915 \text{ m} \times 6 \text{ m} \\A \text{ ext.} &= 11.49 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Área interna de la tubería

$$\begin{aligned}L_c &= \pi \times \emptyset \text{ int.} \\L_c &= 3.1416 \times 0.57 \text{ mm} \\L_c &= 1.805 \text{ m} \\A \text{ int.} &= L_c \times \text{long. de tubería} \\A \text{ int.} &= 1.805 \text{ m} \times 6 \text{ m} \\A \text{ int.} &= 10.83 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Área total

$$\begin{aligned}A \text{ total} &= \text{Area externa} + \text{área interna} \\A \text{ total} &= 11.49 \text{ m}^2 + 10.83 \text{ m}^2 \\A \text{ total} &= 22.32 \text{ m}^2\end{aligned}$$

3.4. Selección de boquilla de arenado

El sistema de chorro tiene un equilibrio entre la selección de la boquilla y la disposición del compresor, si se tiene una boquilla con un diámetro pequeño de salida entonces la producción de la limpieza por área será muy pequeña, en el posible caso de disponer de una boquilla con diámetro de salida muy grande el compresor no abastece a una presión adecuada para el impacto del material abrasivo.

Ahora un dato importante es con las especificaciones de la boquilla y compresor a seleccionar. Empezando por la boquilla, teniendo como referencia el total de área de 22.32 m², en una tubería de 24”.

Tabla 7. Trabajo de boquillas venturi largo según la calidad del trabajo

Grado de Limpieza Condiciones de la superficie		Producción por modelo de boquilla de granallado					
		M2/hora					
		Diámetro de boquillas					
		12.5	11	9.5	8	6.4	4.8
Metal blanco SA3	Laminilla floja	24.5	19.0	13.8	9.3	5.8	3.0
	Laminilla dura	20.0	16.1	11.3	7.9	4.7	2.5
	Óxido duro	12.0	9.0	6.6	4.7	2.8	1.5
	Varias capas	9.5	7.2	5.2	3.7	2.3	1.2
Metal Semi Blanco SA 2 ½	Laminilla floja	26.0	19.7	14.9	10.0	5.9	3.3
	Laminilla dura	21.3	16.8	11.6	8.2	6.0	2.6
	Óxido duro	12.8	10.0	7.0	5.9	3.0	1.6
	Varias capas	10.0	8.0	5.6	4.0	2.4	1.3
Metal Comercial SA 2	Laminilla floja	62.5	49.0	35.1	24.6	15.0	8.0
	Laminilla dura	41.9	32.2	23.3	16.0	10.0	5.0
	Óxido duro	31.1	24.2	17.2	11.9	7.0	3.8
	Varias capas	20.6	15.9	11.3	7.8	4.7	2.5

Fuente: cym materiales

Para el caso de la selección de la boquilla se inclinó por la boquilla de diámetro 9.5 mm, la cual tiene una producción de 11.6 m²/h en áreas con laminilla dura en un acabado semi blanco la cual es la que obtiene la empresa en el proceso de arenado.

Mediante la tabla 7 a pesar que la boquilla n° 6 tiene un consumo de 198 CFM, en este estudio se tomó como valor de 375 CFM por motivos que son más comunes en el mercado y además que las partículas abrasivas también desgastan el diámetro de salida de la boquilla haciéndola más grande con la consecuencia de necesitar un aumento en las CFM próximo a 254; luego con el valor de 375 CFM asumido se

garantiza el uso de la boquilla para que siga funcionando a la misma presión de trabajo aun así tenga un leve desgaste.

Tabla 8. Consumo de aire por boquilla

N° boquilla	Diámetro	Consumo de aire comprimido	
		CFM	m3/min
3	4.8	45	1.27
4	6.4	81	2.29
5	8.0	137	3.87
6	9.6	198	5.59
7	11.2	254	7.17
8	12.7	338	9.54

Fuente: CYM materiales

Tiempo de arenado en la cual se podrá arenar una tubería de 24" SCH 40 de manera externa, realizamos una regla de 3 con respecto del área externa.

$$\frac{11.6 \text{ m}^2}{60 \text{ min}} = \frac{11.5 \text{ m}^2}{x}$$

$$x = 59.4 \text{ min}$$

Entonces el tiempo de duración es de 59.4 min para la limpieza externa, la limpieza interna tomará menos tiempo ya que esta es de diferente configuración.

Compresor seleccionado.

Se estimo el compresor eléctrico de características CSD 125, relacionado a la demanda de consumo de aire de las boquilla, de 375 cfm = 10.6 m3/min teniendo el compresor seleccionado un valor muy por encima de lo estimado de 12.02 m3/min.

Tabla 9. Selección de compresor

www.kaeser.com

Datos técnicos

Versión básica

Modelo	Sobrepr. de servicio bar	Caudal* instalación completa a sobrepresión m³/min	Sobrepr. máx. de servicio bar	Pot. nominal del motor kW	Dimensiones an x prof x al mm	Conexión de aire compri- mido	Nivel de presión acústica ** dB(A)	Peso kg
CSD 85	7,5	8,26	8,5	45	1760 x 1110 x 1900	G 2	70	1250
	10	6,89	12					
	13	5,50	15					
CSD 105	7,5	10,14	8,5	55	1760 x 1110 x 1900	G 2	71	1290
	10	8,18	12					
	13	6,74	15					
CSD 125	7,5	12,02	8,5	75	1760 x 1110 x 1900	G 2	72	1320
	10	10,04	12					
	13	8,06	15					
CSDX 140	7,5	13,74	8,5	75	2110 x 1290 x 1950	G 2	71	1830
	10	11,83	12					
	13	9,86	15					
CSDX 165	7,5	16,16	8,5	90	2110 x 1290 x 1950	G 2	72	1925
	10	13,53	12					
	13	11,49	15					

Fuente: Compresores kaeser

3.5. Cálculo de la capacidad de arena.

Se tomó como dato el consumo de arena 40 kg/m² del manual cym a una presión de trabajo de 100 psi. La tubería cuenta con un área total de 22.32 m², entonces:

$$\frac{40 \text{ kg}}{1 \text{ m}^2} = \frac{x}{22.32 \text{ m}^2}$$

$$x = 714.24 \text{ kg}$$

Se estimó un 10% más por pérdidas en el proceso de arenado, la cantidad de 786 kg de arena por cuestiones de pérdidas, la mitad será almacenada en silo y la otra mitad estará en el tanque arenador, cuando esté vacío el arenador será llenado por el silo, y la usada anteriormente será almacenada al silo por medio del tornillo sin fin y un elevador de cangilones.

3.6. Sistemas de circulación de arena.

3.6.1. Tolva para recolectar la arena.

La tubería para arenar cuenta con un diámetro de 609.6 mm y 6 000 mm de largo, con estas medidas a la tolva se le excede un ancho de boca de 800 mm y 6500 mm de largo, de esta manera la arena será depositada en el fondo de la tolva para posteriormente ser arrastrada por el tornillo sin fin luego elevada por elevador de cangilones con dirección a un silo y posteriormente depositado en el tanque arenador. Esta tolva sirve de guía para que la arena luego de realizar la limpieza superficial sea conducida hacia el fondo donde se ubica el tornillo sin fin.

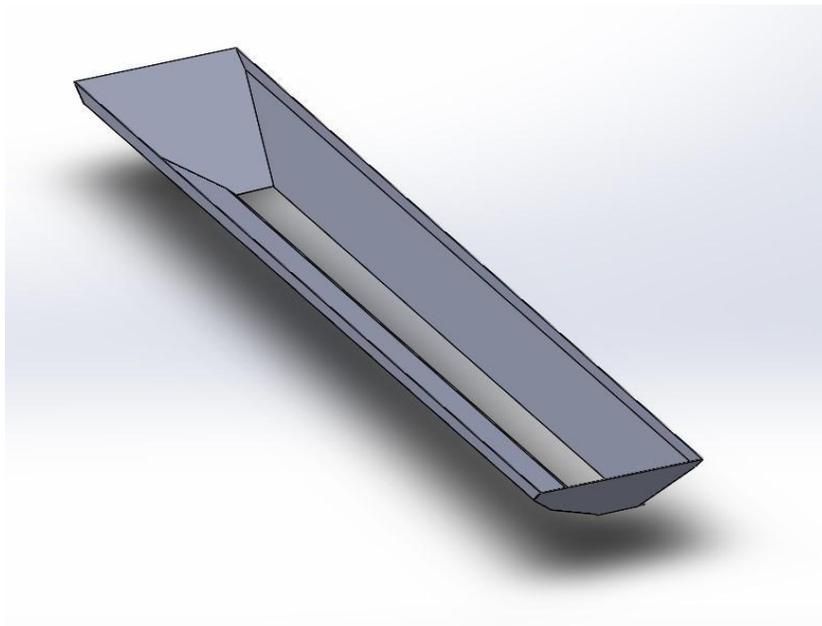


Figura 20. Tolva recolectora de arena

3.6.2. Cálculo de Tornillo sin fin (transportador helicoidal).

La función del tornillo sin fin es transportar la arena que es usada en el proceso de arenado, está ubicado en la parte inferior de la tolva que recolecta la arena, a un costado de la estructura que soporta la tubería. Como dato se deberá transportar 786 kg de arena hacia un elevador de cangilones para luego almacenarlo en un silo. Se tomó como referencia el manual de los fabricantes Martin para los cálculos y su diseño.

$$\text{Flujo de alimentación} = \frac{0.786 \text{ Tm}}{1 \text{ h}}$$

Conversión:

$$0.786 \frac{\text{Tm}}{\text{h}} \times \frac{2204.623 \text{ lb}}{1 \text{ Tm}} = 1732.8 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$$

a. Cálculo de la capacidad requerida.

Arena seca, densidad. 90 a 100 lb/pie³.

$$C_{req} = \frac{\text{flujo de alimentación}}{\text{densidad del material}}$$
$$C_{req} = \frac{1732.8 \frac{\text{lb}}{\text{h}}}{100 \frac{\text{lb}}{\text{pie}^3}}$$
$$C_{req} = 17.3 \frac{\text{pie}^3}{\text{h}} = 0.49 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

b. Cálculo de la capacidad equivalente

Factores se encuentran en el manual martin, paso de helicoidal: $CF_1 = \text{estándar} = 1$; tipo de helicoidal $CF_2 = \text{estándar} = 1$; uso de paletas mezcladoras: $CF_3 = \text{ninguna} = 1$

$$C_{equiv} = C_{req}(CF_1)(CF_2)(CF_3)$$
$$C_{equiv} = 17.3 \frac{\text{pie}^3}{\text{h}} (1)(1)(1)$$
$$C_{equiv} = 17.3 \frac{\text{pie}^3}{\text{h}} = 0.49 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Tabla 10. Características de la arena

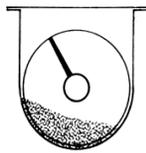
Arena					
Lb/m ³	Código de material	Selección de rodamiento intermedio	Serie de componentes	Factor de material	Carga de artesa
90-100	B6-27	H	3	2	15

Fuente: Martin

Tabla 11. Capacidad de los transportadores

Cargas de artesa	Diámetro del Helicoidal (Pulgadas)	Capacidad Pies Cúbicos por Hora		Máx. RPM
		(Paso Completo)		
		A 1 RPM	A Máx. RPM	
	4	0.21	15	72
	6	0.75	45	60
	9	2.72	150	55
	10	3.8	210	55
	12	6.4	325	50
	14	10.4	520	50
	16	15.6	700	45
	18	22.5	1010	45
	20	31.2	1250	40
	24	54.6	2180	40
	30	108	3780	35

15%



Fuente: Martin

c. Velocidad del transportador

$$N = \frac{\text{Capacidad requerida en pies}^3 \text{ por hora}}{\text{pies}^3 \text{ por hora a una rpm}}$$

$$N = \frac{17.3 \frac{\text{pie}^3}{h}}{0.21 \frac{\text{pie}^3}{h} \text{ a } 1\text{RPM}}$$

$$N = 82 \text{ RPM}$$

Tabla 12. Tamaño de la arena

Material	Tamaño:	Tamaño (min)	Tamaño (Máx)
	B6	0.016"	0.132"

Fuente: Martin

d. Cálculo de potencia requerida en el tornillo sin fin

Potencia para mover el transportador en vacío.

$$HP_f = \frac{LNF_d f_b}{1\,000\,000}$$

Potencia para mover el material

$$HP_m = \frac{CLWF_f F_m F_p}{1\,000\,000}$$

POTENCIA TOTAL:

$$HP_{TOTAL} = \frac{(HP_f + HP_m)F_0}{e}$$

L = Longitud total del transportador, en pies

N = Velocidad de Operación, RPM

F_d = Factor del diámetro del transportador

F_b = Factor del buje para colgante

C = Capacidad en pies cúbico por hora.

W = Densidad del material en libras por pie cúbico.

F_f = Factor de helicoidal

F_m = Factor de material

F_p = Factor de las paletas

F_o = Factor de sobrecarga

e = Eficiencia de la transmisión

Tabla 13. Factor del diámetro del transportador

Diámetro del helicoidal	Factor	Diámetro del helicoidal	factor
-------------------------	--------	-------------------------	--------

(pulgada)	fd	(pulgada)	fd
4	12.0	14	78.0
6	18.0	16	106.0
9	31.0	18	135.0
10	37.0	20	165.0
12	55.0	24	235.0
		30	300.0

Fuente: Martin

Tabla 14. *Factor del buje para colgante*

	Tipo de Buje	Factor Colgante F b
B	Rodamiento de Bolas	1.0
L	Bronce <i>Martin</i>	2.0
	*Bronce Grafitado	
	*Bronce, Impregnado en Aceite	
	*Madera, Impregnado en Aceite	
	*Nylatron *	
S	*Nylon	2.0
	*Teflón	
	*UHMH	
	*Uretano	
	* Hierro Endurecido <i>Martin</i>	3.4

	* Superficie Endurecida	
H	* Stellite	4.4
	* Cerámica	

Fuente: Martin

Tabla 15. Factor porcentaje de carga de transportador

Tipo de Helicoidal	Ff Factor por porcentaje de carga			
	15%	30%	45%	95 %
Estándar	1.0	1.0	1.0	1.0
Helicoidal con Corte	1.10	1.15	1.20	1.3
Con Corte y Doblez	N.R.*	1.50	1.70	2.20
Helicoidal de Listón	1.05	1.14	1.20	—

Fuente: Martin

Potencia para mover el transportador en vacío

$$HP_f = \frac{LNF_d F_b}{1\,000\,000}$$

$$HP_f = \frac{(22.97 \text{ pies})(82 \text{ rpm})(12)(3.4)}{1\,000\,000}$$

$$HP_f = 0.077$$

Potencia para mover el material

$$HP_m = \frac{CLWF_f F_m F_p}{1\,000\,000}$$

$$HP_m = \frac{\left(17.3 \frac{\text{pies}^3}{\text{h}}\right)(22.97 \text{ pies})(100 \text{ lb/pies}^3)(1)(2)(1)}{1\,000\,000}$$

$$HP_m = 0.079$$

Potencia total del motor eléctrico

$$HP_{TOTAL} = \frac{(HP_f + HP_m)F_0}{e}$$

$$HP_{TOTAL} = \frac{(0.077 + 0.079)3}{0.95}$$

$$HP_{TOTAL} = 0.49 \text{ HP}$$

$$HP_{TOTAL} = 1/2 \text{ HP}$$

e. Cálculo del torque

$$TORQUE = \frac{63025 \times HP}{RPM}$$

$$TORQUE = \frac{63025 \times 0.5}{82}$$

$$TORQUE = 384.3 \text{ lb.pulgada}$$

Elección de componentes para el tornillo sinfín.

Tabla 16. *Dimensión de eje*

Diámetro del Eje (Pulgadas)	Tubo		Ejes			Pernos			
	Ced. 40	Torque (lb-Pulgadas)	Torque (lb-Pulgadas)*		Diámetro del Perno (Pulgadas)	Pernos al Corte (lb-Pulgadas)		Resistencia de los Barrenos (lb-Pulgadas)	
			Tamaño (Pulgadas)	Torque (lb-Pulgadas)		Estándar CEMA (C-1018)	Estándar Martin (C-1045)	No. de Pernos	No. de Pernos
1	1 1/2	3,140	820	999	3/8	1,380	2,070	1,970	2,955
1 1/2	2	7,500	3,070	3,727	1/2	3,660	5,490	5,000	7,500
2	2 1/2	14,250	7,600	9,233	5/8	7,600	11,400	7,860	11,790
2 7/16	3	23,100	15,090	18,247	5/8	9,270	13,900	11,640	17,460
3	3 1/2	32,100	28,370	34,427	3/4	16,400	24,600	15,540	23,310
3	4	43,000	28,370	34,427	3/4	16,400	24,600	25,000	37,500
3 7/16	4	43,300	42,550	51,568	7/8	25,600	38,400	21,800	32,700

Fuente: Martin

De acuerdo al torque calculado anteriormente de 384.3 lb-pulg., se seleccionó el diámetro del eje de 1" tal como corresponde a la tabla N° 12, por ser el más aproximado

al cálculo, donde denota los siguientes datos como el tubo cédula 40 de diámetro de 1 ½”, con 2 pernos de diámetro ¾”.

El material de arena está en el grupo 3 en la sección de serie de componentes, en la tabla 13 no se encuentra para helicoidales de 4” por lo tanto seleccionamos el de menor diámetro la cual para el material de arena le corresponde un material de espesor de la artesa calibre 10 y la cubierta calibre 16.

Tabla 17. Elección de componentes

Diámetro del helicoidal (pulgadas)	Diámetro del Eje (pulgadas)	Número de helicoidal		Espesor, Calibre, Americano, Estándar. (Pulgadas)	
		helicoidales continuos	helicoidales seccionales	ARTESA	Cubierta
6	1 1/2	6H312	6S312	CAL. 10	CAL. 16
9	1 1/2	9H312	9S312	3/16”	CAL. 14
9	2	9H414	9S416	3/16”	CAL. 14
12	2	12H412	12S412	¼”	CAL. 14
12	2 7/16	12H512	12S512	¼”	CAL. 14
12	3	12H614	12S616	¼”	CAL. 14
14	3		14S624	¼”	CAL. 14
16	3		16S624	¼”	CAL. 14
18	3		18S624	¼”	CAL. 12
20	3		20S624	¼”	CAL. 12
24	3 7/16		24S724	¼”	CAL. 12
30	3 7/16		30S724	¼”	CAL. 12

Fuente: Martin

3.6.3. Cálculo de elevador de cangilones

Se estimó una capacidad de 0.786 Tm/h.

$$\text{Flujo de alimentación} = \frac{0.786 Tm}{1 h}$$

Conversión:

$$0.786 \frac{Tm}{h} \times \frac{2\,204.623 lb}{1Tm} = 1732.8 \frac{lb}{h}$$

a. Cálculo del flujo de volumen.

$$v = \frac{Q}{\rho}$$

Donde:

Q: Capacidad de trabajo: 1732.8 lb/h

ρ : Densidad de la arena: 100 lb/pie³=

$$v = \frac{Q}{\rho}$$

$$v = \frac{1732.8 \frac{lb}{h}}{100 \frac{lb}{pie^3}}$$

$$v = 17.33 pie^3/h = 0.49 m^3/h$$

En la tabla 14, hace referencia a las dimensiones de elevadores de cangilones por la capacidad en pie³/h, para la cual el más próximo a elegir es de 95 pie³/h.

Tabla 18. Capacidad del elevador

Número de elevador	Capacidad Máx. P.C. H	Cangilones				Banda			Tamaño máx. de partícula		Tamaño nominal de la caja		Polea en cabeza		Polea en bota	
		Ancho	Proy.	Prof.	Espacio	Ancho	PPM	100 %	10%	Ancho	Prof	Diámetro	RPM	Diámetro	Diámetro en eje	
B43-139	95	4	2¾	3	8	5	140	¼	1	8	18	8	62.9	8	1.5	
B64-141	293	6	4	4.25	13	7	235	½	2½	11¾	35	20	43.8	16	1.5	
B64-140	324	6	4	4.25	13	7	260	½	2½	11¾	39	24	40.5	16	1.5	
B85-142	543	8	5	5.5	16	9	230	¾	3	13¾	39	20	42.9	14	2	

B85-143	591	8	5	5.5	16	9	250	$\frac{3}{4}$	3	$13\frac{3}{4}$	42	24	39	16	2
B106-144	911	10	6	6.25	16	11	225	1	$3\frac{1}{2}$	$15\frac{3}{4}$	42	20	41.9	16	2
B106-145	1013	10	6	6.25	16	11	250	1	$3\frac{1}{2}$	$15\frac{3}{4}$	48	24	39	20	2
B127-146	1425	12	7	7.25	18	13	250	$1\frac{1}{4}$	4	$17\frac{3}{4}$	48	24	39	20	$\frac{2.43}{75}$
B127-147	1596	12	7	7.25	18	13	280	$1\frac{1}{4}$	4	$17\frac{3}{4}$	54	30	35.1	24	$\frac{2.43}{75}$
B147-148	1691	14	7	7.25	18	15	245	$1\frac{1}{4}$	4	$19\frac{3}{4}$	48	24	38.2	20	$\frac{2.43}{75}$
B147-149	1932	14	7	7.25	18	15	280	$1\frac{1}{4}$	4	$19\frac{3}{4}$	54	30	35.1	24	$\frac{2.43}{75}$
B168-150	2550	16	8	8.5	18	17	250	$1\frac{1}{2}$	$4\frac{1}{2}$	$22\frac{3}{4}$	48	24	39	20	$\frac{2.43}{75}$
B168-152	2856	16	8	8.5	18	17	280	$1\frac{1}{2}$	$4\frac{1}{2}$	$22\frac{3}{4}$	54	30	35.1	24	$\frac{2.43}{75}$
B188-160	2925	18	8	8.5	18	19	250	$1\frac{1}{2}$	$4\frac{1}{2}$	$24\frac{3}{4}$	48	24	39	20	$\frac{2.43}{75}$
B208-164	3150	20	8	8.5	18	21	250	$1\frac{1}{2}$	$4\frac{1}{2}$	$26\frac{3}{4}$	48	24	39	20	$\frac{2.43}{75}$
B188-162	3276	18	8	8.5	18	19	280	$1\frac{1}{2}$	$4\frac{1}{2}$	$24\frac{3}{4}$	54	30	35.1	24	$\frac{2.43}{75}$
B208-166	3528	20	8	8.5	18	21	280	$1\frac{1}{2}$	$4\frac{1}{2}$	$26\frac{3}{4}$	54	30	35.1	24	$\frac{2.43}{75}$
B127-146S	4489	12	7	7.25	16	24	350	$1\frac{1}{4}$	4	28	66	42	31.5	30	$\frac{2.43}{75}$
B248-168	4788	24	8	8.5	18	25	280	$1\frac{1}{2}$	$4\frac{1}{2}$	$30\frac{3}{4}$	54	30	35.1	24	$\frac{2.43}{75}$
B241-170	6636	24	10	10.5	18	25	280	$1\frac{1}{2}$	$4\frac{1}{2}$	$30\frac{3}{4}$	60	30	35.1	24	$\frac{2.43}{75}$

Fuente: Martin

De acuerdo a esta tabla se estima datos como, el diámetro de las poleas; polea superior=8" y polea inferior= 8", con un paso entre cangilones de 8" y con velocidad de 62.9 rpm.

Para hallar el número de cangilones debemos hallar la longitud de la faja

b. Cálculo longitud de faja.

$$L_f = 2C + \frac{\pi}{2}(D_{ps} + D_{pi}) + \frac{(D_{ps} + D_{pi})^2}{4C}$$

Donde:

C: distancia entre centros: 6m=236.2"

D_{ps} : Diámetro de polea superior, 8"

D_{pi} Diámetro de polea inferior, 8".

$$L_f = 2C + \frac{\pi}{2}(D_{ps} + D_{pi}) + \frac{(D_{ps} + D_{pi})^2}{4C}$$

$$L_f = 2(236.2") + \frac{(3.1416)}{2}(8" + 8") + \frac{(8" + 8")^2}{4(236.2")}$$

$$L_f = 497.6" = 12.64 m$$

c. Número de cangilones.

$$N_{cang} = \frac{L_f}{paso.}$$

Donde:

L_f : Longitud de faja

Paso: determinado por la tabla de 8"

$$N_{cang} = \frac{L_f}{paso.}$$

$$N_{cang} = \frac{497.6"}{8"}$$

$$N_{cang} = 62 \text{ cang.}$$

d. Hallamos la longitud real de la faja:

$$L_{real} = N_{cang} \times paso$$

$$L_{real} = 62 \times 8" = 496" = 12.6m$$

e. Cálculo de la capacidad del cangilón con el material a procesar.

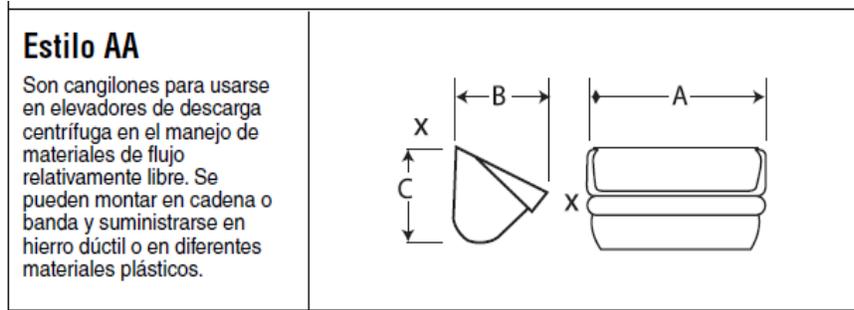


Figura 21. Forma del cangilón.

Tabla 19. Dimensiones de cangilones

Tamaño del cangilón			Peso(lb)	Capacidad pie ³ x-x
A	B	C		
4	2 ¾	3	1.0	0.01
6	4	4 ¼	2.7	0.03
8	5	5 ½	4.8	0.07
10	6	6 ¼	7.7	0.12
12	7	7 ¼	12.0	0.19
14	7	7 ¼	13.9	0.23
16	8	8 ½	21.8	0.34

Fuente: Martin

f. Masa de material que carga el cangilón

$$P_c = 75\%(vol.) \times \rho$$

Vol: Volumen del cangilón.

ρ : Densidad del material.

$$P_c = 75\%(vol.) \times \rho$$

$$P_c = 75\%(0.01 \text{ pie}^3) \times 100 \frac{\text{lb}}{\text{pie}^3}$$

$$P_c = 0.75 \text{ lb} = 0.34 \text{ kg}$$

g. Cálculo de la cantidad de cangilones por segundo.

$$Tiempo = \frac{C_{req}}{P_c}$$

C_{req} = Capacidad requerida

P_c = Masa por cangilón.

$$T_{cang} = \frac{C_{req}}{P_c}$$

$$T_{cang} = \frac{786 \frac{kg}{h}}{0.34 \frac{kg}{cang}}$$

$$T_{cang} = 2311.8 \frac{cang}{h} \times \frac{1h}{3600 s} = 0.64 \frac{cang}{s}$$

h. Velocidad de la faja:

$$V_f = \frac{D \times 3.1416 \times w_s}{60}$$

Donde:

D: Diámetro de la polea motriz en m; 8" = 0.2032 m

w_s : Velocidad en rpm según tabla; 62.9 RPM.

$$V_f = \frac{0.2032 \times 3.1416 \times 62.9 \text{ RPM}}{60}$$

$$V_f = 0.67 \frac{m}{s} = 131.9 \frac{pie}{min}$$

i. Cálculo de las tensiones ejercidas en la faja, expresado en lb

Se realizaron cálculos de en las dos tensiones de la faja, la tensión de la carga y la tensión floja.

$$T_1 = T_a + T_b + T_c + T_d + T_e + T_f$$

$$T_2 = T_a + T_b + \left(\frac{T_d + T_f}{2} \right)$$

Donde:

T_a : Tensión debido al peso de la faja

T_b : Tensión debido al peso de los cangilones

T_c : Tensión debido al material que transporta los cangilones

T_d : Tensión debido a la resistencia del aire

T_e : Tensión debido al cargado del material.

T_f : Tensión debida a la pérdida por fricción en los descansos

Cálculos

$$T_a = \text{aún es desconocido}$$

$$T_b = \text{peso del cangilón} \times \frac{\# \text{ de cangilones}}{2}$$

$$T_b = 1 \text{ lb} \times \frac{62}{2}$$

$$T_b = 31 \text{ lb}$$

$$T_c = \text{capacidad del cangilón} \times \frac{\# \text{ de cangilones}}{2} \times \text{densidad del material}$$

$$T_c = 0.01 \text{ pie}^3 \times \frac{62}{2} \times 100 \frac{\text{lb}}{\text{pie}^3}$$

$$T_c = 31 \text{ lb}$$

$$T_d = 0.05(T_a + T_b + T_c)$$

$$T_d = 0.05(T_a + 31 \text{ lb} + 31 \text{ lb})$$

$$T_d = 3.1 \text{ lb}$$

Fue un resultado tentativo, ya que aún no se cuenta con T_a

$$T_e = 12 \text{ Dpi} \times w_i$$

Calculamos w_i .

$$W_i = C f x y$$

$$T_e = 12 \text{ Dpi} \times C f x y$$

Donde:

$$Cf = \frac{0.75 \times 0.01 \text{ pie}^3}{9/6}$$

$$Cf = 0.005 \frac{\text{pie}^3}{\text{pie de faja}}$$

$$T_e = 12 \text{ Dpi} \times C f x y$$

$$T_e = 12 \left(\frac{8''}{12} \right) \times 0.005 \frac{\text{pie}^3}{\text{pie de faja}} \times 100 \frac{\text{lb}}{\text{pie}^3}$$

$$T_e = 1.6 \text{ lb}$$

$$T_f = (0.01 \text{ a } 0.02) \sum T$$

$$T_f = 0.01(31 \text{ lb} + 31 \text{ lb} + 3.1 \text{ lb} + 3.29 \text{ lb}) = 0.68 \text{ lb}$$

$$T_f = 0.02(31 \text{ lb} + 31 \text{ lb} + 3.1 \text{ lb} + 3.29 \text{ lb}) = 1.37 \text{ lb}$$

Considerar $T_f = 1.37 \text{ lb}$, aun no considero T_a

Suma de tensiones:

Lado de faja mayor tensión.

$$T_1 = T_a + (31 \text{ lb} + 31 \text{ lb} + 3.1 \text{ lb} + 3.29 \text{ lb} + 1.37 \text{ lb})$$

$$T_1 = T_a + 69.76 \text{ lb}$$

Lado de faja de menor tensión.

$$T_2 = T_a + T_b + \left(\frac{T_d + T_f}{2}\right)$$

$$T_2 = T_a + 31 \text{ lb} + \left(\frac{3.1 + 1.37}{2}\right)$$

$$T_2 = T_a + 33.2 \text{ lb}$$

Se eligió el de más valor, ya que $T_2 =$ es el lado más flojo de la faja $T_1 = T_a + 69.76 \text{ lb}$, además para los espesores de cubierta es de 3/16" y el espesor que hace contacto con el polín es de 1/16"

SERIE EP 125

INFORMACIONES TÉCNICAS SOBRE LAS FAJAS TRANSPORTADORAS POLIESTER / NYLON		EP 250/2	EP 400/3	EP 500/4
Tipo PLYLON®		2	3	4
Número de telas		2	3	4
Empalmes mecánicos	kN/m de ancho	23.0	35.0	46.0
	lbf/pul de ancho	131.0	200.0	263.0
Empalmes vulcanizados	kN/m de ancho	25.0	40.0	50.0
	lbf/pul de ancho	143.0	228.0	286.0
Peso aproximado de la carcasa	Kg/m2	3.0	4.7	6.4
	Lb/ft2	0.6	0.9	1.3
Peso de Cubierta 1/32 pul	Kg/m2	0.9	0.9	0.9
Espesor B o stacker	mm	2.1	3.3	4.5
Espesor de la carcasa	pulg	0.1	0.1	0.2
Indice de impacto	Lb-pulg	3200	4700	5400

Figura 22. Dimensiones de faja

Cálculo con respecto al peso de la banda.

$$T_a = A + B' + B''$$

$$A = \text{peso del alma} \times \text{ancho de faja} \times \# \text{ de pliegues} \times \frac{L}{2}$$

$$A = 3 \frac{kg}{m^2} \times 0.127 m \times 2 \times \frac{12.6 m}{2}$$

$$A = 4.8 kg$$

$$B' = \text{peso de cubierta} \times \text{ancho de faja} \times \frac{\text{Longitud de faja}}{2}$$

$$B' = 0.9 \frac{kg}{m^2} \times 0.127 m \times \frac{12.6 m}{2}$$

$$B' = 0.72 kg$$

$$B'' = \frac{\text{peso de cubierta} \times \text{ancho de faja} \times \text{espesor} \times \frac{\text{Longitud de faja}}{2}}{\text{espesor}}$$

$$B'' = \frac{0.9 \frac{kg}{m^2} \times 0.127 m \times 0.00158 m \times \frac{12.6 m}{2}}{0.00476 m}$$

$$B'' = 1.44 kg$$

Cálculo de ta:

$$T_a = A + B' + B''$$

$$T_a = 4.8 kg + 0.72 kg + 1.44 kg$$

$$T_a = 6.96 kg = 15.3 lb$$

Se reemplaza en:

$$T_d = 0.05(T_a + 63.45 + 70.5)$$

$$T_d = 0.05(15.3lb + 31lb + 31lb)$$

$$T_d = 3.81 lb \text{ Se corrigió con } T_a$$

$$T_f = 0.01(15.3lb + 31 lb + 31 lb + 3.1 lb + 3.29 lb) = 0.84 lb$$

$$T_f = 0.02(15.3lb + 31 lb + 31 lb + 3.1 lb + 3.29 lb) = 1.67 lb$$

Cálculo de las tensiones T1 Y T2

$$T_1 = 15.3lb + 69.76 lb = 85.06 lb$$

$$T_2 = 15.3lb + 33.2 lb = 48.5 lb$$

j. Cálculo del diámetro de la flecha motriz.

La flecha motriz se calculó con la sumatoria de las fuerzas que se ejercen sobre el eje, como la tensión T1, T2 y peso del tambor motriz del libro martin se seleccionó, un tambor de tipo mecanizado de diámetro 8", longitud de cara 8", donde estiman un peso de 27 lb

$$F_{max} = T1 + T2 + PESO DE TAMBOR$$

$$F_{max} = 85.06lb + 48.5lb + 27 lb$$

$$F_{max} = 160.6 lb = 72.6 kg, \text{ convertidos a newton.}$$

$$F_{max} = 711.96 N$$

Momento torsor:

$$M_t = F_{max} \times \text{Radio de polea}$$

$$M_t = 72.6 kg \times 10.16 cm$$

$$M_t = 737.62 kgcm = 72.33 Nm$$

Momento flector:

$$M_f = \frac{3F_{max} \times \text{distancia entre apoyos}}{4}$$

$$M_f = \frac{3(72.6 kg) \times 34,3 cm}{4}$$

$$M_f = 1867.64 Kg cm$$

Momento ideal:

$$M_i = \sqrt{M_t^2 + M_f^2}$$

$$M_i = \sqrt{737.62 Kgcm^2 + 1867.64 Kgcm^2}$$

$$M_i = 2008.02 Kgcm = 196.9 Nm$$

Calcular diámetro de eje:

$$D = \sqrt[3]{\frac{5M_i}{600}}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{5(2008.02)}{600}}$$

$$D = 2.6 cm = 30 mm$$

k. Cálculo de rpm:

$$RPM = V \times (60)(\pi) \times 0.124$$

$$RPM = 1.16 \frac{m}{s} \times (60)(\pi) \times 0.124$$

$$RPM = 24 RPM$$

I. Cálculo de potencia de motor de elevador de cangilones.

Se determinó por el momento torsor anteriormente calculado.

$$Potencia = \frac{T \times RPM}{716}$$

Donde:

T : Torque; $774.2 \text{ kgcm} = 7.7 \text{ kg m}$

V : Velocidad

$$Potencia = \frac{7.7 \times 62.9 \text{ rpm}}{716}$$

$$Potencia = 0.67 \text{ hp} = 3/4 \text{ HP}$$

3.6.4. Cálculos para la tolva de almacenamiento de arena.

El silo además de su almacenaje también trae instalado una válvula de paletas rotativa en la parte inferior la cual será el dosificador para vaciar el silo y llenar el tanque de arenado.

Cantidad de arena 786 kg

$$\rho = \frac{m}{v}; \quad v = \frac{m}{\rho}$$

$$v = \frac{786 \text{ kg}}{1600 \text{ kg/m}^3} = 0.49 \text{ m}^3$$

a. Cálculo de volumen cilíndrica de la tolva

$$v_c = \pi x r^2 x h$$

$$v_c = 3.1416 x (0.4\text{m})^2 x (1.2 \text{ m})$$

$$v_c = 0.60 \text{ m}^3$$

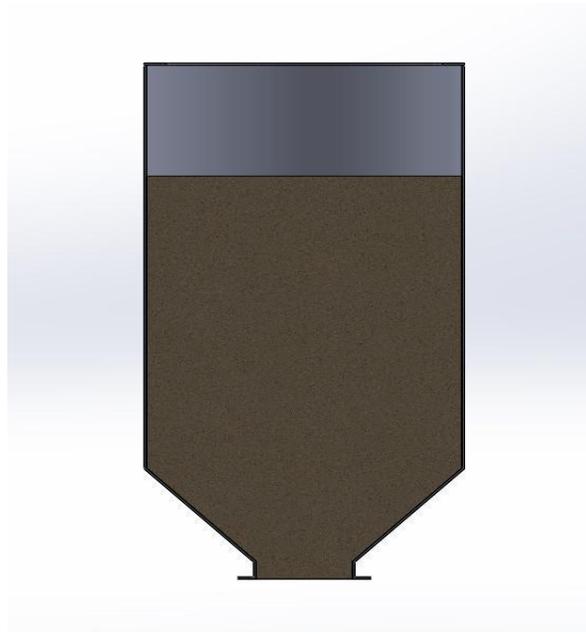


Figura 23. Tolva de almacenamiento de arena.

3.6.5. Cálculo de la válvula rotativa.

La válvula rotativa es la que se encarga de llenar la arena en el tanque arenador proveniente de la tolva de almacenamiento. La cantidad de arena calculada es de 800 kg la cual es evacuada en el tiempo de 1 min.

a. Cálculo del volumen de arena que pasa por la válvula rotativa.

$$\rho = \frac{m}{v}; \quad v = \frac{m}{\rho}$$

$$v = \frac{786 \text{ kg}}{1600 \text{ kg/m}^3} = 0.5 \text{ m}^3$$

b. Cálculo de caudal.

$$Q = v/t$$

$$Q = 0.5 \text{ m}^3/1 \text{ min}$$

$$Q = 0.5 \text{ m}^3/\text{min} = 17.7 \text{ pie}^3/\text{min}$$

Utilizando la tabla del fabricante como referencia, tenemos que para la válvula rotativa de tamaño 10, se tiene 1.3 pie³/min a una velocidad de 30 rpm como opción de máximas rpm, por lo tanto tenemos.

$$0.6 \frac{\text{pie}^3}{\text{rev}} \times 30 \text{ rpm} = 18 \text{ pie}^3/\text{min}, \text{ siendo el valor aproximado deseado}$$

Tabla 20. Velocidades de válvulas rotativas según el caudal.

Tamaño	N° de agujeros		Válvula rpm	Cap. válvula (cu ft/rev)	Soporte de motor hp	Dimensiones en pulg.										L(EJE DE VÁLVULA)
	red	cuad				B	C	D	E	F	G	H	J			
6	8	8	22	0.2	1/3 O 1/2	8	9.3	14.3	8.8	15	9.3	7.5	6.8	1.2		
8	8	12	22	0.6	1/2 O 3/4	10	11.3	17.1	10.2	19	11.3	9.5	8.6	1.3		
10	12	16	22	1.3	1/2, 3/4 O 1	12	13.3	19	11.2	23	13.3	11.5	10.6	1.4		
12	12	16	22	2.5	3/4, 1 O 1.5	14	15.3	21.2	12.3	27	16.1	13.5	12.6	1.4		
16	16	20	22	6.2	1, 1.5 O 2	18	19.3	25.6	14.6	35	20.1	17.5	16.6	1.7		
20	24	24	20	12.6	1.5 O 2	22	23.4	31	17.5	43.4	24.3	21.7	20.7	2.2		
24	24	28	18	21.0	1.5 O 2	26.1	27.5	35	19.4	49.5	27.4	24.8	23.8	2.2		
30	32	32	15	43.0	3 O 5	32.1	33.5	41	22.4	61.5	34.5	30.8	29.8	2.2		

Fuente: Catálogo de fabricantes Donaldson

AN VÁLVULAS ROTATIVAS

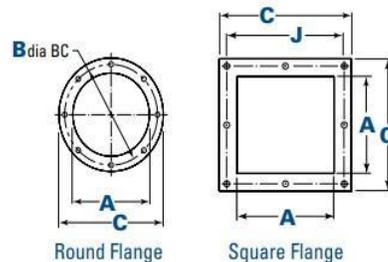
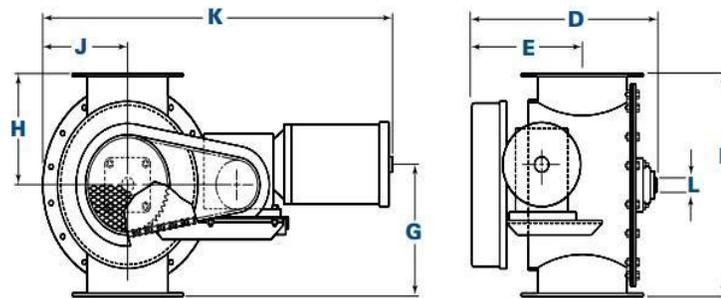


Figura 24. Dimensiones de válvulas rotativas

3.6.6. Cálculo del tanque arenador.

Se estimó una cantidad de 786 kg de arena, con la condición que 393 kg se almacene en el silo y 393 kg en el tanque arenador, la densidad de la arena es de 1600 kg/m³.

Se interpretó en las tablas de fabricantes de tanques arenadores, que mientras más masa de arena se trabaje para arenar, el porcentaje de volumen para el aire comprimido debe ser mayor. Como por ejemplo para 120 kg de arena es el 75% del volumen del tanque y el 25% es para ocupar el aire comprimido, para 800kg de arena es el 59% del volumen del tanque mientras el 41% representa el aire comprimido, otro caso es para 3200 kg de arena la cual es el 40% de volumen del tanque y el otro 60% es para ocupar el aire. Con estos datos destacados de tabla, se pasó a diseñar un tanque en donde la cantidad de arena sea el 75% del volumen del tanque y el 25 % represente al aire comprimido. Tanque para arena con las siguientes medidas con un cono de ángulo de 35 °, la cual es mayor al ángulo de reposo de la arena.

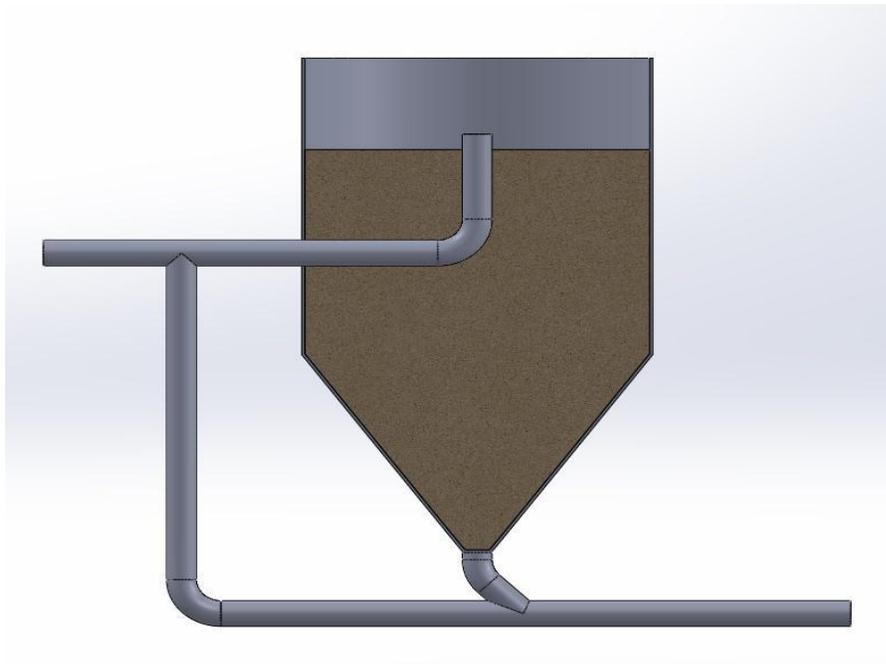


Figura 25. Capacidad del tanque arenador.

Se dimensiona el tanque con la finalidad de poder seleccionar de forma adecuada un equipo para la limpieza abrasiva mediante los catálogos de fabricantes de acuerdo a las necesidades del proyecto.

a. Cálculo volumen de arena

ρ : Densidad de la arena 1600 kg/m³

m: Cantidad de arena 393 kg

$$\rho = \frac{m}{v}; \quad v = \frac{m}{\rho}$$

$$v = \frac{393 \text{ kg}}{1600 \text{ kg/m}^3} = 0.25 \text{ m}^3$$

b. Volumen de la sección cilíndrica del tanque arenador.

$$v_c = \pi x r^2 x h$$

$$v_c = 3.1416 x (0.350 \text{ m})^2 x (0.481 \text{ m})$$

$$v_c = 0.185 \text{ m}^3$$

c. Volumen de la sección cónica truncada del tanque arenador

$$v_{ct} = \frac{1}{3} \pi x h x (R^2 + r^2 + (R x r))$$

$$v_{ct} = 1.0472 x 0.463 \text{ m} x ((0.350)^2 + (0.026 \text{ m})^2 + (0.350 x 0.026))$$

$$v_{ct} = 0.064 \text{ m}^3$$

d. Volumen total que ocupa la arena.

$$v_t = v_c + v_{ct}$$

$$v_t = 0.185 \text{ m}^3 + 0.064 \text{ m}^3$$

$$v_t = 0.25 \text{ m}^3$$

e. Se determinó el porcentaje de la arena con respecto al volumen total del tanque.

$$\frac{0.25 \text{ m}^3}{75\%} = \frac{x}{25\%}$$

$$x = 0.083 \text{ m}^3$$

f. El volumen que ocupa el aire comprimido es de:

$$v_c = \pi x r^2 x h$$

$$0.083 \text{ m}^3 = \pi x 0.350^2 x h$$

$$h = 0.216 \text{ m}$$

Las dimensiones generales del tanque son de altura 1166 mm, diámetro de 700 mm, con un cónico truncado en la parte inferior de grado 35°.

g. La sección cónica del tanque arenador debe soportar esfuerzos longitudinales y circunferenciales.

Esfuerzo longitudinal:

$$\sigma_{long} = \frac{P X r}{2e X (\cos \alpha)}$$

Donde:

P: presión de trabajo en psi(100 psi)

r: radio(350 mm = 13.779")

e: espesor de plancha

cos α : ángulo de caída

$$\sigma = \frac{100 \text{ PSI} X 13.779''}{2(0.25'') X (\cos 35^\circ)}$$

$$\sigma = 3364.21 \text{ psi}$$

Esfuerzo circunferencial.

$$\sigma_{cir.} = \frac{P X r}{e X (\cos \alpha)}$$

$$\sigma_{cir.} = \frac{100 \text{ PSI} X 13.779''}{0.25'' X (\cos 35^\circ)}$$

$$\sigma_{cir.} = 6728.42 \text{ psi}$$

h. Cálculo de factor de seguridad.

En este punto se estimó el límite de fluencia del material y calcularemos el factor de seguridad. Se estima un acero ASTM A36 con fluencia mínima S_y : 250 MPa= 36259.4 psi y resistencia a la tracción S_u : 400 MPa

$$F.S. = \frac{S_y}{\sigma_{cir.}}$$

$$F.S. = \frac{36259.4}{6728.42} = 5.4$$

Es un resultado de factor de seguridad suficiente para la presión estimada.

3.7. Mecanismos de accionamiento de tubería.

3.7.1. Diseño soporte de tubería cálculo de eje de polín.

Para el diseño de los componentes de la cabina fue necesario contar con la masa de la tubería de acero al carbono de 24" SCH 40, la cual es de 1531.44 kg= 15 023.43 N. La tubería está soportada por unos polines y por un cabezal con mordazas la cual hace girar la tubería accionado por un motor.

Se encontró las fuerzas de la tubería sobre 2 apoyos, para ello es necesario realizar un análisis estático, mediante el uso del programa MD Solids 4.0. la cual se ejecutó la tubería como si fuera una viga con su peso distribuido.

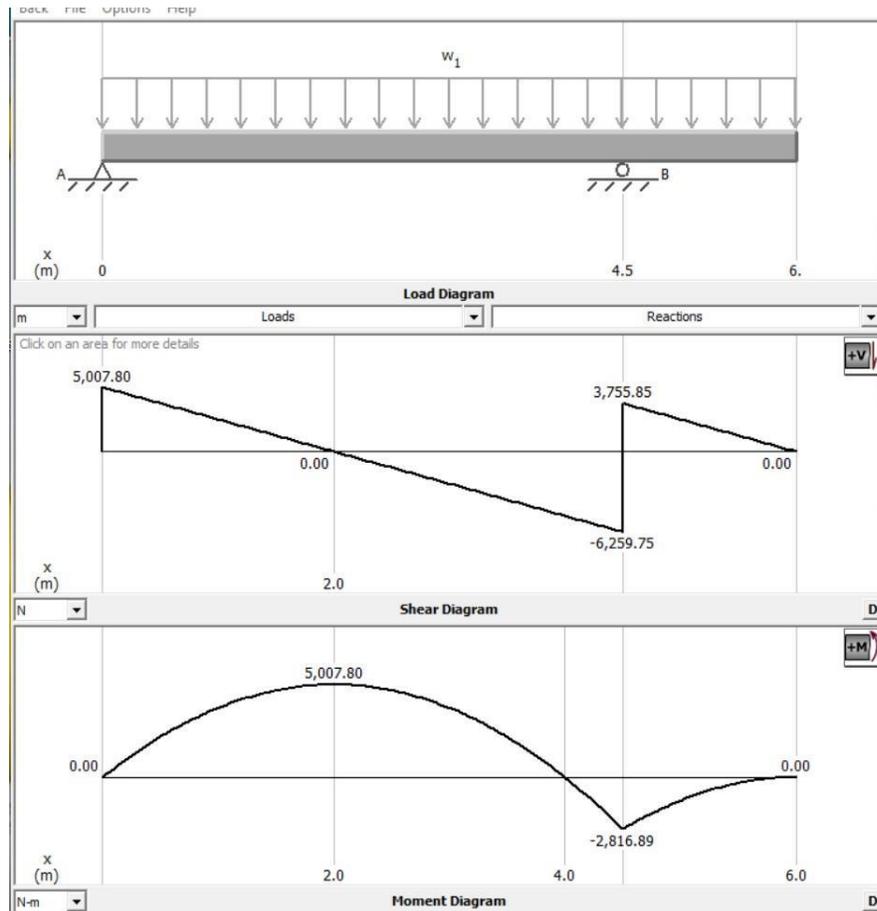


Figura 26. Diagrama de esfuerzos y cortantes de tubería sobre 2 apoyos.

Cálculo teórico de reacciones.

$$\begin{aligned}
 \Sigma F_y &= 0 \\
 RA + RB - WL &= 0 \\
 RA &= WL - RB \\
 RA &= \left(\frac{15\,023.43\text{ N}}{6\text{ m}} \right) \times 6\text{ m} - RB \quad (1) \\
 \Sigma M_c &= 0 \\
 -RA(6\text{ m}) - RB(1.5\text{ m}) + (3\text{ m} \times W \times L) &= 0 \\
 (3\text{ m} \times W \times L) &= RA(6\text{ m}) + RB(1.5\text{ m}) \\
 \left(3\text{ m} \left(\frac{15\,023.43\text{ N}}{6\text{ m}} \right) 6\text{ m} \right) &= \left(\left(\frac{15\,023.43\text{ N}}{6\text{ m}} \right) 6\text{ m} - RB \right) (6\text{ m}) + RB(1.5\text{ m}) \\
 45\,070.29\text{ Nm} &= 90\,140.58\text{ Nm} - 6\text{ m}RB + 1.5\text{ m}RB \\
 45\,070.29\text{ Nm} - 90\,140.58\text{ Nm} &= -4.5\text{ m}RB \\
 \frac{-45\,070.29\text{ Nm}}{-4.5\text{ m}} &= RB \\
 RB &= 10\,015.62\text{ N} \quad (2)
 \end{aligned}$$

Se reemplazó (2) en (1) para hallar RA

$$\begin{aligned}
 RA &= \left(\frac{15\,023.43\text{ N}}{6\text{ m}} \right) \times 6\text{ m} - RB \\
 RA &= \left(\frac{15\,023.43\text{ N}}{6\text{ m}} \right) \times 6\text{ m} - 10\,015.62\text{ N} \\
 RA &= 5\,007.8\text{ N}
 \end{aligned}$$

Para el diseño de los polines se utilizó la fuerza de reacción en B ya que es en donde va el soporte con polines, pero esta será distribuida en 2 ya que son dos polines. $RB = 10\,015.62\text{ N}$, la posición de los soportes va en 45.

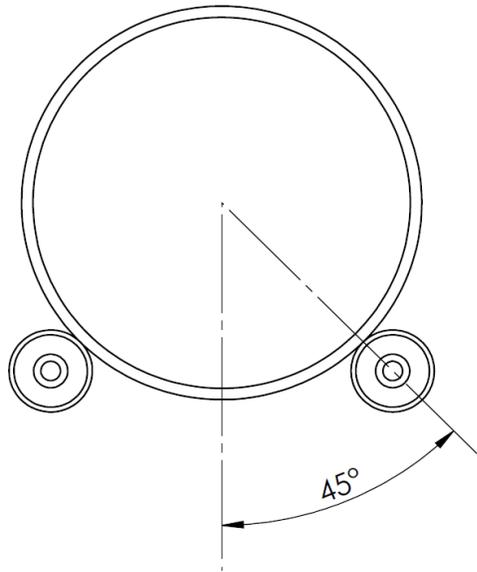


Figura 27. Posicionamiento de polines.

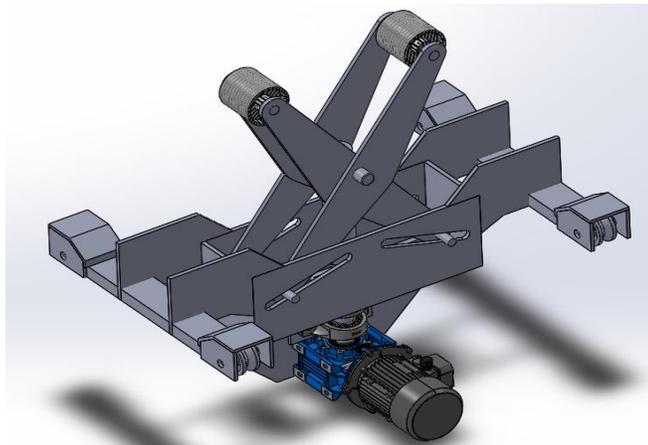


Figura 28. Esquema de soporte de tubería.

3.7.2. Cálculo teórico de reacciones en eje de polín.

$$\begin{aligned} \Sigma F_y &= 0 \\ R_A + R_B &= W \\ R_A + R_B &= \text{SEN}(45^\circ) \left(\frac{10\,015.62\text{ N}}{2} \right) \\ R_A + R_B &= 3541.06 \quad (1) \\ \Sigma M_B &= 0 \\ R_A(210) &= \text{SEN}(45^\circ) \left(\frac{10\,015.62\text{ N}}{2} \right) (105) \\ R_A &= \frac{371\,810.923\text{ Nm}}{210\text{m}} \end{aligned}$$

$$R_A = 1770.53 N \quad (2)$$

Se reemplazó (2) en (1):

$$\begin{aligned} R_A + R_B &= 3541.06 N \\ R_B &= 3541.06 - 1770.53 \\ R_B &= 1770.53 \end{aligned}$$

Se determinó si existe deslizamiento entre los elementos de la tubería a arenar y los polines de soporte se realiza mediante:

$$f_s \leq \mu_s \times N$$

Donde:

f_s : es la reacción que se ejerce sobre el polín

μ_s : Coeficiente de acero con acero (0.74)

N: fuerza normal de la tubería con respecto al ángulo.

$$\begin{aligned} f_s &\leq \mu_s \times N \\ 1770.53 N &\leq 0.74 \times 3541.06 N \\ 1770.53 N &\leq 2620.38 N \end{aligned}$$

Con este resultado es donde se cumple la desigualdad lo que significa que no existió deslizamiento y girara al mismo tiempo que el polín.

3.7.3. Cálculo del diámetro del eje de polín.

Se eligió un tipo de material. AISI 1020 laminado en frío, es un acero para medianos esfuerzos.

Resistencia de tracción: $S_{ut} = 420.507 MPa$

Límite elástico: $S_y = 351.571 MPa$

Se establece una relación para el diseño del eje.

$$\begin{aligned} \frac{D}{d} &= \frac{35}{25} = 1.4 \\ \frac{r}{d} &= \frac{3}{25} = 0.12 \\ k_t &= 1.6 \end{aligned}$$

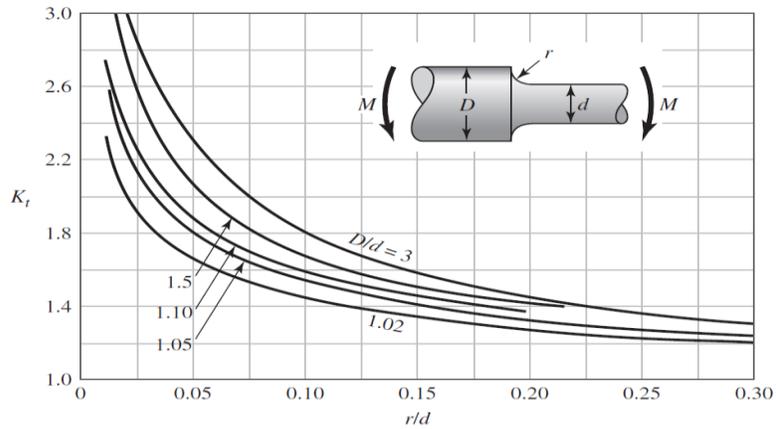


Gráfico 2. Valores \$k_t\$ con respecto a la relación de radio y diámetro de libro Shigley.

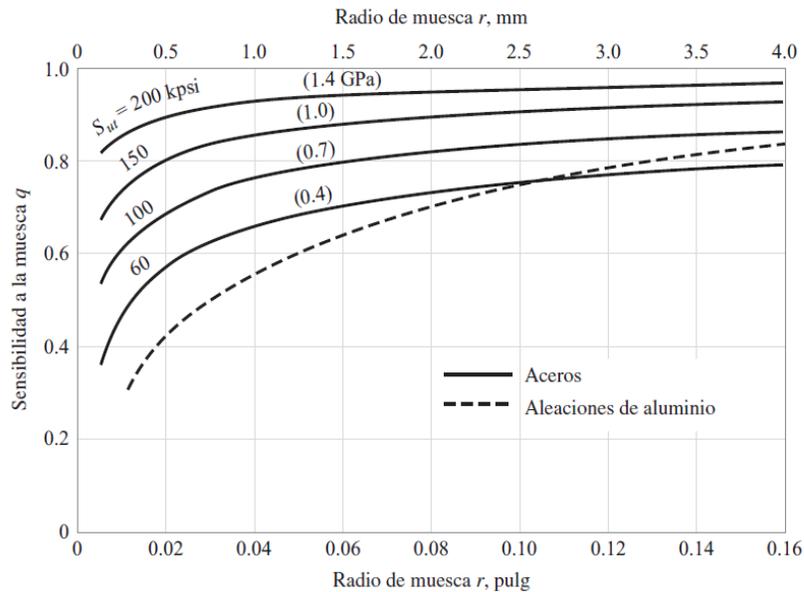


Gráfico 3. Valores \$q\$ con respecto al radio del libro de Shigley

Cálculo de \$k_f\$: con la gráfica se verificó que de acuerdo al radio de muesca 3mm \$q=0.79\$

$$k_f = 1 + q(kt - 1)$$

$$k_f = 1 + 0.79(1.6 - 1)$$

$$k_f = 1.553$$

Se encontraron los factores que modifican el límite de la resistencia a la fatiga.

$$s_e = k_a k_b k_c k_d k_e S'_e$$

Donde;

Ka: Factor de modificación por la condición superficial

Kb: Factor de modificación por el tamaño

Kc: Factor de modificación por la carga

Ke: Factor de confiabilidad

S'e: Límite de resistencia a la fatiga en viga giratoria

Se: Límite de resistencia a la fatiga

Factor de superficie:

$$k_a = a \times S_{ut}^b$$

De acuerdo a la tabla:

a= 4.51 MPa

b= -0.265

$$k_a = 4.51 \times 420.507^{-0.265}$$
$$k_a = 0.91$$

Factor de tamaño

$$k_b = 1.24(25)^{-0.107}$$
$$k_b = 0.88$$

Factor de carga: flexión: 1

$$k_c = 1$$

Factor kd: trabajo de temperatura:

$$k_d = 1$$

Factor de confiabilidad: 99.9%

$$k_e = 0.753$$

Límite de resistencia a la fatiga en viga giratoria:

$$S'_e = 0.5 \times S_{ut}$$
$$S'_e = 0.5 \times 420.507 \text{ MPa} = 210.2535 \text{ MPa}$$

Obtenidos los factores.

$$s_e = k_a k_b k_c k_d k_e S'_e$$

$$s_e = 0.91 \times 0.88 \times 1 \times 1 \times 0.753 \times 210.3$$

$$s_e = 126.8 \text{ MPa}$$

Momento alternante: mediante el programa MDSolids 4.0 se sometió el eje a un estudio estático, con la aplicación de la fuerza total del peso de la tubería.

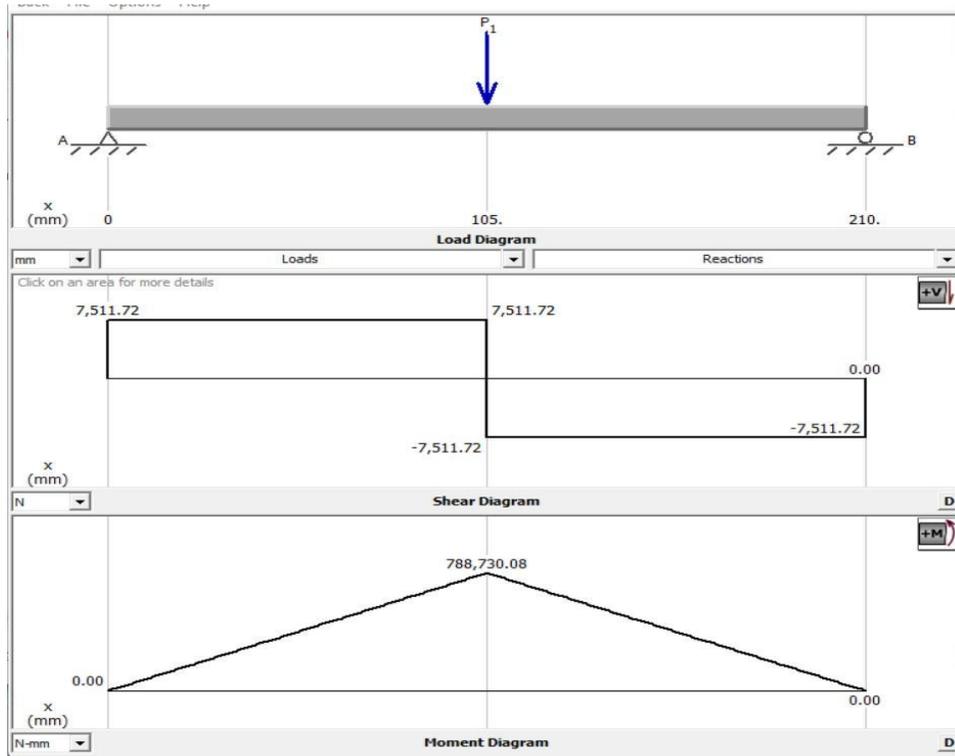


Figura 29. Análisis de esfuerzos en MDSolids 4.0

Mediante el programa MDSolids 4.0 se determinó el momento alternante a una distancia de 41.5 mm del eje, donde se localiza la concentración de esfuerzos.

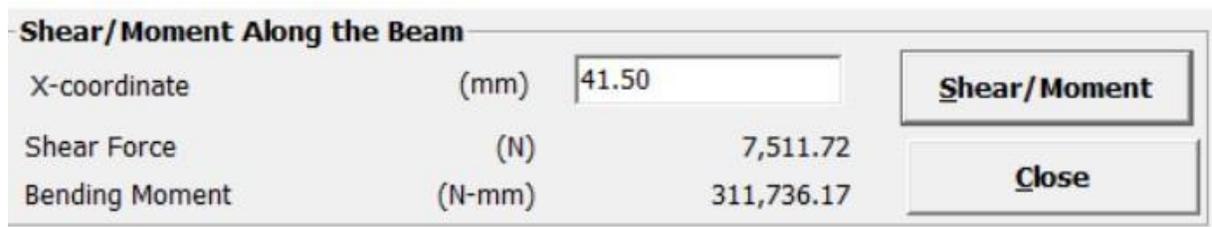


Figura 30. Momento alternante mediante Software MDSolids 4.0

Cálculo teórico del momento alternante, por el principio de áreas.

$$M_a = 7511.72(105) - 7511.72(63.5)$$

$$M_a = 311\,736.38 \text{ Nmm} = 311.7 \text{ Nm}$$

Ecuación Goodman: estimaremos un factor de carga de 2.

$$d = \frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{s_e} [4(kf \times Ma)^2]^{\frac{1}{2}} \right\}^{1/3}$$

$$d = \left(\frac{16(2)}{3.1416} \left\{ \frac{1}{126\,800\,000 \text{ Pa}} [4(1.55 \times 311.7 \text{ Nm})^2]^{\frac{1}{2}} \right\} \right)^{1/3}$$

$$d = 0.0426 \text{ m} = 42.6 \text{ mm}$$

Tomaremos como diámetro 45 mm

El esfuerzo máximo en ese punto está dado por la ecuación de

$$\sigma_{max} = \frac{Maxc}{i}$$

$$\sigma_{max} = \frac{311.7 \times 0.0225 \text{ m}}{\frac{\pi \times 0.045^4}{64}} = 34.8 \text{ MPa}$$

Se realizó el análisis en SolidWorks, donde en la concentración de esfuerzos máximos es 35.9 MPa, como se muestra en la imagen, y es cercano al calculado. Además, el análisis no sobrepasa el límite elástico del material.

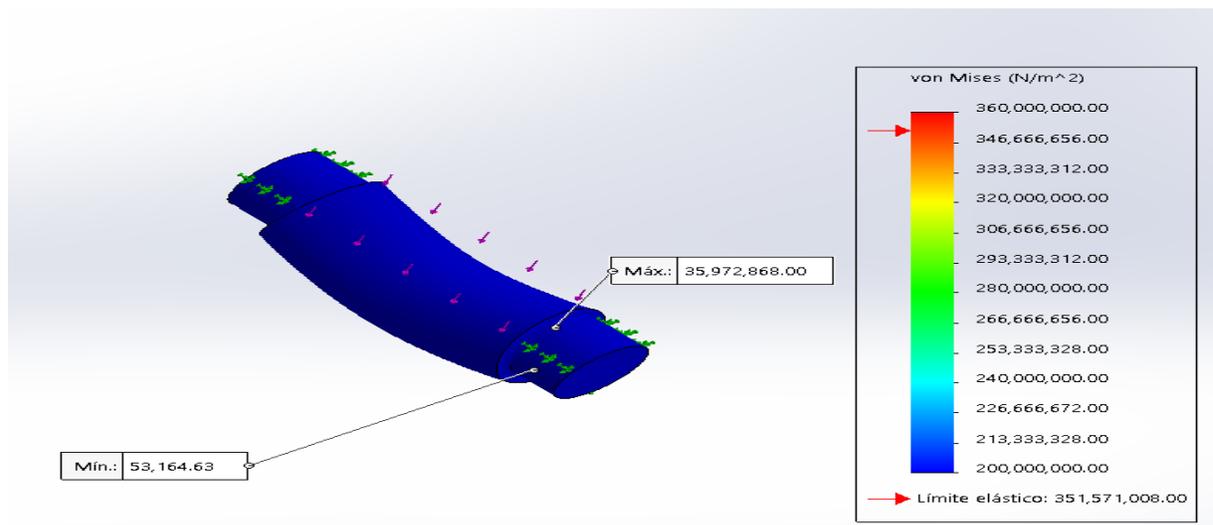


Figura 31. Análisis de eje de polín en SolidWorks

3.7.4. Cálculo del eje roscado para levantar los polines

Para tener un cálculo aproximado se estableció que el mecanismo sea usado mediante cojinetes radiales, para realizar el movimiento rotacional del eje en donde se estima que la fuerza rozamiento en el collarín sea cero. Además el eje roscado es de material AISI 1045 por ser el más usado en maquinaria.

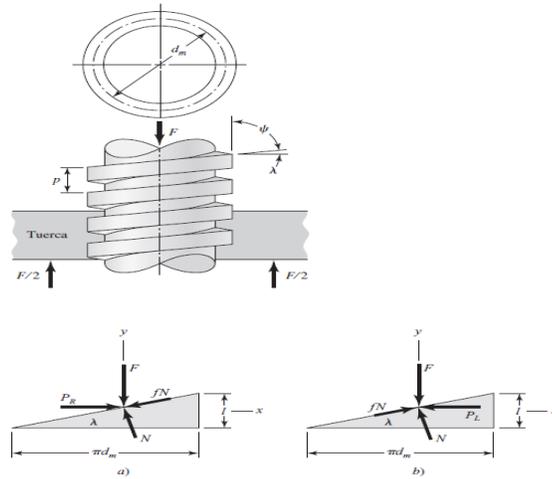


Figura 32. Tornillo sometido a fuerzas de compresión

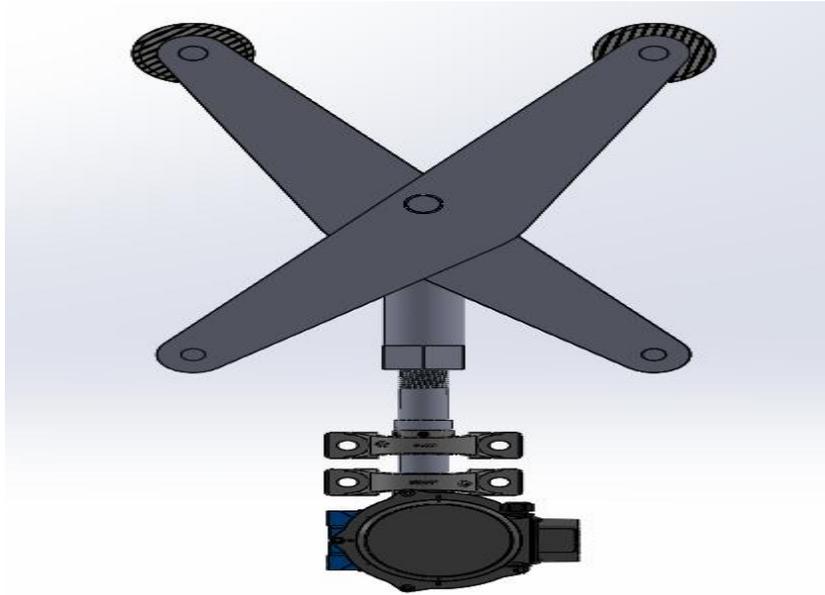


Figura 33. Representación de eje de potencia para levantar tuberías

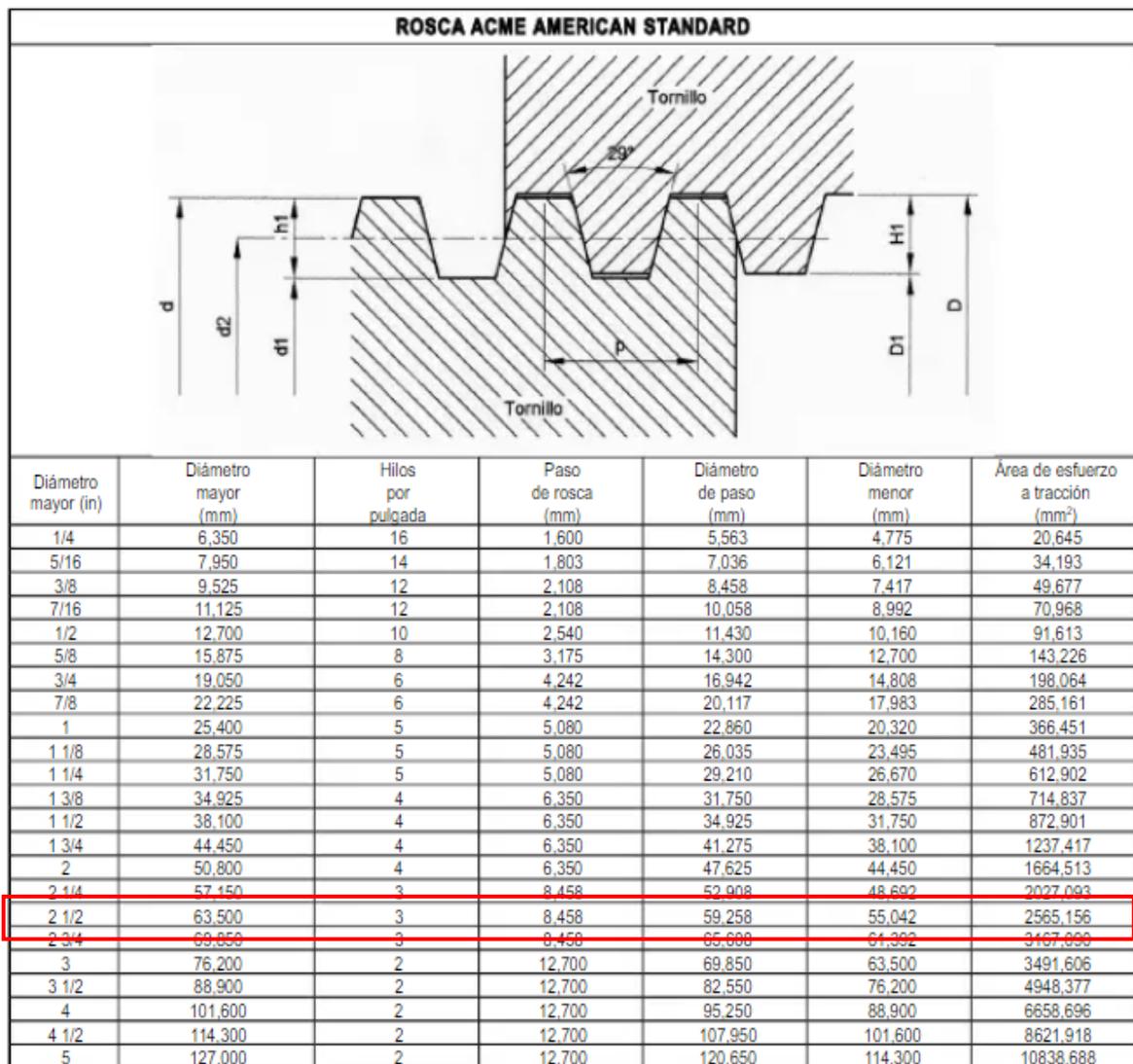


Figura 34. Roscas ACME

Como opción tentativa se escogió un perno de 2.5" = 63.5mm de diámetro mayor, 3 hilos por pulgada, 8.458 mm de paso=0.333", diámetro de paso 59.258 mm, diámetro menor 55.042 mm, 2565.156 mm² área de esfuerzo de tracción.

a. Cálculo de dimensiones de perno

Altura de diente.

$$h = 0.5 \times \text{paso} + 0.01$$
$$h = 0.5 \times 0.333" + 0.01 = 0.1765"$$

Base de diente.

$$b = 0.6296 \times \text{paso} + 0.0052$$
$$b = 0.6296 \times 0.333" + 0.0052 = 0.215"$$

Radio de raíz.

$$r_r = \frac{\text{Diámetro exterior}}{2} - \text{altura del diente}$$
$$r_r = \frac{2.5"}{2} - 0.1765" = 1.0735"$$

Radio medio

$$r_m = \frac{R + r}{2}$$
$$r_m = \frac{1.25" + 1.0735"}{2} = 1.162"$$

Avance por vuelta.

$$l = \text{tipo de rosca} \times \text{paso}.$$

$$l = 1 \times 0.333" = 0.333"$$

b. Cálculo del torque.

Se necesita para levantar y bajar el soporte, además de sostener la tubería, la fuerza que se ejerce sobre el perno es de 2270 lb, la cual fue calculada anteriormente como viga aumentando el peso de los polines y la estructura, se considera $\theta = 14.5^\circ$, y un factor de rozamiento en tornillos de potencia de 0.15.

$$T = W(r_m(\frac{\tan \alpha + f/\cos\theta_n}{1 - f \tan \alpha + \cos\theta_n}))$$

c. Cálculo de $\tan \alpha$

$$\begin{aligned}\tan \alpha &= \frac{\text{avance}}{2\pi x r_m} \\ \tan \alpha &= \frac{0.333''}{2\pi (1.162'')} = 0.046 \\ T &= W \left(r_m \left(\frac{\tan \alpha + f / \cos \theta_n}{1 - f \tan \alpha / \cos \theta_n} \right) \right) \\ T &= 2270 \text{ lb} (1.162'' \left(\frac{0.046 + 0.15 / \cos(14.5)}{1 - (0.15)(0.046) / \cos(14.5)} \right)) \\ T &= 685.8 \text{ lb} - \text{pulg} = 77.5 \text{ Nm}.\end{aligned}$$

d. Condición de auto-bloqueo

$$\begin{aligned}f &> \tan \alpha \\ 0.1 &> 0.046\end{aligned}$$

e. Cálculo de esfuerzo axial de compresión sobre núcleo del tornillo.

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{P}{A} \\ \sigma &= \frac{2270 \text{ lb}}{\pi (1.0735^2)} = 627 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}\end{aligned}$$

f. Esfuerzo cortante en el cuerpo del tornillo como eje sólido.

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{Tr}{J} \\ \tau &= \frac{16(685.8)}{\pi x (1.0735 x 2)^3} = 352.9 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}\end{aligned}$$

g. Esfuerzo de aplastamiento en los hilos de la rosca

$$\begin{aligned}\sigma_{Ap} &= \frac{P}{A} \\ \sigma_{Ap} &= \frac{2270}{h x 2\pi x r_m x n^\circ \text{ de dientes}} \\ \sigma_{Ap} &= \frac{2270 \text{ lb}}{0.1765'' x 2\pi x 1.162'' x 6} = 293.6 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}\end{aligned}$$

h. Esfuerzo cortante en los hilos de la rosca

$$\tau = \frac{v}{A} = \frac{v}{\frac{bx2\pi x r_m x n^\circ \text{ de dientes}}{2270 \text{ lb}}}$$
$$\tau = \frac{v}{0.215 * (2\pi x 1.162" x 6)} = 241 \frac{\text{lb}}{\text{pulg.}^2}$$

i. Esfuerzo de flexión en los hilos de la rosca.

$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$
$$\sigma = \frac{F(h/2)(b/2)12}{2\pi x r_m x b^3 x n^\circ \text{ de dientes}}$$
$$\sigma = \frac{2270 \text{ lb}(0.1765"/2)(0.215"/2)12}{2\pi x 1.162" x 0.215^3 x 6} = 593.6 \frac{\text{lb}}{\text{pulg.}^2}$$

j. Cálculo de potencia de motor eléctrico que realiza el accionamiento del tornillo de potencia

Se determinó la velocidad de subida, se tomó como dato la distancia de una tubería de 3" a una de 24" dando una distancia de 270 mm, el avance por vuelta del tornillo de potencia es de 0.333"= 8.46 mm.

$$270 \text{ mm}/8.46 \text{ mm} = 32 \text{ vueltas de giro}$$

Se determinó las vueltas de 32 para realizar ese recorrido, por lo tanto se necesita una velocidad prudencial para poder calibrar con exactitud la altura del polín 0.5 rev/s sería lo más óptimo, ya que el sistema de posicionamiento lo debe calibrar el operario por lo tanto, la velocidad es de 8.5 mm/s.

$$\text{Potencia} = \frac{T x RPM}{716}$$

Donde:

T : Torque; 685.8 lb – pulg= 7.9 kg m

RPM : Revoluciones

$$Potencia = \frac{7.9 \text{ kgm} \times 30 \text{ rpm}}{716}$$

$$Potencia = 0.33 \text{ hp} = 0.5 \text{ hp}$$

Para el análisis del perno de potencia, se simuló solo la parte del tornillo que hace contacto con la tuerca, esta última tiene una longitud de 2 pulgadas siendo una totalidad de 6 hilos, en la tuerca es donde se aplica la fuerza, la cual es el encargado de soportar la tubería, mediante el análisis de SolidWorks se determinó el esfuerzo axial de compresión ejercida sobre el cuerpo del tornillo siendo un resultado negativo.

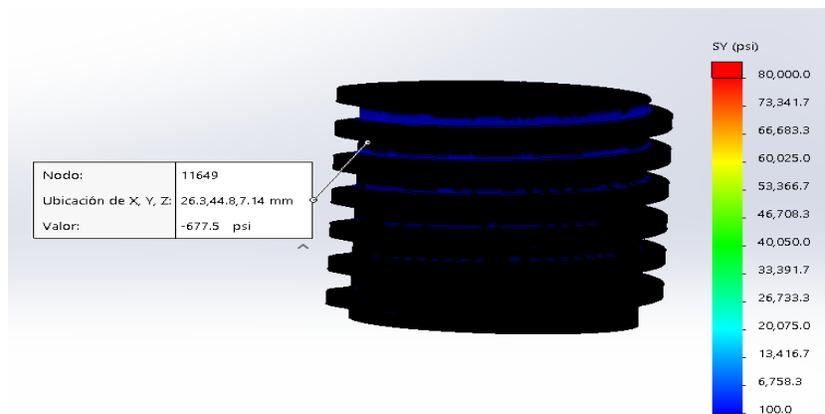


Figura 35. Tornillo sometido en software SolidWorks 2018.

Se demostró que tiene un esfuerzo de 593.6 psi cercano al esfuerzo de flexión de rosca calculado anteriormente.

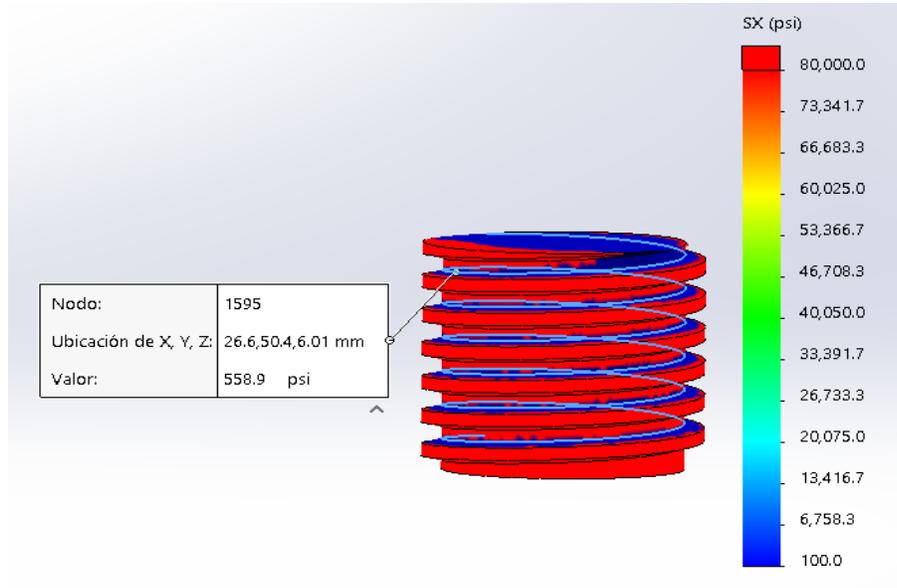


Figura 36. Tornillo sometido a software SolidWorks

Mediante el análisis se encontró el esfuerzo cortante del tornillo de potencia de 241 psi cercano al mostrado en la simulación.

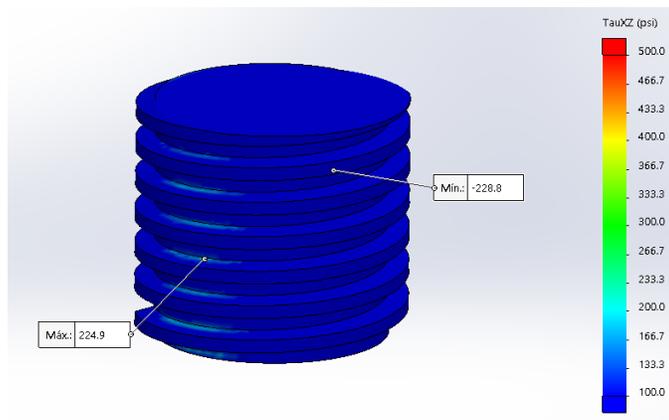


Figura 37. Tornillo sometido en software SolidWorks

3.7.5. Cálculo de mecanismo para rotar tubería.

La calidad del acabado superficial está bajo la norma SSPC-SP 10 / NACE N° 2 Limpieza con Chorro de abrasivo Granallado Semi-Blanco. La velocidad que gira la tubería de 24 pulgadas está de acuerdo a la ratio del trabajo de la boquilla, el proceso dura de 57.5 min, en donde la tubería rota sobre su eje longitudinal y a la vez un carro se desplaza de manera longitudinal a lo largo de la tubería, la cual será encargado de proyectar la arena sobre la superficie. Además, para que los sistemas mecánicos no sean muy lentos el tiempo se ha dividido en 4 pasadas de limpieza abrasiva, teniendo una duración de 14.4 min por pasada.

a. Cálculos de área por proyección de boquilla en relación al diámetro de la tubería

La proyección de la boquilla es de 3"= 0.0762 m, el área en una rotación de la tubería de 24" con respecto a la boquilla. Dato tomado de la pagina Graco la cual usan los diámetros de las mismas boquillas venturi.

$$\begin{aligned}L_c &= \pi \times \emptyset \text{ ext.} \\L_c &= 3.1416 \times 609.6\text{mm} \\L_c &= 1\,915.12\text{mm} \\ \text{ÁREA DE BOQUILLA} &= L_c \times \text{long. de tubería} \\ \text{ÁREA DE BOQUILLA} &= 1\,915.12 \text{ mm} \times 76.2 \text{ mm} \\ \text{ÁREA DE BOQUILLA} &= 145\,932.144 \text{ mm}^2 = 0.15 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Con una regla de tres se determinó el tiempo en la cual se demora la boquilla en realizar esta pequeña área pero en el tiempo de 14.4 min ya que es la duración de una pasada de abrasivo en el área de la tubería, en este tiempo es de una limpieza al 25%.

$$\frac{11.5\text{m}^2}{14.4 \text{ min}} \times \frac{0.15\text{m}^2}{x} \\ x = 0.18 \text{ min} = 10.8 \text{ s}$$

Este resultado lo determinamos como la duración de proyección del abrasivo en una vuelta, por lo tanto, lo expresamos de la siguiente manera, convirtiéndolo en rpm y a radianes.

$$\frac{1 \text{ rev}}{10.8 \text{ segundos}} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 5.6 \text{ rpm} = 0.58 \text{ rad / s} = 0.18 \text{ m/s}$$

De esta forma se determinaron las velocidades para las distintas dimensiones de tuberías.

Tabla 21. *Tiempo de limpieza abrasiva por pasada para cada tubería.*

Tubería	LC mm	Diámetro mm	Área de tub mm ²	m ²	Tiempo min	Min/ 4 pasadas
24"	1915.12	609.6	11490716.16	11.5	57.5	14.4
20"	1595.93	508	9575596.8	9.6	47.9	12.0
18"	1436.34	457.2	8618037.12	8.6	43.1	10.8
16"	1276.75	406.4	7660477.44	7.7	38.3	9.6
14"	1117.15	355.6	6702917.76	6.7	33.5	8.4
12"	1017.25	323.8	6103500.48	6.1	30.5	7.6
10"	857.66	273	5145940.8	5.1	25.7	6.4
8"	688.32	219.1	4129947.36	4.1	20.6	5.2
6"	528.73	168.3	3172387.68	3.2	15.9	4.0
4"	359.08	114.3	2154509.28	2.2	10.8	2.7
3"	279.29	88.9	1675729.44	1.7	8.4	2.1

Fuente: Elaboración propia

La tabla nos indica el tiempo que demora la limpieza externa de cada tubería dividido en 4 pasadas de limpieza abrasiva.

Tabla 22. *Velocidad de rotación de las tuberías.*

A. proyección mm ²	m ²	min	seg	1 rev/t en seg.	rev/min
145932.1	0.15	0.18	10.9	0.09	5.6
121610.1	0.12	0.15	9.1	0.11	6.6
109449.1	0.11	0.14	8.2	0.12	7.3
97288.1	0.10	0.12	7.3	0.14	8.2
85127.1	0.09	0.11	6.4	0.16	9.4
77514.5	0.08	0.10	5.8	0.17	10.3

65353.4	0.07	0.08	4.9	0.20	12.2
52450.3	0.05	0.07	3.9	0.25	15.3
40289.3	0.04	0.05	3.0	0.33	19.9
27362.3	0.03	0.03	2.1	0.49	29.2
21281.8	0.02	0.03	1.6	0.63	37.6

Fuente: Elaboración propia

Esta tabla determina las revoluciones de cada tubería con respecto a su eje longitudinal para realizar la limpieza abrasiva.

Tabla 23. *Velocidad de limpieza del carro longitudinal.*

	Tiempo	Velocidad. m/min
24"	14.4	0.42
20"	12.0	0.50
18"	10.8	0.56
16"	9.6	0.63
14"	8.4	0.72
12"	7.6	0.79
10"	6.4	0.93
8"	5.2	1.16
6"	4.0	1.51
4"	2.7	2.23
3"	2.1	2.77

Fuente: Elaboración propia

La tabla hace referencia a la velocidad que se desplaza el carro porta boquilla de la limpieza externa, de acuerdo al tiempo que se realiza en una pasada de la limpieza abrasiva.

Tabla 24. *Velocidad de limpieza del carro longitudinal con respecto de un variador de frecuencia.*

Hertz	Rango de velocidades rpm	m/min
60	52.9	2.7
55	48.5	2.5

50	44.1	2.2
45	39.7	2.0
40	35.3	1.8
35	30.9	1.6
30	26.4	1.3
25	22.0	1.1
20	17.6	0.9
15	13.2	0.7
10	8.8	0.4

Fuente: Elaboración propia

La tabla 24, conlleva las velocidades estimadas mediante el variador de frecuencia, la cual se usará para poder llegar a las velocidades necesarias estimadas en la tabla 23.

b. Cálculo de la aceleración angular de la tubería.

En este punto se considera que la tubería parte del reposo, teniendo una velocidad inicial cero.

$$\theta = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2$$

$$\alpha = \frac{2\theta}{t^2}$$

$$\alpha = \frac{2(0.58 \frac{rad.}{s})}{1s}$$

$$\alpha = 1.16 \frac{rad}{s^2}$$

c. Cálculo de inercia de la Tubería

$$I = M \times R^2$$

$$I = (1530.84 \text{ kg})(0.3048m)^2$$

$$I = 142.22 \text{ kg.m}^2$$

d. Cálculo de torque con respecto a la inercia de la tubería.

$$T = I\alpha$$

$$T = 142.22 \text{ kg.m}^2 \times 1.16 \frac{rad}{s^2}$$

$$T = 164.74 \text{ Nm}$$

Este es el torque para vencer la inercia de la tubería, la cual está apoyada sobre polines y un adaptador la cual lo hace rotar.

e. Potencia de motor. $P = 4.5 \times 10^{-4} \times 1500 \text{ kg} \times 0.18 \text{ m/s} +$
 $1.2 \times 10^{-4} \times 500 \text{ kg} \times 0.609 \text{ m} \times 5.6 \text{ rpm}$

$$P = 0.326 \text{ kw} = 0.44 \text{ hp}$$

En los sistemas de transmisión por cadena se estimó un factor de 1.5 según el libro de Robert L. Mott., ya que contará con varias velocidades.

$$P = 0.44 \text{ hp} \times 1.5 = 0.66 \text{ hp} = 1 \text{ hp}$$

Tabla 25. *Factor en transmisiones por cadena*

Tipo de carga	Tipo de impulsor		
	Impulsor hidráulico	Motor eléctrico o turbina	Motor de combustión interna con transmisión mecánica
Uniforme (agitadores, ventiladores, transportadores con carga ligera y uniforme)	1.0	1.0	1.2
choque moderado (máquinas herramientas, grúas, transportadores pesados, mezcladoras de alimento y molinos)	1.2	1.3	1.4
Choque pesado (prensas de troquelado, molinos de martillo, transportadores alternos, accionamiento de molino de rodillos)	1.4	1.5	1.7

Fuente: Libro de Robert L. Mott.,

Se determinó la relación de transmisión de acuerdo al rango de velocidades la cual comprende de 5.5 rpm mínimas para tuberías grandes hasta 37.6 rpm como máxima para tubería de menor diámetro, para ello se realiza con un variador de frecuencia y una relación de transmisión por cadena, la catarina que lleva el motor principal es de 15 dientes, para las velocidades que comprenden las tuberías de 8" hasta 24" tienen una catalina de 61 dientes y para las velocidades más altas las cuales la comprenden

las tuberías de diámetro 3” hasta 6” una catalina de 25 dientes, se determinó de esta forma para economizar en el proyecto.

De acuerdo a los cálculos estimados es necesario seleccionar un motorreductor y una caja reductora la cual permite alcanzar las revoluciones estimadas en las anteriores tablas, se selecciona un motor de 1 hp con caja reductora de salida de 45 rpm de relación 40.



Especificaciones técnicas

Fabricante	WEG o Chino
Motorreductor	Sinfin corona
Referencia	NMRV
Voltajes disponibles	1 fase 110 voltios - 2 fases 220 voltios - 3 fases 220 voltios
Potencia motor	1hp
Relaciones	7.5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60 y 100
Velocidades de salida	240, 180, 120, 90, 45, 36, 30 y 18 rpm respectivamente.
Caja reductora	Estructura aluminio
tamaño caja reductora	T50, T63, T75 y T90

Figura 38. Datos de motor

Cálculo de velocidades.

$$D1 \times N1 = D2 \times N2$$

$$15 \text{ dientes} \times 45 \text{ rpm} = 45 \text{ dientes} \times N2$$

$$15 \text{ rpm} = N2$$

Tabla 26. Velocidades estimadas por variador

Hertz	RPM	Diámetro de tuberías
60	15	8
55	13.75	10
50	12.5	12
45	11.25	14
40	10	16

35	8.75	18
30	7.5	20
25	5.5	24

Fuente: Elaboración propia

$$D1 \times N1 = D2 \times N2$$

$$15 \text{ dientes} \times 45 \text{ rpm} = 40 \text{ dientes} \times N2$$

$$16.87 \text{ rpm} = N2$$

Tabla 27. Velocidades estimadas por variador

Hertz	RPM	Diámetro de tuberías
52	19.47	6"
34	29.77	4"
27	37.5	3"

Fuente: Elaboración propia

Las tablas 26 y 27, estiman la velocidad con la configuración de las transmisiones por cadenas, para poder llegar a las velocidades de las tuberías que rotan para ser arenadas.

f. Cálculo de eje de transmisión para rotar tubería.

Se usará un eje AISI 1020 ya que es usado en maquinaria de mediana resistencia.

Resistencia de tracción: $S_{ut} = 420.507 \text{ MPa}$

Límite elástico: $S_y = 351.571 \text{ MPa}$

Torque 100 Nm

En el otro extremo está la carga de 4999.176 N la cual

$$M_c = 4999.176 \text{ N} \times 0.083 \text{ m} = 414.93 \text{ Nm}$$

Como dato conservador y para iniciar los cálculos tenemos una relación $r/d=0.02$; en donde (flexión) $K_t=2.7$; (torsión) $k_t=2.2$

Tabla 28. *Estimaciones de concentraciones de esfuerzos*

	Flexión	Torsión	Axial
Filete de hombro: agudo($r/d=0.02$)	2.7	2.2	3.0

Fuente: diseño mecánico de Shigley

Mediante análisis se pueden determinar: $M_a=414.93\text{Nm}$; $M_m=0$; $T_a=0$; $T_m=100\text{Nm}$

Mediante la gráfica encontramos los factores $q=0.8$; $q_s=0.9$. Pero estos también fueron estimados ya que aún no conocemos el radio de muesca, mediante estos factores se pudo calcular k_f y k_{fs} ; donde:

$$k_f = 1 + q(kt - 1) = 1 + 0.8(2.7 - 1) = 2.4$$

$$k_{fs} = 1 + q_s(k_{ts} - 1) = 1 + 0.9(2.2 - 1) = 2.1$$

Calcular el diámetro con un análisis estático de la fluencia con base a la teoría de distorsión.

$$\sigma'_{max} = \left[\left(\frac{32k_f M_a}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left(\frac{32k_{fs} T_m}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{1/3}$$

Se despejó d:

$$d = \left\{ \left[\frac{16n}{\pi S_y} \left(4(k_f M_a)^2 + 3(k_{fs} T_m)^2 \right) \right]^{1/2} \right\}^{1/3}$$

$$d = \left\{ \left[\frac{16(3)}{\pi 351.571 \times 10^6} \left(4(2.4 \times 414.93)^2 + 3(2.1 \times 100)^2 \right) \right]^{1/2} \right\}^{1/3} = 0.0445\text{m} = 44.5 \text{ mm}$$

Este es resultado de análisis estático de la fluencia con la energía de distorsión, la cual por el autor lo considera muy pequeño.

Se realizó el cálculo mediante otra teoría.

Cálculo de la fatiga.

$$S'_e = 0.5 S_{ut}$$

$$s_e = k_a k_b S'_e$$

Factor de superficie (maquinado)

$$k_a = a \times Sut^b$$

Tabla 29. Factor de acabado superficial

Acabado Superficial	Factor a		Exponente b
	Sut, Kpsi	Sut MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Salido de forja	39.9	272	-0.995

Fuente: Diseño mecánico de shigley

a= 4.51 MPa

b= -0.265

$$k_a = 4.51 \times 420.507^{-0.265}$$

$$k_a = 0.91$$

Factor de tamaño

Se consideró un dato tanto conservador como el de 0.85

$$k_b = 0.85$$

Cálculo de factores de resistencia a la fatiga.

$$s_e = k_a k_b S'_e$$

$$s_e = 0.91(0.85)0.5 (420.507 MPa)$$

$$s_e = 162.63 MPa$$

Usaremos la teoría de ED- ASME elíptica

$$d = \left\{ \left[\frac{16n}{\pi} \left(4 \left(\frac{k_f M_a}{s_e} \right)^2 + 3 \left(\frac{k_{fs} T_m}{S_y} \right)^2 \right) \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

$$d = \left\{ \left[\frac{16(3)}{\pi} \left(4 \left(\frac{2.4 \times 414.93 Nm}{162.63 \times 10^6} \right)^2 + 3 \left(\frac{2.1 \times 100 Nm}{351.571 \times 10^6} \right)^2 \right) \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 0.0573m = 57.3 mm$$

Este diámetro aproximado nos sirvió para re-calcular el diámetro pero con el factor de tamaño kb, ya que anteriormente se dedujo.

Re-cálculo de k_b con este diámetro.

$$\begin{aligned}k_b &= 1.51 d^{-0.157} \\k_b &= 1.51(57.3)^{-0.157} \\k_b &= 0.799\end{aligned}$$

Anteriormente se dio como suposición de la relación de radios, ahora con el diámetro encontrado de 44.5 mm se calcula el radio.

$$\frac{r}{d} = 0.02; \quad r = 0.02(57.3) = 1.146 \text{ mm}$$

Con este resultado se eligió de nuevo q y q_s mediante las gráficas.

$$\begin{aligned}q &= 0.7; \quad q_s = 0.75 \\k_f &= 1 + q(kt - 1) = 1 + 0.7(2.7 - 1) = 2.2 \\k_{fs} &= 1 + q_s(k_{ts} - 1) = 1 + 0.75(2.2 - 1) = 1.9\end{aligned}$$

Re-cálculo de S_e

$$\begin{aligned}s_e &= k_a k_b S'_e \\s_e &= 0.91(0.799)0.5 (420.507 \text{ MPa}) \\s_e &= 152.87 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Re-cálculo de la teoría de ED- ASME elíptica.

$$\begin{aligned}d &= \left\{ \left[\frac{16n}{\pi} \left(4 \left(\frac{k_f M_a}{s_e} \right)^2 + 3 \left(\frac{k_{fs} T_m}{S_y} \right)^2 \right) \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} \\d &= \left\{ \left[\frac{16(3)}{\pi} \left(4 \left(\frac{2.2 \times 414.93 \text{ Nm}}{152.87 \times 10^6} \right)^2 + 3 \left(\frac{1.9 \times 100 \text{ Nm}}{351.571 \times 10^6} \right)^2 \right) \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} \\d &= 0.05677 \text{ m} = 56.7 \text{ mm}\end{aligned}$$

Este es el diámetro menor del eje escalonado para realizar el giro de la tubería, para lo cual se puede deducir que para el diseño el diámetro mayor es de 60 mm, obtenido el diámetro se procede a seleccionar las chumaceras de pie con el mismo diámetro del eje.

3.7.6. Cálculo de mecanismo para actuador lineal de limpieza externa e interna

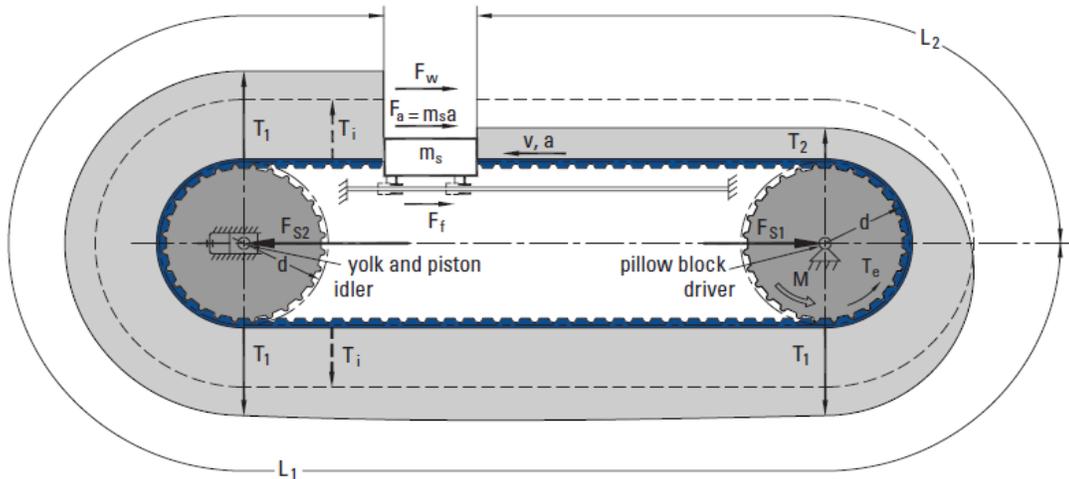


Figura 39. Representación esquemática teórica de un actuador lineal con soporte y faja

a. Cálculo de la faja

Mediante las velocidades del carro longitudinal, se escogió la velocidad más alta la cual es 2.77 m/min = 0.05 m/s siendo esta la velocidad final, suponiendo que el carro longitudinal de limpieza parte del reposo, para recorrer una longitud de 6.2 m.

Cálculo de la aceleración mediante la fórmula de MRUV.

$$d = v_0 t + \frac{a}{2} t^2$$

$$6.2 = \frac{a}{2} (1s)^2$$

$$a = 12.4 \frac{m}{s^2}$$

Para calcular la tensión de la faja está determinado por los siguientes factores

$$T_e = F_a + F_f + F_w + W_s + F_{ai} + F_{ab}$$

Donde:

Fa: es la fuerza requerida por la aceleración.

Ff: factor de rozamiento

Fw: es la fuerza externa si existiera.

Ws: es el peso del porta boquilla (en este caso no se considera ya que este es suspendido por una estructura)

Fai: fuerza requerida para acelerar la polea.

Fab: fuerza requerida para acelerar la masa de la correa.

Cálculo Fa: está comprendido por el producto de la masa del carro porta boquilla y su aceleración

$$F_a = \text{masa del carro porta boquilla} \times \text{aceleracion}$$
$$F_a = 45 \text{ kg} \times 12.4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 558 \text{ N}$$

Cálculo Ff: está compuesto por polines de goma que rueda sobre acero y su factor es de 0.04.

$$F_f = \mu \times m_s \times g$$
$$F_f = 0.04 \times 45 \text{ kg} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$
$$F_f = 17.66 \text{ N}, \text{ consideraremos } 20 \text{ N}$$

Tensión efectiva.

$$T_e = F_a + F_f$$
$$T_e = 558 \text{ N} + 20 \text{ N}$$
$$T_e = 578 \text{ N}$$

Selección de faja.

Mediante el gráfico se seleccionó la faja AT5.

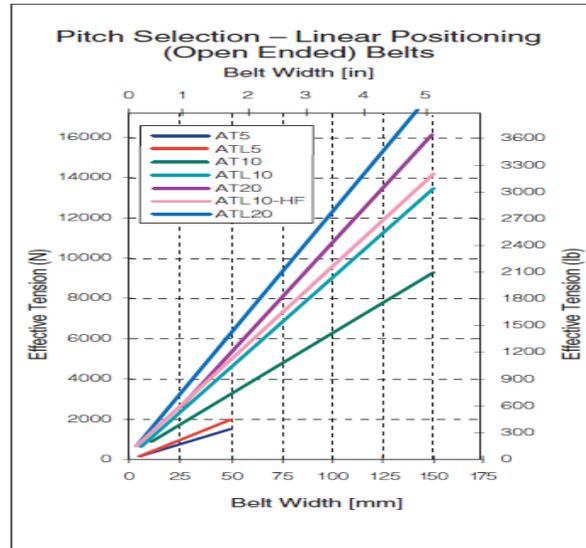


Gráfico 4. Selección de faja

Cálculo del número de dientes de la puela

Se estimó un diámetro de puela de 4"=101.6 mm

$$Z_p = \frac{\pi x d}{p}$$

$$Z_p = \frac{3.1416 x 101.6}{5}$$

$$Z_p = 63.8 = 64 \text{ dientes}$$

Determinar el diámetro de paso pitch

$$d = \frac{p \times Z_p}{\pi}$$

$$d = \frac{5 \times 64 \text{ dientes}}{3.1416}$$

$$d = 101.86 \text{ mm}$$

Número de dientes de la correa.

$$Z_b = 2 \times \frac{C}{p} + Z_p$$

$$Z_b = 2 \times \frac{7200}{5} + 64$$

$$Z_b = 2944 \text{ dientes.}$$

Longitud de correa.

$$L = Z_b \times p$$

$$L = 2944 \times 5$$

$$L = 14\,720 \text{ mm}$$

Número de dientes engranados.

$$Z_m = \frac{Z_p}{2}$$

$$Z_m = \frac{64}{2} = 32 \text{ dientes}$$

Pretensión de la correa.

$$T_i = 1.1 \times T_e$$

$$T_i = 1.1 \times 578 \text{ N}$$

$$T_i = 635.8 \text{ N}$$

Tensión lateral máxima apretada

$$T_{1max} = T_i + T_e$$

$$T_{1max} = 635.8 \text{ N} + 578 \text{ N}$$

$$T_{1max} = 1213.8 \text{ N}$$

Tensión máxima del lado flojo.

$$T_{2max} = T_{1max} - T_e$$

$$T_{2max} = 1213.8 \text{ N} - 578 \text{ N}$$

$$T_{2max} = 635.8 \text{ N}$$

Mediante las especificaciones tiene un trabajo máximo recomendado de la correa dentada de 1625 N/25 mm

Ancho de banda para soportar

$$b \geq \frac{T_{1max}}{T_{1all}}$$

$$b \geq \frac{1213.8 \text{ N}}{1625 \text{ N}} \times 25 \text{ mm}$$

$$b \geq 18.67 \text{ mm}$$

Tensión efectiva admisible de acuerdo a la tabla. T_{eall} : 1270 N/25 mm

El factor para el número de dientes engranados lo tomaremos como $T_m = 1$ como factor conservador ya que supera el límite de la tabla 30.

Tabla 30. Factor a considerar por la cantidad de dientes envueltos.

N° dientes engranados	Diente en factor de engranaje
3	0.39
4	0.5
5	0.59

6	0.67
7	0.74
8	0.8
9	0.85
10	0.89
11	0.92
12	0.95
13	0.97
14	0.99
15	1

Fuente: Correas Gates.

Factor de acuerdo a la velocidad.

La velocidad es pequeña por lo tanto se eligió un factor conservador de $T_v=1$

Tabla 31. Factor a considerar por su velocidad.

Speed		Speed factor t_v
ft/min	m/s	
0	0	1
200	1	0.99
400	2	0.98
600	3	0.97
800	4	0.95
1000	5	0.93
1200	6	0.9
1400	7	0.87
1600	8	0.84
1800	9	0.81
2000	10	0.77

Fuente: Correas Gates.

Ancho de banda para transmitir.

$$b \geq \frac{T_e}{T_{eall} \times T_m \times T_v}$$

$$b \geq \frac{1270N}{25mm \times 1 \times 1}$$

$$b \geq 11.37 \text{ mm}$$

Para mayor rigidez y estética se estimó una de 76.2 mm=3"

Fuerza máxima en el eje de la transmisión.

$$F_{s1max} = T_{1max} + T_{2max}$$

$$F_{s1max} = 1213.8 N + 635.8 N$$

$$F_{s1max} = 1849.6 N$$

Fuerza máxima en el eje en la rueda de tensora.

$$F_{s2max} = 2x T_{1max}$$

$$F_{s2max} = 2x 1213.8 N$$

$$F_{s2max} = 2427.6 N$$

Rigidez de la correa. Csp: 17 605N/mm

$$k = C_{sp} \times b \times \frac{L1 + L2}{L1 \times L2}$$

$$k = 17\,605 \frac{N}{mm} \times 76.2 \text{ mm} \times \frac{14\,400 \text{ mm}}{7290 \times 7110 \text{ mm}}$$

$$k = 372.72 \frac{N}{mm}$$

Desplazamiento del carro:

$$\Delta x = \frac{F_{st}}{k}$$

$$\Delta x = \frac{20 N}{372.72 \frac{N}{mm}}$$

$$\Delta x = 0.053 < 0.1 \text{ mm}$$

b. Cálculo del Torque.

$T = \text{sumatoria de fuerzas de tensión} \times \text{radio de polea.}$

$$T = (1849.6 N + 2427.6 N) \times 0.0508$$

$$T = 217.3 Nm$$

Velocidad en rpm de la faja

$$2.77 \text{ m/min} = 0.045 \text{ m/s}$$

$$Vt = \frac{\pi DN}{60 \times 1000}$$

$$0.045 \text{ m/s} = \frac{\pi (101.6 \text{ mm}) N}{60 \times 1000}$$

$$N = \frac{2700 \frac{mm}{min}}{319.2 \text{ min}}$$

$$N = 8.5 \text{ rev/min} = 0.9 \text{ rad/s}$$

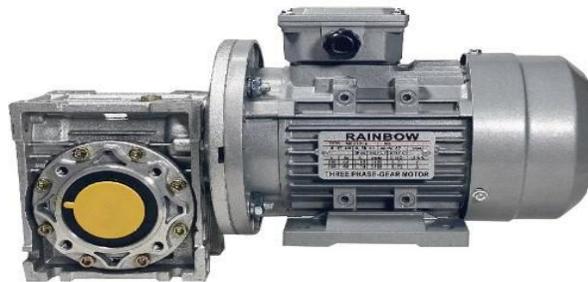
c. Potencia

$$P = T \times N$$

$$P = 217.3 \text{ Nm} \times 0.9 \text{ rad/s}$$

$$P = 195 \text{ W} = 0.5 \text{ hp}$$

d. Elección de motor.



0.5HP – 1/80

MOTORES REDUCTORES

CARACTERÍSTICAS GENERALES

- MODELO: MOTOR REDUCTOR
- TRIFÁSICO: TRIFÁSICO
- POTENCIA: 0.5HP
- VELOCIDAD/BAJA: 1725 RPM
- FRECUENCIA: 60 HZ
- AMP 220V: 1.94
- AMP 380V: 1.12
- KILOWATIO: 0.37 KW
- RATIO: 1/80
- EJE: M 14MM/ C 25MM
- CHAVETA:

Figura 40. Elección del motor.

La elección del motor es parte de los cálculos establecidos anteriormente para satisfacer las velocidades de acuerdo a la demanda de las áreas de las tuberías. Las características del motorreductor es un motor de potencia de 0.5 hp, con reductor de relación de 1/100 con velocidad de salida de 17 rpm. Este motor tiene una relación de transmisión por cadena, catalina conductora de 25 dientes y una catalina de 9 dientes como conducida, para satisfacer las velocidades del carro porta boquilla con el aporte de un variador de frecuencia, véase en la tabla 24, velocidades estimadas por un variador.

Relación de transmisión.

$$D1 \times N1 = D2 \times N2$$

$$\frac{28 \text{ dientes} \times 17 \text{ rpm}}{9 \text{ dientes}} = N2$$

$$52.9 \text{ rpm} = N2$$

3.7.7. Limpieza interna de tuberías de 24"

La limpieza interna de las tuberías se realiza mediante un dispositivo cilíndrico metálico, este último gira sobre su propio eje por la acción de la presión de 2 boquillas que se encuentran instaladas de forma tangencial, la cual son capaces de realizar las revoluciones por acción de la salida del abrasivo a presión por las boquillas.

Considerando que se cuenta con un compresor de 375 CFM = 10.6 m³/min, en el sistema se estimó dos boquillas que tenga una cantidad equitativa de consumo de aire, como la boquilla 01410 = 5/16"x3", de las cuales para el dispositivo en la tabla es necesario contar con un compresor de 365 cfm, además abarcan diámetros desde 8" hasta 17" pero cambiando la longitud de la boquilla, tal como se muestra en la tabla.

Tabla 32. *Dispositivo de limpieza interna*

Dimensiones de limpiadores de superficie interna de tuberías				
Diámetro interior	Aparato centrador	Tamaño de boquilla	Número de boquilla	Compresor de aire recomendado
8" a 17"	03641	1/4" x 1 3/4"	01408	250 cfm
	03641	5/16" x 1 3/4"	01409	365 cfm
	03641	3/8" x 1 3/4"	01411	600 cfm
12" a 24"	04971	5/16" x 3"	01410	365 cfm
24" a 36"	04971	3/8" x 4"	01412	600 cfm
36" a 60"	10560	1/4" x 5 1/4"	04704	250 cfm
	10560	5/16" x 5 5/8"	04704	365 cfm
	10560	3/8" x 6 1/2"	04705	600 cfm

Fuente: Clemco Industries Corp.

Para que se realice el giro del dispositivo es necesario calcular la fuerza de empuje que sale de la boquilla al trabajar, esta presión se reparte por las boquillas a la mitad de 50 psi. Según el catálogo del fabricante las boquillas: se estima una boquilla de 8 mm que trabaja a 50 psi, la cual su consumo de arena es de 212.28 kg/h. siendo el flujo másico de arena en un tiempo, con la cual se puede determinar el caudal.

a. Calculo de caudal:

$$M = \rho x Q$$

Donde:

M: flujo másico por un tiempo: 212.28 Kg/h= 0.06kg/s

P: densidad de la arena: 1600 kg/m³

Q: Caudal

$$M = \rho x Q$$
$$Q = \frac{0.06 \frac{kg}{s}}{1600 \frac{kg}{m^3}}$$
$$Q = 0.0000375 \frac{m^3}{s}$$

Con el caudal se determina la velocidad.

$$Q = A x v$$

Donde:

Q: caudal

A: área

V: velocidad

$$Q = A x v$$
$$v = \frac{0.0000375 \frac{m^3}{s}}{3.1416 x (0.004 m)^2}$$
$$v = 0.746 \frac{m}{s}$$

Esta es la velocidad con la que sale la arena de masa 0.06 kg disparada de la boquilla, ahora mediante la ley de acción y reacción, la cual consiste en que la cantidad de movimiento que hay de un lado es igual al otro:

$$m_1 x v_1 = m_2 x v_2$$
$$0.06 kg x 0.746 \frac{m}{s} = 0.4 kg x v_2$$
$$v_2 = 0.1119 \frac{m}{s}$$
$$V_2 = 0.1119 m/s x 2 = 0.2238 m/s,$$

El dispositivo cuenta con dos boquillas por tal motivo se duplicará la velocidad, el disco giratorio es impulsado para que de las revoluciones necesarias para realizar la limpieza abrasiva.

Cálculo de una velocidad aproximada que gira el dispositivo de limpieza interna.

$$vt = \omega \times r$$

$$\frac{0.2238 \frac{m}{s}}{0.0381 m} = \omega$$

$$\omega = 5.8 \frac{rad}{s}; 55.34 rpm$$

CHORREO INTERIOR DE TUBOS



CLEMCO SPIN-BLAST

Diseñado para limpiar tuberías de diámetros grandes con el mismo impacto directo que las boquillas convencionales. Dos boquillas de carburo de tungsteno hacen girar la cabeza de la herramienta mientras propulsan abrasivo contra la superficie.

Existen dos aparatos centradores para el Spin Blast: el 03641D para Ø de 8" hasta 17" y el 04971D para Ø de 12" hasta 24".

Para tuberías con Ø interiores de 36" hasta 60" existe el Spin Blast Grande

- Ref: 02601D Spin Blast sin centrador con boquilla 1/4" x 1 3/4"
- Ref: 03641D centrador de 8" - 17"
- Ref: 04971D centrador de 12" - 36"
- Ref: 10547D Spin Blast grande sin centrador ni boquillas

Figura 41. Dispositivo de limpieza interna de tubos CLEMCO SPIN-BLAST.

b. Mecanismo para la limpieza interna

La limpieza interna la relacionamos con la velocidad de la limpieza externa del carro longitudinal ya que, en cuanto a las áreas es una pequeña diferencia, además de que el dispositivo gira en el instante que entra el abrasivo con presión. Es necesario realizar un desplazamiento longitudinal por el interior de la tubería para que el dispositivo realice la limpieza, este mecanismo está determinado por un piñón y una cremallera, las características de la transmisión es que en el diseño tienen módulo 3 tanto la cremallera como el piñón, que cuenta con ZP=15 dientes y de paso P=9.42 mm.

Relación de transmisión.

$$D1 \times N1 = D2 \times N2$$

$$\frac{15 \text{ dientes } 17 \text{ rpm}}{13 \text{ dientes}} = N2$$

$$19.62 \text{ rpm} = N2$$

Cálculo de avance en mecanismo piñón y cremallera

$$L = Zp \times Np \times P$$

Donde:

Zp= número de dientes

Np= revoluciones del motor

P= paso del piñón y cremallera

$$L = 15 \times 16.62 \times 9.4248$$

$$L = 2773.1$$

Tabla 33. *Velocidades estimadas para limpieza interna mediante la aplicación de variador de frecuencia.*

Hertz	RPM	velocidades mm/min
60	19.6	2773.1
55	18.0	2542.0
50	16.3	2310.9
45	14.7	2079.8
40	13.1	1848.7
35	11.4	1617.6
30	9.8	1386.5
25	8.2	1155.4
20	6.5	924.4
15	4.9	693.3
10	3.3	462.2

Fuente: Elaboración propia

3.7.8. Cálculo de extractor de polvo y ciclón.

Se estimó un equipo que extraiga las partículas a la velocidad de 22.5 m/s para trabajos en arenado tal como indica la tabla 25.

Tabla 34. *Velocidades recomendadas en ductos de ventilación*

Contaminante	Ejemplo	Veloc. (m/s)
Vapores, gases, humos de combustión	Todos los vapores gases y humos	5 y 10
Humos de soldadura	Soldadura	10 - 12.5
Polvo muy fino y ligero	Algodón, harina de madera y talco	12.5 - 15
Polvos secos	Caucho, baquelita polvo de algodón, polvo de detergente, raspaduras de cuero	15 - 20
Polvo ordinario	Muela de pulir, polvo grano de café, arcilla, fundiciones, etc.	17.5 - 20
Polvos pesados	Aserrado, polvos en chorreados de arena, polvo de barrer, virutas de latón, polvo de plomo, etc	20 - 22.5
Polvo pesado húmedo	Polvo de cemento húmedo, polvo de corte de tubos de amianto-cemento.	>22.5

Fuente: Ventilación industrial.

En la tabla N°25 se califica al polvo de arenado como polvo pesado, con una velocidad en los ductos de 20 a 22.5 m/s para la cual se estimó la velocidad más alta.

De acuerdo a las disposiciones de la tubería que se estimó colocar de 8" = 203.2 mm=0.7 pies, la cual comprende un área transversal de:

$$A = \pi x r^2$$

$$A = \pi x (203.2/2)^2$$

$$A = 32429.3 \text{ mm}^2 = 0.032 \text{ m}^2 = 0.32 \text{ pie}^2$$

Cálculo del caudal que pasa por la tubería.

$$Q = v \times A$$

$$Q = 22.5 \frac{m}{s} \times 0.032 m^2$$

$$Q = 0.675 \frac{m^3}{s} = 1430 cfm$$

Cálculos para las dimensiones del ciclón.

Se estimó un ciclón de alta eficiencia por el tipo de trabajo que se requiere, el caudal anterior calculado es el que va directo al ciclón, mediante este dato se calculó el diámetro del ciclón, mediante las fórmulas y dimensiones de los ciclones se extrajeron las siguientes fórmulas la cual son las que corresponden a la boca de entrada del ciclón, para polvos pesados se recomienda una velocidad de 22.5 m/s.

$$a = 0.5 \times DC$$

$$b = 0.2 \times DC$$

$$Q = v \times A$$

$$A = \frac{0.675 \frac{m^3}{s}}{22.5 \frac{m}{s}}$$

$$A = 0.03 m^2$$

$$0.5 DC \times 0.2 DC = 0.03 m^2$$

$$DC = \sqrt{\frac{0.03 m^2}{0.5 \times 0.2}}$$

$$DC = \sqrt{\frac{0.03 m^2}{0.5 \times 0.2}}$$

$DC = 0.547 m$, se estimó un diámetro de 600 mm

Tabla 35. Dimensiones del ciclón.

Dimensiones de ciclón	
DC	600
a	300

b	120
s	300
DS	300
h	900
z	1500
H	2400
B	225

Fuente: Elaboración propia

Longitud de ductos.

Es la longitud que comprende desde la extracción hasta el ciclón 1.5 m= 4.9 pies.

Cálculo de pérdidas en el sistema de extracción.

$$h_{ftotales} = h_{f\ campana} + h_{f\ l\ total} + h_{f\ T\ ciclón}$$

Presión dinámica. La velocidad para el polvo de arenado es de 22.5 m/s = 4429.134 fpm

$$V = 4005\sqrt{PD}$$

$$PD = \left(\frac{4429.134}{4005}\right)^2$$

$$PD = 1.22\ in\ H_2O$$

Cálculo de pérdidas en la campana de extracción, este cálculo se determina por el factor de aceleración considerándose un factor conservador de 1, y las pérdidas que se dan en la entrada por fricción de acuerdo al manual de ventilación industrial lo estimaremos de 1 en sistemas de arenado.

$$h_{f\ cam} = (f_a + h_f) \times PD$$

$$h_{f\ cam} = (1 + 1) \times 1.22$$

$$1. h_{f\ cam} = 2.44\ in\ H_2O$$

Cálculos de pérdida en tramo de tuberías por cada 100 pies de longitud.

$$\frac{hf}{100} = 2.74 x \frac{v(fpm)^2}{D(in)^{1.22}}$$

$$\frac{hf}{100} = 2.74 x \frac{(4429.134 fpm)^2}{8in^{1.22}}$$

$$\frac{hf}{100} = 3.7in H_2O$$

Cálculo de pérdidas en el tramo de tubería 1.5 m=4.9 pies

$$h_{fLtotal} = \frac{hf}{100} x \frac{Lt}{100}$$

$$h_{fLtotal} = 3.7in H_2O x \frac{4.9 pies}{100}$$

$$h_{fLtotal} = 0.18 in H_2O$$

Cálculo de pérdidas en el ciclón por fricción.

El área es de la tubería de succión que es de 0.32 pie², y D es el diámetro del cuerpo del ciclón 20".

$$hfc = \frac{KxA}{D^2}$$

$$hfc = \frac{16 x 0.32pie^2}{\left(\frac{20}{12}\right)^2}$$

$$hfc = 1.84 in H_2O$$

$$hf ciclón = hfc x PD$$

$$hf ciclón = 1.84 in H_2O x 1.22 in H_2O$$

$$hf ciclón = 2.24 in H_2O$$

Cálculos de pérdidas de en el cilindro interno del ciclón, la cual comprende la tubería en salida de aire limpio.

La longitud comprende de 0.9 m= 3 pies

$$\frac{hf}{100} = 2.74 x \frac{v(fpm)^2}{D(in)^{1.22}}$$

$$\frac{hf}{100} = 2.74 x \frac{(4429.134 fpm)^2}{8in^{1.22}}$$

$$h_{fci} = 3.7 \text{ in } H_2O \times \frac{3 \text{ pies}}{100}$$

$$h_{fci} = 0.11 \text{ in } H_2O$$

Cálculo de sumatoria de pérdidas en el ciclón totales

$$h_{ftc} = h_{fci} + h_c$$

$$h_{ftc} = 0.11 + 3.7$$

$$h_{ftc} = 3.81 \text{ in } H_2O$$

Presión estática.

Esta presión es la sumatoria de pérdidas en succión,

$$P_{estática} = h_{fcampana} + h_{f \text{ longitud total}} + h_{f \text{ total en el ciclón}}$$

$$P_{estática} = 2.44 \text{ in } H_2O + 0.18 \text{ in } H_2O + 3.81 \text{ in } H_2O$$

$$P_{estática} = 6.43 \text{ in } H_2O$$

Esta es la presión que va directo hacia el ventilador de succión de partículas de polvo.

Pérdidas por fricción en la descarga del sistema.

Longitud total del sistema de descarga 2 m=6.5 pies

$$\frac{hf}{100} = 2.74 \times \frac{v(\text{fpm})^2}{D(\text{in})^{1.22}}$$

$$\frac{hf}{100} = 2.74 \times \frac{(4429.134 \text{ fpm})^2}{8 \text{ in}^{1.22}}$$

$$\frac{hf}{100} = 3.7 \text{ in } H_2O$$

$$h_{ftldescarga} = \frac{hf}{100} \times \frac{Lt}{100}$$

$$h_{ftldescarga} = 3.7 \text{ in } H_2O \times \frac{6.5}{100}$$

$$h_{ftldescarga} = 0.24 \text{ in } H_2O$$

Pérdidas en el difusor, donde $f_p=1$, como factor conservador

$$\begin{aligned}
 hfdifusor &= fpxPD \\
 hfdifusor &= 1 \times 1.22 \text{ in } H_2O \\
 hfdifusor &= 1.22 \text{ in } H_2O
 \end{aligned}$$

Pérdidas totales en la descarga.

$$\begin{aligned}
 hftdescarga &= hftldescarga + hfdifusor \\
 hftdescarga &= 0.24 \text{ in } H_2O + 1.22 \text{ in } H_2O \\
 hftdescarga &= 1.46 \text{ in } H_2O
 \end{aligned}$$

Cálculo de presión estática en la descarga del sistema, siendo esta la sumatoria de las pérdidas calculadas anteriormente restando la presión dinámica.

$$\begin{aligned}
 PEdescarga &= htdescarga - PD \\
 PEdescarga &= 1.46 - 1.22 \\
 PEdescarga &= 0.24 \text{ in } H_2O
 \end{aligned}$$

Selección del ventilador.

Para ello se debe conocer los cálculos de presión estática en la entrada y salida del sistema, así como la presión dinámica y la ubicación geográfica de operación.

$$\begin{aligned}
 P_{estática\ venti.} &= P_{est. des} - P_{est. de suc.} - P_{din.} \\
 P_{estática\ venti.} &= 0.24 \text{ in } H_2O - (-6.43 \text{ in } H_2O) - 1.22 \text{ in } H_2O \\
 P_{estática\ venti.} &= 5.45 \text{ in } H_2O
 \end{aligned}$$

El extractor de polvo estará ubicado a 149 metros sobre el nivel del mar y a una operación de funcionamiento de máximo 30° de temperatura, mediante estos datos determinaremos la corrección de la densidad del aire.

Tabla 36. *Factor de corrección*

Kg/m³ = Factor de densidad × 1,2
 Densidad del aire seco a 21 °C al nivel del mar = 1,2 Kg/m³
 Altitud sobre el nivel del mar en metros

	-250	0	250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000	2500	3000
Temp. E Hg	782	760	738	717	697	677	657	639	620	603	569	536
C. E H ₂ O	10649	10345	10048	3761	3482	9211	8947	8691	8443	8201	7739	7303
0	1,11	1,08	1,05	1,02	0,99	0,96	0,93	0,91	0,88	0,86	0,81	0,76
21	1,03	1,00	0,97	0,95	0,92	0,89	0,87	0,84	0,82	0,79	0,75	0,71
50	0,94	0,91	0,89	0,86	0,84	0,81	0,79	0,77	0,75	0,72	0,68	0,64
75	0,87	0,85	0,82	0,80	0,78	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67	0,63	0,60
100	0,81	0,79	0,77	0,75	0,72	0,70	0,68	0,66	0,65	0,63	0,59	0,56
125	0,76	0,74	0,72	0,70	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60	0,59	0,55	0,52
150	0,72	0,70	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60	0,59	0,57	0,55	0,52	0,49
175	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60	0,59	0,57	0,55	0,54	0,52	0,49	0,46
200	0,64	0,62	0,61	0,59	0,57	0,56	0,54	0,52	0,51	0,49	0,47	0,44
225	0,61	0,59	0,58	0,56	0,54	0,53	0,51	0,50	0,48	0,47	0,44	0,42
250	0,58	0,56	0,55	0,53	0,52	0,50	0,49	0,47	0,46	0,45	0,42	0,40
275	0,55	0,54	0,52	0,51	0,49	0,48	0,47	0,45	0,44	0,43	0,40	0,39
300	0,53	0,51	0,50	0,49	0,47	0,46	0,45	0,43	0,42	0,41	0,38	0,36
325	0,51	0,49	0,48	0,47	0,45	0,44	0,43	0,41	0,40	0,39	0,37	0,35
350	0,49	0,47	0,46	0,45	0,43	0,42	0,41	0,40	0,39	0,38	0,35	0,33
375	0,47	0,46	0,44	0,43	0,42	0,41	0,39	0,38	0,37	0,36	0,34	0,32
400	0,45	0,44	0,43	0,41	0,40	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,33	0,31
425	0,43	0,42	0,41	0,40	0,39	0,38	0,37	0,35	0,34	0,33	0,32	0,30
450	0,42	0,41	0,40	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,29
475	0,41	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,29	0,28
500	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,30	0,28	0,27
525	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,30	0,29	0,27	0,26

Las pérdidas de carga son proporcionales a la densidad (en primera aproximación)
 Consultar las leyes de los ventiladores, o las referencias, para más detalles

Fuente: Ventilación industrial

Para la densidad del aire su factor de corrección es 1 por ser más próximo al deseado a los datos obtenidos, con ello corregimos la presión estática del ventilador.

$$PEV = 5.45/1 = 5.45 \text{ in } H_2O$$

Potencia del ventilador.

$$HP = \frac{Q \times SP}{6356 \times n}$$

Donde:

Q: caudal

SP: presión estática del ventilador

n: eficiencia

$$HP = \frac{Q \times SP}{6356 \times n}$$

$$HP = \frac{1430 \times 5.45}{6356 \times 0.62}$$

$$HP = 1.97 \text{ hp} = 2 \text{ hp}$$

Para la selección de un ventilador se requiere del flujo o caudal 1430 cfm y la presión estática del ventilador. 5.45 in H₂O, como resultado de la tabla las características del ventilador es de 1.5 BHP con una velocidad 2677 rpm.

Tabla 37. Selección de ventilador

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

CFM m ³ /hr	Vel. salida PPM	PRESION ESTATICA mmca - inwg.																					
		12.7mm/.5"		25.4mm/1"		38.1mm/1.5"		50.8 mm/2"		63.5 mm/2.5"		76.2mm/3"		88.9mm/3.5"		101.6mm/4"		114.3mm/4.5"					
		RPM dB(A)	BHP	RPM dB(A)	BHP	RPM dB(A)	BHP	RPM dB(A)	BHP	RPM dB(A)	BHP	RPM dB(A)	BHP	RPM dB(A)	BHP	RPM dB(A)	BHP	RPM dB(A)	BHP				
775	800	1031	0.1	1277	0.2	1520	0.3	1728	0.4	1907	0.5	2072	0.6	2230	0.8	2382	0.9	2529	1				
1317		50	55	60	64	66	68	70	72	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73				
872	900	1086	0.1	1325	0.2	1539	0.3	1750	0.4	1933	0.55	2095	0.7	2245	0.8	2389	0.9	2528	1.1				
1482		52	56	60	64	66	69	70	72	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73				
969	1000	1146	0.1	1383	0.2	1572	0.3	1769	0.5	1956	0.6	2121	0.7	2270	0.9	2409	1	2541	1.2				
1647		54	58	60	64	67	69	71	72	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74				
1163	1200	1278	0.2	1495	0.3	1680	0.4	1836	0.6	1998	0.63	2161	0.8	2317	1	2460	1.1	2592	1.3				
1976		58	60	63	64	67	69	71	73	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74				
1356	1400	1412	0.3	1612	0.4	1793	0.5	1948	0.7	2082	0.7	2217	1	2358	1	2499	1.3	2635	1.4				
2022		60	63	65	66	68	70	71	72	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73				
1550	1600		1741	0.5	1905	0.6	2062	0.8	2198	0.93	2318	1.1	2435	1.2	2554	1.35	2677	1.5	2777	1.5			
2634		65	67	69	70	71	72	73	74	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75			
1744	1800	1878	0.6	2038	0.8	2178	0.9	2304	1.1	2418	1.2	2516	1.3	2610	1.5	2699	1.6	2784	1.7	2864	1.7		
2964		68	69	70	72	73	74	75	76	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77		
1938	2000		2011	0.7	2160	0.9	2292	1.1	2421	1.3	2547	1.5	2663	1.7	2767	1.9	2863	2	2950	2	3028	2	
3293		70	71	72	73	75	76	77	78	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	
2131	2200			2294	1.1	2421	1.3	2540	1.5	2657	1.7	2772	1.9	2881	2.1	2980	2.4	3075	2.4	3166	2.4	3253	2.4
3621		73	74	75	76	77	78	79	80	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	
2325	2400			2429	1.3	2554	1.5	2668	1.7	2776	1.9	2884	2.2	2990	2.4	3095	2.7	3198	2.7	3298	2.7	3394	2.7
3950		75	76	77	78	79	80	81	82	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	
2519	2600					2690	1.8	2800	2	2903	2.2	3004	2.5	3103	2.7	3202	3	3298	3	3391	3	3480	3
4280		77	77	78	79	80	81	82	83	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84
2713	2800					2815	2	2935	2.3	3035	2.5	3131	2.7	3224	3	3316	3.3	3405	3.3	3491	3.3	3574	3.3
4609		77	77	78	79	80	81	82	83	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84
2906	3000							3070	2.6	3169	2.9	3262	3.1	3351	3.4	3438	3.7	3522	3.7	3603	3.7	3681	3.7
4937		80	81	81	82	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83
3100	3200							3205	2.9	3304	3.3	3396	3.5	3483	3.8	3566	4.1	3646	4.1	3723	4.1	3797	4.1
5267		82	82	82	83	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84
3294	3400									3440	3.6	3531	3.9	3617	4.2	3698	4.6	3775	4.6	3849	4.6	3920	4.6
5597		83	83	83	84	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85
3492	3600											3669	4.5	3755	4.8	3835	5	3911	5	3984	5	4054	5
5936		85	85	85	86	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87
3686	3800											3801	4.9	3887	5.3	3970	5.6	4049	5.6	4125	5.6	4198	5.6
6266		86	86	86	87	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88
3880	4000													4022	5.8	4105	6.2	4184	6.2	4260	6.2	4333	6.2
6596		87	87	87	88	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89

Fuente: Soler y Palau, Ventilación Group

DIMENSIONES

Clase I

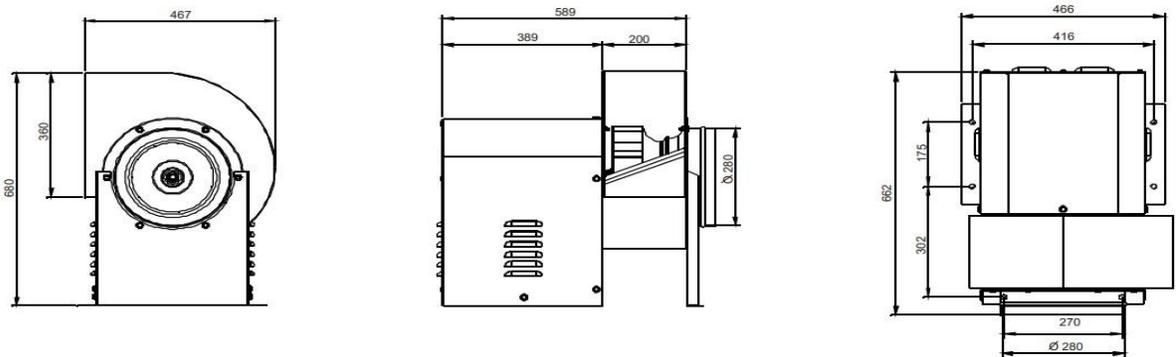


Figura 42. Dimensiones de ventilador de catálogo de fabricantes SOLER y PALAU

VENTILACION GROUP

Simulación: En el software SolidWorks 2018 después de dimensionar todos los equipos como son la cámara, la campana extractora, el ciclón y el ventilador centrífugo, se simuló en el apartado Flow Simulation 2018, con el objetivo de apreciar el comportamiento de la extracción del aire dentro de la cabina, dando como datos de RPM de 2675 al ventilador centrífugo y en el lado lateral izquierdo que hace referencia a la boquilla de arenado con un caudal de aire de 0.0931 m³/s que corresponden al consumo de aire de 5.59 m³/min según tablas, teniendo resultados próximos a los destacados en tablas como son la velocidad en los ductos la cual corresponde de 20 a 22.5m/s para procesos de arenado identificados con el color azul próximos a turquesa.

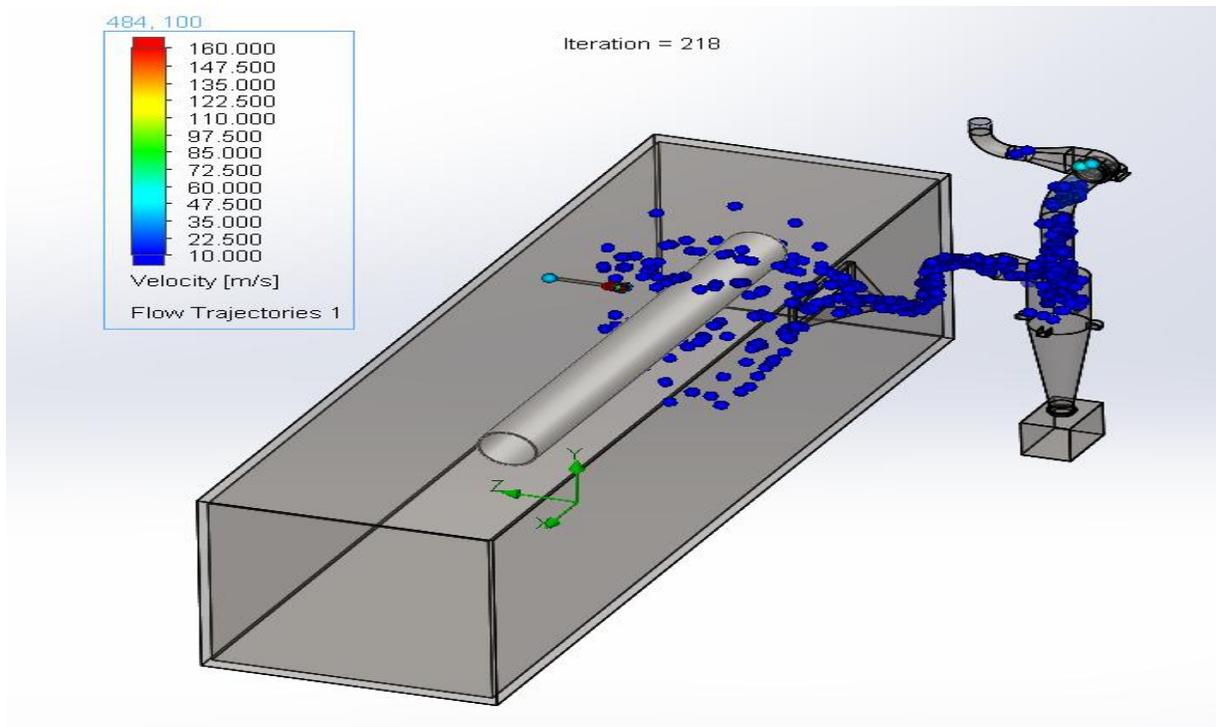


Figura 43. Análisis en Flow Simulation de SolidWorks 2018.

4. Realizar evaluación económica mediante los indicadores de VAN y TIR.

Presupuesto de cámara de arenado.

a. Costo de materiales para la fabricación de la cámara de arenado.

Tabla 38. *Materiales*

Materiales			
Material ASTM A36	Cant.	Precio Und. S/.	Precio Total
Tubo estruc. cuad. 3"x 3" x 2 mm	13	149	1937
Tubo estruc. cuad. 2"x 2" x 2 mm	4	94	376
Plancha lisa 1.2 m x 2.4 m x 1/16"	7	165	1155
Plancha lisa 1.2 m x 2.4 m x 1/20"	63	125	7875
Plancha lisa 1.2 m x 2.4 m x 3/8 "	3	900	2700
Plancha lisa 1.2 m x 2.4 m x 1/8 "	4	300	1200
Plancha lisa 1.2 m x 2.4 m x 1/4"	1	690	690
Plancha estriada 1/8"	9	340	3060
Tubo electrosoldado 1"x1.5mm	5	34	170
Perfil I	3	1200	3600
Angulo de 3"	2	230	460
Ejes de transmisión.	15	450	6750
Fajas	3	1000	3000
Otros		-	5000
TOTAL			37 973

Fuente: Elaboración propia

Tabla 39. *Equipos electromecánicos.*

Equipos electromecánicos			
Equipo	Cant.	P. Und. S/.	Total
Variador de frecuencia 1 hp Sinamics v20, 3L, 0.75kw	03	997.7	2 993.1
Contactador 3RT2028-1BP40 Siemens	15	647.8	9 717
Relé térmico Siemens sirius 3RU21264ABO	10	288,80	2 888
Interruptor termomagnético trifásico 30 Amp	1	600	600
Interruptor termomagnético Guardamotor Siemens sirius 3,5 a 5 Amp.	9	444,6	4 001.4
Interruptor Termomagnético 6 Amp	1	91.2	91.2
Fuente AC-DC 12V	1	55	55
Pulsador enclave emergencia	1	20	20
Selector 2 posiciones	1	79	79
Selector 3 posiciones	2	123	246
Pulsador enclave NA	3	30	90
Pulsador normal NA	2	22	44
Final de carrera	7	20	140
Logo siemens 6ED1052- 1MD080BA1	1	625	625
Modulo Logo 6ED1055-1MN00- 0BA2	2	412	824
Electroválvula neumática	4	170	680
Tablero 100 x 60 x 30	1	1361	1361

Conductor eléctrico AWG 14	4	140	560
Compresor de 375 CFM	1	50 000	50 000
Motores Eléctricos	10	1200	12 000
Grúa monorriel eléctrico de 3 TM	1	3000	3000
TOTAL			90 014.7

Fuente. Elaboración propia

costo de mano de obra y puesta en marcha	12 000.00
--	-----------

Presupuesto total soles	139 987.7
-------------------------	-----------

b. Evaluación de ingresos en proceso de arenado anual.

En los ingresos de la empresa estimaremos un ahorro de multa mínima por contaminación de 3 UIT = 14 850.00, establecidas por Resolución de Consejo Directivo N° 045 - 2013 - OEFA / CD, la cual determina el exceso hasta en 10% por encima de los límites máximos permisibles establecidos en la normativa aplicable, respecto de parámetros que no califican como de mayor riesgo ambiental (MINAM).

Tabla 40. *Ingresos anuales*

Servicio de arenado (m2)	32 soles
Promedio en los años de 2021 - 2022+100%, por mejoría en el proceso de arenado	133 163.80
Ahorro de sanción mínima 3 UIT por contaminación	14 850
Total	148 013.47

Fuente. Elaboración propia

Tabla 41. *Evaluación de egresos anuales.*

Costo mantenimiento	15 000.00
Costo de operarios	36 000.00
Costo de abrasivo anual.	3 141.00
Consumo eléctrico	30 000.00
total	84 141.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 42. *Calculo VAN y TIR*

Flujo de caja			
Año	Beneficio	Costo	valor neto
0	0	-131 987.7	-131 988.7
1	148 013.47	84 141	63872.47
2	133163.8	79000	54163.8
3	173112.9	81000	92112.94
4	225046	83000	142046.82
5	292560	85000	207560.87

Fuente: Elaboración propia

TASA: 12.5%

VAN: 236 137.45

TIR: 57 %

V. DISCUSIÓN

1. En el monitoreo ocupacional existen variedad de equipos que dan lectura hacia una determinada cantidad de partículas en el aire, como los de lectura rápida y los de lectura mediante análisis en laboratorio, en este estudio se optó por alinearse al estudio de análisis dictaminado por el estado peruano, la cual es un análisis por método gravimétrico enfatizado en el método de la norma NIOSH 500. Posteriormente de haber realizado el monitoreo ocupacional en el proceso de arenado se obtuvo mediante el análisis de laboratorio, que existe una gran demanda para erradicar la contaminación de polvo en estos procesos, ya que en la mayoría se desarrollan al aire libre, el resultado obtenido fue de 26 gramos de partículas en el mismo proceso de arenado y una mínima cantidad de 0.000028 gramos en zonas de oficinas alejadas, siendo determinante para encerrar el proceso de arenado mediante una cámara que restrinja la expansión de polvo, como lo estima en Liu et al (2021) en donde diseñó y fabricó una campana extractora en combinación con una cortina de agua, dentro de una habitación donde se realiza el arenado, el autor optó por realizar un análisis de TWA, la cual es un periodo de tiempo en donde el operario está expuesto a agentes contaminantes, determinando que en realidad si sobrepasa la norma, que posteriormente encerrando el proceso este índice de contaminación bajó el TWA de 7,00 mg/m³ a 0.50 mg/m³ y el polvo de sílice (RCS) disminuyó de 3,36 mg/m³ a 0,27 mg/m³, es importante determinar la cantidad de agentes contaminantes en un espacio mediante un método adecuado, con equipos que sean certificados y calibrados por las instituciones asociadas al campo del monitoreo ocupacional, en este estudio se limitó a realizar el análisis de sílice porque es notorio que exista en este proceso.
2. Los parámetros de este estudio estuvieron obligados a cumplir con ciertas condiciones desde la demanda de fabricación y armado de tuberías hasta la cantidad de polvo que emite el proceso de arenado en operaciones al aire libre, es por ello que mediante una tabla de datos referente al uso de las tuberías se concluyó que se usan tuberías de 24" hasta 6m de tal modo se logró dimensionar

la cámara con 11 m de largo x 3m de ancho x 3m de altura, y está compuesta en su interior por mecanismos que hacen girar la tubería, realizando la limpieza externa, como interna y efectúan la recolección de abrasivo, y para cumplir con el objetivo de controlar el polvo emitido por el proceso se incorporó un extractor de aire de 2 hp acompañado con un ciclón de 2.5 m de altura, la cual este está compuesto con una bandeja de agua para capturar la partículas, evitando así la salida al exterior y posteriormente ser desechadas. En cuanto al artículo de investigación del autor Zhang et al (2018), el autor optó por realizar una cabina de arenado para dar mantenimiento a municiones, aprovechándose de su forma geométrica cilíndrica de las municiones realizó mecanismos dentro de la cabina de arenado, por el motivo que el operario estaba expuesto a la contaminación del polvo y añadiendo las zonas de su alrededor que también se contaminaban, su principal objetivo fue de aislar al hombre de la máquina de arenado, teniendo la idea de incluir sistemas mecanismo, sistema de inyecciones a presión y el sistema de extracción de polvo en donde incorporó un ciclón y colector de polvo, en el presente estudio no consideramos un colector de polvo por motivo de que hacen más costoso la cámara de arenado ya que se deben de cambiar cada cierto tiempo los filtros además de incorporar un sistemas de inyección de aire para limpiarlos, de tal modo por tratarse de polvo de arena que es inservible en el proceso pero dañino para el operario, se consideró capturarlo por medio de un extractor de aire y que por efecto del ciclón ayuda a que las partículas caigan por gravedad hacia un contenedor de agua capturando hasta desecharlas.

3. En este estudio se determinó mecanismos que ayudan a que el arenado se realice de forma eficiente, como la presión de operación que se da a 7 bar, se incorporó el uso de un PLC Logo Siemens, para realizar de manera sincronizada la operación de arenado externo e interno; además de mantener encendido de forma intermitente el extractor de polvo con la finalidad que el operario no esté involucrado directamente con el polvo de arenado, las revoluciones de las tuberías para arenar están entre los valores de 5.5 rpm hasta 37.6 rpm, estas revoluciones están determinadas mediante una transmisión de cadena en donde el operario

tiene que cambiar la catalina conducida para un grupo determinado de dimensiones de tuberías por el motivo que las tuberías de diámetro más grandes se necesita menor revolución que las de diámetro más pequeño, además de estar asistidos por un variador de velocidad, para el arenado exterior se cuenta con un carro porta boquillas que de manera automatizada realiza el recorrido longitudinal de la tubería a una determinada velocidad, para el arenado exterior las velocidades están comprendidas desde 0.42 m/min hasta 2.77 m/min este estudio coincide con de Zhang et al. (2018), en cuanto a la presión de operación de 0.7 MPa = 7 bar, además que para el proceso de arenado de municiones el operario en criterio de aislar el hombre de la máquina en el proceso, incorporó un sistema de PLC, en donde establece parámetros de revoluciones necesarias para realizar el proceso de arenado, en ese aspecto el presente trabajo coincide que para una limpieza externa de un cuerpo que tiene forma cilíndrica es necesario que el material rote sobre su respectivo eje, de forma que la proyección de arena abarque toda el área cilíndrica, la velocidad de giro que obtuvo en sus resultados fue de 78 mm/s, concluyendo que con este diseño de máquina de chorro de arena se logró alcanzar las exigencias de diseño, se logró la mejora del acabado superficial, además de que el material particulado se almacenará de forma automática dentro de la máquina ahorrando materia prima, lo que mejora el ambiente de operación dejando otras áreas circundantes libres de polvo y contaminación, es por ello la coincidencia de estos resultados con el presente estudio, de mantener la empresa libre de polvo que contamina las áreas circundantes del proceso de arenado, perjudicando al personal de la empresa.

4. En este estudio se realizó la evaluación económica partiendo desde la producción actual hasta con el beneficio de un diseño de cámara de arenado, costando la cámara de arenado S/.131 987.7, considerándose que las empresas dedicadas a este rubro tienen que estar sujetas a un ambiente limpio para garantizar el bienestar del personal de la empresa, caso contrario sería perjudicial para la empresa si se le impone una multa por contaminación en el aire, este dato de la multa fue considerado como un ingreso en el primer año de 3 UIT = S/.14 850.00

después de haberse diseñado e implementado la cámara de arenado, teniendo un VAN positivo de S/. 241 470.78 con una tasa de 12.5 %, y un TIR de 59 %, como en su tesis de Olivera (2022) donde realiza la implementación de un cuarto de granalla para evitar la contaminación de polvo proveniente del proceso teniendo resultados en el VAN con una tasa de 10.56 % y el TIR de 26 % favorables, como además en la tesis de Acosta (2017) en donde realiza el mantenimiento superficial externa de balones de GLP mediante una cabina de granallado para mantener restringido el proceso, teniendo como TIR 34%, es necesario calcular también disposiciones bajo ley, que resultan ser perjudiciales para la empresa.

5. En el diseño de una cámara de arenado para satisfacer las necesidades de un aire limpio dentro de una empresa y no perjudique la salud del personal, es necesario contar con los conocimientos tanto técnicos, mecánicos y físicos, para determinar los equipos necesarios que cumplen una función, en este estudio se optó por un mecanismo sencillo de rotación y limpieza longitudinal, con un interfaz mediante variadores de velocidad optamos por esto ya que el presupuesto de inversión sea de menos costo, como así existe este método simple de encerrar el proceso de arenado con mecanismos en su interior también se encontró a Jientrakul et al. (2018) en su investigación realizada en Tailandia en el rubro del sistema por tele operación aplicado al sistema de limpieza por chorro abrasivo, esto permite que el operario no sea expuesto a las condiciones laborales peligrosas como es la exposición de contaminantes y los accidentes laborales. Empleando 2 estaciones como la estación de mando o controlador maestro y un dispositivo esclavo, su objetivo es realizar una propuesta ante los errores de precisión que tiene el hombre ante el uso del tele arenado, en este estilo de arenado es aislar al operario se hace algo complejo, por la dificultad de poder imitar los movimientos del hombre mediante una máquina.

VI. CONCLUSIONES.

1. Se diagnosticó la situación actual de la empresa partiendo de la concentración de polvo que se realiza en el proceso, encontrándose una gran cantidad de polvo suspendido en el aire de 26.4 g en el origen del arenado, siendo estrictamente importante contar con estos datos para poder realizar los cálculos posteriores de la cámara de arenado, en cuanto a su área, volumen y comportamiento del agente contaminante, estableciendo los equipos adecuados para cada uno de las tareas, además mediante las investigaciones encontradas es necesario enfatizar que existen normas en el Estado Peruano por el Ministerio de Ambiente mediante el Decreto Supremo N° 074-2001-PCM- Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire que deben ser cumplidas por las empresas dedicadas en este rubro, que realizan este proceso en el aire libre, quizás con la idea de que se realizan en zonas alejadas no contaminan personas pero si la flora y fauna existente en el lugar.
2. Para determinar los parámetros de diseño, de acuerdo a lo investigado anteriormente, se debe tener en cuenta todos los factores que se involucran en un determinado proceso, relacionándolos con documentos cedidos por la empresa y los que se lograron con la observación y el análisis con equipos de medición, teniendo el máximo cuidado de todas las partes desde los mecanismos hasta el cuidado del personal en la operatividad del equipo.
3. La selección de los equipos electromecánicos según los parámetros de diseño involucra cálculos matemáticos para una selección eficiente, ya que se puede llegar a un estudio más profundo a la hora de seleccionarlos, ahora en caso de conocerlos y teniendo los datos calculados mediante el software de diseño. se puede tomar la decisión de fabricarlos en la misma empresa, sobre todo las estructuras y equipos con una menor complejidad.
4. Se realizó la evaluación económica determinando que, si es rentable y sustentable, ya que involucra normas por el Estado Peruano de las cuales se pueden cumplir, teniendo un VAN de S/. 241 470.78 y TIR de 59 %.

VII. RECOMENDACIONES.

1. Para la operatividad de equipos nuevos en procesos es necesario tener una adecuada formación y capacitación, desde el cuidado en la manipulación de herramientas y los equipos instalados en la cámara de arenado, antes de cada jornada laboral revisar todos los accesorios y equipos que estén funcionando con toda normalidad además de tener acceso a la protección personal como medidas para salvaguardar la integridad y salud del personal en la empresa.
2. Es importante que la empresa cuente con un programa de medición de este agente contaminante, en periodos de acuerdo a norma para evitar posibles sanciones administrativas de control que se pudieran dar mediante supervisiones repentinas, la cual por un ambiente contaminado pueden perjudicar los ingresos de la empresa, ya que a mayor contaminación las UIT establecidas por la Resolución de Consejo Directivo N° 045 - 2013 - OEFA / CD establece que pueden ser desde 3 UIT como mínima hasta 300 en infracciones leves.

VIII. REFERENCIAS

- ACOSTA, Fredy, 2017. "Diseño De Una Máquina Granalladora Para Mejorar El Proceso De Limpieza Externa De Balones De Glp. Chiclayo, 2017." *Universidad Cesar Vallejo*. Online. 2017. [Accedido 14 octubre 2022]. Recuperado a partir de: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/32382>
- AUTORIDADES de salud y trabajo de Magallanes dan inicio a campaña de fiscalización de protocolo de vigilancia de exposición a sílice - Ministerio de Salud - Gobierno de Chile. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 12 noviembre 2022]. Disponible en: <https://www.minsal.cl/autoridades-de-salud-y-trabajo-de-magallanes-dan-inicio-a-campana-de-fiscalizacion-de-protocolo-de-vigilancia-de-exposicion-a-silice/>.
- BECHIKH, A., KLINKOVA, O., MAALEJ, Y., TAWFIQ, I. y NASRI, R., 2020. Sandblasting parameter variation effect on galvanized steel surface chemical composition, roughness and free energy. *International Journal of Adhesion and Adhesives*. 1 octubre 2020. Vol. 102, pp. 102653. DOI 10.1016/J.IJADHADH.2020.102653.
- BOÉR, József y BLAGA, Petruța, 2018. Reducing production costs by monitoring the roughness of raw product surfaces. *Procedia Manufacturing*. 1 enero 2018. Vol. 22, pp. 202-208. DOI 10.1016/J.PROMFG.2018.03.031.
- BUDYNAS, Richard y NISBETT, Keith (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* 9na Ed. ISBN 978-607-15-0771-6
- CENGEL, Yunes y BOLES, Michael; "Termodinámica"; cap.1; pág. 2; séptima edición; Interamericana Editores, S.A. de C.V, México .2012
- CLEMCO, internacional, 2016. 100pp
<http://www.clemco.es/wp-content/uploads/2016/08/CLEMCO-2016.pdf>
- COMERCIAL del acero, corporación de aceros arequipa, catálogo de productos de vigas H alas anchas WF, 7 pág. <https://comasa.com.pe/>
- CYM, materiales sa, soluciones industriales. manual de equipos. pp. 7
<https://cym.com.ar/>
- DONALDSON, Torit, válvulas rotativas, manual de productos, pp. 10.
<https://www.donaldson.com/es-mx/industrial-dust-fume-mist/equipment/accessories/rotary-valves/>
- ECHEVERRI LONDONO, Carlos Alberto. Diseño óptimo de ciclones. *Rev. ing. univ. Medellin* [online]. 2006, vol.5, n.9 [cited 2023-06-25], pp.123-139. Available from: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-33242006000200011&lng=en&nrm=iso. ISSN 1692-3324

- GATES, Mectrol; catálogo de productos, pp. 15
<https://assets.gates.com/content/dam/gates/home/knowledge-center/mectrol/featured-media/gatesmectrol-belt-pulley-catalog.pdf>
- GRACO, productos de boquillas abrasivas. En línea:
<https://www.graco.com/es/es/contractor/solutions/articles/how-to-choose-the-right-blast-nozzle-for-wet-abrasive-blasting.html>
- HERRERA, M, BERMUDO, C, TRUJILLO, F J, MARTÍN, S y SEVILLA, L, sin fecha. Manufacture of an abrasive jet machining (AJM) equipment adapted for the treatment of rotary flexion fatigue specimens. . DOI 10.1088/1757-899X/1193/1/012028.
- HUI, Zhiquan, WU, Feng, DUAN, Haojie, YANG, Bo, LIN, Jinmei, WANG, Lian y HUANG, Si, 2020. Study on particle movement characteristics in sandblast cylinder based on PIV technology. *Pol. J. Chem. Tech.* 2020. Vol. 22, no. 3, pp. 38. DOI 10.2478/pjct-2020-0026.
- INDUSTRIAL, ventilation . 20 th edicion of recommended practice, 1988.ISBN. 84 7890 818 8.
- JIENTRAKUL, R., ATTAVANISH, P., CHOTIPRAYANAKUL, P., LIMNARARAT, S. y YUANGYAI, C., 2018. Variation minimization in tele-sandblasting system: The effect of human-arm movement error. En: *MATEC Web of Conferences*. 2018. DOI 10.1051/mateconf/201819201052.
- JORVEX, Iso 9001, Catálogo de productos fajas transportadoras, pp 16.
<https://www.anixter.com/content/dam/anixter/resources/catalogs/anixterjorvex-catalogo-cala-fajas.pdf>
- KAESER compresores, catalogo general de compresores de tornillo, pp. 24.
<https://ar.kaeser.com/download.ashx?id=tcm:42-5928>
- KREFFT, Silpa, WOLFF, Jenna y ROSE, Cecile, 2020. Silicosis: An Update and Guide for Clinicians. *Clinics in Chest Medicine*. 1 diciembre 2020. Vol. 41, no. 4, pp. 709-722. DOI 10.1016/J.CCM.2020.08.012.
- LAURA, Churata, JULIAN, Edwar, ROQUE, Roque, ANTONIO, Marco, CÁRDENAS, Vargas y BARTOLOMÉ, Héctor, 2021. Determinación de patrones de rugosidad en una plancha de acero a-36 con una arenadora de laboratorio “extra fuerza” para determinar la adherencia con recubrimiento de pintura epóxica. *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*. Online. 2021. [Accedido 14 octubre 2022]. Recuperado a partir de:
<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/20.500.12773/14019>
- LIU, Y.C., LIU, C., ZHOU, T., XING, Y.F., WANG, F. y NAN, X.Y., 2021. Study on the effectiveness of silicon dust prevention and control of small sandblasting cabinet

type water curtain exhaust hood. *Zhonghua lao dong wei sheng zhi ye bing za zhi = Zhonghua laodong weisheng zhiyebing zazhi = Chinese journal of industrial hygiene and occupational diseases*. 2021. Vol. 39, no. 1, pp. 32-36. DOI 10.3760/cma.j.cn121094-20200521-00282.

MARTIN, sprocket. Manual de productos, sección H , sección M, pp 193.

<https://www.martinsprocket.com/>

MINISTERIOS, del ambiente, MINAM [Accedido 01 de Mayo 2023]

<https://www.gob.pe/minam>

MONTERO, Vargas, SAÚL, Alberto, TAPIA, Canaza y JHONATAN, Rene, 2018. Desarrollo de un sistema alternativo de control para la automatización de maquina arenadora de vidrio industrial Glasstek X20. *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)*. Online. 1 marzo 2018. [Accedido 14 octubre 2022]. DOI 10.19083/TESIS/625496.

OLIVERA, Frank, Diseño De Un Sistema De Granallado Para Reducir Costos De Preparación De Superficies En La Empresa Ifm S.A.C. 2022 *Universidad Cesar Vallejo*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/104230>

RAINBOW,, Catalogo de motorreductores.. <https://importrainbow.com/producto/motor-reductor-15/>

ROBERT L. Mott., Diseño de elementos de máquinas. México: Prentice Hill Hispanoamericana S.A., 2ª edición. <https://dokumen.tips/documents/disenio-de-elementos-de-maquinas-robert-l-mott10.html?page=454>

RODRÍGUEZ, José, Diseño De Un Secador Rotativo Para 30 Ton/H De Arena, Para La Empresa Ecominesa S.A,2019 Fundación Universidad De América Facultad De Ingenierías Programa De Ingeniería Mecánica, Bogotá D.C.

SALUD Ocupacional y Ambiental - CENSOPAS | INSTITUTO NACIONAL DE SALUD. [en línea], [sin fecha].. Disponible en: <https://web.ins.gob.pe/es/salud-ocupacional-y-proteccion/salud-ocupacional/censopas/presentacion>.

SEW, eurodrive; catálogo de productos https://www.sew-eurodrive.es/os/catalog/products/drives/acgearmotor/default.aspx?language=es_es&country=ES

SOLER & PALAU, ventiladores industriales. pp. 60.<https://www.solerpalau.com/es-es/>

VANEGAS, Libardo, Diseño de Elementos de Máquinas, Pereira : Editorial Universidad Tecnológica de Pereira, 2018. 521 páginas. – (Colección Textos Académicos). ISBN: 978-958-722-301-9 <https://repositorio.utp.edu.co/items/7e89561b-fb93-4e33-94e5-9de2cdf8a72>

WEG, motores eléctricos trifásicos, catálogo de productos.
<https://www.weg.net/institucional/PE/es/>

YU, X., WEI, X., HUANG, X. y ZHANG, L., 2022. Study on the Modeling Method and Influencing Parameters of Sandblasting Process for Blade Grinding. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2022. Vol. 2022. DOI 10.1155/2022/7905927.

ZHANG, H., JI, W., CAO, H. y FU, S., 2018. Research on Automatic Equipment for Sandblasting and Derusting of Shells. En: *Proceedings - 10th International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, ICMTMA 2018*. 2018. pp. 155-158. ISBN 9781538651148. DOI 10.1109/ICMTMA.2018.00044.

ZULKARNAIN, I., MOHAMAD KASSIM, N.A., SYAKIR, M.I., RAHMAN, A.A., MD YUSUFF, M.S., YUSOP, R.M. y KEAT, N.O., 2021. Sustainability-based characteristics of abrasives in blasting industry. *Sustainability (Switzerland)*. 2021. Vol. 13, no. 15. DOI 10.3390/su13158130.

Anexo 2: Informe de ensayo.



INFORME DE ENSAYO N° 2304016 VALOR OFICIAL

Nombre del Cliente : FERNANDO SALAZAR CUMPO
 Domicilio Legal : ---
 Solicitado Por : Actey Ingenieros y Consultores S.A.C
 Referencia : Empresa de Anorado
 Proyecto : ---

DATOS DE LA MUESTRA

Procedencia : Molupe
 Plan de Muestreo : Realizado por el Cliente
 Cantidad de Muestras : 2
 Producto : Salud Ocupacional
 Condición de la Muestra : Buen estado
 Código JIREHLAB : 2304016
 N° de Cotización : COT200300124
 Fecha de Recepción : 26/04/2023
 Fecha de Ensayo : 27/04/2023 al 4/04/2023
 Fecha de Emisión : 27/04/2023

II. Método de Referencia

Parámetros	Norma de referencia	Título
Polvo Inhalable (T)	NIOSH Method 0500, Issue 2, 1994.	Particulates Not Otherwise Regulated, Total 2018

(T) Los valores indicados en las celdas corresponden a los resultados de los ensayos.
 ISO 15189:2013 Environmental Protection Agency Methods for Chemical Analysis
 ASTM American Society for Testing and Materials
 TSP Revised Methods for the Assessment of Water and Wetland APHA 1995, 1997

III. Resultados

Código de Laboratorio	2304016.01	2304016.02		
Código de Cliente	P40419	P50420		
Descripción	Otros	Área de proceso Anorado		
Fecha de Muestreo	19/04/2023	19/04/2023		
Hora de Muestreo (H)	11:00	11:00		
Tipo de Producto	Salud Ocupacional	Salud Ocupacional		
Cadena de Custodia N°	2304016	2304016		
Ubicación Geográfica UTM	E-	E-		
	N-	N-		
Parámetros	Unidad	L.D.	Resultados	
Polvo Inhalable (T)	g/filtro	0.00015	0.00028	26.507947

JIREHLAB S.A.C.
 Juan P. Guerrero Guadán
 COPIA
 INGENIERO DE LABORATORIO

Notas:
 Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada, según la cadena de custodia correspondiente.
 El tiempo de custodia de la muestra es de un mes calendario desde el ingreso de la muestra al Laboratorio.
 El tiempo de custodia del Informe de ensayo, tanto en digital como en físico es de 6 años.
 Está prohibido la reproducción parcial del presente documento, salvo autorización de JIREHLAB S.A.C.
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como un certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce

== FIN DEL INFORME ==

Anexo 3: Certificado de calibración del equipo.



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
CALIBRATION CERTIFICATE
LMI-FL043-2022

Fecha de emisión: 11/08/2022
 Issue date

1.- SOLICITANTE : INVESTIGACIONES ECONOMICAS EN MINERIA, ENERGIA E HIDROCARBUROS S.A.C.
Applicant
 Dirección : CAL. LUIS ROMERO NRO. 1050 LIMA – LIMA – LIMA.
Address

2.- INSTRUMENTO DE MEDICIÓN: BOMBA DE MUESTREO PERSONAL (ROTÁMETRO)
Measuring Instrument PERSONAL SAMPLING PUMP (ROTAMETER)
 Marca : GILIAN Serie : 2008050040 Alcance: 5 L/min
Brand *Serial*
 Modelo : BDX II Procedencia : USA Resolución: 0.1
Model *Made in*

3.- FECHA Y LUGAR DE CALIBRACIÓN Calibrado el día 11/08/2022 en el Laboratorio de INVEM S.A.C.
Date and place of calibration Calibrated on 11/08/2022 in the INVEM S.A.C. Laboratory

4.- MÉTODO DE CALIBRACIÓN
Calibration method
 Método según INSHT-CR-01/2006. Item 3 "Calibración de Caudal de Bomba"
Method to INSHT-CR-01/2006. Item 3 "Pump Flow Calibration"

5.- INSTRUMENTOS / EQUIPOS DE MEDICIÓN Y TRAZABILIDAD
Instruments / Measuring equipment and traceability

INSTRUMENTO / EQUIPO <i>Instrument / Equipment</i>	MARCA <i>Brand</i>	MODELO <i>Model</i>	NÚMERO DE SERIE <i>Serial number</i>	CERTIFICADO <i>Certificate</i>
Patrón Volumétrico 200 ml.	MEGAINSTRUMENTS	NO INDICA	NO INDICA	LCV-002-2022*
Higro termo-anemómetro	EXTECH	45160	A.076549	LCT-136-2022**

(*) Certificado de Calibración LCV-002-2022 realizado por RELES equipos de laboratorio.
 (**) Certificado de Calibración LCT-136-2022 realizado por RELES equipos de laboratorio.

6.- RESULTADOS
Results
 Los resultados se muestran en la página 02 del presente documento
The results are shown on page 02 of this document

7.- CONDICIONES DE CALIBRACIÓN
Calibrations conditions

	Temperatura Ambiente <i>Environment temperature</i>	Humedad Relativa <i>Relative humidity</i>	Presión Atmosférica <i>Atmospheric pressure</i>
INICIAL <i>Initial</i>	22,2 °C	64,3 %	1000 mbar
FINAL <i>Final</i>	22,2 °C	64,3 %	1000 mbar

8.- OBSERVACIONES
Observations
 La periodicidad de la calibración está en función del uso, mantenimiento y conservación del instrumento de medición.
 Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
The frequency of calibration depends on the use, care and maintenance of the measuring instruments.
The results should not be used as a certification of conformity with product standards or how Quality System Certificate of Entity that produce it.



Pág. 1 de 2

Calle Luis Romero N° 1050 – Urb. Roma – Cercado de Lima
 Central Telefónica: (01) 686 1292
 E-mail: invemsac@invemsac.com.pe
www.invemsac.com.pe

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
CALIBRATION CERTIFICATE
LMI-FL043-2022

Fecha de emisión: 11/08/2022
Issue date

9.- RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN
CALIBRATION RESULTS

FLUJO NOMINAL Nominal flow (L/min)	FLUJO OBSERVADO Observer flow (L/min)	CORRECCION Deviation (L/min)	INCERTIDUMBRE Uncertainty (L/min)
1,0	1,0	0,0	0,2
1,5	1,5	0,0	0,2
2,0	2,0	0,0	0,2
2,5	2,4	0,1	0,2
3,0	3,0	0,0	0,2
3,5	3,4	0,4	0,2

FLUJO OBSERVADO = FLUJO NOMINAL + CORRECCIÓN



INVESTIGACIONES ECONÓMICAS EN
MINERÍA, ENERGÍA Y HIDROCARBUROS S.A.S.

Msc. Colm. JOSÉ LUIS QUEQUEJANA C.
Gerente General

FIN DEL DOCUMENTO
END OF DOCUMENT

Pág. 2 de 2

Calle Luis Romero N° 1050 – Urb. Roma – Cercado de Lima
Central Telefónica: (01) 686 1292
E-mail: invemsac@invemsac.com.pe
www.invemsac.com.pe

KAESER
COMPRESORES®



Compresores de tornillo

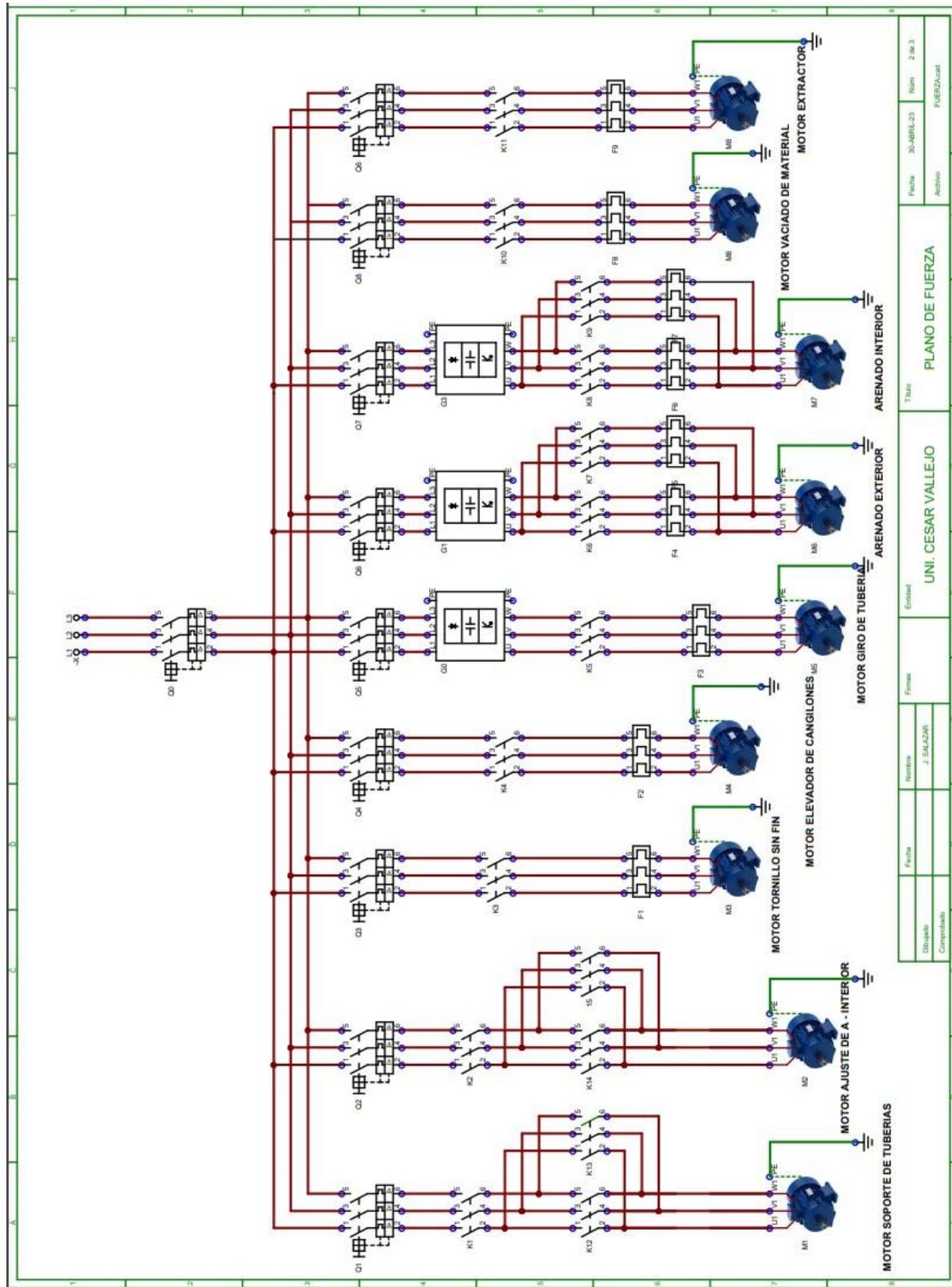
Serie CSD(X)

Con el reconocido PERFIL SIGMA

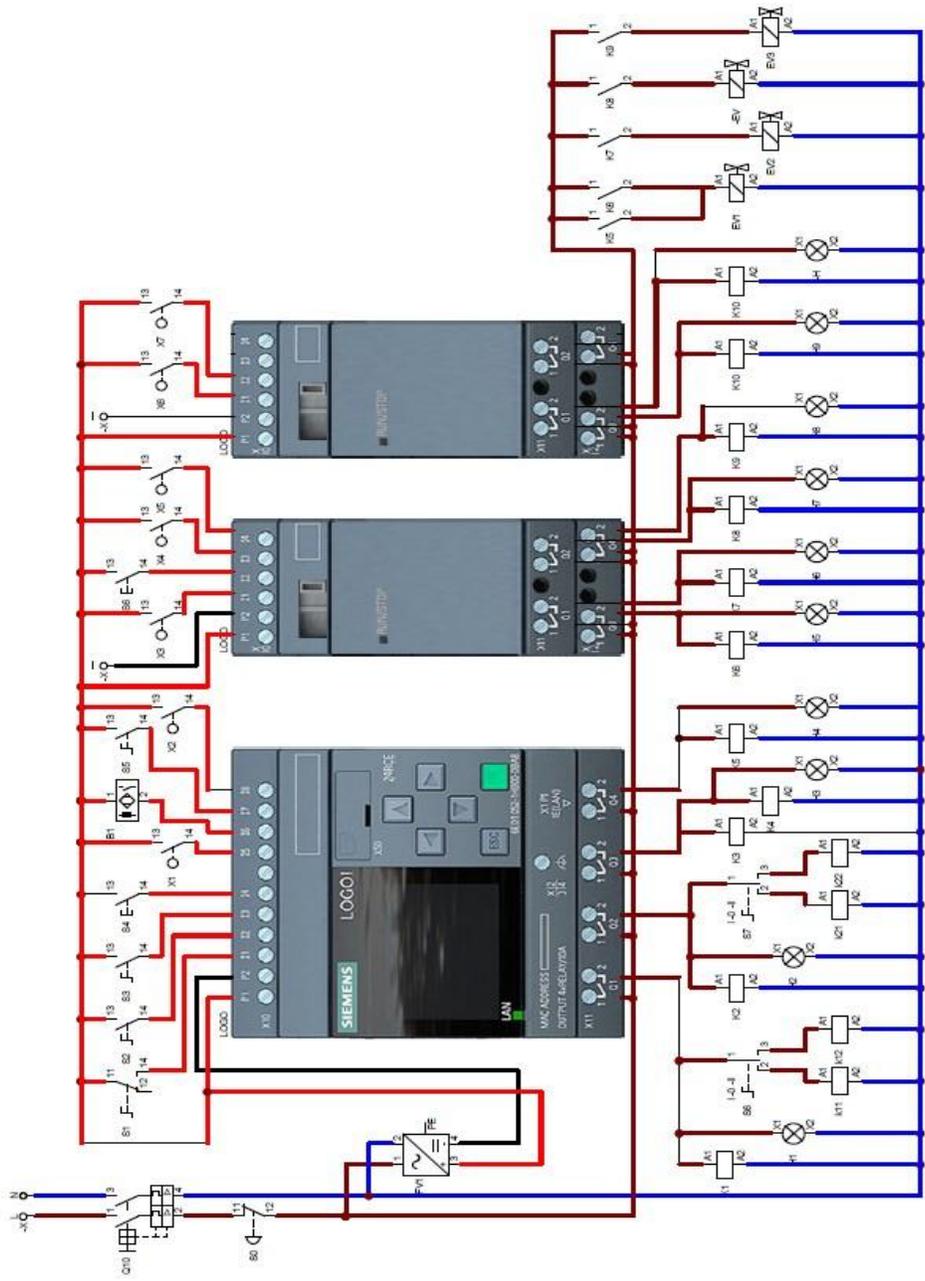
Caudal desde 1,1 hasta 17,5 m³/min, presión desde 5,5 hasta 15 bar

www.kaeser.com

Planos eléctricos:

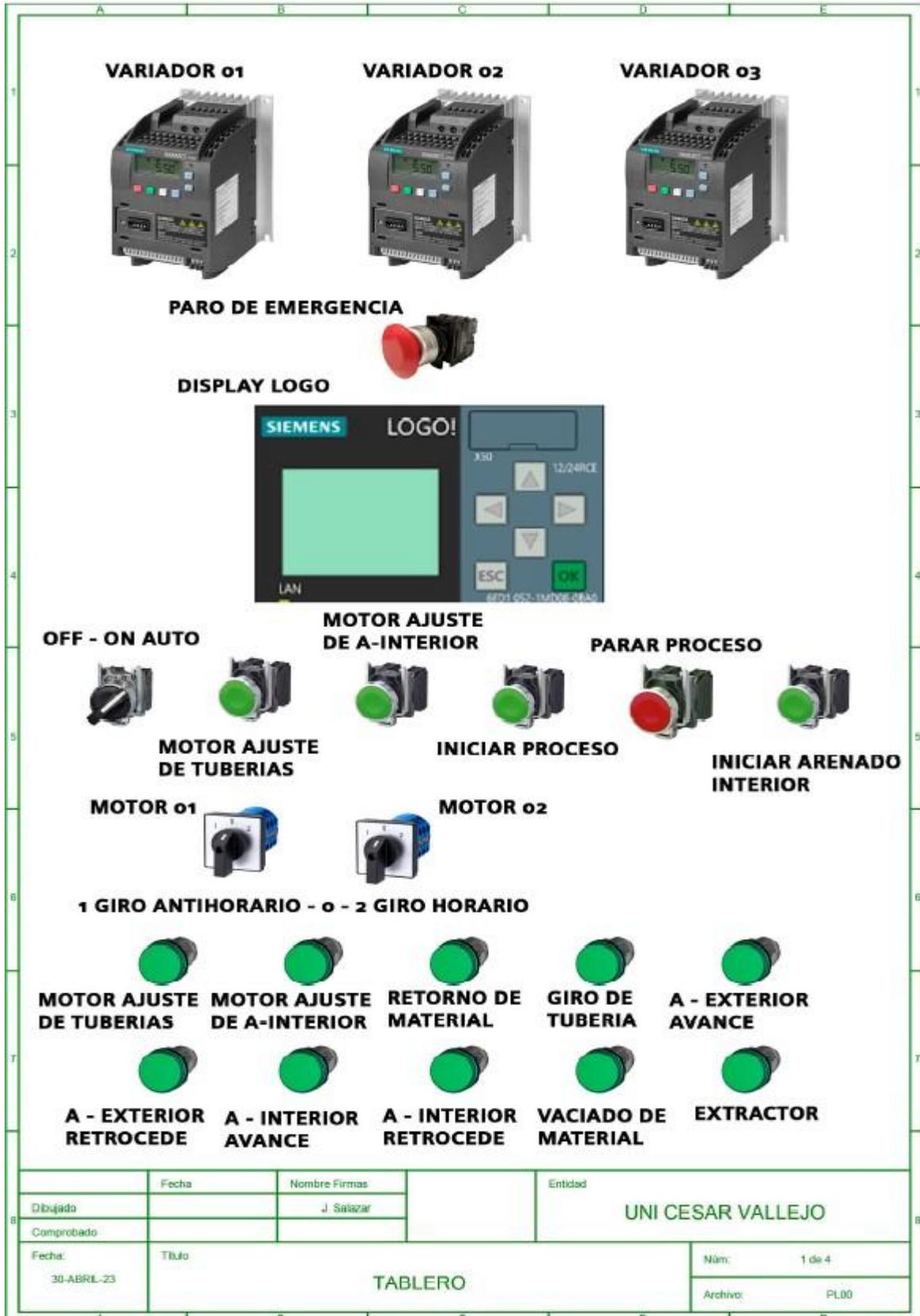


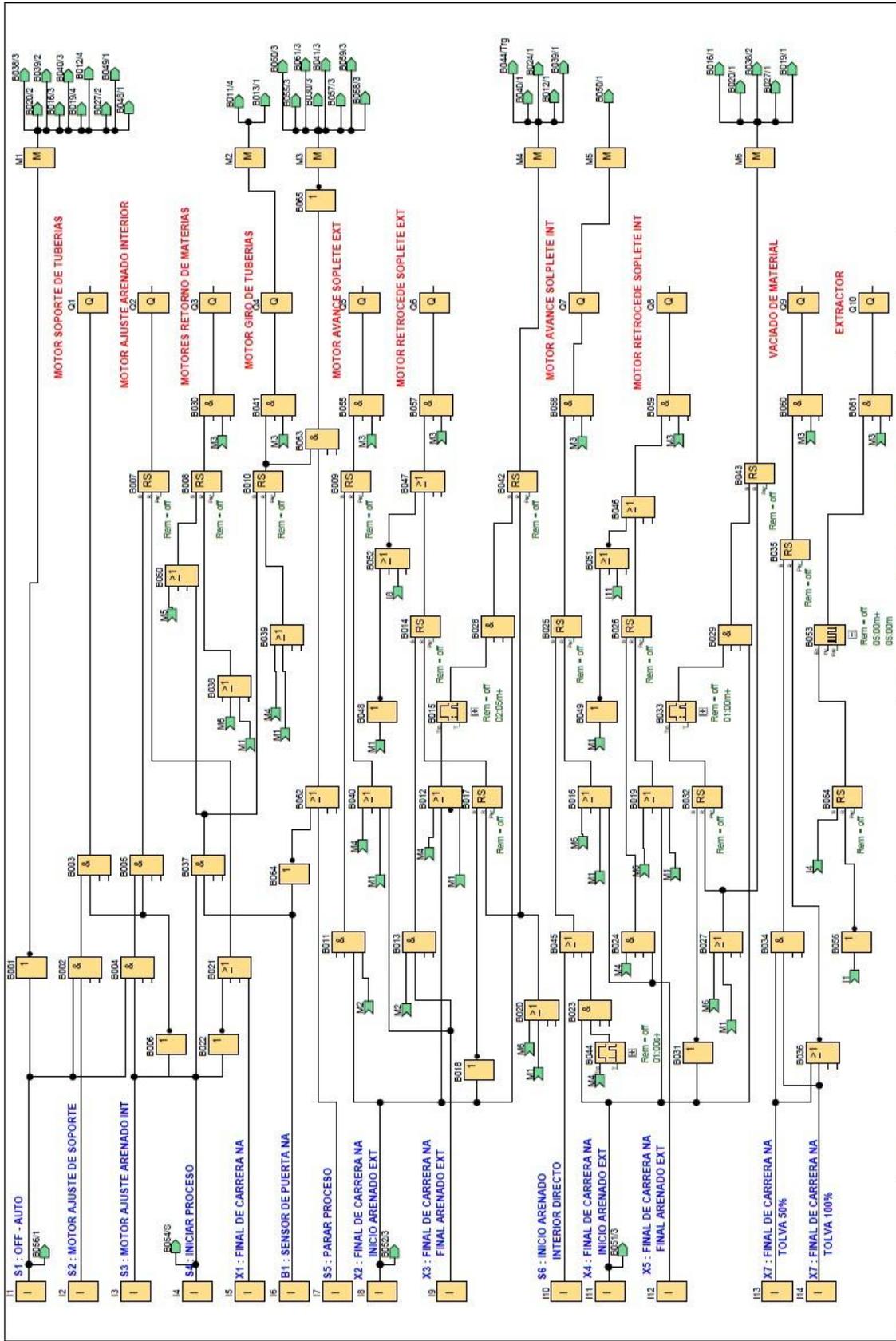
Disiplinados	Completados	Fecha	Revisado	Elaborado	Título	Fecha	Hoja
			J. SALAZAR		PLANO DE FUERZA	30-08/04-25	2 de 3
					UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO	PIEDRAZUELO	



Fecha	30-04-2012	Número 4
Diseno	J. SANCHEZ	
Comprobado		
Estado	UNI. CESAR VALLEJO	
Título	PLANO DE CONEXION LOGO	
Fecha	30-04-2012	Número 4
Diseno	J. SANCHEZ	
Comprobado		
Estado	UNI. CESAR VALLEJO	
Título	PLANO DE CONEXION LOGO	
Fecha	30-04-2012	Número 4
Diseno	J. SANCHEZ	
Comprobado		
Estado	UNI. CESAR VALLEJO	
Título	PLANO DE CONEXION LOGO	
Fecha	30-04-2012	Número 4
Diseno	J. SANCHEZ	
Comprobado		
Estado	UNI. CESAR VALLEJO	
Título	PLANO DE CONEXION LOGO	

A		B	C	D	E	F	G	H	
1									
2	<ul style="list-style-type: none"> • Variador de Frecuencia 01 Motor Giro De Tuberías *regulacion manual 								
3	<ul style="list-style-type: none"> • Variador de Frecuencia 02 Motor Arenado Exterior *regulacion manual 								
4	<ul style="list-style-type: none"> • Variador de Frecuencia 03 Motor Arenado Interior *regulacion manual 								
5	A		B	C	D	E	F	G	H
Dibujado		Fecha		Firmas		Entidad		Título	
Comprobado				Nombre		UNI. CESAR VALLEJO		CONF. DE VARIADORES	
				J. SALAZAR				Fecha 04-May-202	
								Número de 4	
								Archivo: VARIADORES.cad	





Autor:	J. Salazar	Proyecto:	Automatización de Arenador
Comprobado:		Instalación:	Programación Arenador
Fecha de creación/modificación:	30/04/23 15:23:12,05:23 11:47	archivo:	programacion_arenador.lsc
Cliente:	001	Nº diagrama:	1/14
Página:			

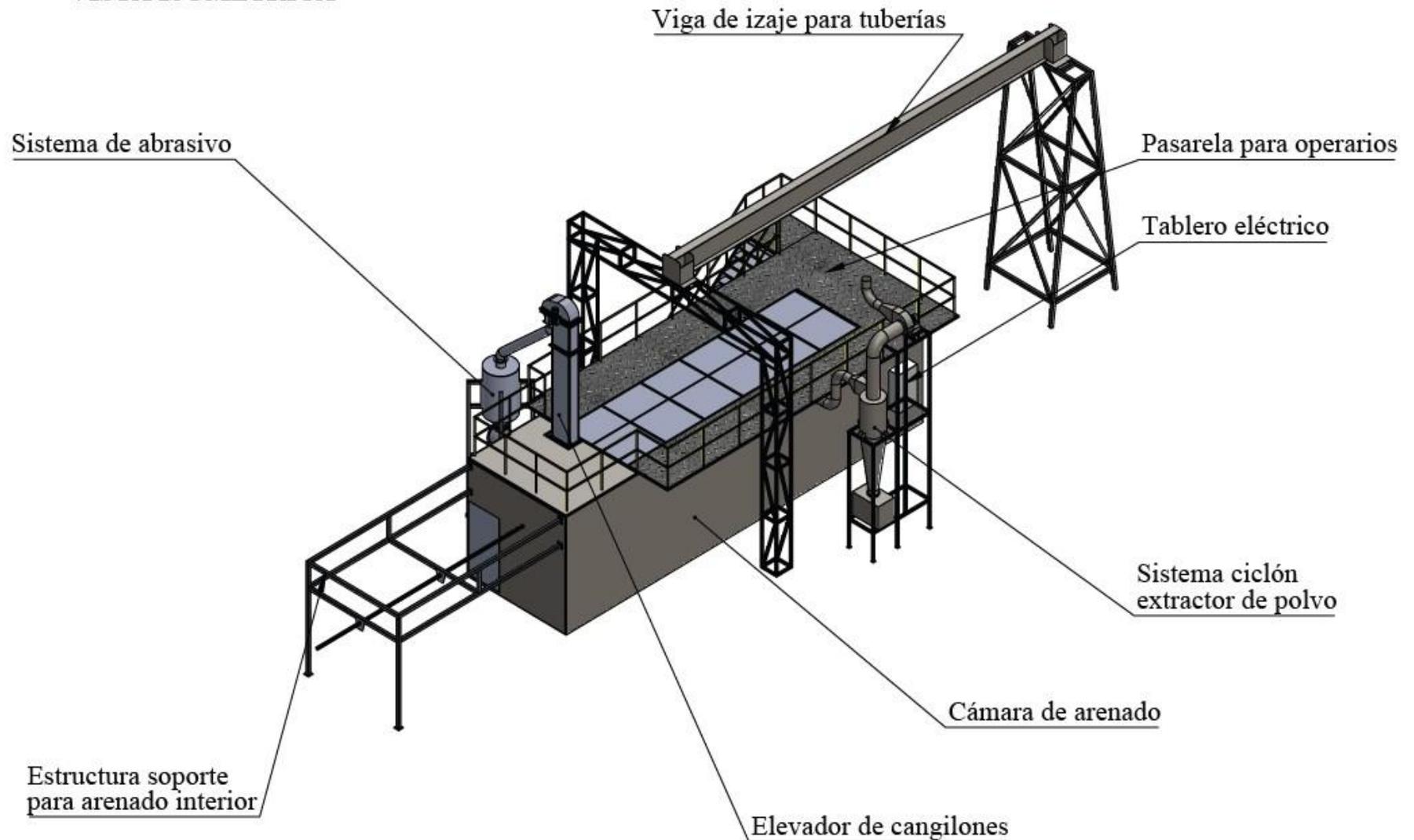
Matriz de operacionalización

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
Diseño de cámara de arenado	Consiste en impulsar a presión un chorro de partículas de origen mineral o metálico sobre la superficie con el objetivo de limpiar capas contaminadas y modificar la rugosidad de la superficie. (Bechikh et al., 2020).	El funcionamiento de los dispositivos que forman parte de la cámara de arenado determinan las dimensiones que se van a arenar dentro de la cámara, de tal modo se trata de dimensionar tanto el sistema de aire comprimido, la cantidad de arena y la capacidad de evitar la expansión de polvo al medio ambiente	Sistemas mecánicos Sistemas eléctricos Sistema neumático Sistema estructural Capacidad de la cámara	Potencia Presión Factor de seguridad Volumen	De razón

Matriz de operacionalización

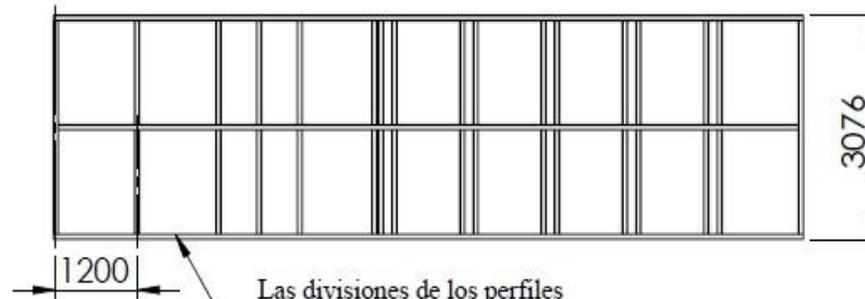
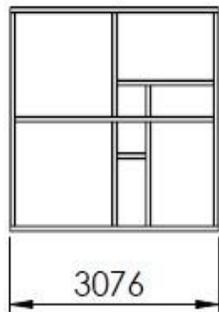
Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
Contaminación del personal en la empresa	La contaminación en procesos de arenado es por la existencia de polvos químicos peligrosos la cual se exponen los operarios. (Zulkarnain et al., 2021)	Para reducir la contaminación del personal se toma la característica de hermeticidad en la cámara, para reducir la expansión de polvo hacia el exterior del proceso de arenado.	Polvo respirable en el aire	Cantidad de polvo	De razón.

**PROYECTO CAMARA DE ARENADO
VISTA ISOMETRICA**

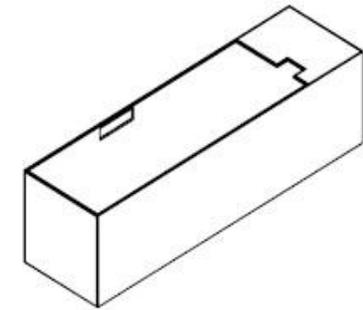


Titulo: Proyecto cámara de arenado				
	Nombre	Fecha	 UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO	
Dibujado	J. Salazar	01/06/23		
Revisado			Ingeniería Mecánica Eléctrica	
Escala	1/120		Hoja: 01	Archivo: Camara de arenado

Cámara contraplacada

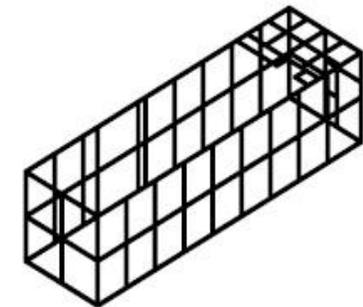
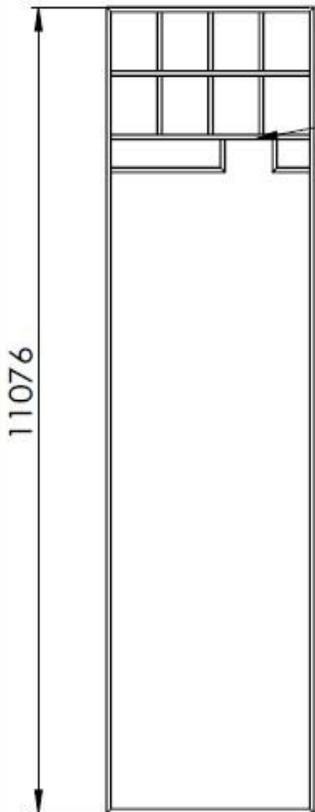


Las divisiones de los perfiles se estiman para colocar las placas de acero de 1.2 m x 2.4 m x 1/20"



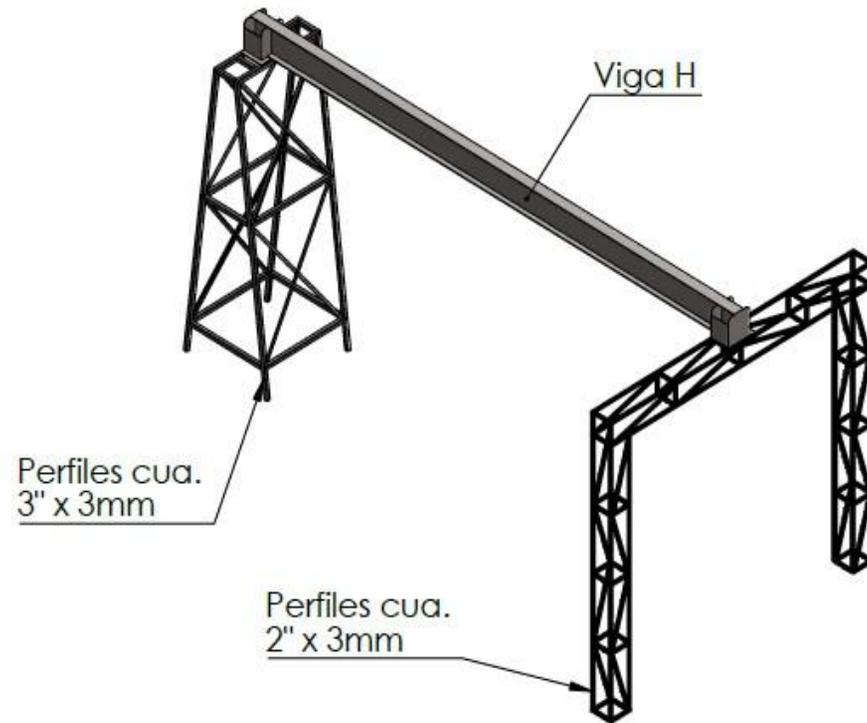
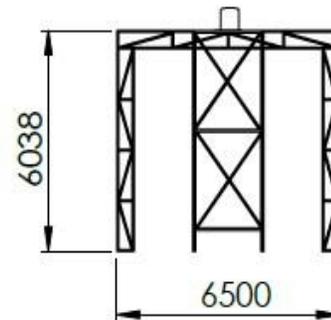
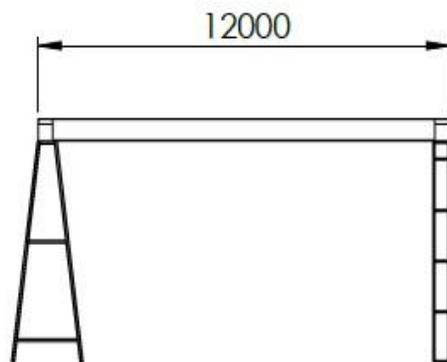
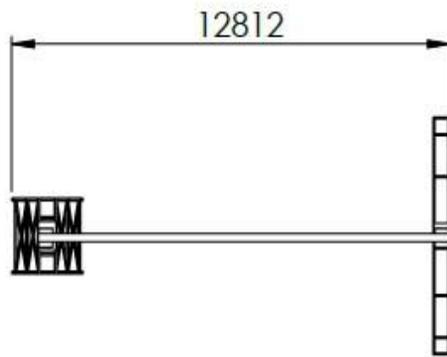
Cámara, con estructura de perfiles sin placas de acero

Espacio para elevador de cangilones



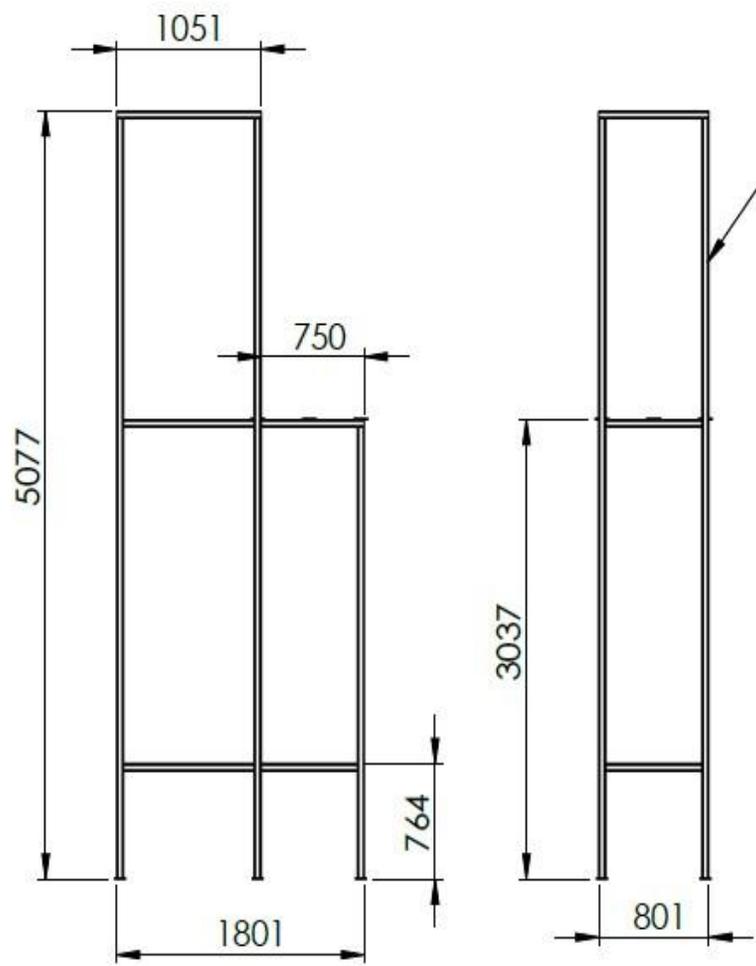
Materiales	Descripción
Perfiles estructurales, Acero ASTM A36	Tubo cuadrado: 3" x 3" x 3mm
Planchas estructurales, Acero ASTM A36	Planchas de 1.2 m x 2.4 m x 1/20"

Titulo: Estructura de cabina			
Dibujado	Nombre J. Salazar	Fecha 01/06/23	 UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO
Revisado			
Escala	1/100		Hoja: 02 Archivo: Camara de arenado

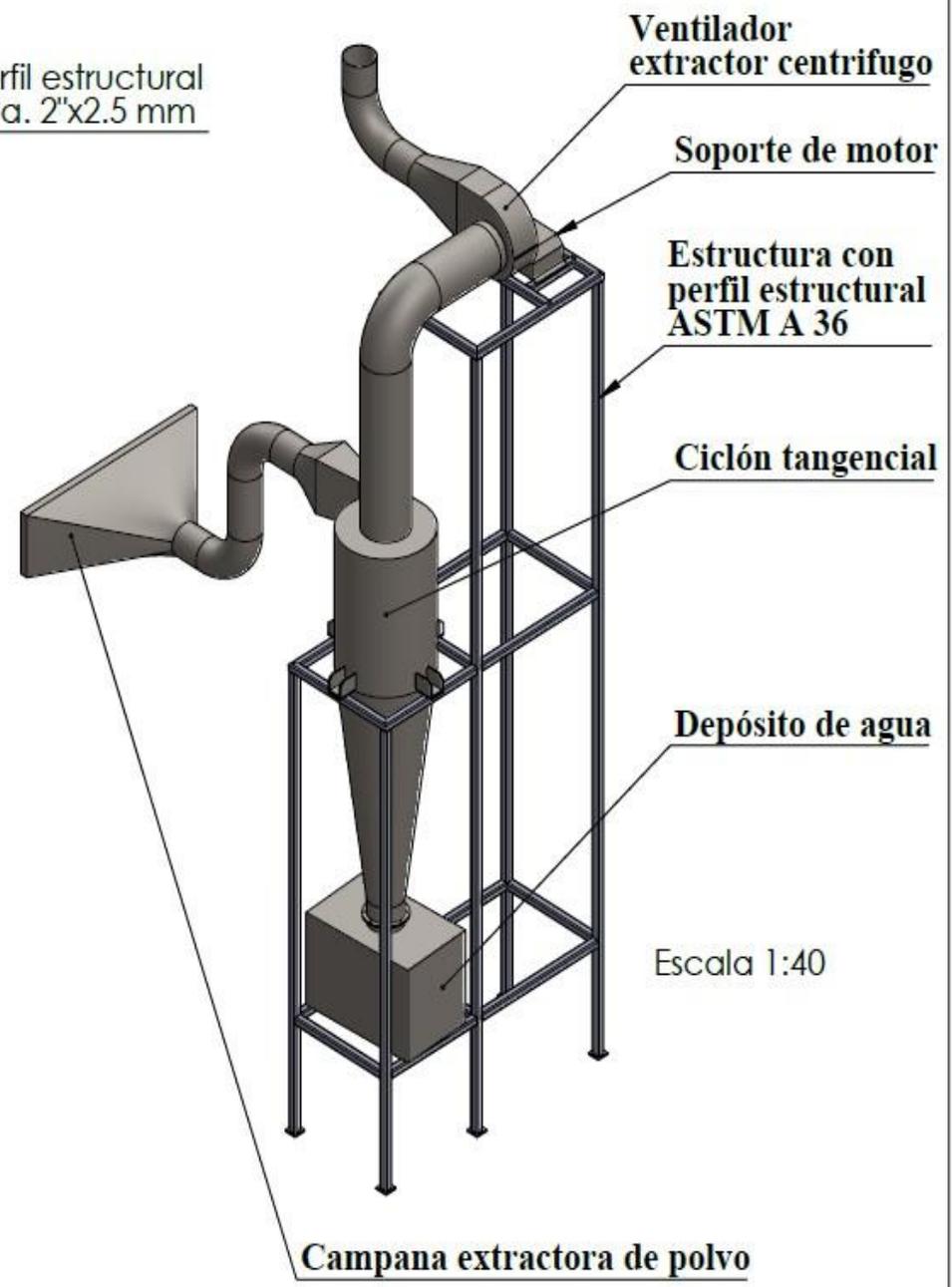


Material	Descripción
Perfiles estructurales, ASTM A 36	Perfil cuad. 3" x 3mm
Perfiles estructurales, ASTM A 36	Perfil cua. 2" x 2mm
Viga	W24"x9"x 60 lb/pie
Placas de acero ASTM A36	300mmx 300 mmx 1/2"
Cartelas de acero ASTM A36	500 mm x 500mm*3/8

Titulo: Estructura de pórtico para izaje de tuberías			
	Nombre	Fecha	 UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO
Dibujado	J. Salazar	01/06/23	
Revisado			Ingeniería Mecánica Eléctrica
Escala	1/200	Hoja: 03	Archivo: Camara de arenado



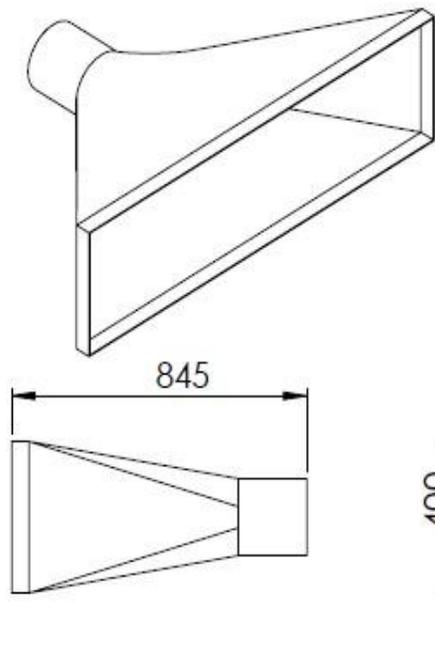
Perfil estructural
cua. 2"x2.5 mm



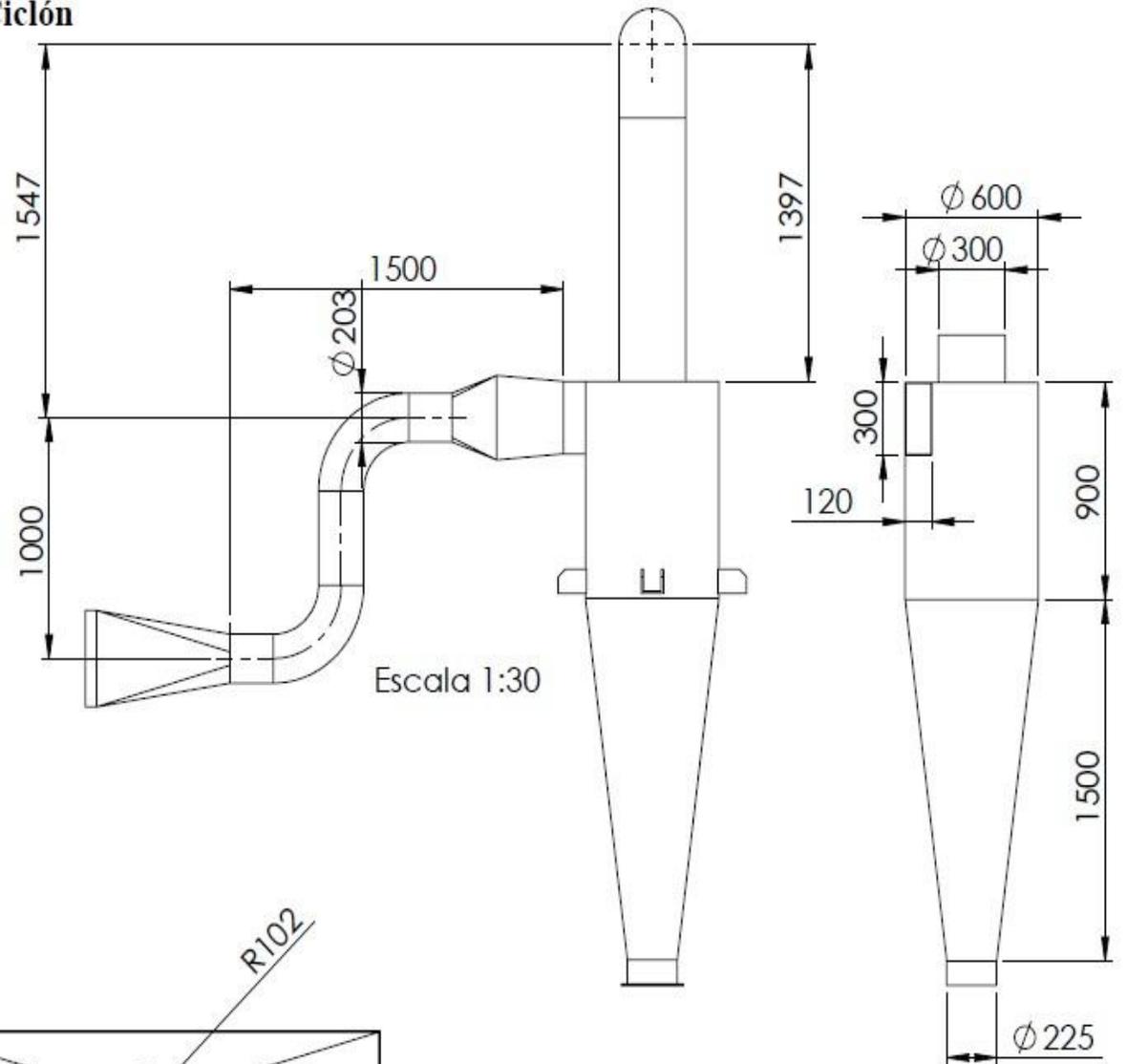
MATERIAL	DESCRIPCION
Perfil estructural ASTM A36	Perfil cuad. 2"x2 mm
PLanchas ASTM A36	1.2 m x 2.4 m x 1/8"

Titulo: Estructura de ciclón			
	Nombre	Fecha	
Dibujado	J. Salazar	01/06/23	UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO
Revisado			Ingeniería Mecánica Eléctrica
Escala	1/50		Hoja: 04 Archivo: Camara de arenado

Campana extractora de polvo



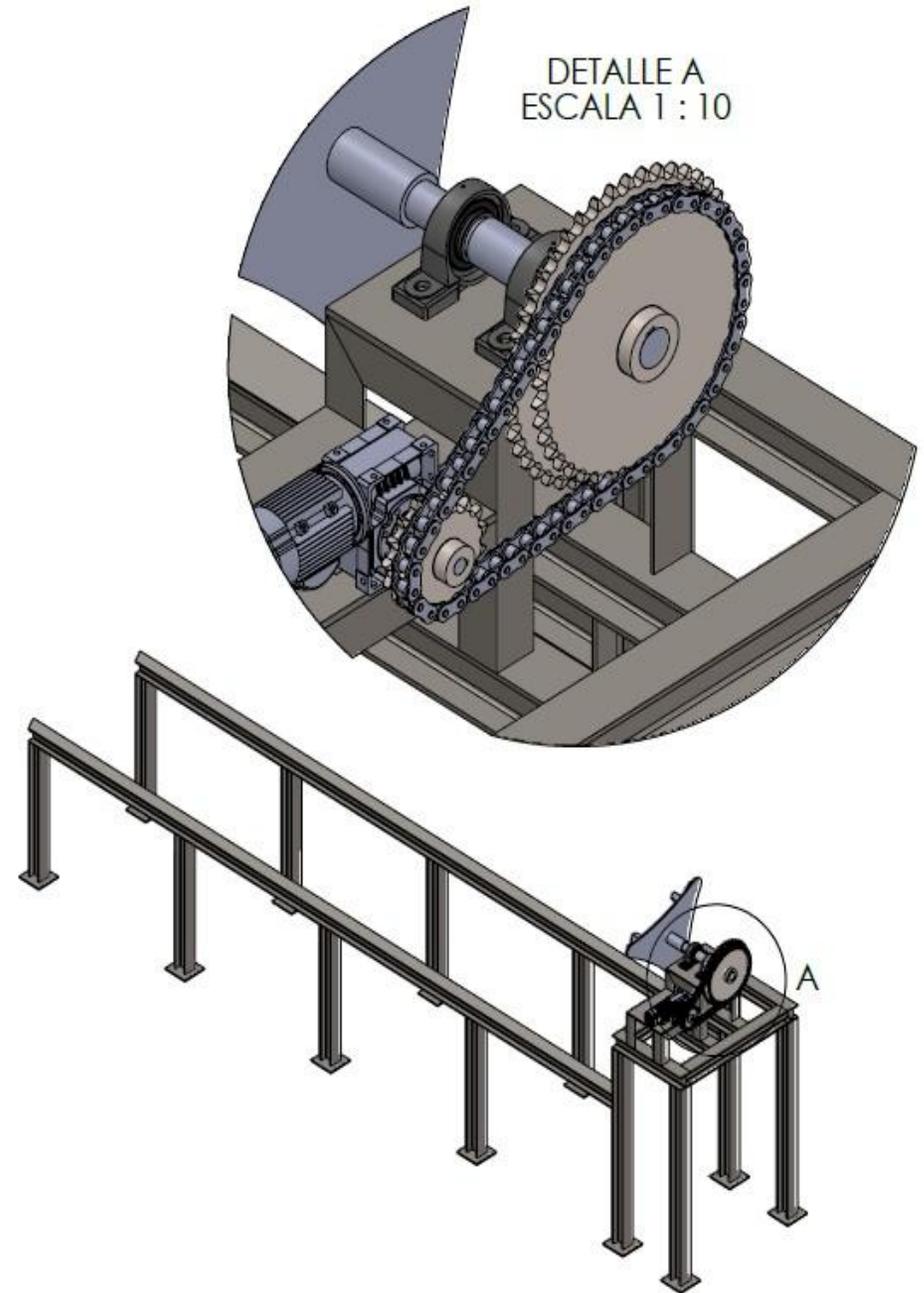
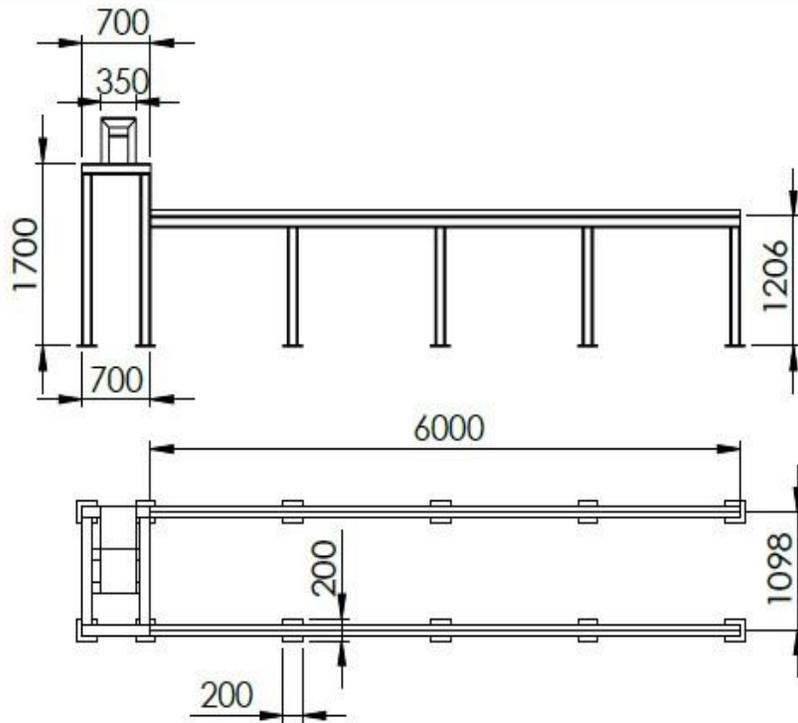
Ciclón



Escala 1:30

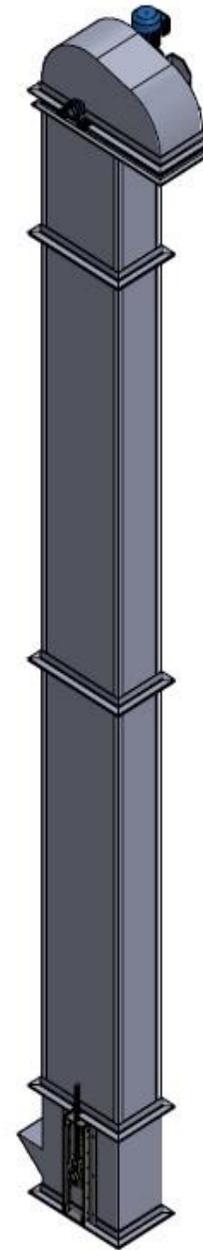
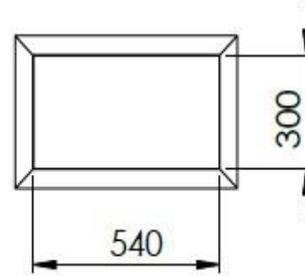
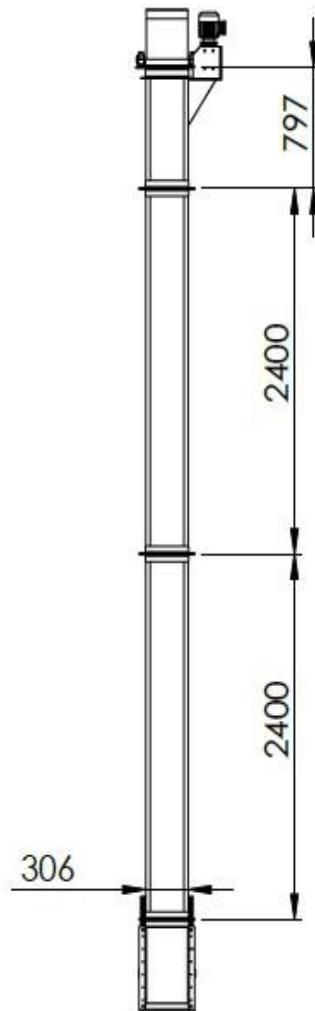
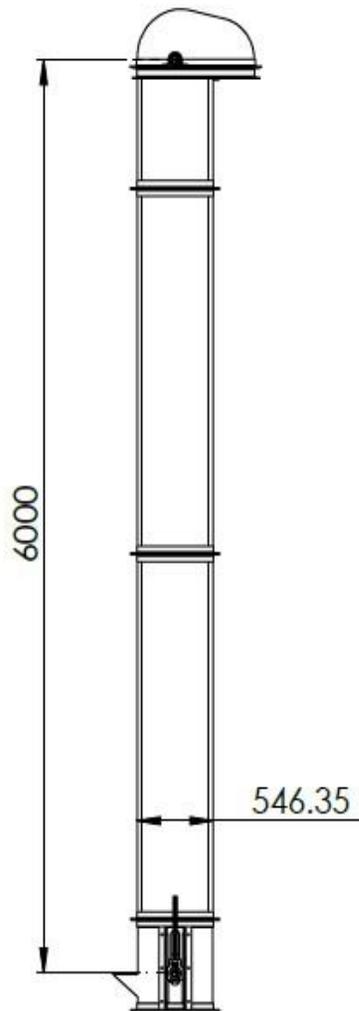
Título: Ciclón y tuberías.

	Nombre	Fecha	UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO	
Dibujado	J. Salazar	01/06/23		Ingeniería Mecánica Eléctrica
Revisado				
Escala	1/30		Hoja: 05	Archivo: Camara de arenado



MATERIAL	DESCRIPCIÓN
VIGAS ACERO ASTM A36	W4x13
ÁNGULOS DE ACERO ASTM A36	3"x3"x1/4"
PLACAS DE ASTM A36	200x200x3/8" 400x350x1/2"
PIÑÓN 20B-2	Piñón motriz doble de 15 dientes
PIÑÓN 20B-2	Piñón conducido doble de 40 dientes, y 45 dientes
CADENA 20B	LONGITUD= 962 mm
2 CHUMACERAS DE PIE	UCP 212

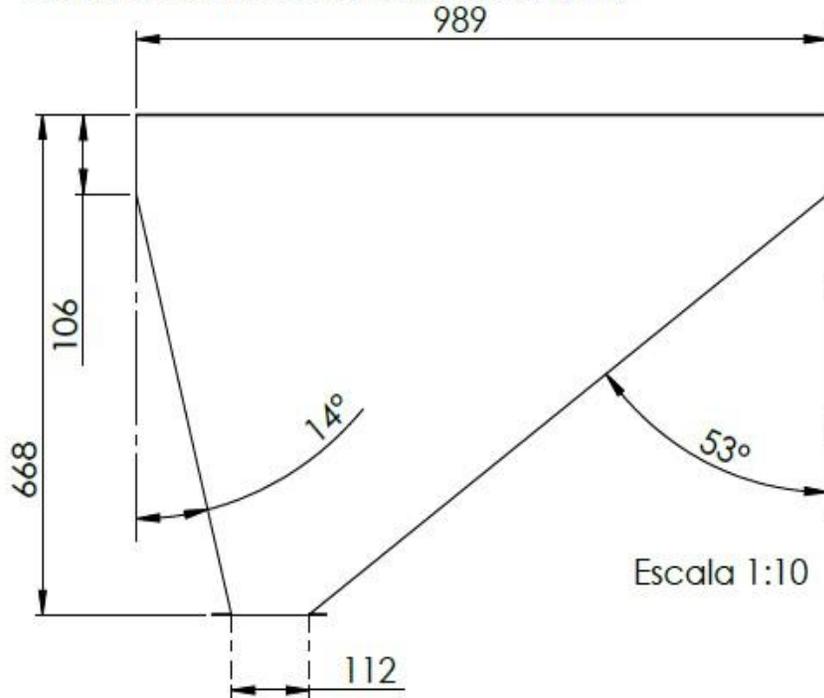
Titulo: Bancada de tubería y mecanismo			
	Nombre	Fecha	
Dibujado	J. Salazar	01/06/23	 UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO
Revisado			Ingeniería Mecánica Eléctrica
Escala	1/50	Hoja: 06	Archivo: Camara de arenado



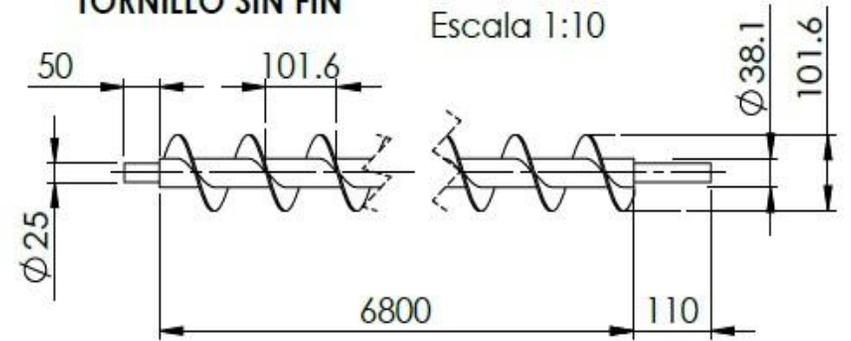
Material	Descripcion
Planchas acero, ASTM A36	1.2 m x 2.4 m x 1/8"
Angulos de acero ASTM A36	1 1/4" x 1/8" - 2"x1/4"
Tensores	UCT 206 2 unid.
Perfiles en C	75mmx40mmx5 mm

Titulo: Elevador de cangilones			
	Nombre	Fecha	 UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO Ingenieria Mecanica Electrica
Dibujado	J. Salazar	01/06/23	
Revisado			
Escala	1/50		
		Hoja: 07	Archivo: Camara de arenado

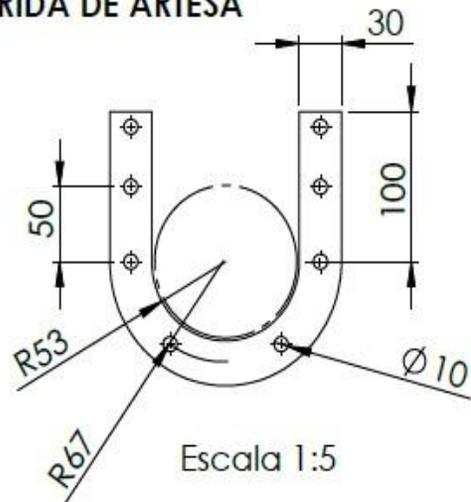
TOLVA DE ENTRADA A TORNILLO SIN FIN



TORNILLO SIN FIN



BRIDA DE ARTESA

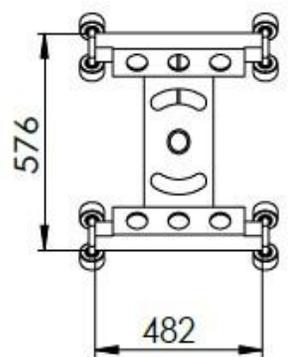


Escala 1:50

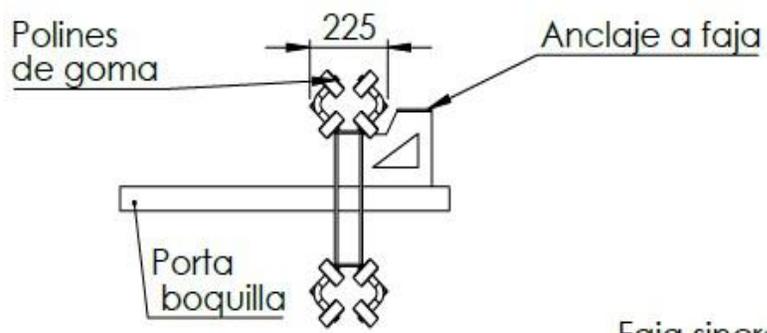


ISOMÉTRICO TORNILLO SIN FIN

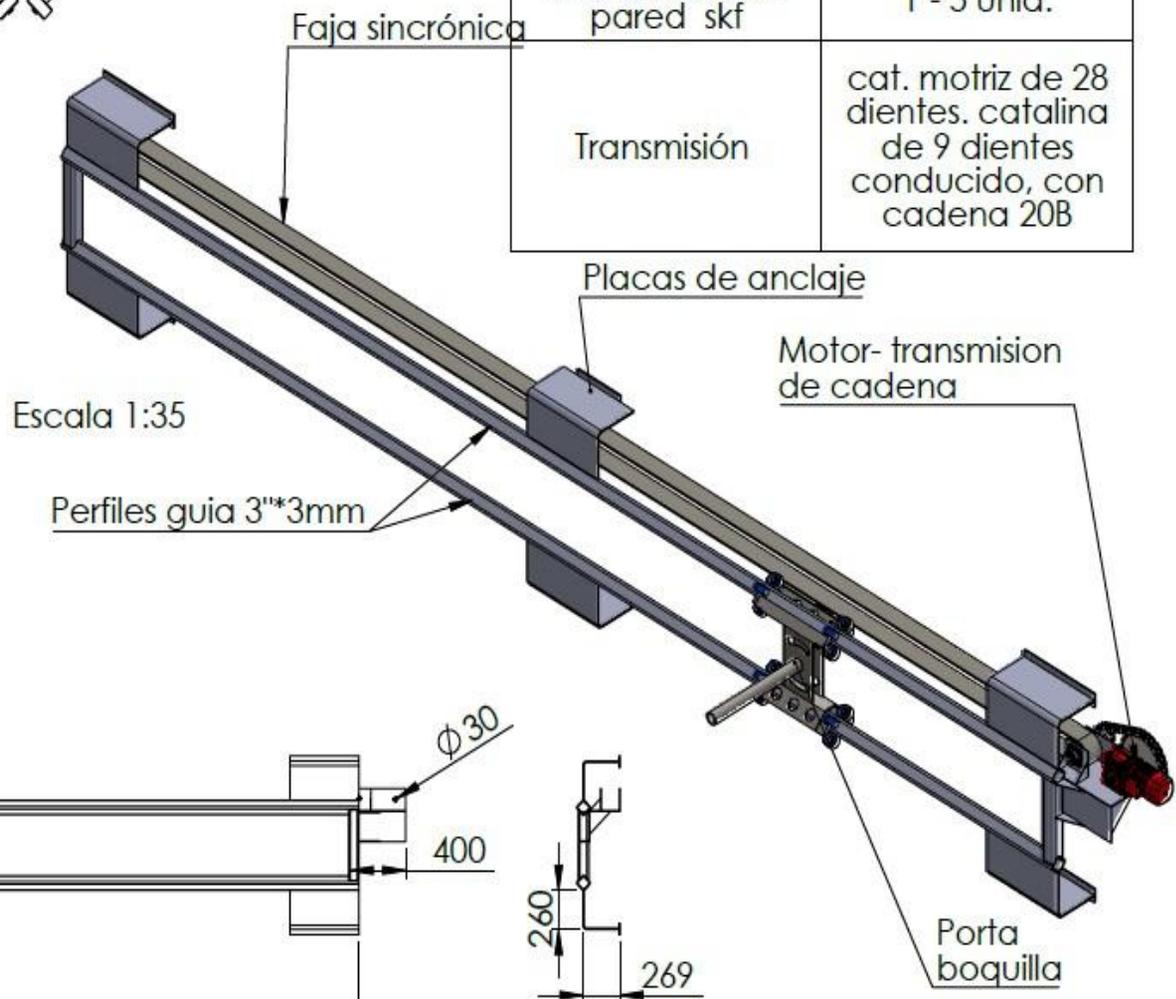
Titulo: Tornillo sin fin			
Dibujado	Nombre J. Salazar	Fecha 01/06/23	UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO
Revisado			Ingeniería Mecánica Eléctrica
Escala	1/10	Hoja: 08	Archivo: Camara de arenado



Escala 1:20



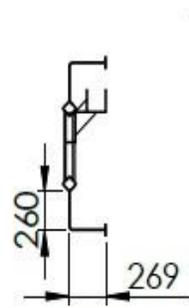
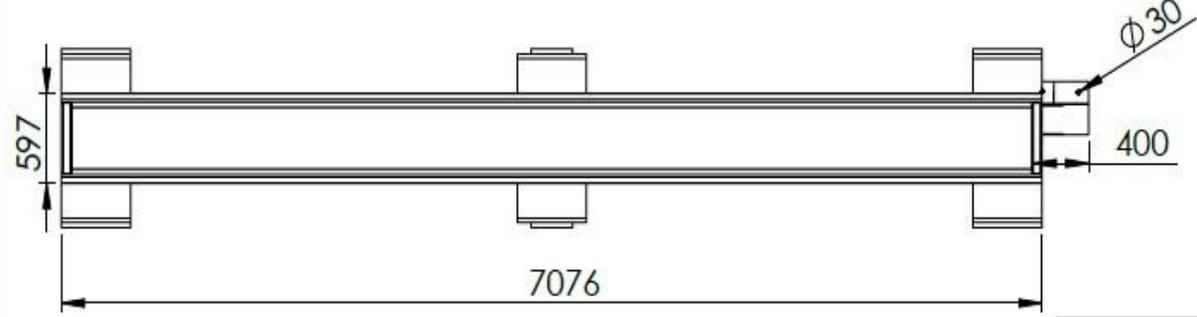
Material	Descripcion
Tub. est. acero ASTM A36	3"x3mm
Placas ASTM A36	3/8"x500
Placas ASTM A36	Soporte de motor 1/4"
Chumacera de pared skf	1"- 5 unid.
Transmisión	cat. motriz de 28 dientes. catalina de 9 dientes conducido, con cadena 20B



Escala 1:35

Perfiles guia 3"x3mm

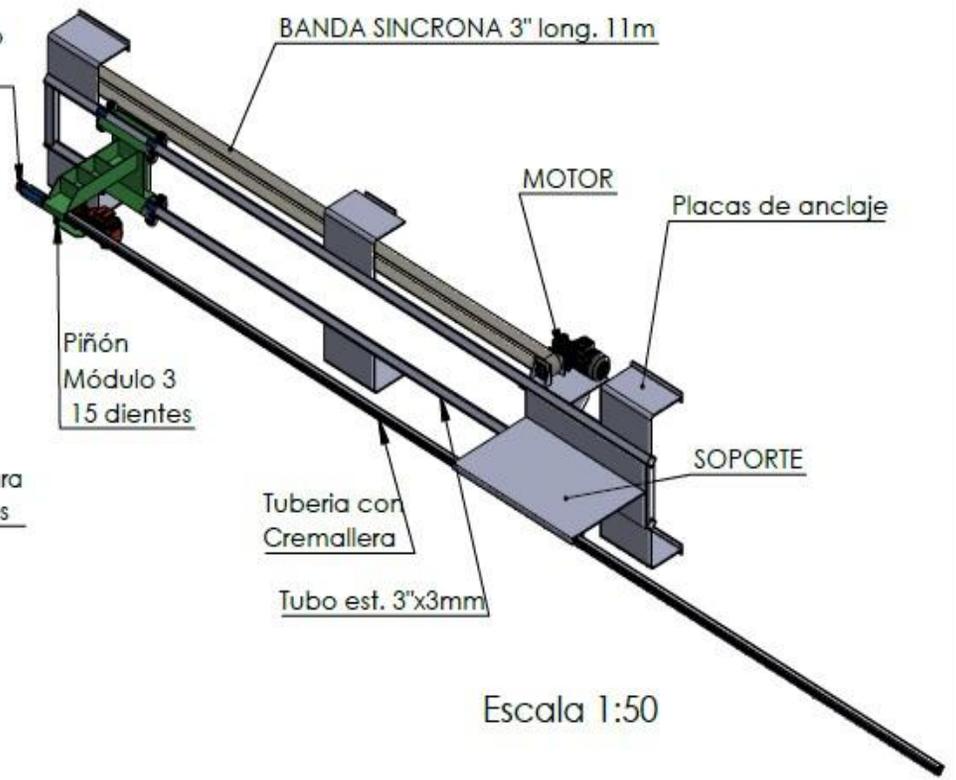
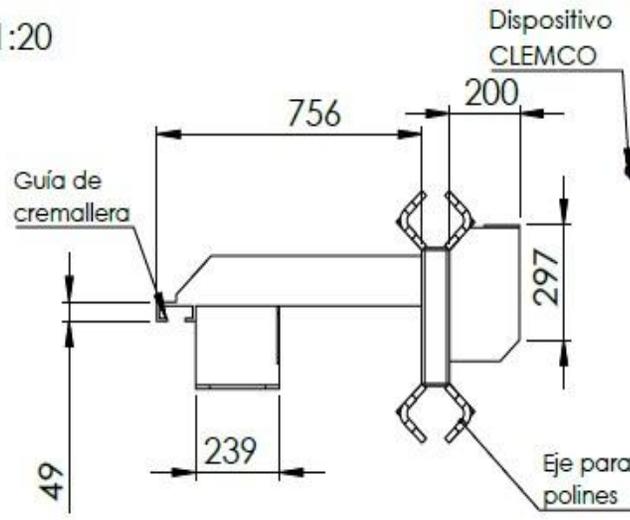
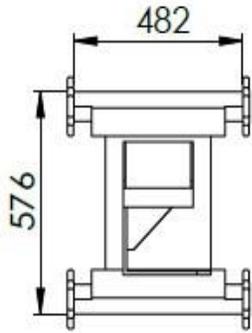
Escala 1:50



Título: Estructura de limpieza externa

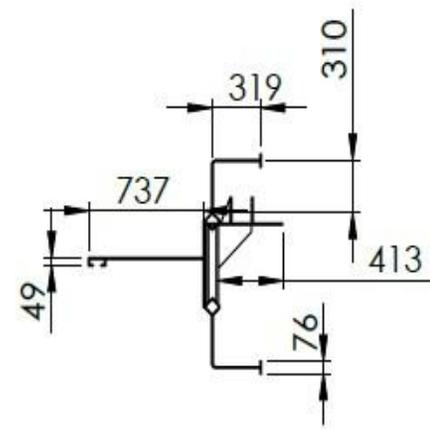
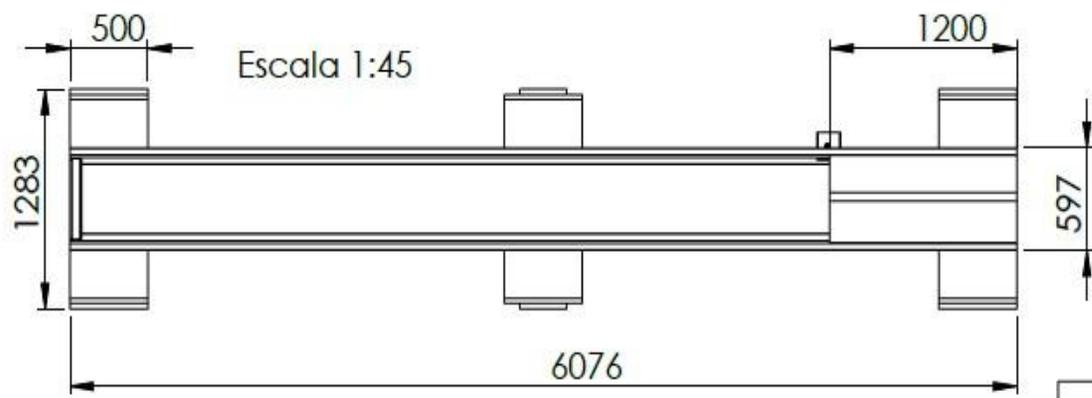
	Nombre	Fecha	UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO
Dibujado	J. Salazar	01/06/23	
Revisado			Ingeniería Mecánica Eléctrica
Escala	1/20		Hoja: 09 Archivo: Camara de arenado

Escala 1:20



Escala 1:50

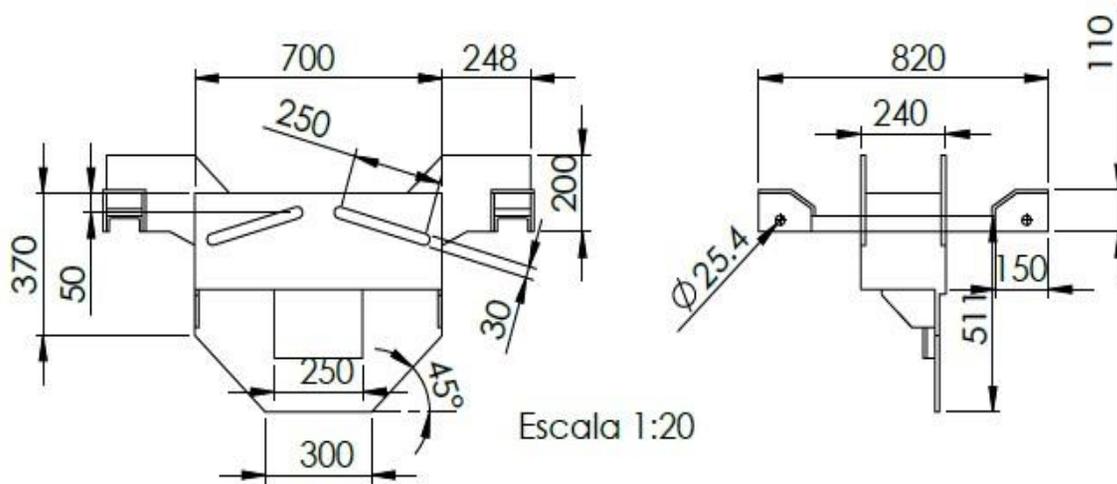
Material	Descripción
Acero ASTM A36	Tub. est. 3"x3mm
chumaceras de pared	1"
Acero ASTM A36	Placa 3/8"; Placa 1/4"



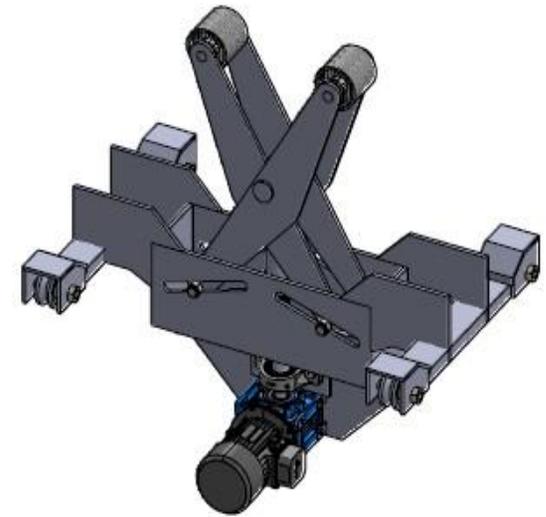
Titulo: Estructura de arenado interno			
Dibujado	Nombre J. Salazar	Fecha 01/06/23	UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO Ingeniería Mecánica Eléctrica
Revisado			
Escala	1/10	Hoja: 10	

Archivo: Camara de arenado

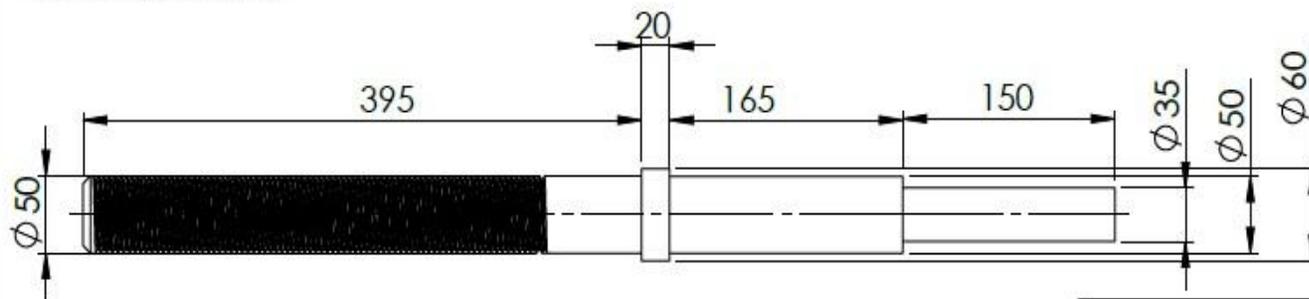
Escala 1:20



Escala 1:20



Perno de potencia ACME- 2" ϕ
3hilos x pulgada



Escala 1:5

Titulo: Soporte de tuberias			
Dibujado	Nombre	Fecha	 UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO
Revisado	J. Salazar	01/06/23	
Escala	1/20		Ingenieria Mecanica Electrica
			Hoja: 11 Archivo: Camara de arenado