

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**



**Diseño de máquina cribadora de arena con capacidad de 500 kg/hora para reducir la granulometría entre 0,40 y 2 mm.**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

**AUTOR**

**Maykell Renny Larrea Rivera**

**ASESOR**

**Lucio Antonio Llontop Mendoza**

<https://orcid.org/0000-0002-2561-0126>

**Chiclayo, 2025**

**Diseño de máquina cribadora de arena con capacidad de 500 kg/hora para reducir la granulometría entre 0,40 y 2 mm.**

PRESENTADO POR

**Maykell Renny Larrea Rivera**

A la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo  
para optar el título de

**INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

APROBADA POR

Rodolfo Arturo García Uchofen

PRESIDENTE

Dante Omar Panta Carranza

SECRETARIO

Lucio Antonio Llontop Mendoza

VOCAL

## **Dedicatoria**

Esta investigación es dedicada a mi papá, mamá y abuela por su apoyo en todo momento, por sus consejos y su perseverancia de cumplir las metas que hasta ahora he logrado.

A mi familia y a todos aquellos que comparten mis logros.

A Dios, por darme las fuerzas necesarias para seguir adelante y cumplir con mis metas.

## **Agradecimientos**

A Dios, por guiarme arduamente en esta etapa universitaria y haberme ayudado a culminar mis estudios de forma exitosa.

A mis padres, por el esfuerzo, ayuda y comprensión en esta etapa fundamental de mi vida, los cuales siempre estuvieron y estarán conmigo siempre.

A mi asesor de tesis, el ingeniero Lucio Antonio Llontop Mendoza por el apoyo incondicional que ha brindado constantemente.

# Diseño de máquina cribadora de arena con capacidad de 500 kg/hora para reducir la granulometría entre 0,40 y 2 mm.

## INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	4%
2	<a href="http://tesis.usat.edu.pe">tesis.usat.edu.pe</a> Fuente de Internet	3%
3	<a href="http://repositorio.uss.edu.pe">repositorio.uss.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="http://dspace.ups.edu.ec">dspace.ups.edu.ec</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="http://repositorio.usm.cl">repositorio.usm.cl</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="http://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a> Fuente de Internet	1%
7	<a href="http://vsip.info">vsip.info</a> Fuente de Internet	1%
8	<a href="http://repositorio.unicordoba.edu.co">repositorio.unicordoba.edu.co</a> Fuente de Internet	<1%
9	<a href="http://repositorio.unac.edu.pe">repositorio.unac.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
10	<a href="http://qdoc.tips">qdoc.tips</a> Fuente de Internet	<1%
11	<a href="http://convencion.uclv.cu">convencion.uclv.cu</a> Fuente de Internet	<1%

## Índice

RESUMEN.....	11
ABSTRACT.....	12
1. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	14
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
1.3. OBJETIVOS.....	15
1.3.1. Objetivo general.....	15
1.3.2. Objetivos específicos.....	15
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	16
1.4.1. Justificación social.....	16
1.4.2. Justificación económica.....	16
1.4.3. Justificación tecnológica.....	16
1.4.4. Justificación ambiental.....	16
2. MARCO TEÓRICO.....	17
2.1. ANTECEDENTES.....	17
2.2. BASES TEÓRICAS.....	18
2.2.1. Máquina cribadora de arena.....	19
2.2.2. Zaranda.....	20
2.2.3. Tamizado o cribado.....	21
2.2.4. Funciones del proceso de cribado.....	22
2.2.5. Términos empleados en los procesos de cribado.....	23
2.2.6. Superficies de cribado.....	23
2.2.7. Tipos de mallas metálicas.....	25
2.2.8. Clasificación de las máquinas de cribado.....	26
2.2.9. Tipos de tamizado.....	27
2.2.10. Tamiz.....	31
2.2.11. Selección de la malla.....	32
2.2.12. Dimensiones de malla para tamizado.....	33
2.2.13. Agregados.....	33
2.2.14. Tipos de agregados.....	33
2.2.15. Clasificación de los agregados.....	34
2.2.16. Arena.....	34
2.2.17. Clasificación de la arena.....	35

2.2.18.	Tipos de arena más usadas para la construcción .....	38
2.2.19.	Sistema de biela y manivela .....	38
2.2.20.	Sistema de transmisión por poleas .....	39
2.3.	BASES TEÓRICAS CIENTÍFICAS .....	39
2.3.1.	Resistencia de materiales .....	39
2.3.2.	Carga permisible y esfuerzo permisible .....	41
3.	METODOLOGÍA .....	43
3.1.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	45
3.1.1.	Tipo de investigación .....	45
3.1.2.	Población y muestra .....	45
3.1.3.	Métodos y técnicas de recolección de datos.....	45
3.1.4.	Operacionalización de variables.....	47
3.1.5.	Matriz de consistencia.....	48
3.1.6.	Técnica de recolección de datos.....	51
4.	RESULTADOS.....	51
4.1.	IDENTIFICAR EL PROCESO DE TAMIZADO Y CERNIDO EXISTENTE EN TRABAJOS DE CONSTRUCCIÓN DOMICILIARIA. ....	51
4.1.1.	Tamizado manual .....	51
4.1.2.	Árbol de objetivos .....	56
4.2.	ANALIZAR LAS NECESIDADES Y MÉTRICAS DE LA MÁQUINA CRIBADORA DE ARENA PARA DETERMINAR LAS ESPECIFICACIONES FINALES. 58	
4.3.	SELECCIONAR LOS COMPONENTES DE LA MÁQUINA CRIBADORA CON UNA CAPACIDAD DE 500 KG/HORA A TRAVÉS DEL MÉTODO DE MATRIZ MORFOLÓGICA.....	62
4.3.1.	Técnica de la caja negra .....	62
4.3.2.	Lista de requerimientos .....	62
4.3.3.	Matriz morfológica.....	64
4.3.4.	Exploración de soluciones.....	65
4.3.5.	Bosquejos para soluciones planteadas.....	67
4.3.6.	Concepto óptimo del diseño.....	69
4.4.	DISEÑAR LA MÁQUINA CRIBADORA MEDIANTE CÁLCULOS DE RESISTENCIA DE MATERIALES Y ESTANDARIZACIÓN PARA SOPORTAR LA CAPACIDAD DE 500 KG/HORA. ....	71
4.4.1.	Parámetros generales de la máquina .....	71
4.4.2.	Densidad de la arena .....	71

4.4.3.	Cálculo de diámetro de tambor en función de la capacidad de producción de la máquina.....	72
4.4.4.	Selección de tamiz comercial de acuerdo con la granulometría requerida .....	72
4.4.5.	Peso de la malla de un tamiz .....	73
4.4.6.	Dimensionamiento de cernidora rotativa .....	74
4.4.7.	Angulo de inclinación .....	74
4.4.8.	Velocidad crítica de rotación.....	75
4.4.9.	Velocidad optima .....	75
4.4.10.	Tiempo de cernido.....	76
4.4.11.	Centro de gravedad del volumen de arena .....	76
4.4.12.	Angulo $\alpha$ .....	76
4.4.13.	Altura del centro de gravedad (h).....	77
4.4.14.	Parámetro S .....	77
4.4.15.	Parámetro Y.....	77
4.4.16.	Potencia para mover la arena .....	77
4.4.17.	Torque necesario .....	78
4.4.18.	Potencia Necesaria .....	78
4.4.19.	Fuerza Tangencial .....	78
4.4.20.	Angulo de la fuerza tangencial $\beta$ .....	78
4.4.21.	Torque necesario para mover la cernidora en vacío.....	78
4.4.22.	Potencia necesaria para mover la cernidora en vacío.....	79
4.4.23.	Potencia total para mover la maquina cernidora .....	79
4.4.24.	Diseño de eje por resistencia y fatiga.....	80
4.4.25.	Cálculo de diámetro del eje.....	82
4.4.26.	Comprobación de diámetro de eje por rigidez .....	87
4.5.	<b>SIMULAR EL DISEÑO ESTÁTICO ESTRUCTURAL DE LA MÁQUINA CRIBADORA Y ANÁLISIS DE FATIGA DEL EJE MEDIANTE EL ANÁLISIS CAE DEL SOFTWARE SOLIDWORKS.</b> .....	89
4.5.1.	Calidad de mallado.....	90
4.5.2.	Tensiones de Von Mises .....	91
4.5.3.	Desplazamientos.....	91
4.5.4.	Factor de seguridad .....	92
4.5.5.	Simulación de fatiga.....	92
4.5.6.	Análisis de frecuencia .....	96
4.5.7.	Calculo y selección de rodamientos .....	100
4.5.8.	Horas de duración recomendada para el rodamiento L10.....	100

4.5.9. Número de revoluciones de diseño para el rodamiento Ld .....	101
4.5.10. Calculo y selección de Acoplamiento .....	102
5. CONCLUSIÓN .....	105
6. RECOMENDACIONES .....	106
7. BIBLIOGRAFÍA .....	107
8. ANEXOS .....	109

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: cribadora de la antigua Egipto.....	19
Ilustración 2: máquina cribadora de arena industrial .....	20
Ilustración 3: Personal de obra cerniendo a brazos con zaranda.....	21
Ilustración 4: Personal de obra cerniendo arena sobre un rodillo.....	21
Ilustración 5: Proceso de tamización de arena .....	22
Ilustración 6: Criba de parrilla de barras .....	24
Ilustración 8: Criba con mallas metálicas.....	25
Ilustración 9: Proceso de tamizado manual realizado por un obrero.....	27
Ilustración 10: Proceso de tamizado artesanal realizado por dos obreros. ....	28
Ilustración 11: partes de un tamizado vibratorio horizontal.....	29
Ilustración 12: Mecanismo de un tamizado vibratorio inclinado .....	29
Ilustración 13: Proceso de tamizado giratorio .....	30
Ilustración 14: Proceso de un tamizado centrífugo .....	30
Ilustración 15: Imagen de una máquina de tamizado con movimiento oscilante.....	31
Ilustración 16: Mecanismo biela-manivela de un tamizado con movimiento oscilante.....	31
Ilustración 17: Malla metálica.....	32
Ilustración 18: Tipos de mallas para el tamizado de arena.....	32
Ilustración 19: Tipos de agregados.....	33
Ilustración 20: Arena silíceo.....	35
Ilustración 21: Arena de olivine .....	36
Ilustración 22: Arena de zirconio .....	36
Ilustración 23: Arena cromita.....	37
Ilustración 24: arena cernida .....	37
Ilustración 25: Sistema de biela y manivela.....	38
Ilustración 26: Sistema de transmisión por poleas .....	39
Ilustración 27: Perno sometido a cortante simple.....	40
Ilustración 28: Perno sometido a cortante doble .....	41
Ilustración 29: Diagrama de esfuerzo deformación.....	42
Ilustración 30: Arena fina.....	52
Ilustración 31: Balde de arena de 25 kg .....	52
Ilustración 32: Arena fina lista para cernir en una malla galvanizada.....	52
Ilustración 33: Proceso de tamizado manual de arena.....	53
Ilustración 34: Residuos que quedan de la arena cernida.....	53
Ilustración 35: Mezcla de arena cernida con cemento.....	54
Ilustración 36: Mezcla de arena cernida con cemento.....	54
Ilustración 37: Arena cernida y mezclada lista para usarla en el tarrajeo. ....	55
Ilustración 38: Tarrajeo de paredes, techo, etc. con la arena cernida .....	55
Ilustración 39: Técnica de la caja negra para máquina cribadora de arena .....	62
Ilustración 40: Bosquejo para solución N°1 .....	67
Ilustración 41: Bosquejo para solución N°2.....	68
Ilustración 42: Bosquejo para solución N°3.....	68
Ilustración 43: Selección de tamiz comercial.....	73
Ilustración 44: malla.....	73
Ilustración 45: Pautas de la platina.....	74
Ilustración 46: Motorreductor seleccionado.....	80

Ilustración 47: Diagrama de momentos, de cargas y corte.....	82
Ilustración 48: Ficha técnica del acero SAE 1045.....	83
Ilustración 49: Factor $K_a$ .....	84
Ilustración 50: Factor $K_d$ .....	85
Ilustración 51: Factor $K_e$ .....	85
Ilustración 52: Factor $q$ .....	86
Ilustración 53: Diagrama.....	86
Ilustración 54: Simulación del eje de transmisión.....	90
Ilustración 55: Calidad de mallado.....	90
Ilustración 56: Simulación de Tensión de Von Mises.....	91
Ilustración 57: Simulación de desplazamiento.....	91
Ilustración 58: Simulación del factor de seguridad.....	92
Ilustración 59: Simulación de parámetros de comprobación de fatiga.....	93
Ilustración 60: Biblioteca SolidWorks Curva S-N.....	94
Ilustración 61: Curva S-N 1045.....	94
Ilustración 62: Simulación de resultados de comprobación de fatiga.....	94
Ilustración 63: Simulación de parámetros de análisis de fatiga.....	95
Ilustración 64: Simulación de resultados de análisis de fatiga.....	95
Ilustración 65: Frecuencia natural 1, participación de masa en Z; 76.4 %.....	97
Ilustración 66: Frecuencia natural 2, participación de masa en Y; 76.4 %.....	98
Fuente: SolidWorks.....	98
Ilustración 67: Frecuencia natural 5, participación de masa en Y y Z; 6 % y 1%.....	98
Ilustración 68: Frecuencia natural 6, participación de masa en Y y Z; 1 % y 6%.....	98
Ilustración 69: Frecuencia natural 14, participación de masa en X: 75.1 %.....	99
Ilustración 70: Tabla de participación de masa normalizada.....	99
Ilustración 71: Instalación de soportes de caucho.....	100
Ilustración 72: Catálogo de tacos de caucho anti vibratorio.....	100
Ilustración 73: Horas de duración recomendada para el rodamiento L10.....	101
Ilustración 74: Conjunto soporte-rodamiento SYK 40 WA.....	102
Ilustración 75: Dimensiones y Rendimiento de SYK 40 WA.....	102
Ilustración 76: Acoplamiento del tipo flexible.....	102
Ilustración 77: Tabla de tamaños del acoplamiento.....	103
Ilustración 78: Tamaño del acoplamiento F 70.....	104
Ilustración 79: Dimensiones de las mazas SKF Flex, tipos B, F y H.....	104
Ilustración 80: Tamaño del acoplamiento F 70 del tipo B.....	104
Ilustración 81: Máquina cernidora (ensamble isométrico).....	109
Ilustración 82: Máquina cernidora (ensamble – vistas).....	109
Ilustración 83: Máquina cernidora (estructura).....	110
Ilustración 84: Máquina cernidora (cilindro cernidor).....	110
Ilustración 85: Máquina cernidora (tolva de carga).....	111
Ilustración 86: Máquina cernidora (tolva de descarga).....	111
Ilustración 87: Máquina cernidora (guarda).....	112
Ilustración 88: Máquina cernidora (buje).....	112
Ilustración 89: Máquina cernidora (eje de transmisión).....	113

## LISTA DE CUADROS

Tabla 1: Clasificación de las máquinas de cribado .....	26
Tabla 2: Diferencias de los tipos de arena más comunes .....	38
Tabla 3: Variable independiente.....	47
Tabla 4: Variable dependiente.....	47
Tabla 5: Matriz de consistencia.....	48
Tabla 6: Descripción del proceso de tamizado manual .....	52
Tabla 7: Lista de requerimientos (deseos y exigencias).....	62
Tabla 8: Lista de requerimientos (uso, función, etc.).....	63
Tabla 9: Matriz morfológica del diseño de máquina cribadora de arena .....	64
Tabla 10: Tabla de solución 1 .....	65
Tabla 11: Tabla de solución 2 .....	66
Tabla 12: Tabla de solución 3 .....	66
Tabla 13: Criterios de selección del diseño de la máquina cribadora de arena .....	69
Tabla 14: evaluación de conceptos.....	70
Tabla 15: Parámetros generales.....	71
Tabla 16: Densidad de Arena .....	71
Tabla 16: Cargas utilizadas en la simulación .....	89
Tabla 17: Factor de seguridad (F.S) para el diseño de flechas según Normas ANSI-ASME .....	92
Tabla 18: Frecuencias Naturales .....	96
Tabla 19: Dimensiones de caucho Anti vibratorio .....	100

## RESUMEN

Esta investigación presenta el diseño de una máquina cribadora de arena para el personal de obra en el ámbito de construcciones domiciliarias, como ayuda para clasificar la arena según su tamaño y agilizar el proceso de tamizado a la hora de su respectivo zarandeo, para luego ser usada para la producción de concreto estructural, recubrimiento de paredes, acabados superficiales, entre otros.

La máquina tiene como objetivo aumentar la calidad de la arena cernida en términos de granulometría, reducir los tiempos que se tarda el personal de obra en ejecutar el proceso, aumentar la tasa de producción y disminuir los riesgos de lesiones producidas por posturas inadecuadas y cargas excesivas en el proceso manual de tamizado.

La máquina se diseñó para evitar el esfuerzo físico del personal de obra. Se tomaron en cuenta sus recomendaciones y se emplearon criterios de diseño de máquinas, resistencia de materiales y sistemas de transmisión para una efectiva selección de materiales, diseño de ejes, selección de pernos y tornillos entre otros elementos. También se tomó en cuenta la estandarización, para que pueda soportar la cantidad de arena establecida.

La máquina tamizadora consiste en introducir la arena a través de una tolva, dicha arena cae a la faja transportadora, la cual la desplaza por medio de una banda hasta que caiga a la máquina. Una vez depositada la arena, se comienza con el proceso de tamización centrífuga, cayendo la arena cernida al recipiente y las piedras caen por la inclinación a su recipiente respectivo.

Se realizó una simulación del análisis estático estructural y análisis de fatiga de eje a la máquina tamizadora de arena mediante el software SolidWorks.

**Palabras clave:** máquina tamizadora de arena, arena, zarandeo, granulometría.

## ABSTRACT

This research presents the design of a sand screening machine for construction personnel in the field of home construction, as an aid to classify the sand according to its size and speed up the sifting process at the time of its respective screening, to be used later. for the production of structural concrete, wall covering, surface finishes, among others.

The purpose of the machine is to increase the quality of the sifted sand in terms of granulometry, reduce the time it takes for construction personnel to execute the process, increase the production rate, and reduce the risk of injuries caused by inappropriate postures and excessive loads. in the manual screening process.

The machine was built to avoid the physical effort of the construction personnel. Their recommendations were taken into account and machine design criteria, material resistance and transmission systems were used for an effective selection of materials, shaft design, selection of bolts and screws, among other elements. Standardization was also taken into account, so that it can withstand the amount of sand established.

The sieve machine consists of introducing the sand through a hopper, said sand falls to the conveyor belt, which moves it by means of a band until it falls into the machine. Once the sand is deposited, the centrifugal sifting process begins, the sifted sand falling into the container and the stones fall down the slope to their respective container.

A simulation of the structural static analysis and shaft fatigue analysis was carried out on the sand sieve machine using SolidWorks software.

**Keywords:** sand screening machine, sand, shaking, granulometry.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la arena es uno de los recursos naturales más demandados a nivel mundial debido a su gran aporte en la construcción de obras civiles (edificaciones, viviendas, mega estructuras, entre otros), es una materia prima fundamental en la fabricación de hormigón ya que su resistencia depende en parte de la granulometría de la arena.

La mayoría de las actividades humanas en el ámbito de construcción se realizan de alguna u otra manera con el esfuerzo propio. Tal es el caso de las actividades de trabajo con arena, en el que el personal de obra realiza el proceso de tamizado de forma manual, consumiéndole mucho tiempo y condición física, ya que en una peor ocasión el personal de obra puede terminar con lesiones graves por no tener en cuenta las recomendaciones de salud respecto a sus posturas y levantamiento de arena.

En la Región Lambayeque el proceso de tamizado de arena a menor escala se realiza de forma manual por parte de las personas encargadas, ya que las máquinas cribadoras de arena existentes en el mercado no son adecuadas a las necesidades de la localidad por presentar mayor demanda de construcciones de mega estructuras y no domiciliarias, presentando así costos muy elevados al presupuesto del obrero.

Una solución para ayudar a las personas encargadas del zarandeo de la arena es el diseño de una máquina cribadora de arena de acuerdo a sus necesidades. El presente trabajo tiene como propósito diseñar la máquina bajo todos los criterios de diseño de máquinas, para cernir la arena, con el fin de entregar una mejor calidad de granos de arena respecto a su granulometría, reducir el esfuerzo físico que este trabajo conlleva y reducir el tiempo del proceso de tamizado.

## 1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

El trabajo de cernir arena de forma manual genera una gran demanda de tiempo y genera un sobreesfuerzo físico al personal de trabajo que realiza esta actividad. En la mayoría de los casos, las máquinas cernidoras de arena son usadas en actividades industriales como por ejemplo la minería, canteras, en construcción de centros comerciales, hoteles, edificios y domicilios. El personal de trabajo en construcciones domiciliarias es considerados informales al no utilizar las máquinas necesarias para sus actividades diarias y por consecuencia ponen en riesgo su salud.

Una máquina de cribado de arena está diseñada para separar las partículas según su tamaño de malla. Los tamices que se utilizan para tamizar la arena tienen agujeros muy pequeños. La máquina de cribado de arena es una máquina que se utiliza para la clasificación/cribado/separación de arena.

Los granos de arena están generalmente entre tamaños de 0.0625 a 2 mm. A su vez, esta se utiliza en diferentes etapas de la construcción desde los cimientos hasta el trabajo de acabado.

El material de arena generalmente consiste en arena que se mezcla con grava y piedras. Arena como esta debe ser filtrada antes de usarse para materiales de construcción en domicilios. El tamizado es una forma de limpiar la arena. Los tamices de arena se utilizan para tamizar el material de arena en forma de piedras. Entonces la malla de la máquina cernidora se convierte en un instrumento que determina el tamaño de la arena a expulsar (grano fino).

## 1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿En qué medida el diseño de la máquina cribadora de arena influye en la reducción de tiempos de cernido?

La presente tesis tiene por objetivo el diseño de una máquina cribadora de arena para soportar una capacidad de 500 kg/hora al momento de tamizarla. El propósito de esta máquina es que entra materia prima (arena), con el proceso de tamizado en la malla, separar las impurezas (piedras, ramas, etc.) y expulsar granos finos y limpios de arena en una tolva destinada como recipiente. Esta máquina brinda una solución más ergonómica y eficiente, obteniendo como beneficio que el personal de trabajo reduzca su tiempo de selección y se evite daños de salud.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. Objetivo general**

- Diseñar una máquina cribadora de arena con una capacidad de 500 kg/hora para reducir la granulometría entre 0,40 y 2mm en trabajos de construcción domiciliaria.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Identificar el proceso de tamizado y cernido existente en trabajos de construcción domiciliaria.
- Analizar las necesidades y métricas de la máquina cribadora de arena para determinar las especificaciones finales.
- Seleccionar los componentes de la máquina cribadora con una capacidad de 500 kg/hora a través del método de matriz morfológica.
- Diseñar la máquina cribadora mediante cálculos de resistencia de materiales y estandarización para soportar la capacidad de 500 kg/hora.
- Simular el diseño estático estructural de la máquina cribadora y análisis de fatiga del eje mediante el análisis CAE del software SolidWorks.

## **1.4. JUSTIFICACIÓN**

### **1.4.1. Justificación social**

Será beneficiado el personal de trabajo que labora en las construcciones domiciliarias, puesto que con el uso de esta máquina se logrará una horro de tiempo en el proceso de cernido, generando así una mejor calidad del material y evitando que el operario sufra lesiones o accidentes.

### **1.4.2. Justificación económica**

La implementación de la máquina y sus respectivos accesorios se encontrarán con facilidad en el mercado. Por otro lado, el mantenimiento del equipo no será muy costoso.

### **1.4.3. Justificación tecnológica**

Se empleará el software CAD/CAE SolidWorks para la elaboración del diseño y simulación correspondiente, garantizando una excelente maniobrabilidad, operación y estabilidad.

### **1.4.4. Justificación ambiental**

Se propone que la máquina durante su funcionamiento no emitirá ningún tipo de ruido molesto, producto de la falta de lubricación en los materiales, permitiendo así el uso constante para el operario por varias horas.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. ANTECEDENTES

Briones B. y Quispe K. [1] plantean que el uso del diseño de una máquina cribadora de arena se utiliza para reducir los tiempos de cernido. El proyecto que plantean se basa en el análisis de la fábrica enfocada en la producción y comercialización de arena fina. Dentro del análisis se identificó problemas en el proceso de zarandeo, debido a que dos operarios se encuentran constantemente moviendo la malla, a fin de que pueda pasar el material. Por otro lado, se presentó otro problema que es la fragmentación de la arena la cual generaba reprocesos. Como correlación de ambas investigaciones se tiene que las dos vinculan el diseño de una máquina cribadora de arena con el objetivo de reducir los tiempos de cernido, con la diferencia de que la propuesta de estos autores es un proceso de tamizado rotatorio y esta propuesta es realizada por un proceso de tamizado giratorio de giro vertical. También se genera la eliminación del reproceso y el incremento de la productividad en la fábrica u obra.

Hnadra N., David J. y Randa J. [2] plantean que en esta investigación se describe el diseño y análisis de una máquina cribadora de arena. Durante su desarrollo, se plantea que el diseño de la máquina es de tipo giratorio, separando así la arena fina de las rocas, ramas, gravas, etc., simplificando así el trabajo del operador y reduciendo su tiempo de trabajo. En este documento también se muestra el proceso de elaboración de la máquina, que consta de cuatro procesos principales, a saber, hacer tamices, hacer marcos y tolvas. Posteriormente se llevó a cabo la fabricación de otros componentes de soporte para finalmente ensamblarlos y de solución al diseño propuesto. Como conclusión, ambas investigaciones vinculan el diseño de una máquina cribadora de arena para reducir los tiempos de cernido, con la diferencia de que la propuesta de los autores es de un proceso de tamizado rotatorio para una capacidad de 200 kg/hora y esta propuesta tiene por diferencia que es para un proceso de tamizado giratorio de giro vertical para una capacidad de 500 kg/hora. Aquí también se describen las partes que conforman una máquina tamizadora de arena, explica el funcionamiento en una empresa u obra y beneficia el tiempo y trabajo del operario.

Ankit Singh R., Singh S. y Shukla S. [3] proponen una investigación basada en la fabricación de una máquina de cribado de arena, el cual funciona según el principio de movimiento alternativo y el movimiento de vaivén. Este es responsable de la agitación de la arena que conduce a la división de partículas gruesas de las partículas finas y limpias. En este proyecto se enseña el sistema a emplear, que es un sistema de filtrado y separación de arena totalmente automatizado que filtra automáticamente la arena que se vierte sobre ella. También se explica lo que se utiliza en la fabricación de la máquina, que es un eje motorizado montado horizontalmente mediante soportes, un eje conectado a un marco de filtro con una malla debajo y un marco envolvente en los lados. Por último, se tiene un circuito controlador de motor, permitiendo operarlo. Como conclusión, se observan en ambas investigaciones que se vincula la fabricación de una máquina cribadora de arena, con la diferencia de que la propuesta de los autores es de

un movimiento alternativo horizontal y esta propuesta tiene por diferencia que es un movimiento vibratorio con una inclinación para la mayor eficiencia.

Badri M., Arief D. Solid A. Ayunita D. y Muflihama A. [4] describen esta investigación como la fabricación de la máquina de cribado usando un proyecto de perfil con el método estándar ASTM E-11 2004. En este proyecto se han obtenido los datos de calibración de la máquina de tamizado. Aquí también se explica lo que es un tamizado, su funcionamiento y las ventajas que este proceso demuestra. También define lo que es un proyector de perfiles, el funcionamiento de este y su proyección a nivel. Como conclusión es que ambas investigaciones simulan la fabricación de una máquina cribadora de arena para el proceso de tamizado y separación de arena con residuos. Se da un conocimiento clave de lo que es un tamizado y un proyector de perfiles para aplicarlo en la fabricación de dicha máquina.

A. Calderón. [5] realiza diseño de una máquina cernidora de arena verde, con la finalidad de mejorar el proceso de cernido e incrementar el nivel de producción, en el apartado de diseño mecánico del eje, obtiene un Factor de seguridad mínimo de 4.65

A. Cevallos Cevallos y L. Dias Yupanqui. [15] realizaron la mejora en el diseño de una zaranda mecánica oscilatoria que pueda tamizar una cantidad de 50 Kg/min de arena, en el cual para el diseño del eje de transmisión de potencia de la maquina obtuvieron un factor de seguridad mínimo de 10.

J. Amancha y W. Diaz, 2023. [6] realizaron el desarrollo de una alternativa para la clasificación de roca triturada utilizada en la obtención de agregados para construcción, en la sección de simulación de esfuerzos en los apoyos de la criba vibratoria obtienen un factor de seguridad mínimo de 2,9.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo es el diseño mecánico de la máquina cernidora de arena con los parámetros establecidos de acuerdo a la necesidad estudiada, los resultados del diseño mecánico se basan en el correcto diseño de los elementos mecánicos de la máquina como es el cilindro cernidor, el eje de transmisión, la estructura soporte, la selección de componentes mecánicos como los rodamientos y chumaceras, el motorreductor, etc, estos resultados se obtuvieron gracias a las bases teóricas de este estudio y a los estándar de diseño utilizados, corroborando a su vez el diseños realizados en los antecedentes descritos, el presente estudio contribuye a tener una variedad más amplia en el diseño de este tipo de máquinas para las personas que buscan una solución óptima y adecuada para esta problemática.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

Este capítulo tiene como objetivo la recopilación de información necesaria referente a la máquina cribadora de arena, sus componentes, los procesos de tamizado y arena usada en dicha máquina. Toda esta información ayudará en el desarrollo del diseño de la máquina, generando una propuesta tecnológica que beneficiará a todo el personal de trabajo que labora en las construcciones domiciliarias de la región Lambayeque.

### 2.2.1. Máquina cribadora de arena

Las máquinas cribadoras o también llamadas zarandas, son utilizadas en diversos procesos productivos como el procesamiento de granos en la industria alimentaria y de materiales de construcción. Es una máquina con función de tamiz, es decir, se encarga de ejercer el trabajo de separación de materiales según el tamaño de la arena por medio de una zaranda o malla metálica, la cual se selecciona de acuerdo al proceso de tamizado que se utiliza. [7]

El movimiento de cribado de la máquina se ejecuta por diversos mecanismos que posea, de acuerdo al proceso e tamizado que puede ser manual, artesanal, vibratorio horizontal, vibratorio inclinado, circulares, oscilantes y centrífugos los cuales facilitan la clasificación de las partículas según tamaños. [8]

Las primeras cribadoras fueron inventadas en la antigua Egipto, fabricadas con un cilindro o caja de madera con huecos de diferentes dimensiones dependiendo del ingrediente a cribar. Estas cribadoras cumplen la función de separación del material con un proceso completamente manual, donde el trabajador tenía que mover las manos de un lado a otro para que el tamizado se pueda efectuar. [9]



Ilustración 1: cribadora de la antigua Egipto

Fuente: <https://www.milanuncios.com/anuncios/cribas-antiguas.htm>

En el siglo XVII se diseñó la primera máquina cribadora. Su elaboración estaba comprendida por dos aros metálicos, uno en cada extremo, por una malla metálica elaborada con alambres de hierro. Para que la máquina pueda funcionar, el trabajador tenía que ejercer fuerza en una manivela para que esta pueda girar, moviendo todo el cilindro y logrando la expulsión del material a cribar por los laterales de la malla metálica. Después de tiempo se reemplazó la manivela por un motor con el propósito de obtener un cribador más rápido, efectivo y menor esfuerzo físico por parte del operador. [9]

En la actualidad, las máquinas cribadoras se han modernizado e industrializado gracias a las nuevas tecnologías. Estas se han asemejado a las condiciones de los

operarios y por eso se acoplan a los diferentes lugares en los que se pueda usar como la agricultura, minería o en el proceso de elaboración de los materiales para conformar conglomerados como yesos, cementos, vidrios, etc. En el ámbito mercantil se puede encontrar una gran diversidad de máquinas cribadoras de arena, cada una depende de la capacidad, eficiencia y utilidad que tengan para elaborar el trabajo. [7]

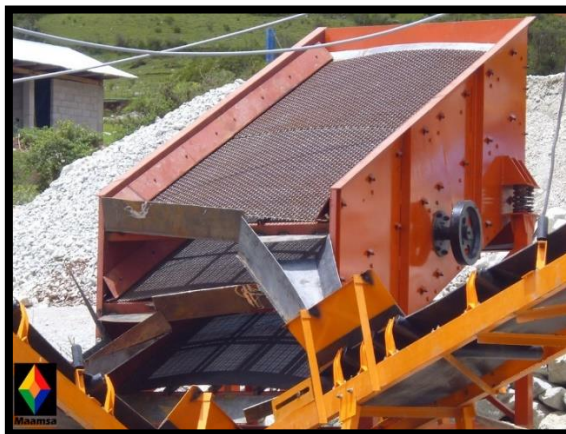


Ilustración 2: máquina cribadora de arena industrial

Fuente: <http://www.maamsamcg.com/productos/criba-vibratoria/>

## 2.2.2. Zaranda

Es un aparato de tamizado o tamizado compuesto por un anillo o un marco montado con cuero o tela perforada o tela metalizada para separar la fracción más fina del polvo u otras sustancias. Al tamizar a través de un tamiz, puede proceder de dos maneras: tamizado a mano o tamizado por un rodillo. [10]

### 2.2.2.1. Procesos de zarandeo

#### a. Cernir a brazos con zaranda

- Tener limpio el lugar para poder cernir la arena apropiadamente, sin residuos que contaminen la tamización.
- Poner la zaranda en el lugar indicado.
- Medir la cantidad de arena al momento de colocarla en la palana para luego echarla en la zaranda, con el propósito de cernir de manera correcta o que no se derrame en la arena ya cernida.
- Colocar otra palana de arena a la zaranda.
- Agarrar la zaranda por los bordes, con ambas manos y moverla de manera continua de derecha a izquierda, apoyando los codos sobre las rodillas, sin que se derrame la arena por los lados. [10]



Ilustración 3: Personal de obra cerniendo a brazos con zaranda.

Fuente: [https://ecoinventos.com/como-hacer-un-tamiz/#google\\_vignette](https://ecoinventos.com/como-hacer-un-tamiz/#google_vignette)

#### b. Cernir con zaranda sobre un rodillo

- Fijar un tubo encima de una carreta.
- Poner la zaranda encima del tubo elegido.
- Echar dos paladas de arena en la zaranda.
- El personal de obra debe estar posicionado frente a la carretilla y con ambas manos mover la zaranda hacia adelante y hacia atrás.
- El personal de obra debe estar pendiente de que la arena no salga de la zaranda y también que la zaranda no salga del tubo. [10]



Ilustración 4: Personal de obra cerniendo arena sobre un rodillo

Fuente: Sena Autoconstrucción

#### 2.2.3. Tamizado o cribado

El proceso de cribado o tamizado es un método mecánico de separación. Esta división se lleva a cabo pasando el material sobre una base de aberturas de diversos tamaños. Dicho dispositivo tiende a estar en conjunto, es decir, unido a unas barras

fijas o móviles, por placas de material metálico con perforaciones o tejidos de hilos del mismo material(metal). [7]

El tamizado es un procedimiento simple establecido para que en una mezcla de partículas sólidas de diferentes dimensiones se dividan en dos o más partes pequeñas, mandándolas por un tamiz. Cada porción del tamaño es más similar que la mezcla original. Un tamiz es un área de agujeros de igual forma. La superficie puede ser plana, horizontal, inclinada o cilíndrica. Los tamices planos, de corta cantidad, se denominan cedazos y cribas. Generalmente los tamices tienen una mayor demanda en el uso de la separación de mezclas de elementos granulares, en condiciones de tamaño. Para elaborar el procedimiento de tamización, se debe tener en cuenta que debe predecir movimiento entre la mezcla a separar y la superficie del tamiz. De este modo, se rigen las casualidades entre los orificios del tamiz con las fracciones que los llegan atravesar. [11]

El fin fundamental del tamizado es la desunión de las partículas sólidas según su dimensión. Para obtener este resultado, se necesita de un tamizador, el cual es una herramienta que se utiliza en el estudio de partículas en el que se sacuden una serie de tamices que se instalan en orden de mayor abertura en la parte superior hasta la más menor en la parte inferior, de tal forma que los elementos se dividan conforme a sus tamaños. [11]

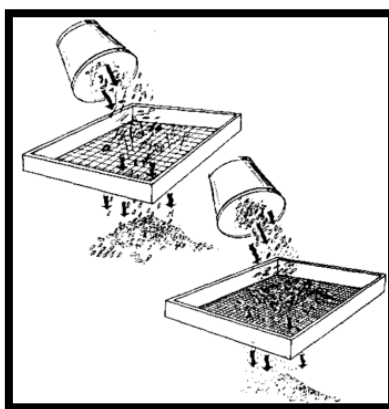


Ilustración 5: Proceso de tamización de arena

Fuente: <https://separacion-de-mezclas.fandom.com/es/wiki/TAMIZADO>

#### 2.2.4. Funciones del proceso de cribado

- Dividir las partes más gruesas que se encuentran en la mezcla, con el propósito de desecharlos o usarlos en un proceso que requiera esas dimensiones.
- Conseguir las especificaciones técnicas del material.
- Importancia de una granulometría para su clasificación en operaciones de control.

- Excelente control en el resultado del tamaño del material con el fin de que los siguientes procesos se continúen de manera correcta. [12]

### 2.2.5. Términos empleados en los procesos de cribado

- Escalpado:** Es un proceso en el que se desechan las partes grandes que pueden generar un daño o incidente para los que le continúen.
- Precribado:** Es aquel proceso de división, en la que la parte fina del material con la dimensión determinado se previene que ingrese al rango siguiente de chancado.
- Calibrado:** Es un proceso en donde se clasifica el material de acuerdo a dimensiones entre 150  $\mu\text{m}$  y 100 mm. Aquí se usarán tromeles, cribas de sacudidas o cribas vibrantes.
- Tamizado:** En este proceso se seleccionan los tamaños del material entre las cantidades de 40  $\mu\text{m}$  y 150  $\mu\text{m}$ . Se emplean cribas rotativas o cernidos vibrantes.
- Recribado:** Es una de las operaciones de selección en las que se pretende perfeccionar la expulsión total de la parte fina (operación destinada a deshacer los residuos.).
- Agotado:** Es un proceso de descarte del exceso de líquido, donde normalmente es agua, de las mezclas sólido-líquidas que se desprenden por el canal húmedo. [13]

### 2.2.6. Superficies de cribado

- Parrillas de barras:** El cribado está constituido por una cantidad de barras paralelas entre sí con diferentes orificios o aberturas de acuerdo a la clasificación que se espera y ordenadas de manera paralela en dirección a la caída del material. La longitud total de las barras depende de la orientación del flujo del producto a cribar. Las barras se van ajustando hacia lo último de la criba, con lo que se obtiene una diferencia entre ambas, esperando conseguir mayores resultados. Las fracciones de las barras mayormente son de forma trapezoidal, similares a las triangulares y aptas de manera opuestas para no ocasionar obstrucciones. Estas barras se elaboran de acero, enfocado en los trabajos duros aleados al manganeso o con cromo. [13]

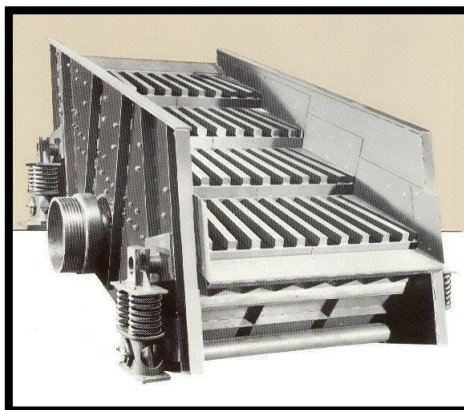


Ilustración 6: Criba de parrilla de barras

Fuente: Diseño de una criba vibratoria para el procesamiento de arcilla en una planta de cemento LC2

- b. Chapas perforadas:** Es una chapa con una cierta cantidad de aberturas en donde ingresa el material que contenta menores dimensiones a las del orificio. Esta superficie es usada mayormente en aplicaciones donde tienen la necesidad de ser empleadas porque se necesita que soporten dimensiones de partículas esenciales, otorgando un ciclo de vida mayor y útil que las mallas metálicas. Una de las desventajas es que tienen menor espacio libre que las mallas metálicas, pero se recompensa con su precisión, es decir, presentan un gran nivel de precisión al momento de cribar, evitando problemas de cegamiento al operario. Los orificios de esta superficie tienen formas y tamaños diferentes, pueden ser redondas, cuadradas, rectangulares con esquinas redondas o cuadradas, hexagonales, etc. Todas estas siempre se acoplan de manera paralela o inclinada, dependiendo en qué dirección se encuentre el flujo del material. [13]

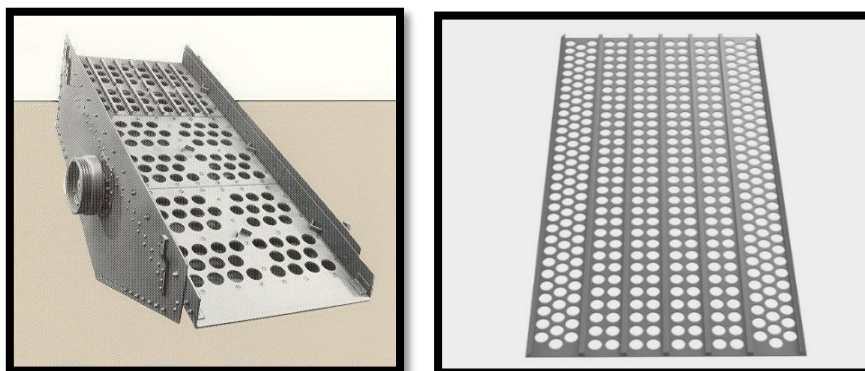


Ilustración 7: Cribas de chapas perforadas

Fuente: Diseño de una criba vibratoria para el procesamiento de arcilla en una planta de cemento LC2

- c. Mallas metálicas:** Son un grupo de alambres que están tejidos de distinta manera, dando perforaciones de forma cuadrada o rectangular con el fin de que el material a cribar pase por la rendija y rechace los residuos o materiales más gruesos. [13]



Ilustración 8: Criba con mallas metálicas

Fuente: Diseño de una criba vibratoria para el procesamiento de arcilla en una planta de cemento LC2

### 2.2.7. Tipos de mallas metálicas

#### a. Mallas cuadradas onduladas

- Alta exactitud y productividad (materiales secos).
- Iluminación de las mallas cuadradas onduladas desde 230  $\mu$ m hasta 25 mm.
- Se construye con un material de acero inoxidable o de elevada fortaleza.

#### b. Mallas cuadradas planas

- Creación de una zona llana.
- Son mallas diseñadas para el tamizado de productos pesados.
- Soportan los impactos fuertes.
- Iluminación de las mallas cuadradas planas desde 12,5 mm hasta 125 mm.

#### c. Mallas rectangulares ondulares

- Se usan en el zarandeo de productos planos.
- De acuerdo a la colocación de la grieta rectangular en semejanza a la ubicación del flujo del producto, se accederá o se restringirá el paso de los componentes de origen lajoso.
- Prácticas para la selección de los elementos redondeados o cúbicos.
- Iluminación de las mallas rectangulares ondulares de 1,25 mm hasta 40 mm.
- Elaborados de acero inoxidable y de elevada fortaleza.

#### d. Mallas rectangulares planas

- Se distinguen de las demás por su zona llana.

- Se catalogan según el grosos de los alambres.
- Se construyen de acero inoxidable y en acero de alta resistencia. [13]

### 2.2.8. Clasificación de las máquinas de cribado

La división de los materiales al momento del cribado se ejecuta por medio de varios métodos como: mecánico, hidráulico, corriente de aire y magnéticos. Cualquiera de estos procesos es empleado acorde a la granulometría que brinda el material el cual se pretende cribar o cernir. [14]

*Tabla 1: Clasificación de las máquinas de cribado*

<b>Clasificación de las máquinas de cribado</b>	
<b>Mecánico</b>	<p>Cribas fijas planas.</p> <p>Cribas planas móviles: oscilantes, vibratorias (de inercia, de percusión, electromagnéticas).</p> <p>Cribas de tambor fijo.</p> <p>Cribas de tambor móviles: cilíndricas, cónicas, prismáticas y pirámides).</p>
<b>Hidráulico</b>	<p>Separadores:</p> <p>Con desplazamiento de piezas regidas a la influencia de la gravedad.</p> <p>Con desplazamiento de piezas regidas a la influencia de la corriente.</p> <p>Ascendente: con desplazamiento mezclado de porciones.</p>
<b>Por aire</b>	<p>Separadores:</p> <p>Con desplazamiento de piezas regidas a la influencia de la gravedad.</p> <p>Con desplazamiento de piezas regidas a la influencia de la fuerza centrífuga.</p> <p>con desplazamiento mezclado de porciones.</p>

<b>Electromagnético</b>	Separadores: magnéticos, electromagnéticos, de electrodos.
-------------------------	---------------------------------------------------------------

Fuente: Autor

### 2.2.9. Tipos de tamizado

La clasificación del tamizado depende del proceso por el cual se dividen las mezclas heterogéneas, para dar como resultado las diferentes mediciones de partículas. Una vez aclarado este punto, se muestran los diferentes tipos de tamizado como: el tamizado manual, tamizado artesanal y el tamizado elaborado por máquinas. Este último tamizado es realizado por una selección de máquinas clasificadas en máquinas cribadoras con tamiz vibratorio, giratorio, centrífugo, estacionario, de vaivén y oscilante. Todas estas máquinas tienen su propio procedimiento para la separación de arena. Para diferenciar el mecanismo que posee cada máquina cribadora, se debe tener en cuenta el ángulo de inclinación que influye en la malla de tamizaje. Por lo tanto, para obtener el ángulo de inclinación, se debe saber los valores establecidos para dictarlos sobre las dimensiones que posee cada máquina teniendo como base su capacidad y la función que ésta ejecuta. [15]

#### a. Tamizado manual

Este tamizado se basa en el zarandeo de la arena con ayuda de una malla con aberturas, el dimensionamiento de las aberturas de la malla depende de la granulometría que se quiere seleccionar. Para la realización de este proceso el operario tiene que ejercer fuerza de arriba hacia abajo en la malla, cribando la arena y forzando a que pase por las aberturas, dejando solo los residuos en la malla. Una de las desventajas de este proceso es que el tamizado es muy lento, debido a todo el esfuerzo que el operario tiende a realizar para que la arena pase por todos los orificios de la malla y el zarandeo se realice correctamente. [16]



Ilustración 9: Proceso de tamizado manual realizado por un obrero.  
Fuente: Imagen tomada de una construcción domiciliaria en Chiclayo.

### b. Tamizado artesanal

En este tamizado se utiliza una zaranda mayormente rectangular, con bordes de madera y con una malla simple pero resistente para que la arena pueda pasar y ser zarandeada por el personal de obra, cayendo así las nuevas partículas en el lugar destinado. Cabe recalcar que dicho lugar debe ser limpiado con anterioridad, para que la arena no pueda ser mezclada con residuos y pueda volver a ser ensuciada. Este proceso puede ser elaborado por una o más personas de obra, emitiendo un movimiento lineal hacia adelante y hacia atrás, para que la arena pueda ir cayendo simultáneamente. La desventaja es que se requiere de un gran esfuerzo físico, ocasionando lesiones al personal que lo ejecuta. [7]



Ilustración 10: Proceso de tamizado artesanal realizado por dos obreros.

Fuente: <https://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/5129?locale-attribute=en>

### c. Tamizado vibratorio

Es un proceso en el cual se cumple la función de cernir el material a velocidad y en donde se presentan menos problemas con respecto a la obstrucción en el tamiz, ya que, aquí el producto no se atasca con facilidad como en el proceso de una máquina con tamizado giratorio. [11]

Las vibraciones que ejerce la máquina son efectuadas de forma mecánica o eléctrica. Por el lado mecánico, la vibración se puede transmitir por medio de ejes excéntricos y por el lado eléctrico, se transmiten a la carcasa o de manera directa al tamiz. [15]

### d. Tamizado vibratorio horizontal

Este tamizado se identifica por la división de piezas en movimientos longitudinales, votando las partículas finas, quedando a la vista las gruesas. Su utilidad está dada básicamente para los procesos mineros y las obras de construcción. Su diseño consta de dos ejes, uno con un enfoque de ángulo de  $45^\circ$  o de triple eje con un ángulo con rangos entre  $30^\circ$  y  $60^\circ$  desde el lado horizontal. [17]

Para obtener un buen procedimiento del tamiz, se debe tener en cuenta puntos fundamentales como: el parámetro de inclinación, rendimiento, capacidad de zarandeo, elevada eficiencia, poca rapidez de desplazamiento y desagüe de minerales de acuerdo al caso de la inclinación de la propia máquina. [18]

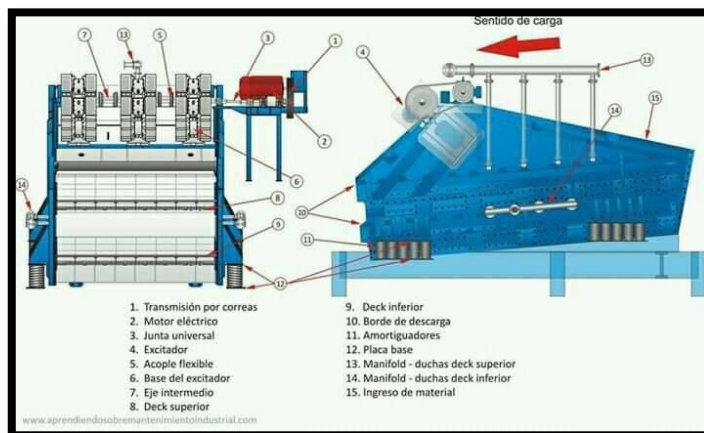


Ilustración 11: partes de un tamizado vibratorio horizontal

Fuente: <https://www.fragolaspa.com/es/maquinaria/tamiz-vibratorio-de-pre-limpieza/>

#### e. Tamizado vibratorio inclinado

Es un tamizado esencial para el procesamiento de minerales, donde su tamaño está entre 25 cm hasta 250  $\mu\text{m}$ . Aquí es necesario enfocarnos en el manejo de la inclinación, ya que va de manera secuencial con la rapidez en la que se desplaza el flujo del material. En este tamizado se debe saber que la inclinación del cribado debe estar en un ángulo de  $15^\circ$  y  $20^\circ$ , esto se considera para obtener un mejor rendimiento en el proceso. [12]



Ilustración 12: Mecanismo de un tamizado vibratorio inclinado

Fuente: <https://es.haarslev.com/products/dry-vibrating-screen/>

#### f. Tamizado giratorio

En la mayoría de tamizados que se enfocan en elaborar diversas fracciones clasificadas según su tamaño, el producto más grueso es el primero en ser dividido, quedando al final el material más fino. Este tamizado es ejecutado a través de un cribado de forma cilíndrica o cónica girando sobre su propio eje, en

donde el material más grueso en la parte de arriba de la máquina y el material más fino se encuentra en la parte de abajo. Al momento de girar el tamiz, este permite el paso del material por medio de las aberturas u orificios del cribado. [11]

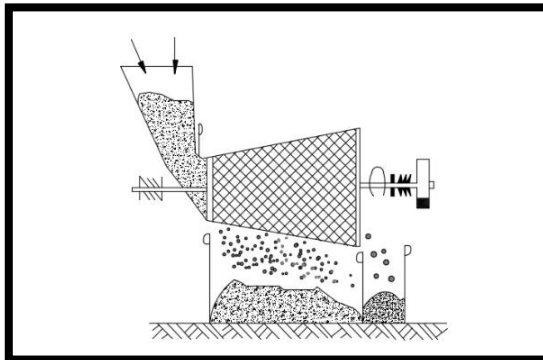


Ilustración 13: Proceso de tamizado giratorio

Fuente: <https://www.hidrometalica.com/tamiz-rotativo/>

#### g. Tamizado centrífugo

Este tamizado consta de un cilindro horizontal de malla metálica, palas helicoidales con una mayor rapidez sujetas sobre un eje central que impelen los sólidos contra la fracción baja de la cernidora estacionaria. Antes de realizar dicho proceso, se debe seleccionar el material que se va a cribar, ya sea el material seco o húmedo, sin embargo, no de manera abundante para obtener una mejora en el tamizado. Después de seleccionar el material, este es introducido a una tolva mediante una faja transportadora o de manera manual por parte del personal de obra, cayendo así al cilindro horizontal de malla metálica, para que esta máquina realice su proceso de tamizado mediante el manejo de una fuerza centrífuga, girando con ayuda de un eje acoplado a la estructura y al sistema de transmisión. Una vez ejecutado el proceso de tamizado, el material caerá a un recipiente (tolva) para luego ser usada y obtener una mayor eficiencia. [8]

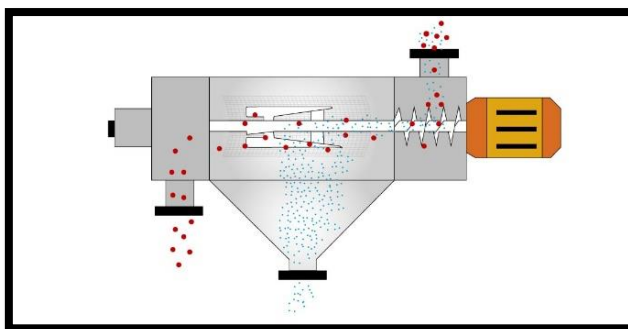


Ilustración 14: Proceso de un tamizado centrífugo

Fuente: <https://www.labopolis.com/producto/tamizadoras-centrifugas-tce/>

## h. Tamizado con movimiento oscilante

A este tamizado también se le conoce como cribas de sacudida o vaivén, porque cuenta con un sistema que se mueve de manera horizontal o con una inclinación liviana del 2% al 8%. Se tiene una armadura que sostiene unos balancines con un desnivel realizado por un sistema de biela y manivela. Es utilizado para la realización de diversos trabajos a mediana escala. Una de las características clave para este zarandeo es la de resonancia, esta se diferencia de las demás en que llega a evitar la transmisión de vibraciones y por lo tanto su consumo llega a ser bajo. [19]



Ilustración 15: Imagen de una máquina de tamizado con movimiento oscilante

Fuente: <https://scherer-engineering.com/produkt/swingsie-ss-500/?lang=es>

El cribado que presenta este proceso tiene un sistema mecánico de biela-manivela, el cual funciona para transformar dicho desplazamiento girando de manera oscilante. La potencia es abastecida por la biela a la palanca, permitiendo así una circulación de vaivén. [19]

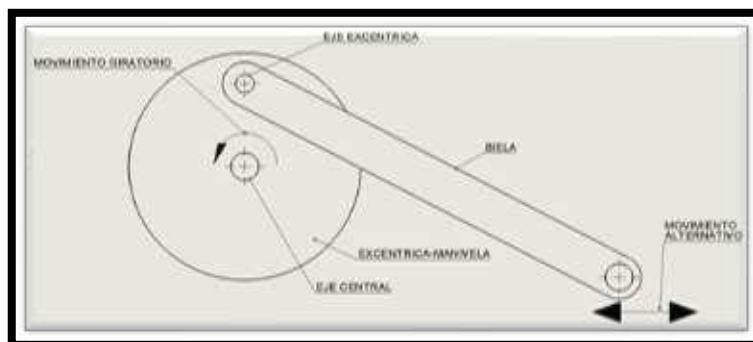


Ilustración 16: Mecanismo biela-manivela de un tamizado con movimiento oscilante

Fuente: Proyecto máquina cernidora con movimiento oscilante, Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”

### 2.2.10. Tamiz

Se trata de una rejilla de material metálico compuesta por varillas tejidas que permiten un área dada para que pase el material previamente tamizado. [1]



Ilustración 17: Malla metálica

Fuente: <https://docplayer.es/88999046-Diseno-y-construccion-de-una-maquina-tamizadora-de-arenas-con-tamices-intercambiables.html>

### 2.2.11. Selección de la malla

Las telas y mallas son rejillas de alambre de cualquier tipo de acero inoxidable a su elección. Se utilizan para producir tamices vibratorios y horizontales. La malla de alambre del material de acero inoxidable es un modo de filtrado muy eficiente, utilizado para dividir, tamizar o cribar distintos modelos de productos, con el fin de ser utilizado en las industrias que la requieran. Para poder elegir una malla para el proceso de tamizado, es necesario tener en cuenta los próximos elementos: tamaño de la arena, diámetro de alambre (zona lista de cernido), situación del producto, etc. [20]

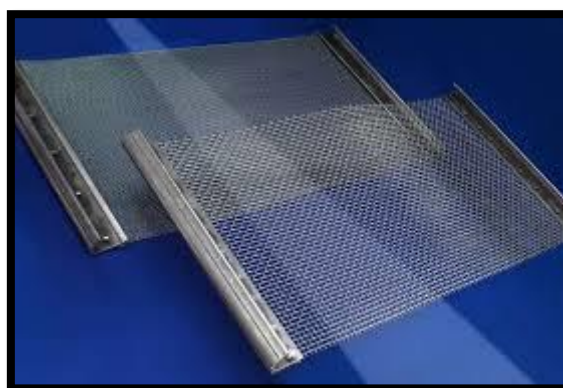


Ilustración 18: Tipos de mallas para el tamizado de arena

Fuente: Implementación de una tamizadora vibratoria para arenas de moldeo en el taller de fundición de la facultad de mecánica de la escuela superior politécnica de Chimborazo, Riobamba – Ecuador.

### 2.2.12. Dimensiones de malla para tamizado

El cribado puede ser acoplado con una rejilla de alambre que se haya con los parámetros de las dimensiones del diámetro de hilo y con un espacio ya listo.

La tela o malla presenta aberturas a través de los hilos del tejido de un cribado y está establecido por el valor de orificios que haya en una entidad larga. [20]

### 2.2.13. Agregados

La ASTM (American Society for Testing and Materials) resalta que un agregado es un producto de grano donde su composición es de arena, grava, piedra triturada o escoria, usado con un propósito para la mezcla de cemento y agua con el objetivo de crear concreto o un mortero hidráulico. Estos materiales son requeridos en las construcciones, la elaboración de materiales artificiales resistentes y los soportes de las carreteras una vez que ya tengan que ser mezcladas con ingredientes aglomerantes de ligantes asfálticos. Mayormente los agregados son materiales inertes en su totalidad, quiere decir que no responden ante la relación con otro producto de la combinación dada. También se pueden encontrar agregados con aditamentos nocivos y mayormente peligrosos que dañan la disposición dentro del material de concreto y acorta la vida útil de este. [21]



Ilustración 19: Tipos de agregados

Fuente: <https://materialesdeconstruccion.org/agregados-grueso-y-fino/>

### 2.2.14. Tipos de agregados

#### a. Naturales

Estos agregados se adquieren de diversos principios naturales, aquí se encuentran las rocas naturales, depósitos de arrastres fluviales (gravas de río y arenas), canteras de múltiples piedras y glaciares (canteras y cantos). Dichos materiales pueden ser utilizados de manera directa y no varían en lo absoluto sus dimensiones. Las máquinas pueden ser de ayuda si se requiere variar el material a un tamaño más específico. [21]

### **b. Por trituración**

Este tipo de agregado se obtiene si se tritura el material natural. El tamaño del material va depender de la forma o el uso que se le vaya a dar en la construcción. [21]

### **c. Artificiales**

Este material se puede diferenciar de los otros agregados por su densidad, ya que pueden ser de mayor o menor densidad y se consigue en los procesos industriales, tales como: limaduras de hierro, arcillas expandidas, escorias de alto horno, etc. [21]

## **2.2.15. Clasificación de los agregados**

- **Fino (arena)**

Esta clase está formada por arena obtenida originalmente de las canteras aluviales o también de arena creada de manera artificial. La arena fina que se otorga aquí no debe contener ningún residuo o desperdicio orgánico que puedan dañar la finura de combinación del concreto. Su granulometría es inferior a 4,75 mm que pasan 100% por el cernido 3/8". Esta clase de agregado es importante para la combinación de concreto, ya que por su dimensión llega a rodear todas las partes más pequeñas donde la arena gruesa no puede. [22]

- **Grueso (piedra)**

Este agregado se genera de la trituración de roca, grava o mezclando ambas y al igual que la arena fina, esta también debe estar libre de residuos o desperdicios que dañen la naturaleza de combinación del concreto. Aquí su granulometría es mayor a 4,76 mm, donde su rendimiento es 100% en el tamiz 4. [22]

## **2.2.16. Arena**

Es una colección de partículas de rocas descompuestas. En granulometría, la arena se conoce como un material que consta de partículas que varían en tamaño de 0,063 a 2 mm. Un grano individual en este rango se llama grano de arena. Una roca fusionada formada por estos granos se llama arenisca. Las partículas menores de 0,063 y hasta 0,000 mm se llaman limo, y por encima del tamaño de grano de arena y hasta 6 mm se llama grava. [22]

### 2.2.17. Clasificación de la arena

De acuerdo a su composición química, se divide en:

**a. Arena silícea:** El mineral más común utilizado en las fundiciones para fabricar moldes y núcleos de sílice ( $\text{SiO}_2$ ), su estructura más básica es el cuarzo mineral, dando a conocer diversas razones que hacen de su uso uno de los más populares, estas son:

- La más completa en la naturaleza.
- Sencilla y abundante.
- En comparación con la facilidad de extracción y la colocación universal.
- Menor inversión de producción.
- Buena dureza y resistencia al desgaste.
- Diferentes tamaños y formas de cuentas.
- Resistencia al ataque del metal y del ácido iguala a la de la escoria.
- Material refractario de mayor eficiencia y resistencia calorífica. [23]



Ilustración 20: Arena silícea

Fuente: <https://aguaplanet.cl/product/saco-de-arena-silicea-25kg/>

**b. Arena de olivina:** Se encuentra en Estados Unidos en el estado de Washington y Carolina del Norte, el principal elemento es el material de mineral forsterita ( $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ ) y fayalita ( $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ ). En el proceso de la fundición, se debe escoger el material de mineral con un alto porcentaje de forsterita, luego es dirigida dentro de un lavado para limar las aristas. Este tipo de arena posee una baja expansión térmica y una alta conductividad en comparación con la arena sílice. [23]



Ilustración 21: Arena de olivine

Fuente: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/olivine-sand-218073872.html>

c. **Arena de zirconio:** Esta arena permanece a nivel mundial pero sus almacenamientos más concentrados están en Florida y Australia.

- Extremo nivel refractario.
- Mayor conducción térmica.
- Elevada densidad.
- Menor extensión térmica.
- Material sólido a su humedad por el metal. [23]



Ilustración 22: Arena de zirconio

Fuente: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/zirconium-sand-11389830.html>

d. **Arena cromita:** Para poder ser usada en el proceso de fundición, la arena cromita debe ser pasada por largos procesos. Sus depósitos comerciales se encuentran mayormente en Sudáfrica.

- Mayor densidad.
- Evidente elevación de refractariedad.
- Sin complicaciones al momento de ser humectado por el metal.
- Estable y sin problemas de ruptura.

- Menor expansión térmica.
- Absorción elevada y mayor transferencia calorífica. [23]



Ilustración 23: Arena cromita

Fuente: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/foundry-chromite-sand-50040433012.html>

- e. **Arena cernida:** Es una arena que atraviesa la malla eliminando las partículas más gruesas. La parte delgada se utiliza para nivelar el muro mezclando con mortero de mampostería o con cemento y cal para hacer mortero. El espesante se usa para dar aspereza al piso de concreto vertiéndolo sobre la superficie del piso recién vertido tan pronto como comienza a fraguar (el fraguado es el cambio de un estado plástico (pasta) a un estado sólido). Cuando se utilice para hacer hormigón se obtendrá una mezcla más dúctil (más fácil de trabajar), pero será menos duradera. Las mezclas de concreto siempre deben contener más partículas gruesas que partículas finas para una resistencia óptima, ya que se requiere menos agua y el uso de cemento es mínimo. Como resultado, las arenas gruesas generalmente dan una mezcla más fuerte que las arenas finas, aunque tienen la desventaja de requerir más aglutinante para llenar el vacío y se pegarán. [23]



Ilustración 24: arena cernida

Fuente: <https://materialesminero.com/producto/arena-de-pena-cernida-lona/>

### 2.2.18. Tipos de arena más usadas para la construcción

A lo largo de los años, durante todo el mundo, la arena ha sido un material muy importante en la construcción. Esta puede ser empleada en una inmensa diversidad de elaboraciones (edificaciones, viviendas, mega estructuras, entre otros), por ser uno de los elementos fundamentales del concreto. [17]

*Tabla 2: Diferencias de los tipos de arena más comunes*

<b>ARENA FINA</b>	<b>ARENA GRUESA</b>	<b>ARENA ÁSPERA</b>
Posee partículas muy suaves y delgadas.	Posee partículas muy duras.	Posee árido, arena gruesa y cemento.
Usada en la posición de baldosas, cerámicas y piedra natural.	Usada en la mezcla de marcos de concreto.	Usada en las barras de acero, que se expande elevándose a lo largo de la colocación de los ladrillos.

Fuente: Diseño y simulación de una zaranda mecánica oscilatoria con una capacidad 50 kg/min de arena

### 2.2.19. Sistema de biela y manivela

Este sistema consiste en un proceso el cual está calificado para convertir el desplazamiento circular en desplazamiento alterno. A su vez también lo compone una pieza giratoria llamada manivela, en donde ésta va unido a una barra rígida denominado biela. El propósito de este sistema es que cuando la manivela gire, la biela se sienta forzada a regresar y luego adelantar, generando un desplazamiento alternativo. La reversibilidad en este proceso es importante ya que cuando la manivela va girando, la biela se mueve y viceversa. Si la biela genera un movimiento de inicio (dado el ejemplo de un “pistón” en el motor de un carro), la manivela se ve en la necesidad de girar. [24]

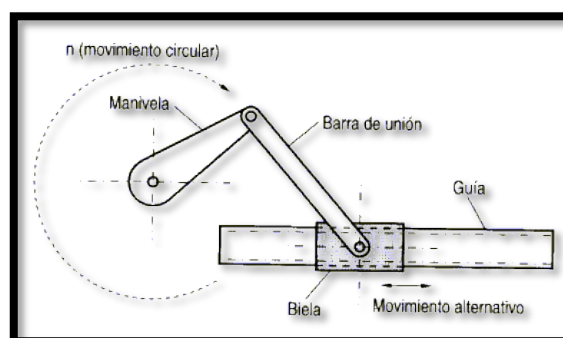


Ilustración 25: Sistema de biela y manivela  
Fuente: Mott (2002)

### 2.2.20. Sistema de transmisión por poleas

Este sistema es utilizado para generar potencia mecánica ocasionada por el eje del motor, entre dos ejes dispersos entre sí por una separación dada. La transmisión del desplazamiento por medio de las correas se ocasiona debido al roce encima de las poleas, de tal forma que la única manera de ejecución es que cuando el desplazamiento rotórico y de torsión se llegue a transmitir entre ambos ejes, esta sea menor a la fuerza de roce. La estimación que se le brinda a este rozamiento depende mucho de la tensión que genere la correa y de la resistencia de ésta misma a la tracción, en otras palabras, se refiere al material con el que está elaborado (cuero, fibras, hilos de material metálico recubiertos de goma, etc.) y de sus magnitudes. [24]

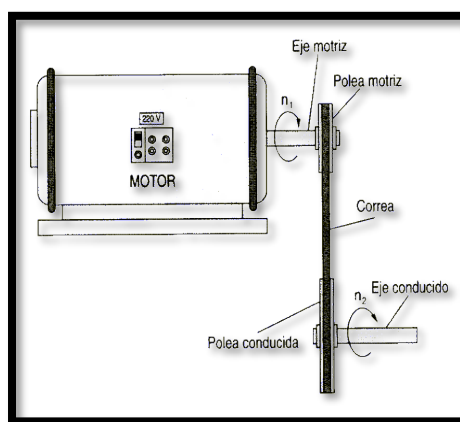


Ilustración 26: Sistema de transmisión por poleas  
Fuente: Mott (2002)

## 2.3. BASES TEÓRICAS CIENTÍFICAS

### 2.3.1. Resistencia de materiales

#### a. Esfuerzo axial

También se le denomina como esfuerzo normal. Es un esfuerzo profundo, es decir, es la solución de las tensiones perpendiculares normales a la selección transversal de un prisma metálico. Estos requerimientos están compuestos por tensiones paralelas unidas firmemente a la tensión normal. [25]

Fórmula:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$\sigma$  = Esfuerzo axial     $P$  = Fuerza normal

$A = \text{Área de sección transversal}$

### b. Esfuerzo cortante

También se le denomina como esfuerzo de corte, cizalla o de cortadura. Es un esfuerzo profundo o resultado de las tensiones paralelas a la sección transversal de un prisma mecánico, dado el caso de una viga o un pilar. Se les conoce diversamente como T, V o Q. [25]

Fórmula:

$$\tau = \frac{P}{A}$$

$\tau = \text{Esfuerzo cortante}$     $P = \text{Fuerza cortante}$   
 $A = \text{Área de sección transversal}$

Estos esfuerzos se ubican mayormente en los repuestos como pernos, pasadores y remaches que son empleados para vincular múltiples componentes estructurales y de máquinas. [25]

- **Cortante simple:** Cuando la fuerza cortante divide al elemento en dos piezas.

Fórmula:

$$\tau = \frac{P}{A} = \frac{F}{A}$$



Ilustración 27: Perno sometido a cortante simple  
Fuente: Mecánica de materiales, Beer, F. et al., McGraw-Hill, 2013

- **Cortante doble:** En este caso, la fuerza cortante separa al elemento en 3 piezas.

Fórmula:

$$\tau = \frac{P}{A} = \frac{F/2}{A} = \frac{F}{2A}$$

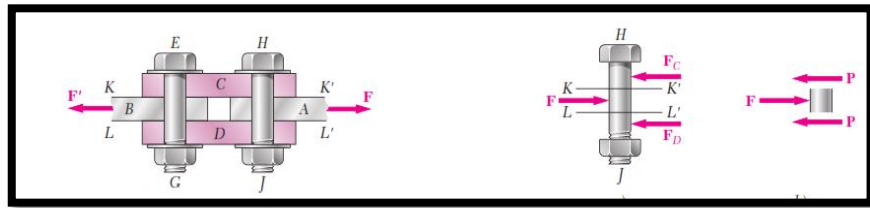


Ilustración 28: Perno sometido a cortante doble

Fuente: Mecánica de materiales, Beer, F. et al., McGraw-Hill, 2013

Las fórmulas claves empleadas en el diseño se rigen en materiales que conforman una sección transversal constante o que la conversión en esta sea de manera gradual. Estas reglas muy rara vez las presenciamos en la realidad, por causa de las características de las piezas de máquinas o moldes actuales. La asistencia de cuñeros, surcos, agujeros, etc. genera cambios en la organización de los esfuerzos, por lo que salen esfuerzos superiores en diversas áreas. A éste proceso se le denomina concentración de esfuerzos. Esta actividad de concentración hace referencia al nivel macroscópico de esfuerzos y también posee una definición clara para los conflictos en el plano que abarcan el concepto de esfuerzo promedio. Dadas las circunstancias, si se barrena un hueco en un rótulo llegado a la tensión, el esfuerzo establecido en el material es secuencial cada vez que se mida a una separación establecida del hueco, pero el esfuerzo tangencial en el borde del agujero se sometería a un incremento muy fuerte. Este aumento en el esfuerzo en el borde, es firmado por una concentración de esfuerzos, siendo clave la determinación del factor de concentración de esfuerzos  $k$ . [25]

### 2.3.2. Carga permisible y esfuerzo permisible

#### a. Factor de seguridad

La carga suprema que sostiene un material estructural o un elemento de maquinaria en estados leves y normales de uso es preferiblemente más inferior que la última carga. La carga más corta se entiende como la carga permisible y, en ciertos casos, también se le conoce como la carga de trabajo o de diseño. Con todo esto, una fracción de la carga última se emplea al inyectar la carga permisible. El remanente del espacio generador de carga del material se queda en provisión para garantizar su realización segura. La clave de la última carga a la permisible se utiliza para darle concepto al factor de seguridad. Se debe: [25]

$$\text{Factor de seguridad} = F.S = \frac{\text{carga última}}{\text{carga permisible}}$$

Un concepto variado del factor de seguridad se especifica en el uso de esfuerzos:

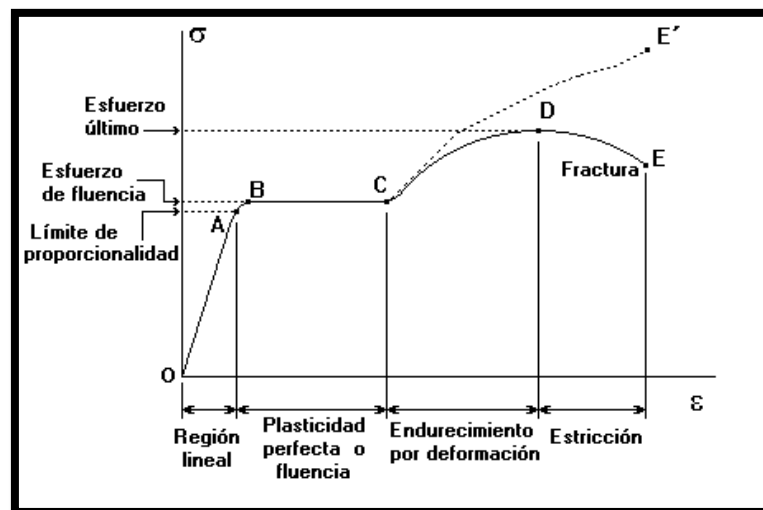
$$\text{Factor de seguridad} = F.S = \frac{\text{esfuerzo \u00faltimo}}{\text{esfuerzo permisible}}$$

Ambas f\u00f3rmulas brindadas que dan soluci\u00f3n al factor de seguridad en las ecuaciones, son similares cuando se refleja una conexi\u00f3n lineal entre la carga y el esfuerzo. [25]

### b. Diagrama de esfuerzo y deformaci\u00f3n

Cada elemento al aguantar una fuerza generada trata de alterarse en el \u00e1mbito aplicativo de la fuerza. A pesar de que el esfuerzo y la deformaci\u00f3n se dan de manera consecuente durante un ensayo, ambas definiciones son realmente diferentes. [25]

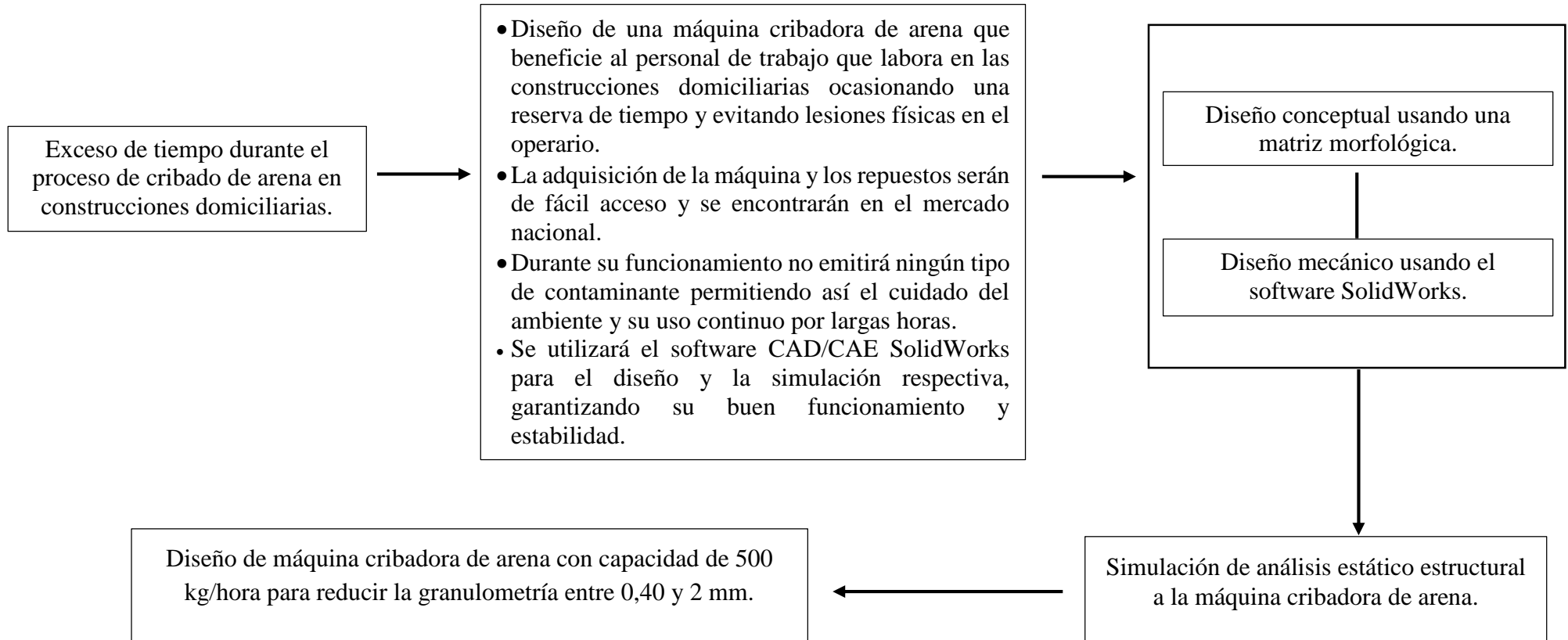
- $\sigma = P/A$
- $P \equiv$  Fuerza axial
- $A \equiv$  \u00c1rea de la secci\u00f3n transversal.



Ilustraci\u00f3n 29: Diagrama de esfuerzo deformaci\u00f3n

Fuente: Mec\u00e1nica de materiales, Beer, F. et al., McGraw-Hill, 2013

### 3. METODOLOGÍA



Existen muchos procesos de tamizado en el ámbito de construcción para mega estructuras y domicilios. Como inicio al desarrollo de esta investigación, es necesario hacer una recopilación de información de diversos artículos, tesis, etc. con el fin de realizar una comparación de conceptos para al final tener una visión clara de lo que se espera al momento de realizar un proceso de tamizado. En este caso nos enfocaremos en el área de construcción domiciliaria y para poder identificar cual es el proceso de cribado que se emplea, se hizo una serie de visitas a 15 direcciones, es decir, se usa la técnica de visualización directa en diferentes campos para poder presenciar el proceso de tamizado que utilizan los maestros de obra en los trabajos de construcción domiciliaria. Posterior a ello, se elabora una encuesta a los 15 obreros de los diferentes domicilios señalando en ese cuestionario sus objetividades, opiniones acerca del proceso de tamizado que realizan y que mejorías esperan para que disminuya su trabajo físico en plena obra. Finalmente, una vez realizada la encuesta y habiendo identificado el proceso de tamizado que realiza el personal de obra, se procede a dar una descripción de todo el proceso, es decir, se explica detalladamente de principio a fin como se elabora el proceso de tamizado en una construcción domiciliaria.

Ya que se sabe que se requiere la realización de un diseño de una máquina cribadora de arena para facilitar el trabajo del maestro de obra, es necesario la elaboración de un cuadro en el que se especifique las necesidades y métricas que deben tomarse en cuenta para poder realizar el diseño de la máquina. Como primer paso se brindan los conceptos de necesidad y métrica. Una vez que se sabe la información, se procede a dar una lista de ambas cosas, requerimientos que ayudarán a determinar las especificaciones finales de la máquina.

Para poder seleccionar los componentes de la máquina, primero se debe elaborar un cuadro mostrando los deseos y exigencias que ésta necesita. Con estos datos se procede a realizar un cuadro comparativo entre los requerimientos esenciales que debe tener la máquina (uso, función, nivel económico y estructura) para finalmente, teniendo claro cuáles son las especificaciones finales de la máquina, se proceda a realizar el método de matriz morfológica, un cuadro en el cual se muestra las composiciones, es decir, los componentes claves que tendrá la máquina para su respectivo diseño. Teniendo la matriz morfológica, se plantean tres soluciones y se elabora un cuadro comparativo entre ellas, evaluando sus criterios de selección para finalmente, de acuerdo al mejor puntaje se sepa cuál de esas tres soluciones será la indicada para realizar el diseño de la máquina cribadora de arena.

Se ha tenido varios conceptos de bases teóricas científicas para la realización de los cálculos que ayuden en el diseño de la máquina cribadora de arena. En los cálculos se encuentran la potencia del motor, el ángulo de inclinación que debe tener la malla del tamiz de la máquina, el tiempo de cernido, etc.

Con el software SolidWorks se simula el diseño estático estructural de la máquina cribadora de arena, dando una mejor visión y señalando la tensión, factor de seguridad que está contiene.

### 3.1.DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1.1. Tipo de investigación

Esta investigación es de tipo descriptiva, cuyo propósito es generar una relación directa con la realidad problemática y las condiciones que presenta el proceso de tamizado de arena en las construcciones domiciliarias; con el fin de poder observar, describir y formular una solución concreta y eficaz que ayude a facilitar el trabajo del obrero y evite lesiones físicas.

#### 3.1.2. Población y muestra

a. **Población:** El proceso de cribado de arena en construcciones domiciliarias.

b. **Muestra:** Los maestros de obra

#### 3.1.3. Métodos y técnicas de recolección de datos

##### a. Métodos

- **Recolección de la información**

Se recopilan diversas tesis, artículos de investigación científica, patentes de diferentes partes del mundo y experiencias contadas de varios maestros de obra para tener una mejor información acerca del tema de investigación. Toda la información reunida va servir para poder comparar los conceptos y las experiencias relatadas por los diferentes maestros de obra de las construcciones domiciliarias que ayudarán a comprender mejor el tema de investigación con una solución eficaz, versátil y accesible a todos.

- **Tamización**

Para determinar el proceso de cribado clave que utilizan los maestros de obra antes de comenzar el tarrajeo de paredes, columnas, techos, etc.; se realizará un estudio a través de una encuesta elaborada en la zona de estudio, es decir, en las construcciones domiciliarias. Esta encuesta nos permitirá determinar el proceso de tamizado de arena más empleado por parte de los maestros de obra.

##### b. Técnicas

- **Visualización directa:** usando la herramienta de la observación se capta los problemas del proceso de cribado de arena en una zona de proyecto

que en este caso sería una construcción domiciliaria. Analizando todos los incidentes se procederá al desarrollo del proyecto.

- **Desarrollo:** al realizar el desarrollo de los incidentes recopilados por la visualización de la zona de proyecto, se podrá calcular y diseñar la máquina cribadora de arena necesaria para el apoyo al maestro de obra.
- **Análisis:** Interpretando los resultados se puede realizar un correcto diseño y simulación de la máquina cribadora de arena a través del programa SolidWorks.

### 3.1.4. Operacionalización de variables

*Tabla 3: Variable independiente*

<b>Variable independiente</b>	<b>Variable</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Unidades</b>
Producción de arena cernida	Proceso de cernido	Separación del material a través de una criba.	Tamaño de grano	mm
	Volumen	Cantidad de arena.	Metros cúbicos	m <sup>3</sup>
	Masa	Cantidad de arena usada en el proceso de cernido.	Kilogramo	kg
	Densidad	Peso bruto de la arena.	Kilogramo por metro cúbico	Kg/m <sup>3</sup>

Fuente: Autor

*Tabla 4: Variable dependiente*

<b>Variable dependiente</b>	<b>Variable</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Unidades</b>
Diseño de una máquina cribadora de arena	Tipos de máquina cribadora	Modelo de máquina cernidora por su material, estructura, costos, etc.	Criterios de selección	-
	Flujo másico	Operación de tiempo.	Kilogramo por hora	kg/h
	Velocidad	Movimiento del proceso de cribado.	Revoluciones por minuto	rpm
	Tiempo	Tiempo que tarda el proceso de cribado.	Segundos	s

	Potencia	Movimiento de la arena.	Watt	W
	Factor de diseño	Medida de seguridad relativa de un componente bajo la acción de carga.	N	-
	Propiedades mecánicas	Comportamiento de materiales expuestos.	Metal, polímeros, etc.	MPa

Fuente: Autor

### 3.1.5. Matriz de consistencia

Tabla 5: Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
¿Cómo se reduciría el tiempo de cernido de arena en las construcciones domiciliarias?	<b>GENERAL</b>	<b>GENERAL</b>	<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>  Diseño de una máquina cribadora de arena con capacidad de 500 kg/hora.  <b>Indicadores:</b>  Esfuerzos	<b>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN</b>  Tipo aplicada-correlacional con utilización del software CAD/CAE SolidWorks.  <b>TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>
	<b>ESPECÍFICOS</b>	<b>ESPECÍFICOS</b>		
	1. Identificar el proceso de tamizado y cernido existente	1.- Si se evalúa los diferentes mecanismos de transporte de cargas existentes en los		

	en trabajos de construcción domiciliaria.	talleres mecánicos utilizando una matriz de ponderación, entonces, se determinará los tipos de mecanismos de transporte de cargas más utilizados.	Desplazamientos Energía de deformación unitaria Factor de seguridad	En este proyecto de investigación se usará la observación a través de archivos audiovisuales.
	2. Analizar las necesidades y métricas de la máquina cribadora de arena para determinar las especificaciones finales.	2.- Si se realiza el diseño conceptual de la plataforma giratoria móvil con sistema de elevación a través de una matriz morfológica, entonces, el diseño final cumplirá los requerimientos solicitados.	<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>  Reducción del tiempo de cernido en las construcciones domiciliarias.	<b>POBLACIÓN Y MUESTRA</b>  La unidad de estudio es la plataforma giratoria móvil con sistema de elevación
	3. Seleccionar los componentes de la máquina cribadora con una capacidad de 500 kg/hora a través del método de matriz morfológica.	3.- Si se dimensiona los mecanismos que forman parte de la plataforma giratoria móvil con sistema de elevación, entonces, el diseño cumplirá con los requisitos mínimos establecidos para su buen desempeño	<b>Indicadores:</b>  Tiempo (hrs)	La población serán las máquinas de transporte existentes en los talleres mecánicos de la región Lambayeque
	4. Diseñar la máquina cribadora mediante cálculos de resistencia de materiales y estandarización para soportar la capacidad de 500 kg/hora.	4.- Si se realiza la simulación del análisis estático estructural de la plataforma giratoria móvil con sistema de elevación a través del software CAD/CAE Solid		

		Works, entonces, se evaluará los esfuerzos, desplazamientos, energía de deformación unitaria y factor de seguridad del diseño.		
	5. Simular el diseño estático estructural de la máquina cribadora y análisis de fatiga del eje mediante el análisis CAE del software SolidWorks.			

Fuente: Autor

### **3.1.6. Técnica de recolección de datos**

Para esta presente investigación se realiza la técnica de la encuesta escrita, por ser un proceso sencillo, ya que ayuda a estudiar las opiniones de la población de una manera fácil y rápida. En este caso se elaboró un cuestionario dirigido a los maestros de obra o a los obreros que se encuentran en la construcción domiciliaria.

#### **a. Encuesta**

Es una técnica que ayuda a recolectar datos de diferentes personas que han apoyado al investigador con su opinión del tema. Para realizar la encuesta a la persona se necesita un listado de diversas preguntas escritas referidas al tema a investigar.

#### **b. Instrumento de recolección de datos**

Es un recurso, dispositivo o formato empleado para recolectar la información.

#### **c. Cuestionario**

Es una herramienta de investigación que está vinculada con la técnica de encuesta. Las interrogantes que se formulan deben estar escritas de manera clara y concreta.

## **4. RESULTADOS**

### **4.1. IDENTIFICAR EL PROCESO DE TAMIZADO Y CERNIDO EXISTENTE EN TRABAJOS DE CONSTRUCCIÓN DOMICILIARIA.**




Para poder identificar cuál es el proceso de tamizado que se utilizan en las construcciones domiciliarias se elaboró una encuesta dirigida a los obreros o responsables de la obra (maestros o ingenieros) y como resultado, se obtuvo un proceso clave que usan los obreros para el tarrajeo de paredes, techo, columnas, etc. en las construcciones domiciliarias y es el tamizado manual, un proceso rápido y sencillo que sirve para la separación de arena fina con impurezas.

#### **4.1.1. Tamizado manual**

Este un proceso muy sencillo de realizar ya que solo necesita una malla galvanizada y esfuerzo físico por parte del obrero. La desventaja de este proceso es que el obrero ocupa bastante tiempo para poder cernir toda la cantidad de arena establecida para la construcción y también al realizar bastante esfuerzo físico, llega a sufrir lesiones graves y dolor.

Este proceso se describe de la siguiente manera:

*Tabla 6: Descripción del proceso de tamizado manual*

DESCRIPCIÓN	IMAGEN
<p>El material a utilizar es la arenilla o arena fina, adecuada para el tarrajeo de paredes, columnas y techo en construcciones domiciliarias. Esta arenilla trae consigo muchos residuos y piedras de diferente tamaño, haciendo imposible su uso instantáneo en la construcción. Es por eso que es necesario realizar el proceso de zarandeo para votar todos esos desperdicios y no malograr y ensuciar la mezcla con el cemento para próximamente comenzar a tarrajar.</p>	 <p>Ilustración 30: Arena fina Fuente: Construcción domiciliaria de la ciudad de Chiclayo</p>
<p>El obrero lleva el conteo de cuánto va zarandeando en el transcurso del día a través de baldes. Llena cada balde con arenilla y lo coloca encima de la malla para realizar el proceso de tamizado. Cada balde de arenilla peso aproximadamente 25 kg.</p>	 <p>Ilustración 31: Balde de arena de 25 kg Fuente: Construcción domiciliaria de la ciudad de Chiclayo</p>
<p>Se coloca la arenilla en una malla galvanizada para posteriormente comenzar con el proceso de tamizado de zarandeo de arena.</p>	 <p>Ilustración 32: Arena fina lista para cernir en una malla galvanizada Fuente: Construcción domiciliaria de la ciudad de Chiclayo</p>

Haciendo un esfuerzo físico, el obrero comienza con el proceso de tamizado manual, moviendo sus brazos de arriba hacia abajo y votando arena fina más limpia y pura.



Ilustración 33: Proceso de tamizado manual de arena

Fuente: Construcción domiciliaria de la ciudad de Chiclayo

Terminado el proceso de tamizado manual, se aprecia como en la malla galvanizada quedan los residuos, piedras o algún desperdicio extra que trae consigo la arenilla desde su zona de origen.



Ilustración 34: Residuos que quedan de la arena cernida

Fuente: Construcción domiciliaria de la ciudad de Chiclayo

Después se mezcla la arena limpia zarandeada con el cemento, por cada bolsa de cemento de 42.5 kg se necesitan 7 baldes de arena cernida de aproximadamente 25 kg cada balde.



Ilustración 35: Mezcla de arena cernida con cemento

Fuente: Construcción domiciliaria de la ciudad de Chiclayo

El siguiente paso es que el obrero utiliza una plana para la respectiva mezcla de arena con cemento.



Ilustración 36: Mezcla de arena cernida con cemento

Fuente: Construcción domiciliaria de la ciudad de Chiclayo

Una vez obtenida la nueva mezcla entre arena limpia y cemento, se procede a echarla en una batea con agua y con una paleta removerla hasta que esté completamente húmeda.



Ilustración 37: Arena cernida y mezclada lista para usarla en el tarrajeo.

Fuente: Construcción domiciliaria de la ciudad de Chiclayo

Finalmente, la mezcla húmeda se comienza a utilizar para el tarrajeo correspondiente en el área establecida.



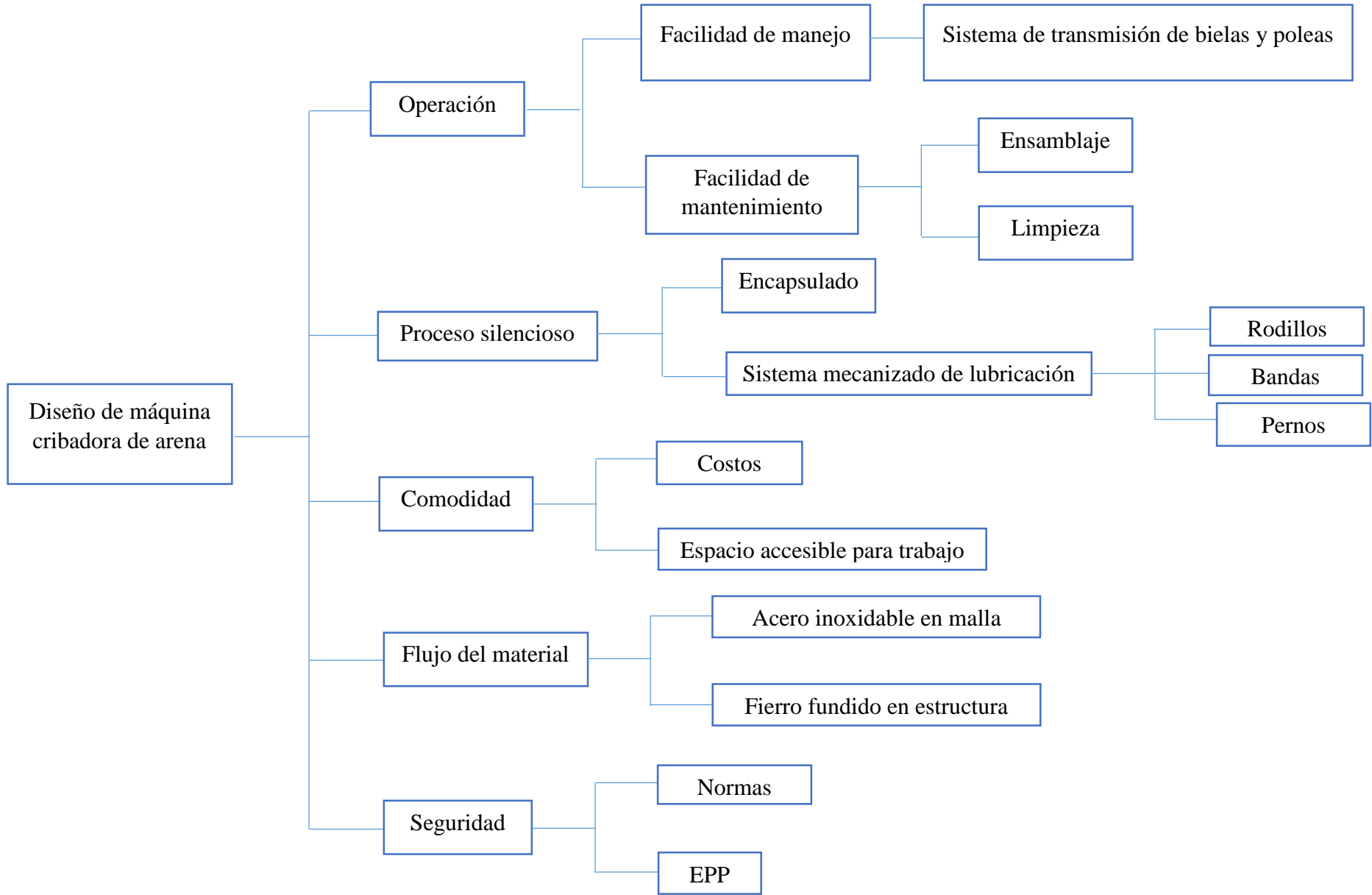
Ilustración 38: Tarrajeo de paredes, techo, etc. con la arena cernida

Fuente: Construcción domiciliaria de la ciudad de Chiclayo

#### **4.1.2. Árbol de objetivos**

Este procedimiento da a conocer una síntesis notoria y eficaz para el enfoque del tema. Enseña los objetivos y los recursos necesarios para poder lograrlos.

Este método da un aporte obligatorio para poder despejar los objetivos llegando a un trato entre el cliente y los responsables del diseño a realizar.



Los primeros objetivos y los siguientes pueden variar, extenderse o ajustarse, o mirarse alterados conforme vaya aclarándose más el problema y se vayan brindando ideas de solución.

#### **4.2. ANALIZAR LAS NECESIDADES Y MÉTRICAS DE LA MÁQUINA CRIBADORA DE ARENA PARA DETERMINAR LAS ESPECIFICACIONES FINALES.**

##### **a. ¿Qué es una necesidad?**

Una necesidad puede tener el concepto de un hueco del tema, es decir, se enfoca en cómo se ubica la problemática actual y de qué manera se podría mejorar.

En ese proyecto se tomarán en cuenta algunas ideas de necesidades básicas para el diseño de la máquina cribadora de arena, estas son las siguientes:

- **Reduce el esfuerzo físico del obrero:** Con el trabajo de visualización en campo, es decir, en las obras de construcción domiciliaria, se ha podido apreciar que el operario ejerce mucho esfuerzo físico para realizar el proceso de zarandeo de arena.
- **Permite obtener una mejor calidad de la arena:** Gracias al correcto cernido de arena se conseguirá un buen material para su futuro uso.
- **Prohíbe el ingreso de residuos al momento de zarandear la arena:** La malla ayudará a que toda impureza sea retenida y no pase por ningún oficio de esta al momento del tamizado.
- **Facilidad de transporte:** La máquina debe moverse de manera sencilla, ya sea por medio de ruedas o que las bases sean desarmables, evitando problemas al maestro de obra.
- **Facilidad de manejo:** Las operaciones de la máquina deben ser claras y precisas al momento de su uso.
- **Soportar el peso de la arena:** La máquina debe tener unas bases sólidas y resistentes para que pueda soportar el peso de la arena al momento del zarandeo en la construcción.
- **Fácil acceso de mantenimiento:** Los mantenimientos respectivos para la máquina (preventivo y correctivo) deben ser sencillos y rápidos de realizar.
- **Disponibilidad de repuestos:** Cuando una pieza de la máquina falle y requiera cambio, los repuestos deben estar a la mano del responsable o encontrarse de manera rápida en el mercado nacional.

- **Económica y eficaz:** La máquina debe tener un precio justo, razonable para el maestro de obra y ser muy volátil.
- **Brindar seguridad al obrero:** La máquina debe presentar una protección en la malla para que cuando se realice el proceso de cribado, los residuos no salten y lastimen al operario.

#### b. ¿Qué es una métrica?

Una métrica es un procedimiento de medida que se utiliza para cuantificar y examinar aspectos relacionados al proyecto. Esta debe ser completa, es decir, la necesidad que ocupe la máquina tiene que corresponder a una sola métrica y el valor de dicha métrica se correlacionará muy bien con las ganas de esa necesidad. Las métricas también deben ser variables dependientes, no independientes, quiere decir que las necesidades que se le otorgue a la máquina también las seleccionan las especificaciones de lo que se debe hacer. Estas métricas señalan el rendimiento total de la máquina y por esa razón debe ser una variable dependiente. Como punto final se dice que las métricas deben ser prácticas, optar como una propiedad del producto para examinar y analizarlas de manera fácil por la máquina.

En este proyecto se tomarán en cuenta algunas ideas de métricas básicas para la realización del diseño de la máquina cribadora de arena, estas son las siguientes:

- **Tiempo de mantenimiento:** Es la cantidad de horas que se tomará el técnico en darle el mantenimiento respectivo (preventivo y correctivo) a la máquina. Se evaluará en horas.
- **Precio de la máquina:** Es el costo de la máquina que se encontrará establecido en alguna tienda o empresa. Se evaluará en soles o dólares.
- **Peso total de soporte de la máquina:** La máquina debe aguantar el peso total de 500 kg/hora para el proceso de cribado de arena. Se evaluará en kg/hora.
- **Medida del tamiz:** Es el valor que se le establecerá al tamiz que ayudará al proceso de zarandeo de arena.
- **Material de la malla:** Es el material que se empleará para la malla de la máquina, que sea de buen grosor y ayude a el soporte de arena.
- **Costo unitario de manufactura:** Es el valor de cada pieza para la elaboración del respectivo diseño. Se evaluará en soles o dólares.
- **Precio de repuestos:** Es el costo de cada pieza en el mercado nacional que falla y requiere reemplazo. Se evaluará en soles o dólares.

- **Normas de seguridad:** Son las leyes o normas que se regirán para un correcto uso de la máquina y así se evita exponer al operario a riesgos posteriores.
- **Componentes anticorrosivos:** Buena selección de materiales a utilizar en acero inoxidable para evitar óxido y corrosión.
- **Longitud del tamiz:** Es la medida establecida para el tamiz.

NECESIDAD	MÉTRICA	Tiempo de mantenimiento	Precio de la máquina	Peso total de soporte	Medida del tamiz	Material de la malla	Costo unitario de manufactura	Precio de repuestos	Normas de seguridad	Componentes anticorrosivos	Longitud del tamiz
	Reduce el esfuerzo físico del obrero				x					x	
Permite obtener una mejor calidad de la arena					x	x					x
Prohíbe el ingreso de residuos al momento de zarandear la arena					x	x					x
Facilidad de transporte		x									
Facilidad de manejo		x									
Soportar el peso de la arena				x	x	x				x	x
Fácil acceso de mantenimiento		x						x			
Disponibilidad de repuestos								x			
Económica y eficaz			x				x				
Brindar seguridad al obrero									x		

### 4.3. SELECCIONAR LOS COMPONENTES DE LA MÁQUINA CRIBADORA CON UNA CAPACIDAD DE 500 KG/HORA A TRAVÉS DEL MÉTODO DE MATRIZ MORFOLÓGICA.

#### 4.3.1. Técnica de la caja negra

Esta técnica es esencial para la obtención y/o selección de los casos de análisis enfocados en las síntesis, tanto eficaz como no eficaz del diseño de la máquina cribadora de arena.

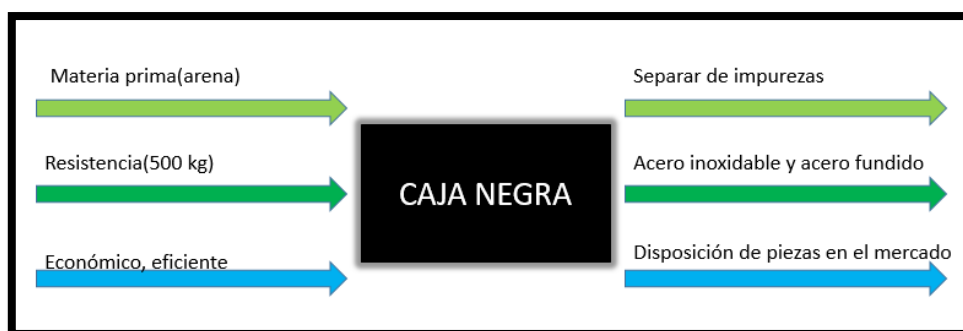


Ilustración 39: Técnica de la caja negra para máquina cribadora de arena  
Fuente: Autor

#### 4.3.2. Lista de requerimientos

Tabla 7: Lista de requerimientos (deseos y exigencias)

<b>DISEÑO DE UNA MÁQUINA CERNIDORA DE ARENA PARA UNA CAPACIDAD DE 500 Kg/h</b>	
<b>Deseo o exigencia</b>	<b>Ideas</b>
E	La máquina tendrá que soportar el peso de 500 kg/h de arena.
E	La máquina deberá separar los residuos de la arena.
E	Cumplimiento de normas de seguridad en el diseño de la máquina.
E	La máquina tendrá un proceso silencioso, es decir, su sistema de lubricación será constante.
D	Que las operaciones de servicio y mantenimiento al juego de bandas y

	rodillos sea constante y por personal capacitado.
D	Los componentes de la máquina deberán ser anticorrosivos.

Fuente: Autor

*Tabla 8: Lista de requerimientos (uso, función, etc.)*

<b>Requerimiento</b>	<b>Propuesta</b>	<b>Fundamento</b>
Uso	Fácil manejo.	El operador no debe presentar problemas ni tener confusiones al momento de emplear la máquina.
	Fácil mantenimiento.	El operador debe recibir capacitaciones de mantenimiento de la máquina, para que pueda estar alerta ante cualquier falla.
Función	Sistema de transmisión de biela y poleas.	El motor tendrá un sistema de transmisión de bielas y poleas en donde los rodillos estarán en la base, el brazo acoplado a una placa mediante el cual los residuos no deseados serán eliminados.
	Decantación.	Se va aprovechar la gravedad, el desplazamiento de la arena en el transcurso de la trayectoria de la plataforma va seleccionando los residuos y la arena útil.
	Vibración.	El sistema de transmisión genera un movimiento circular que este a su vez da un

		movimiento lineal, efectuando una vibración para zarandear la arena.
Económico	Realizar un cuadro de presupuestos de los materiales para el diseño de la máquina.	Con el cuadro se sabrá el gasto total de los materiales. También se verá si los materiales se encuentran fácilmente o se necesitan importar.
	Inventario de repuestos.	En momentos de falla, el operador tendrá de manera accesible repuestos para sustituir la pieza dañada.
Estructural	Diseñado con acero inoxidable y fierro fundido.	Resistente a los 500 kg/h, al clima y a la corrosión.
	Plataforma inclinada.	Deslizamiento eficaz de la arena.

Fuente: Autor

### 4.3.3. Matriz morfológica

Esta matriz es un conjunto de ideas elaboradas en cuadros con el fin de comparar las propuestas de diseño de cada una de las diversas piezas de la máquina. Aquí se tomarán en cuenta las ideas que están o no a favor de las opciones establecidas y se elegirá la mejor y más congruente opción, guiándose de todos los criterios revisados anteriormente.

*Tabla 9: Matriz morfológica del diseño de máquina cribadora de arena*

<b>DISEÑO DE MÁQUINA CRIBADORA DE ARENA PARA UNA CAPACIDAD DE 500 kg/h</b>				
<b>Funciones</b>	<b>Portadores de funciones</b>			
<b>Alimentación</b>	Manual	Tolva	Faja transportadora	Tolva y faja transportadora
<b>Energía</b>	Eléctrica	Gasolina	Diesel	
<b>Cribado</b>	Banda	Rejillas	Tambor	

<b>Tamizado</b>	Manual	Giratorio	Vibratorio	Centrífugo
<b>Sistema de amortiguación</b>	Resortes			
<b>Transmisión</b>	Engranés	Rodillos y bandas	Cadenas	
<b>Soporte</b>	Ruedas (base sólida movable)	Base sólida fija		
<b>Recepción de la arena</b>	Jabas	Tolva	Manual	

Fuente: Autor

#### 4.3.4. Exploración de soluciones

A través de una matriz morfológica se presentan las sub funciones que debe cumplir el diseño final y las alternativas de solución para cada una de ellas. Se evaluaron conceptos de solución, los cuales están presentados por líneas de diferente color.

Tabla 10: Tabla de solución 1

<b>DISEÑO DE MÁQUINA CRIBADORA DE ARENA PARA UNA CAPACIDAD DE 500 kg/h</b>				
<b>Funciones</b>	<b>Portadores de funciones</b>			
<b>Alimentación</b>	Manual ↓	Tolva	Faja transportadora	Tolva y faja transportadora
<b>Energía</b>	Eléctrica ↓	Gasolina	Diesel	
<b>Cribado</b>	Banda	Rejillas	Tambor	
<b>Tamizado</b>	Manual	Giratorio	Vibratorio	Centrífugo
<b>Sistema de amortiguación</b>	Resortes			
<b>Transmisión</b>	Engranés	Rodillos y bandas	Cadenas	
<b>Soporte</b>	Ruedas (base sólida movable)	Base sólida fija		
<b>Recepción de la arena</b>	Jabas	Tolva	Manual	

Fuente: Autor

Tabla 11: Tabla de solución 2

DISEÑO DE MÁQUINA CRIBADORA DE ARENA PARA UNA CAPACIDAD DE 500 kg/h				
Funciones	Portadores de funciones			
Alimentación	Manual	Tolva	Faja transportadora	Tolva y faja transportadora
Energía	Eléctrica	Gasolina	Diesel	
Cribado	Banda	Rejillas	Tambor	
Tamizado	Manual	Giratorio	Vibratorio	Centrífugo
Sistema de amortiguación	Resortes			
Transmisión	Engranajes	Rodillos y bandas	Cadenas	
Soporte	Ruedas (base sólida móvil)	Base sólida fija		
Recepción de la arena	Jabas	Tolva	Manual	

Fuente: Autor

Tabla 12: Tabla de solución 3

DISEÑO DE MÁQUINA CRIBADORA DE ARENA PARA UNA CAPACIDAD DE 500 kg/h				
Funciones	Portadores de funciones			
Alimentación	Manual	Tolva	Faja transportadora	Tolva y faja transportadora
Energía	Eléctrica	Gasolina	Diesel	
Cribado	Banda	Rejillas	Tambor	
Tamizado	Manual	Giratorio	Vibratorio	Centrífugo
Sistema de amortiguación	Resortes			
Transmisión	Engranajes	Rodillos y bandas	Cadenas	
Soporte	Ruedas (base sólida móvil)	Base sólida fija		

<b>Recepción de la arena</b>	Jabas	Tolva	Manual	
------------------------------	-------	-------	--------	--

Fuente: Autor

#### 4.3.5. Bosquejos para soluciones planteadas

##### a. Bosquejo para la solución N°1

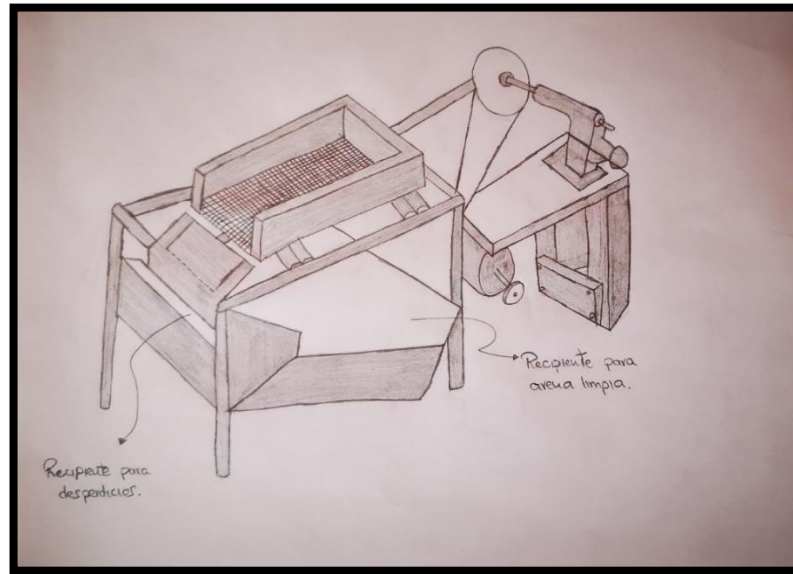


Ilustración 40: Bosquejo para solución N°1

Fuente: Autor

El operario irá colocando la arena impura en la cernidora de tipo vibratorio, en donde se pasará a la selección de arena, donde se usará un sistema de bandas y rodillos. La arena seleccionada será recogida por un operario.

##### b. Bosquejo para la solución N°2

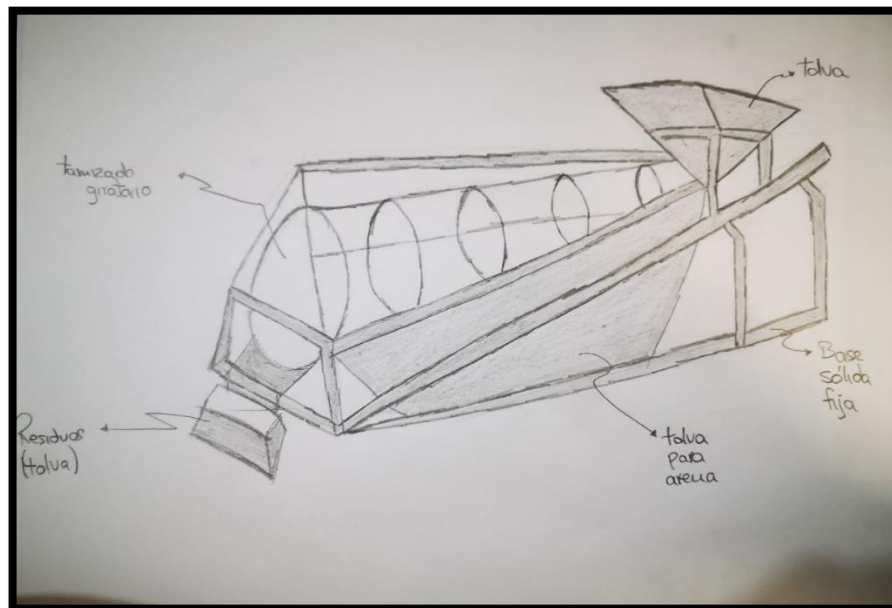


Ilustración 41: Bosquejo para solución N°2  
Fuente: Autor

La arena impura pasará por la tolva la cual entrega la carga a la cernidora de tipo tambor giratorio, donde se pasará a la selección de arena, llegando a esta a una tolva.

c. Bosquejo para la solución N°3

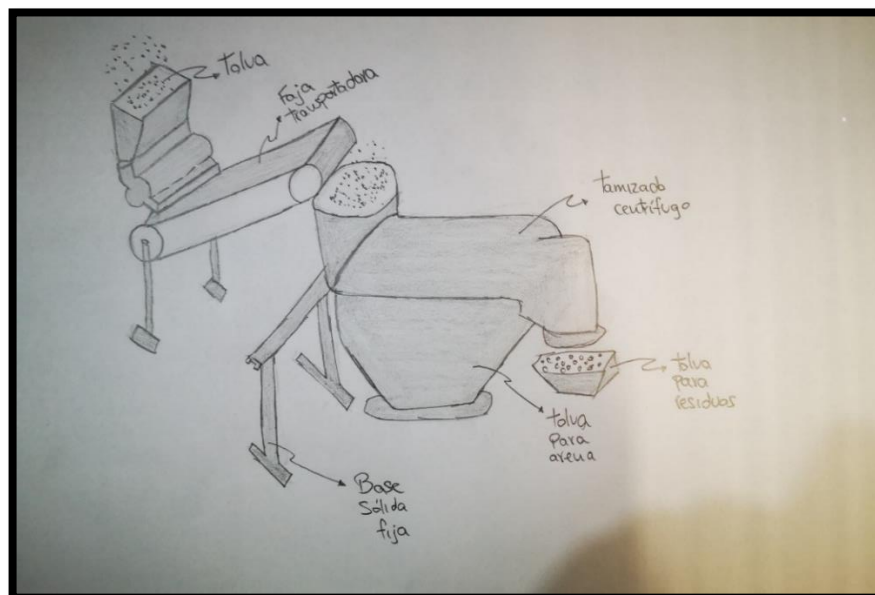


Ilustración 42: Bosquejo para solución N°3  
Fuente: Autor

La arena impura pasará por una tolva, luego distribuirá la carga por una faja transportadora inclinada, llegando a un tambor centrífugo en donde se pasará a la selección de arena, llegando a una tolva.

#### 4.3.6. Concepto óptimo del diseño

Para seleccionar el diseño conceptual óptimo se debe examinar definiciones referidas a lo que el cliente busca, comprar puntos básicamente duros y delicados de las definiciones para que al final se seleccionen uno o más de estos conceptos para su futuro desarrollo.

##### a. Filtrado de conceptos

Este filtrado es realizado por un sistema por el autor Stuart Pugh en la década de 1980, donde en ocasiones es definido también como una matriz de selección de conceptos de Pugh. El propósito de este filtrado es que se pueda llegar a simplificar velozmente la cantidad de definiciones y mejorarlas. Dicho esto, se elaboró la matriz de selección, calificando las definiciones contra la definición de referencia empleando un código (+” mejor que”, 0 “igual que”, - “peor que”) para señalar algunos conceptos para su posterior consideración.

*Tabla 13: Criterios de selección del diseño de la máquina cribadora de arena*

Criterios de selección	Conceptos		
	A	B	C
Fácil manejo ergonómico	0	+	+
Resistencia de la estructura	+	+	+
Selección de producto	0	0	0
Normas de seguridad	0	0	0
Proceso silencioso	0	-	+
Operaciones de servicio y mantenimiento	0	+	+
Transmisión de potencia (energía)	0	+	+
Componentes anticorrosivos	0	0	0
Suma +	1	4	5

Suma 0	7	3	3
Suma -	0	1	0
Evaluación neta	8	7	8
Lugar 1	1	2	1
¿Continuar?	Sí	Combinar	Combinar

Fuente: Autor

## b. Evaluación de conceptos

Esta evaluación sirve para lanzar una mejoría entre los conceptos que se muestran y compiten. Aquí se pone como prioridad la importancia de manera relativa de los criterios de selección y se centra en confrontaciones más lisas de acuerdo a cada criterio establecido. Estas evaluaciones están dadas por la suma de toda la calificación.

Se elaboró la matriz de evaluación:

*Tabla 14: evaluación de conceptos*

<b>DISEÑO DE MÁQUINA CRIBADORA DE ARENA</b>					
		<b>CONCEPTO</b>			
		<b>A</b>		<b>B</b>	
<b>Criterios de selección</b>	<b>Peso</b>	<b>Calificación</b>	<b>Evaluación ponderada</b>	<b>Calificación</b>	<b>Evaluación ponderada</b>
Fácil manejo ergonómico	20	3	0,6	5	0,1
Resistencia de la estructura	15	3	0,45	5	0,75
Selección de producto	15	4	0,6	5	0,75
Normas de seguridad	10	4	0,4	5	0,5
Operación de servicio y mantenimiento	10	3	0,3	5	0,5
Transmisión de potencia (energía)	10	3	0,3	4	0,4

Componente anticorrosivo	5	5	0,25	5	0,25
Total puntaje			3,35		3,85
Lugar			2		1
¿Continuar?		NO		DESARROLLAR	

Fuente: Autor

#### 4.4.DISEÑAR LA MÁQUINA CRIBADORA MEDIANTE CÁLCULOS DE RESISTENCIA DE MATERIALES Y ESTANDARIZACIÓN PARA SOPORTAR LA CAPACIDAD DE 500 KG/HORA.

##### 4.4.1. Parámetros generales de la máquina

*Tabla 15: Parámetros generales*

Capacidad (kg/hora)	500
Densidad de arena (kg/m <sup>3</sup> )	1161
Granulometría (mm)	0.4 – 2
Material de tamiz	Acero inoxidable C-304

Fuente: Autor

##### 4.4.2. Densidad de la arena

Para el dato de la densidad de la arena, se tomó los datos recolectados por A. Calderón, 2020 en su tesis titulada “Diseño de una máquina cernidora de arena verde para el proceso de fabricación artesanal de utensilios de aluminio en el caserío de Chacupe – Lambayeque”, en la que realiza 10 pruebas con un balde de un volumen de 0.024 m<sup>3</sup>, obteniendo los siguientes datos:

*Tabla 16: Densidad de Arena*

	Densidad de Arena Verde									
	1° Prb.	2° Prb.	3° Prb.	4° Prb.	5° Prb.	6° Prb.	7° Prb.	8° Prb.	9° Prb.	10° Prb.
Masa Total (kg)	27,90	28,03	28,08	28,30	28,15	28,27	28,30	27,93	28,00	28,30
Volumen (m <sup>3</sup> )	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	1145,32	1150,66	1152,71	1161,74	1155,58	1160,51	1161,74	1146,55	1149,43	1161,74

Fuente: A. Calderón, 2020

A. Calderon obtuvo una densidad mínima de 1145,32 kg/m<sup>3</sup> y una densidad máxima de 1161,74. De acuerdo con estos datos, en nuestra investigación se decidió tomar el mayor valor debido a que este aumenta los esfuerzos a los que estará sometida nuestra máquina.

#### 4.4.3. Cálculo de diámetro de tambor en función de la capacidad de producción de la máquina

Se procede a calcular el diámetro del tambor cernidor en función del flujo másico de producción de nuestra máquina (500 kg/h):

$$Dt = \left[ \frac{11,36xQt}{Db \times F \times Kv \times \sqrt{g} \times \tan \alpha} \right]^{0.4}$$

Donde:

- Dt = Diámetro teórico de la cernidora [m]
- Qt = Flujo másico de la máquina cernidora [kg/s]
- Db = Densidad de la arena verde [kg/m<sup>3</sup>]
- $\alpha$  = Inclinación de la cernidora.
- kv = Factor de corrección de velocidad.
- F = Factor de relleno.
- g = Aceleración de gravedad [m/s<sup>2</sup>]

$$Dt = \left[ \frac{11,36x0.14 \text{ kg/s}}{1161\text{kg/m}^3 \times 1 \times 1 \times \sqrt{9.81\text{m/s}^2} \times \tan 4.5} \right]^{0.4}$$

$$Dt = 0.77 \text{ m}$$

#### 4.4.4. Selección de tamiz comercial de acuerdo con la granulometría requerida

De acuerdo con que la granulometría requerida es de 0.4 mm a 2 mm, se seleccionará un tamiz mesh 40 x 40 en formato 1.00 x 1.20 mm las características se describen a continuación:

MESH	ALAMBRE (MM)	ABERTURA (MM)	AREA ABIERTA %	PESO (MT / KG)	1.00	1.22	1.50/
1x1	2.03	23.37	84.6	2.08	X	X	
2x2	1.60	11.10	76.39	2.56	X	X	
3x3	1.37	7.10	70.27	2.82	X	X	
4x4	1.20	5.15	65.78	2.88	X	X	
4x4	1.50	4.85	58.34	4.50	X	X	
5x5	1.00	4.08	64.50	2.50	X	X	
6x6	0.89	3.34	62.35	2.38	X	X	
6x6	1.22	3.01	50.64	4.47	X	X	
8x8	0.71	2.47	60.33	2.02	X	X	
10x10	0.63	1.91	56.55	1.98	X	X	
10x10	0.51	2.03	63.87	1.30	X	X	
12x12	0.58	1.54	52.77	2.02	X	X	
14x14	0.50	1.31	52.38	1.75	X	X	
16x16		0.46	1.13	50.51	1.69	X	X
18x18		0.38	1.03	53.36	1.30	X	X
20x20		0.40	0.87	46.93	1.60	X	X X
24x24		0.36	0.70	43.61	1.56	X	X
25x25		0.32	0.66	42.00	1.50	X	X
30x30		0.30	0.55	41.87	1.35	X	X
40x40		0.25	0.39	37.13	1.25	X	X
50x50		0.23	0.28	30.14	1.32	X	X X
60x60		0.17	0.25	35.43	0.87	X	X
70x70		0.16	0.20	30.86	0.90	X	X X
80x80		0.14	0.18	31.64	0.78	X	X
100x100		0.10	0.15	36.00	0.50	X	X X
120x120		0.09	0.12	32.65	0.49	X	X
150x150		0.065	0.10	36.73	0.32	X	X
180x180		0.05	0.09	41.33	0.23	X	X

Ilustración 43: Selección de tamiz comercial

Fuente:

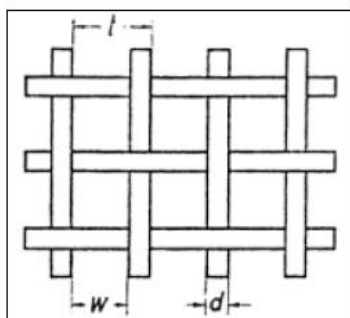


Ilustración 44: malla

Fuente:

w: 0,39 mm

d: 0,25 mm

t: 0,64 mm

#### 4.4.5. Peso de la malla de un tamiz

El peso de una malla tamizadora esta expresa por la siguiente fórmula:

$$G = 12,61x \left( \frac{d^2}{T} \right)$$

$$G = 12,61x \left( \frac{0,25^2}{0,64} \right)$$

$$G = 1,23 \text{ Kg/m}^2$$

#### 4.4.6. Dimensionamiento de cernidora rotativa

Para su diseño se tendrá en cuenta el formato comercial de malla disponible 1.00 m x 1.20 m, el cual fue descrito anteriormente.

La unión entre las mallas se hará de acuerdo como se indica en la siguiente imagen, se unirá con platinas de 1 ½" x 1/8", las uniones necesarias para unir las dos mallas son 1 platina por lado, las mallas se traslaparán para mejorar la unión entre estas.

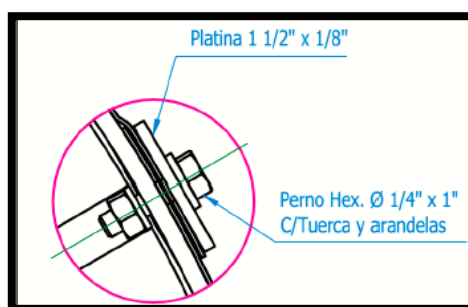


Ilustración 45: Pautas de la platina

Fuente:

Cálculo de longitud de circunferencia del cilindro tamizador:

$$Dt = \frac{Ct}{\pi}$$

$$770\text{mm} = \frac{Ct}{\pi}$$

$$Ct = 2419 \text{ mm}$$

De acuerdo a que la platina resta 1 ½" a la malla, se obtiene el ancho real de la malla:

$$\text{Ancho una malla} = 1220 \text{ mm} - 38,1 \text{ mm} = 1181,9 \text{ mm}$$

El número de mallas necesarias para el cilindro será:

$$\#Mallas = \frac{2419\text{mm}}{1181,9} = 2$$

La longitud del cilindro tamizador se considerará de acuerdo al formato estándar de una (1) malla: 1.00 metro.

#### 4.4.7. Angulo de inclinación

Se calcula en función de la capacidad de la máquina y el diámetro del cilindro cernidor.

$$Dt = \left[ \frac{11,36xQt}{Db \times F \times Kv \times \sqrt{g} \times \tan \alpha} \right]^{0.4}$$

Donde:

- Dt = Diámetro teórico de la cernidora [m]
- Qt = Flujo másico de la máquina cernidora [kg/s]
- Db = Densidad de la arena verde [kg/m<sup>3</sup>]
- α = Inclinación de la cernidora.
- kv = Factor de corrección de velocidad.
- F = Factor de relleno.
- g = Aceleración de gravedad [m/s<sup>2</sup>]

Despejamos α:

$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{11,36xQt}{(Dt)^{\frac{5}{2}} \times (Db \times F \times Kv \times \sqrt{g})} \right)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{11,36 \times 0,14 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{(0,77\text{m})^{\frac{5}{2}} \times \left( 1161 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1 \times 1 \times \sqrt{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \right)} \right)$$

$$\alpha = 4,5^\circ$$

#### 4.4.8. Velocidad crítica de rotación

La velocidad de rotación está dada por la siguiente ecuación:

$$Nc = \frac{1}{2\pi} \times \sqrt{\frac{g}{r}}$$

$$Nc = \frac{1}{2\pi} \times \sqrt{\frac{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{0,385 \text{ m}}}$$

$$Nc = 48 \text{ rpm}$$

#### 4.4.9. Velocidad optima

$$No = 0,5 Nc$$

$$No = 0,5 \times 48 \text{ rpm}$$

$$N_o = 24 \text{ rpm}$$

#### 4.4.10. Tiempo de cernido

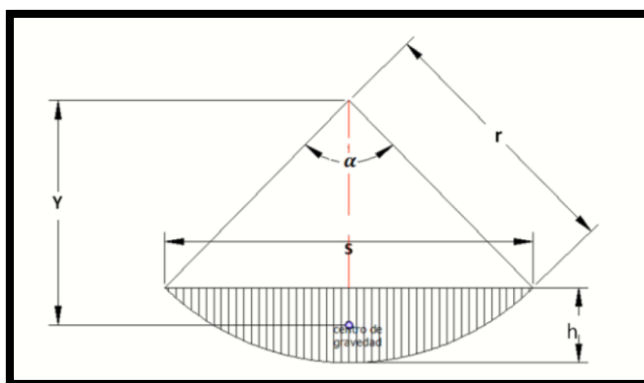
$$t = \sqrt{\frac{L \times D_b \times \pi \times r^2}{Q_t \times g \times \sin \alpha}}$$

$$t = \sqrt{\frac{1 \text{ m} \times 1161 \times \pi \times 0,385^2}{0,14 \times 9,81 \times \sin 4,5}}$$

$$t = 73,6 \text{ s}$$

#### 4.4.11. Centro de gravedad del volumen de arena

Procederemos a calcular los parámetros:  $\alpha, S, Y, h, r$



Se considera el volumen de arena de un balde 20 L,  $V_c = 0,02436 \text{ m}^3$   
Podemos calcular el área de la sección transversal de arena:

$$V_c = A_r \times L$$

$$A_r = \frac{V_c}{L}$$

$$A_r = \frac{0,02436 \text{ m}^3}{1,0 \text{ m}}$$

$$A_r = 0,02436 \text{ m}^2$$

#### 4.4.12. Angulo $\alpha$

$$A_r = \frac{r^2}{2} \left( \frac{\pi}{180} \alpha - \sin \alpha \right)$$

$$0,02436 = \frac{0,685^2}{2} \left( \frac{\pi}{180} \alpha - \sin \alpha \right)$$

$$\alpha = 71,25^\circ$$

#### 4.4.13. Altura del centro de gravedad (h)

$$\alpha = 2 \cos^{-1} \left( \frac{r-h}{r} \right)$$

$$71,35^\circ = 2 \cos^{-1} \left( \frac{0,385 \text{ m} - h}{0,385 \text{ m}} \right)$$

$$h = 0,08 \text{ m}$$

#### 4.4.14. Parámetro S

$$S = \sqrt{\left( r - \frac{h}{2} \right) \times 8h}$$

$$S = \sqrt{\left( 0,385 - \frac{0,08 \text{ m}}{2} \right) \times 8 \times 0,08 \text{ m}}$$

$$S = 0,47 \text{ m}$$

#### 4.4.15. Parámetro Y

$$Y = \frac{S^3}{12 \times Ar}$$

$$Y = \frac{0,47 \text{ m}^3}{12 \times 0,02436 \text{ m}^3}$$

$$Y = 0,36 \text{ m}$$

#### 4.4.16. Potencia para mover la arena

(masa de arena = 28,3 kg)

$$f = mxg$$

$$f = 28,3 \text{ kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$f = 277,6 \text{ N}$$

#### 4.4.17. Torque necesario

$$T = F \times Y$$

$$T = 277,6 \text{ N} \times 0,36 \text{ m}$$

$$T = 99,94 \text{ N.m}$$

#### 4.4.18. Potencia Necesaria

$$P = T \times N_o$$

$$P = 99,94 \text{ Nm} \times 24 \text{ Rpm}$$

$$P = 251,2 \text{ W} = 0,34 \text{ Hp}$$

Potencia necesaria para mover la cernidora en vacío: Preliminarmente se considera un peso de 50 kg del cilindro cernidor, por lo que tenemos:

#### 4.4.19. Fuerza Tangencial

$$F_t = m \times \beta \times r$$

#### 4.4.20. Angulo de la fuerza tangencial $\beta$

$$\beta = \frac{w}{t}$$

$$\beta = \frac{2,51 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}{2 \text{ s}}$$

$$\beta = 1,26 \text{ rad}$$

Por lo tanto, la fuerza tangencial será la siguiente:

$$F_t = 50 \text{ kg} \times 1,26 \times 0,385 \text{ m}$$

$$F_t = 24,1 \text{ N}$$

#### 4.4.21. Torque necesario para mover la cernidora en vacío

$$T_v = 24,1 \text{ N} \times 0,385 \text{ m}$$

$$T_v = 9,28 \text{ Nm}$$

#### **4.4.22. Potencia necesaria para mover la cernidora en vacío**

$$P_v = T_v \times \omega$$

$$P_v = 9,28 \text{ Nm} \times 2,1 \text{ rad}$$

$$P_v = 23,29 \text{ Whatts} = 0,03 \text{ Hp}$$

#### **4.4.23. Potencia total para mover la maquina cernidora**

$$P_t = 0,34 \text{ hp} + 0,03 \text{ hp} = 0,37 \text{ hp}$$

Con la potencia requerida se procede a seleccionar el motorreductor:

Se solicita una cotización a SEW- EURODRIVE con las siguientes características:

Potencia: 0,37 kW  
RPM (salida): 24,42 rpm (referencial).  
Aplicación: Cernidor rotativo  
Anexo\_D 2 Cotización del Motorreductor\_R47 DRS71S4.

Número de Serie	41.0290594301.0001.18
Descripción de catálogo	R47 DRS71S4
Potencia motor [kW]	0,370
Vel. salida calculada [rpm]	25
Par de salida [Nm]	142
Factor de servicio SEW FB	2,10
Índice reducción total [i]	68,54
Posición de montaje / IM	M1
Eje de salida	30x60 mm
Eje de salida	10 mm Extremo Piñón Eje
Brida de Reductor	FG130 D160
Tipo de servicio S1-S10	S1
Tensión del motor [V]	220/440
Corriente nominal [A]	0,96
Frecuencia del motor [Hz]	60,0
Tipo de conexión	Doble triángulo / Triángulo
Tipo de protección [IP]	55

La posición de montaje M1 se muestra en el Anexo\_C 4 y las medidas en el Anexo\_C 5.

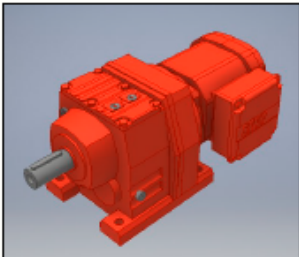


Ilustración 46: Motorreductor seleccionado  
Fuente: Sew-Eurodrive

#### 4.4.24. Diseño de eje por resistencia y fatiga

Para el diseño del eje se utiliza el procedimiento de ANSI/ASME B106.1 M

##### a. Calculamos la masa total que soportará el eje

$$M_t = M_{arena} + M_{tambor}$$

$$M_t = 23,8 \text{ kg} + 50\text{kg}$$

$$M_t = 73,8 \text{ kg}$$

**b. Fuerza aplicada**

$$F = M_T \times g$$

$$M_t = 73,8 \text{ kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$M_t = 723,97 \text{ N}$$

Debido a la inclinación de 4. 5° la componente de fuerza aplicada sobre el eje será la siguiente:

$$F_y = F \times \cos \alpha$$

$$F_y = 723,97 \times \cos 4,5$$

$$F_y = 721,73 \text{ N}$$

Componente horizontal:

$$F_x = F \times \sin \alpha$$

$$F_x = 723,97 \times \sin 4,5$$

$$F_x = 56,8 \text{ N}$$

La distribución de fuerzas verticales se da sobre las dos bocinas del cilindro cernidor, por lo tanto, en cada una se tendrá la siguiente carga:

$$F_A = F_B = \frac{F_y}{2}$$

$$F_A = F_B = \frac{721,97 \text{ N}}{2}$$

$$F_A = F_B = 361 \text{ N}$$

También se tendrá en cuenta el par proporcionado por el motorreductor el cual, según datos del fabricante Sew, es 142 Nm.

Conociendo las cargas aplicadas al eje, calculamos con ayuda del programa MD Solid las reacciones en los apoyos.

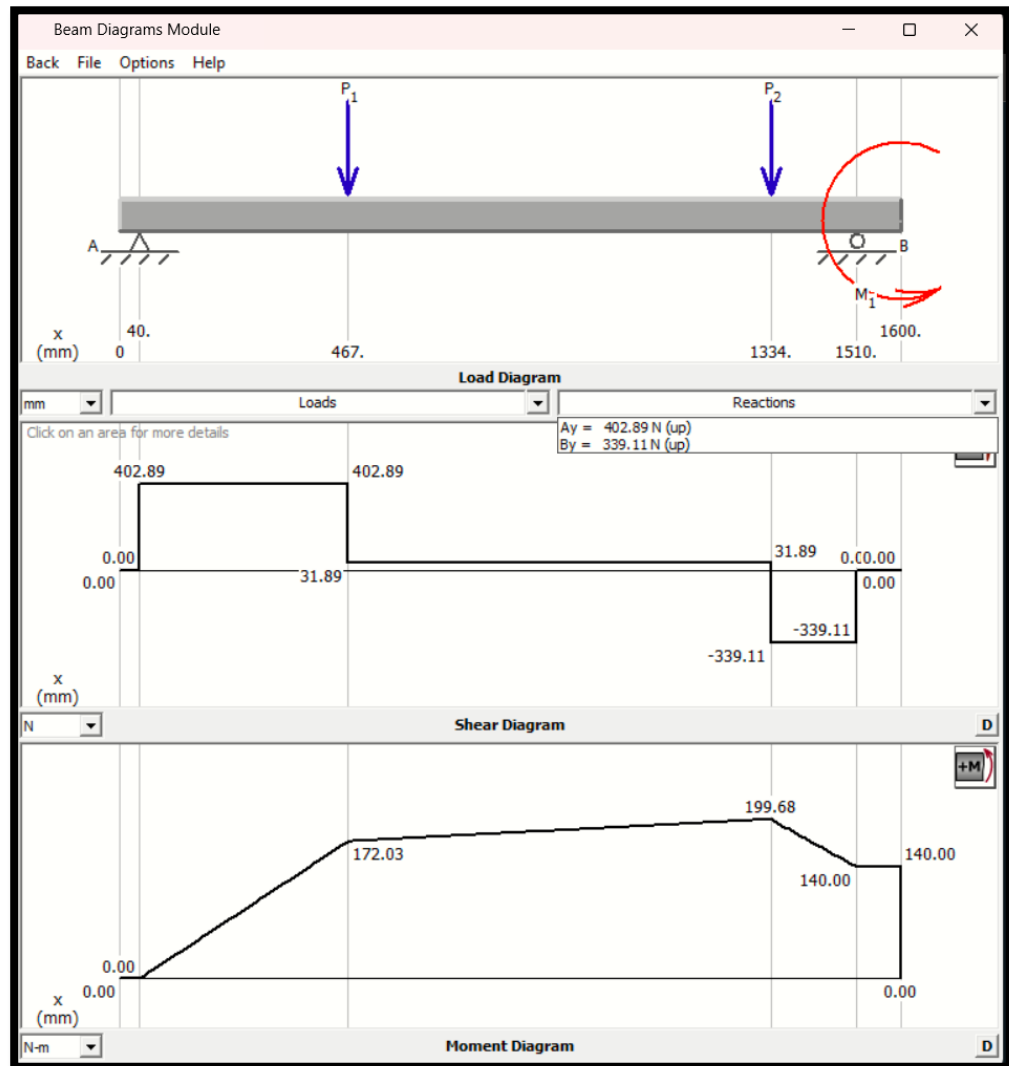


Ilustración 47: Diagrama de momentos, de cargas y corte  
Fuente: MD Solid

**c. Las reacciones en los apoyos y el momento máximo son**

$$A_y = 402,89 \text{ N} \quad B_y = 339,11 \text{ N} \quad M_{\max} = 199,68 \text{ Nm}$$

**4.4.25. Cálculo de diámetro del eje**

Para el cálculo del diámetro del eje que soportara las cargas del peso de arena, así como el cilindro cernidor, se considera un acero de resistencia media como lo es el acero SAE 1045, cuyas propiedades mecánicas, dadas por el proveedor nacional “Aceros Arequipa” son las siguientes:

Barras Redondas Lisas y Pulidas



**NORMAS TÉCNICAS**

Composición Química y Propiedades Mecánicas:  
SAE J403 (1045), ASTM A36 / A36M, y NTP 350.400

Tolerancias Dimensionales:  
· Barras de diámetros ≤ a 1 1/8": ISO 1035/4 y NTP 241.105  
· Barras de diámetros > a 1 1/8": ASTM A6 y NTP 241.105

**USOS**

Calidad SAE 1045: Pernos y tuercas por recalado en caliente o mecanizado, ejes, pines, pasadores, etc.

Calidad ASTM A36: Estructuras metálicas, puertas, ventanas, rejas, cercos, barras de transferencia para pavimento rígido, etc.  
También para recalado y mecanizado.

**PRESENTACIÓN**

· Se comercializa en longitudes de 6 metros. En otras longitudes solo a pedido del cliente.  
· Las barras de diámetros mayores a 1", son suministradas en estado laminado en caliente y posteriormente pulidas (según requerimiento del cliente).  
· Se suministran en paquetes de 1 t.  
· La calidad 1045 se identifica en los extremos, pintando la mitad de la sección con color negro.  
· La calidad A36 se identifica en los extremos, pintando la mitad de la sección con color verde y la otra mitad con color negro.

**PROPIEDADES MECÁNICAS**

Límite de Fluencia mínimo	<b>ASTM A36:</b> = 250 MPa (2,530 kg/cm <sup>2</sup> )	<b>SAE 1045*:</b> = 390 - 540 MPa (4,000 - 5,500 kg/cm <sup>2</sup> )
Resistencia a la Tracción	= 400 - 550 MPa (4,080 - 5,620 kg/cm <sup>2</sup> )	= 650 - 800 MPa (6,700 - 8,200 kg/cm <sup>2</sup> )
Alargamiento en 200 mm	= 20.0% mínimo	= 12.0% mínimo

\* Valores Típicos.

DIMENSIONES

REDONDO LISO		REDONDO PULIDO	
Diámetro nominal (pulgadas)		Diámetro nominal (pulgadas)	
3/8	1	1 1/8	1 3/4
1/2	1 1/4	1 1/4	2
5/8	1 3/8	1 1/2	2 1/2
3/4	2		
7/8	2 1/4		

Ilustración 48: Ficha técnica del acero SAE 1045

Fuente: Aceros Arequipa

Resistencia a la tensión  $S_{ut} = 650 \text{ MPa}$

Resistencia a la fluencia mínima  $S_y = 390 \text{ MPa}$

Procedemos a calcular el límite de resistencia a la fatiga modificado con la siguiente ecuación:

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_{fs}' * S_e'$$

Donde:

- $S_e$ : límite de resistencia a la fatiga modificado
- $k_a$ : Factor de acabado superficial
- $k_b$ : Factor de tamaño
- $k_c$ : Factor de carga
- $k_d$ : Factor de temperatura
- $k_e$ : Factor de confiabilidad
- $k_{fs}'$ : Factor por muescas
- $S_e'$ : Límite de resistencia a la fatiga

a. Valor de  $K_a$

Acabado superficial	Factor $a$		Exponente
	$S_{ut}$ , kpsi	$S_{ut}$ , MPa	$b$
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
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

Ilustración 49: Factor  $K_a$ 

Fuente:

$$k_a = a * S_u^b$$

$$k_a = 57,7 * 650^{-0,718}$$

$$k_a = 0,55$$

**b. Valor de  $K_b$** 

$$k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < 254 \text{ mm} \end{cases}$$

Suponemos un diámetro de 2 pulgada:

$$k_b = 0,879 * 2^{-0,107}$$

$$k_b = 0,82$$

**c. Valor de  $K_c$** 

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsión} \end{cases}$$

Debido a que nuestro eje se encuentra sometido a carga por torsión  $k_c = 0,59$ **d. Valor de  $K_d$** 

$$k_d = \frac{S_T}{S_{RT}}$$

Temperatura, °C	$S_T/S_{RT}$	Temperatura, °F	$S_T/S_{RT}$
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1 000	0.698
550	0.672	1 100	0.567
600	0.549		

Ilustración 50: Factor  $K_d$ 

Fuente:

$$k_d = 1,01$$

e. Valor de  $K_e$ 

Confiabilidad, %	Variación de transformación $z_\alpha$	Factor de confiabilidad $k_e$
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Ilustración 51: Factor  $K_e$ 

Fuente:

Para una confiabilidad del 90 %:

$$k_d = 0,897$$

f. Valor de  $K_{fs}$ 

$$k_{fs}' = \frac{1}{k_{fs}}$$

$$k_{fs} = 1 + q_{cortane}(K_{ts} - 1)$$

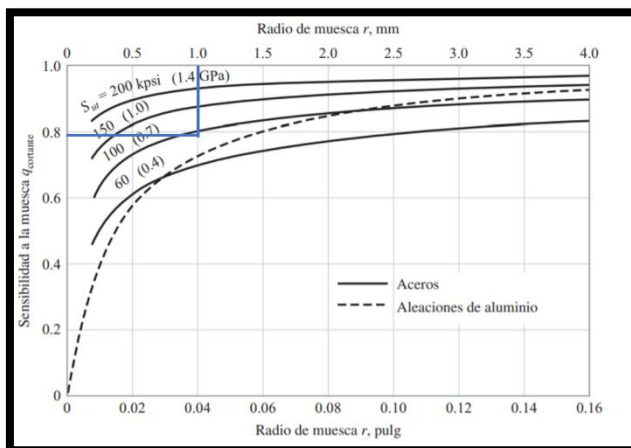


Ilustración 52: Factor q

Fuente:

$$q_{\text{cortane}} = 0,792$$

$$K_{ts} = 1,4$$

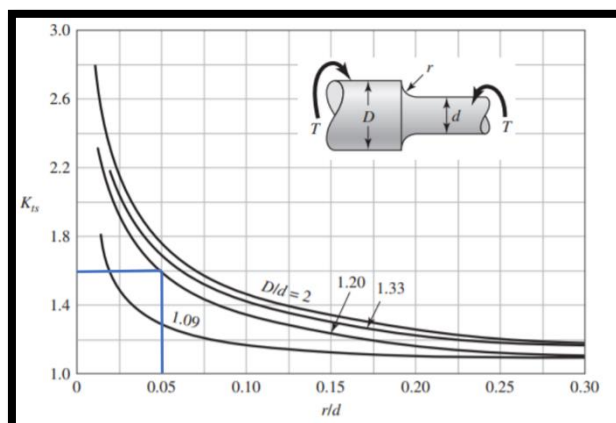


Ilustración 53: Diagrama

Fuente:

$$k_{fs} = 1 + 0,792(1,4 - 1)$$

$$k_{fs} = 1,3168$$

$$k_{fs}' = \frac{1}{1,3168} = 0,759$$

Por lo tanto, el límite de resistencia a la fatiga modificado es el siguiente:

$$S_e = 0,55 * 0,82 * 0,59 * 1,01 * 0,897 * 0,759 * 390\text{Mpa}$$

$$S_e = 71.4 \text{ Mpa}$$

Calculado el límite de resistencia a la fluencia modificador, procedemos a calcular el diámetro del eje:

$$D = \left( \frac{32 * n}{\pi} * \sqrt{\left(\frac{M}{S_e}\right)^2 + \frac{3}{4} * \left(\frac{T}{S_y}\right)^2} \right)$$

Donde:

- n: Factor de seguridad
- M: Momento Flector
- Se: Limite de resistencia a la fatiga modificado
- T: Torque
- S<sub>y</sub>: Limite de Fluencia

$$D = \left( \frac{32 * 2}{\pi} * \sqrt{\left(\frac{199 \text{ N. m}}{71,4 * 10^6 \text{ Pa}}\right)^2 + \frac{3}{4} * \left(\frac{142 \text{ N. m}}{390 * 10^6 \text{ Pa}}\right)^2} \right)^{1/3}$$

$$D = 0,0385 \text{ m} = 38,5 \text{ mm}$$

El diámetro del eje mínimo debe ser de 38,5 mm, se seleccionará un diámetro comercial de “Aceros Arequipa” en barra redonda pulida un diámetro de 1 3/4” o 44,45 mm.

#### 4.4.26. Comprobación de diámetro de eje por rigidez

Se realizará el cálculo de la deflexión por torsión máxima del eje según el estándar ANSI/ASME B106.1M 1985:

$$\vartheta = \frac{584xMtxL}{Gxd^4}$$

Donde:

- L: Longitud de eje
- Mt: Momento de torsión
- G: Módulo de rigidez.
- d: Diámetro de eje

$$\vartheta_r = \frac{584xMtxL}{Gxd^4}$$

$$\vartheta_r = \frac{584 \times 1256.81 \times 57.8''}{12000 \times 10^3 \times 1.75^4}$$

$$\vartheta_r = 0.37^\circ$$

La deflexión torsional para nuestro eje de 57.8'' o 1470 mm es de 0.33°, la norma ANSI/ASME B106.1M 1985 indica la deflexión torsional máxima en ejes:

Tipo de aplicación	Deflexión máxima / in de longitud
Partes de maquina en general	0.001° a 0.01°
precisión moderada	0.00002° a 0.0004°
Precisión Alta	0.0000001° a 0.00002°

La deflexión torsional máxima es:

$$\vartheta_{max} = 0.01 \times 57.8''$$

$$\vartheta_{max} = 0.578^\circ$$

Teniendo estos resultados  $\vartheta_r < \vartheta_{max}$ , por lo tanto, nuestro eje no fallará por deflexión torsional con el diámetro calculado anteriormente.

Ahora se realizará el cálculo de la deflexión por flexión máxima del eje según la norma ANSI/ASME B106.1M 1985, considerando que nuestro tipo de aplicación serán partes de maquinaria en general:

Tipo de aplicación	Deflexión máxima in/in de longitud
Partes de maquina en general	0.0005 a 0.003
precisión moderada	0.00001 a 0.0005
Precisión Alta	0.0000001 a 0.00001

$$\gamma_{max} = 0.0005 * 57.8''$$

$$\gamma_{max} = 0.0258''$$

$$\gamma_{max} = 0.73 \text{ mm}$$

La deflexión máxima a la que debería estar sometido nuestro eje es 0.73 mm.

Ahora se calculará la deflexión por flexión debido a las cargas aplicadas:

$$\gamma_r = \frac{Pxax(3L^2 - 4a^2)}{24xEIxI}$$

Donde:

- P: Carga aplicada
- L: Longitud total del eje
- E: Modulo de elasticidad
- I: Inercia de la sección del eje

$$\gamma_r = \frac{371x0.18x(3x1.47^2 - 4x0.18^2)}{24x200x10^9x\frac{\pi}{4}x0.0445^4}$$

$$\gamma_r = 0.03 \text{ mm}$$

Teniendo estos resultados  $\gamma_r < \gamma_{max}$ , por lo tanto, nuestro eje no fallará por deflexión por flexión con el diámetro calculado anteriormente.

#### **4.5.SIMULAR EL DISEÑO ESTÁTICO ESTRUCTURAL DE LA MÁQUINA CRIBADORA Y ANÁLISIS DE FATIGA DEL EJE MEDIANTE EL ANÁLISIS CAE DEL SOFTWARE SOLIDWORKS.**

Para la simulación del eje de transmisión se empleó el Software CAD/CAE SolidWorks. Las cargas utilizadas en la simulación del modelo son las siguientes:

*Tabla 16: Cargas utilizadas en la simulación*

P1	P2	Tr	G
370 N	370 N	142 N.m	9,81 m/s <sup>2</sup>

Fuente: Autor

Por lo que la disposición de fuerzas para simular el modelo queda de la siguiente manera:

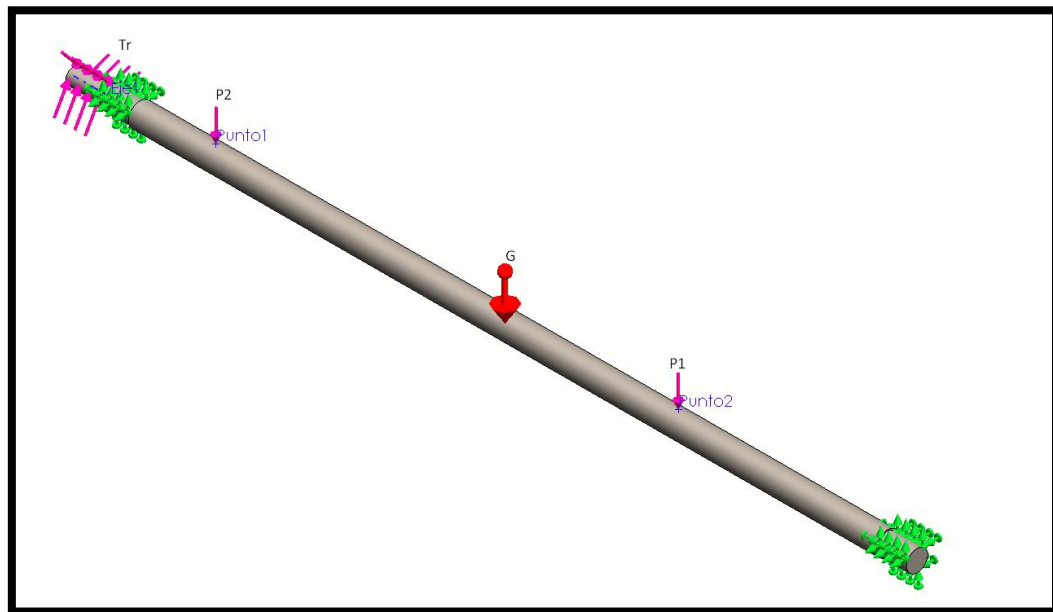


Ilustración 54: Simulación del eje de transmisión  
Fuente: SolidWorks

Ejecutando la simulación se obtienen los siguientes resultados:

#### 4.5.1. Calidad de mallado

Para obtener una correcta y adecuada calidad de mallado se utilizó 29 puntos Jacobinos, obteniendo un porcentaje de elementos con cociente de aspecto menor a 3 del 99%.

Malla Detalles	
Nombre de estudio	Análisis estático 1 (-Predeterminado-)
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	29 puntos
Tamaño máx. de elemento	8,52555 mm
Tamaño mín. de elemento	2,84182 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	45893
Número total de elementos	29128
Cociente máximo de aspecto	7,3394
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto < 3	99
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Número de elementos distorsionados	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:03
Nombre de computadora	

Ilustración 55: Calidad de mallado  
Fuente: SolidWorks

### 4.5.2. Tensiones de Von Mises

Se obtuvo una tensión máxima de 50 Mpa y una tensión mínima de 0.5 kPa, estos resultados están muy por debajo del límite de fluencia del material empleado para el eje de transmisión.

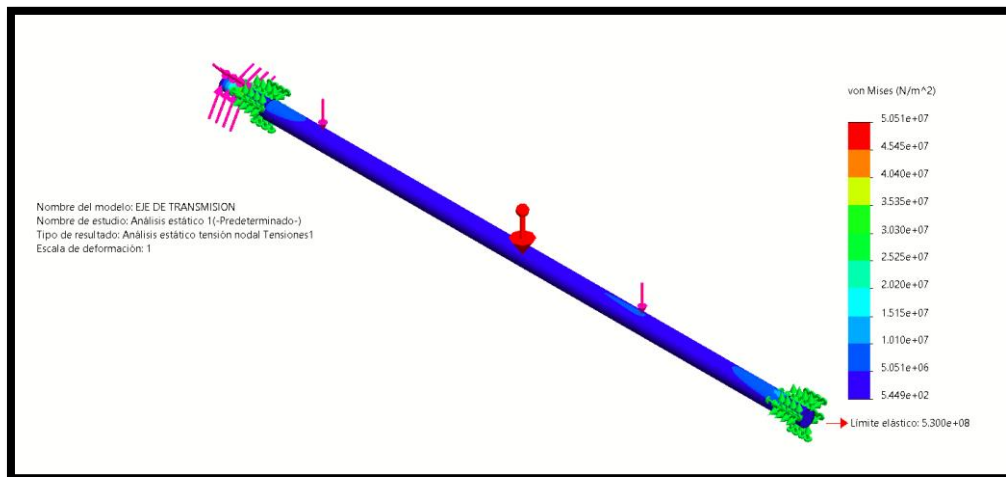


Ilustración 56: Simulación de Tensión de Von Mises  
 Fuente: SolidWorks

### 4.5.3. Desplazamientos

El desplazamiento máximo es 0.13 mm, lo cual es despreciable para el trabajo que realizara la máquina.

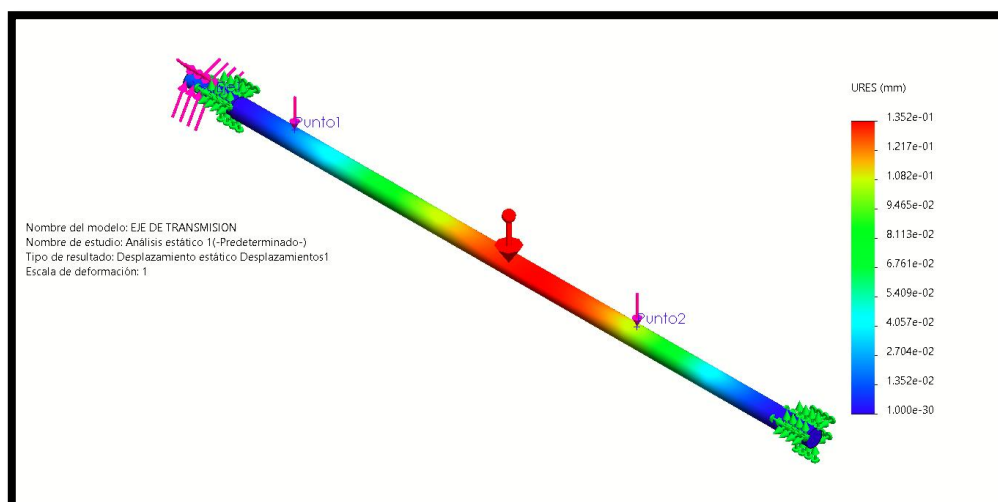


Ilustración 57: Simulación de desplazamiento  
 Fuente: SolidWorks

#### 4.5.4. Factor de seguridad

El factor de Seguridad mínimo es 2, lo cual coincide con nuestro análisis analítico, esto corrobora que el diámetro elegido para el eje es correcto.

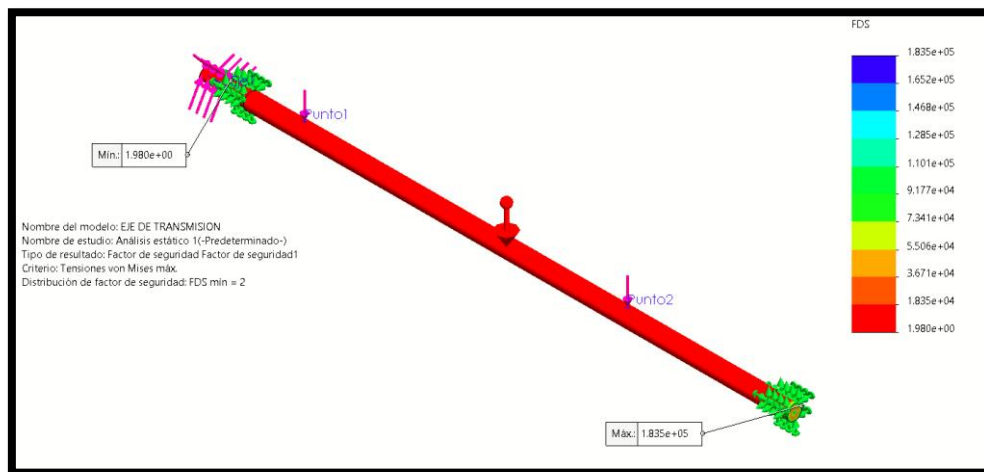


Ilustración 58: Simulación del factor de seguridad  
Fuente: SolidWorks

El factor de seguridad mínimo obtenido va de acuerdo también con lo indicado en la norma ANSI/ASME B106.1 lo cual indica que, para una carga estable, el óptimo factor de seguridad mínimo recomendado es de 2.

Tabla 17: Factor de seguridad (F.S) para el diseño de flechas según Normas ANSI-ASME

Condiciones de carga	Factor de seguridad (F.S)
Cargas estables	2.0
Cargas con impacto moderado	3.0
Cargas con impacto fuerte	4.0

Fuente: Autor

#### 4.5.5. Simulación de fatiga

Inicialmente en el módulo de análisis estático del programa SolidWorks se realiza una comprobación por fatiga incluyendo parámetros como tipo de carga, métodos de fabricación, etc., dando como resultado que las tensiones son tan pequeñas que se descarta una falla por fatiga.

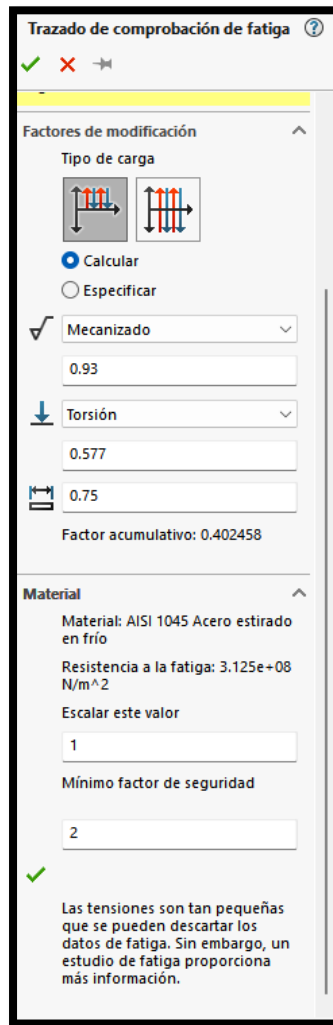


Ilustración 59: Simulación de parámetros de comprobación de fatiga  
Fuente: SolidWorks

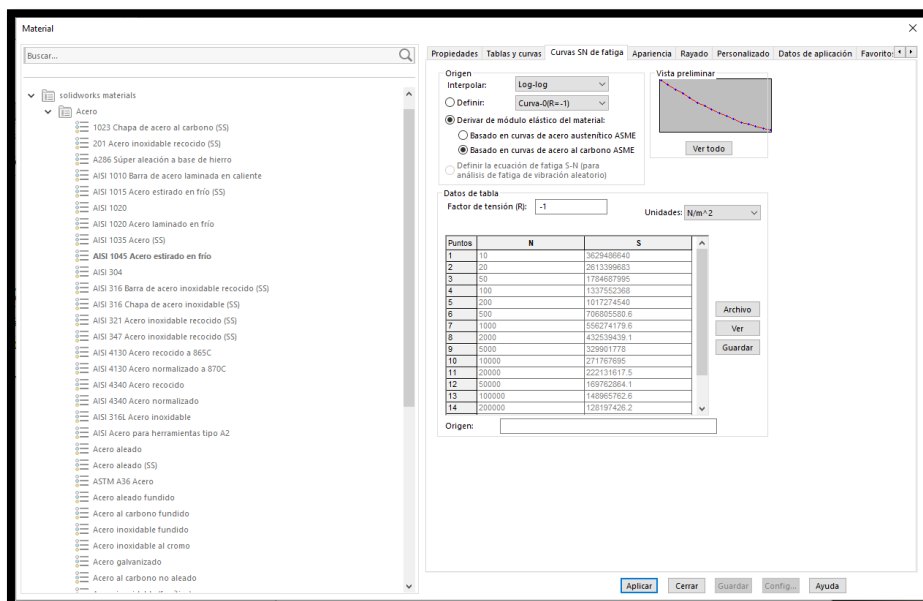


Ilustración 60: Biblioteca SolidWorks Curva S-N  
Fuente: SolidWorks

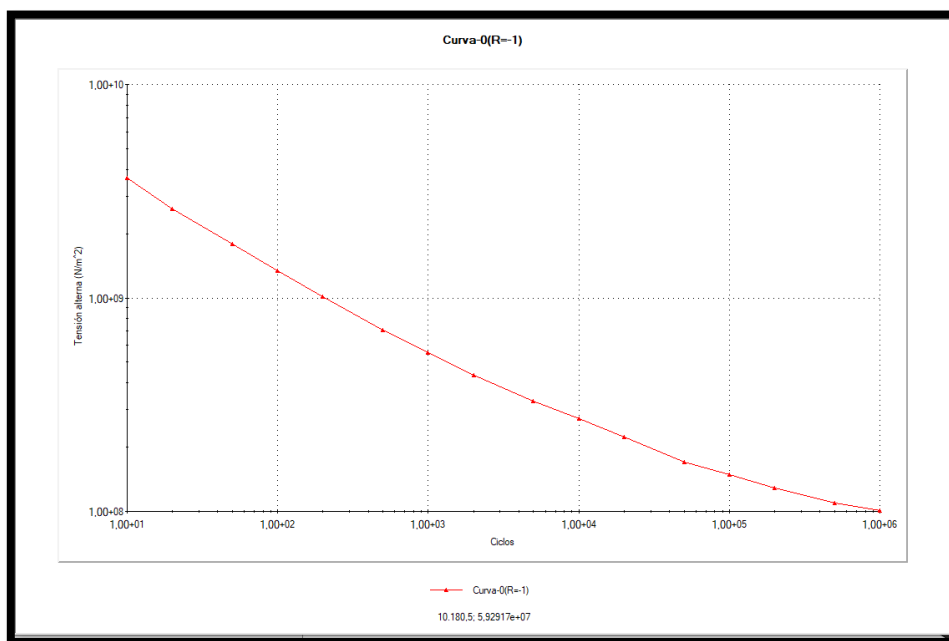


Ilustración 61: Curva S-N 1045  
Fuente: SolidWorks

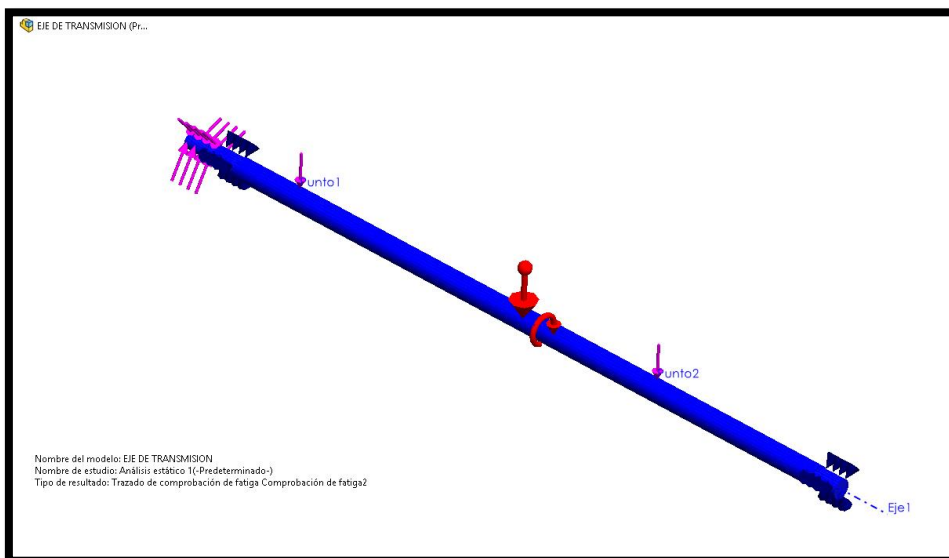


Ilustración 62: Simulación de resultados de comprobación de fatiga  
Fuente: SolidWorks

Posteriormente se procede a realizar un análisis de fatiga considerando una carga alternante completamente invertida y 1 000 000 ciclos de vida, esto asegura que el elemento en estudio no sufra daños por fatiga durante su servicio. A su vez se

obtuvieron los siguientes resultados lo cual indica que nuestro elemento no fallará debido a las cargas de trabajo aplicadas:

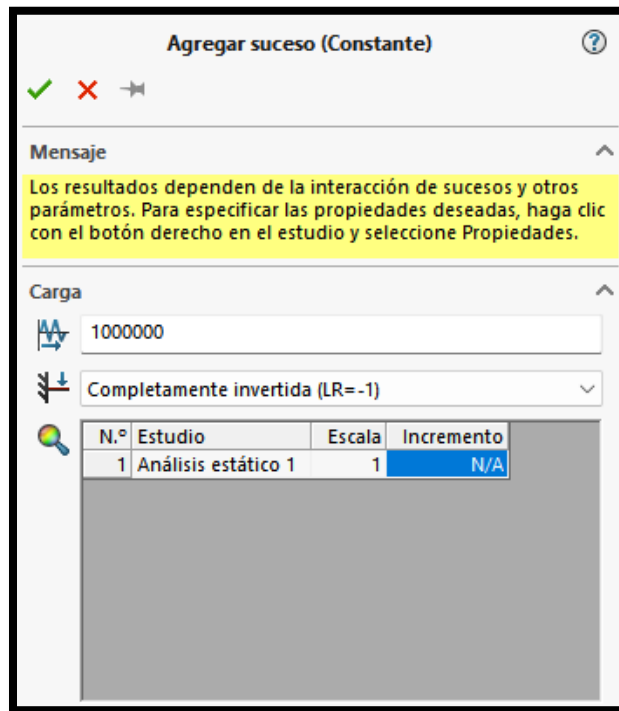


Ilustración 63: Simulación de parámetros de análisis de fatiga  
Fuente: SolidWorks

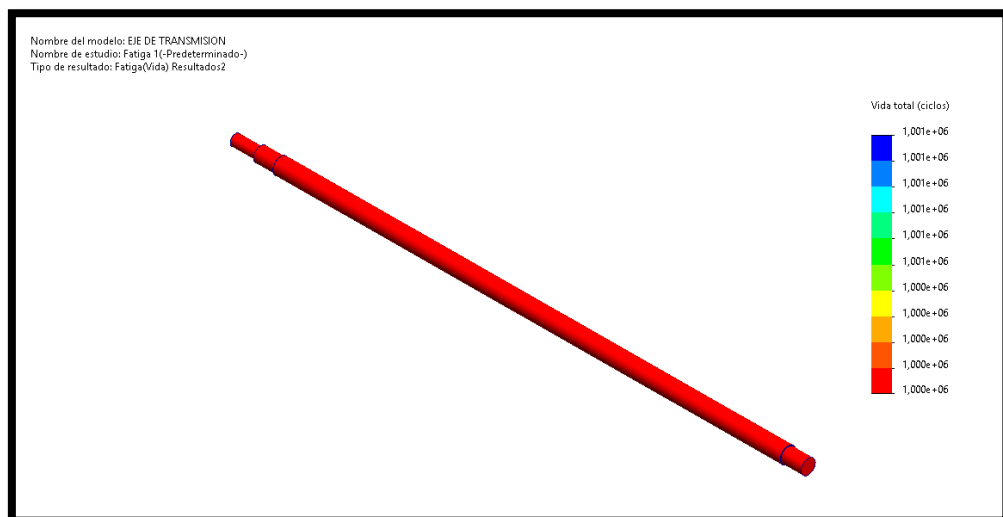


Ilustración 64: Simulación de resultados de análisis de fatiga  
Fuente: SolidWorks

#### 4.5.6. Análisis de frecuencia

Cada estructura tiene la tendencia a vibrar a ciertas frecuencias, llamadas frecuencias naturales o resonantes, Cada frecuencia natural se asocia a una forma determinada, llamada forma modal, que el modelo tiende a adoptar al vibrar a esa frecuencia.

Cuando una estructura es excitada adecuadamente por una carga dinámica con una frecuencia que coincide con una de sus frecuencias naturales, la estructura sufre grandes desplazamientos y tensiones. Este fenómeno se denomina resonancia, En el caso de los sistemas sin amortiguar, la resonancia teóricamente causa movimiento ilimitado, La amortiguación, sin embargo, pone un límite a la respuesta de las estructuras debido a las cargas resonantes.

Si el diseño está sujeto a entornos dinámicos, no se pueden utilizar estudios estáticos para evaluar la respuesta. Por lo tanto, los estudios de frecuencia le ayudan a evitar la resonancia y los sistemas de aislamiento de vibración en el diseño. Además, constituyen la base para evaluar la respuesta de sistemas dinámicos lineales donde la respuesta de un sistema a un entorno dinámico se presupone que es igual a la suma de las contribuciones de los modelos utilizados en el análisis, el análisis de frecuencia se realizara en base a lo indicado por la norma DIN 4150-3 en la que indica que se deben realizar simulaciones de sus frecuencias naturales hasta superar como mínimo la participación de masa normalizada del 80% en los ejes X, Y, Z.

Debido a que nuestro sistema estará girando a 24 rpm equivalente a 0.4 Hz por el motor eléctrico es necesario realizar una simulación de frecuencia para observar si esta frecuencia de 0.4 Hz se encuentra dentro de las frecuencias naturales del eje.

Una vez realizada la simulación se observa que el eje de las frecuencias naturales o resonantes comienzan desde los 41,025 Hz lo que indica que la excitación del sistema por el motor eléctrico no generará inconveniente por vibración.

*Tabla 18: Frecuencias Naturales*

<b>Modo de Frecuencia</b>	<b>Frecuencia (Rad/S)</b>	<b>Frecuencia (Hertz)</b>	<b>Tiempo (S)</b>
1	257,75	41,022	0,024377
2	257,75	41,022	0,024377
3	1026,6	163,39	0,0061204
4	1026,6	163,39	0,0061204
5	1046,5	166,56	0,006004
6	2293,5	365,03	0,0027395
7	2293,5	365,03	0,0027395
8	4037,6	642,6	0,0015562
9	4037,6	642,6	0,0015562
10	6229,7	991,49	0,0010086
11	6967,6	1108,9	0,00090178
12	8829,5	1405,3	0,00071161
13	8829,9	1405,3	0,00071158
14	11249	1790,3	0,00055857

15	11776	1874,2	0,00053357
16	11777	1874,3	0,00053352
17	13934	2217,7	0,00045091
18	14951	2379,6	0,00042025
19	14954	2380	0,00042016
20	18126	2884,9	0,00034664
21	18133	2885,9	0,00034651
22	20901	3326,5	0,00030061
23	21225	3378	0,00029603
24	21232	3379,2	0,00029593
25	22494	3580	0,00027933
26	24751	3939,2	0,00025386
27	24755	3939,8	0,00025382
28	27868	4435,3	0,00022547
29	28885	4597,1	0,00021753
30	28885	4597,3	0,00021752
31	33452	5324,1	0,00018783
32	33453	5324,2	0,00018782
33	33731	5368,4	0,00018627

Fuente: Autor

A continuación, se ilustrarán los modos de frecuencia con mayor participación de masa en alguno de los ejes X, Y o Z, los cuales son los más relevantes y más peligrosos si se llegase a coincidir con alguna de estas frecuencias:

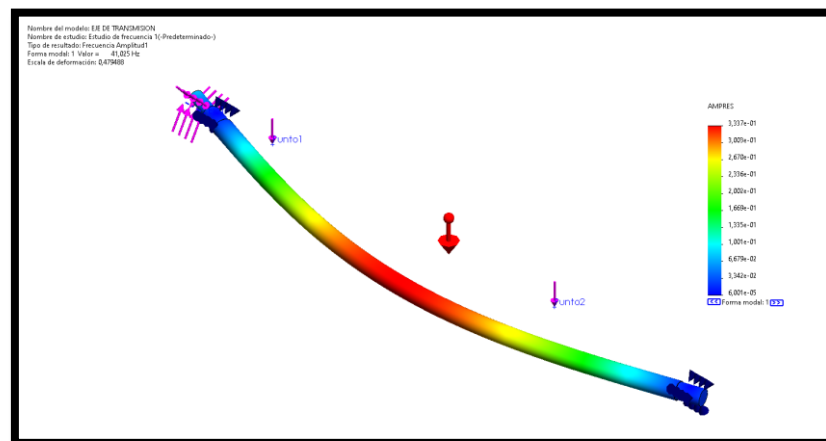


Ilustración 65: Frecuencia natural 1, participación de masa en Z; 76.4 %

Fuente: SolidWorks

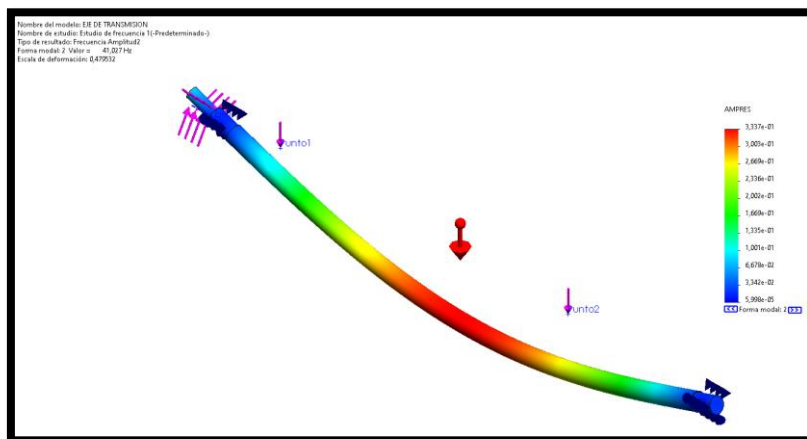


Ilustración 66: Frecuencia natural 2, participación de masa en Y; 76.4 %  
Fuente: SolidWorks

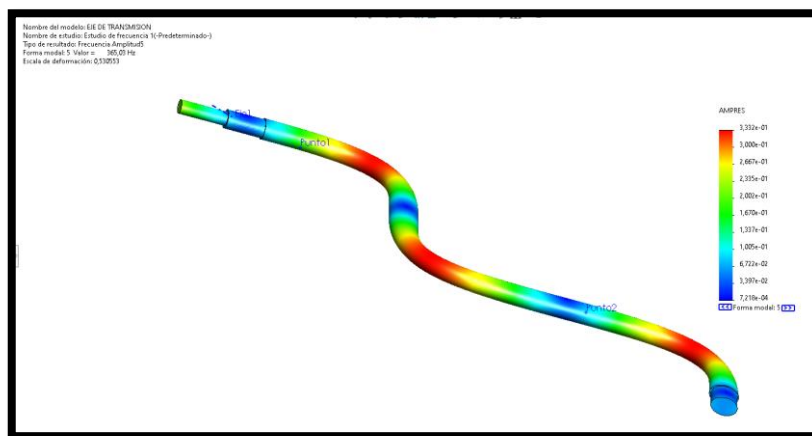


Ilustración 67: Frecuencia natural 5, participación de masa en Y y Z; 6 % y 1%  
Fuente: SolidWorks

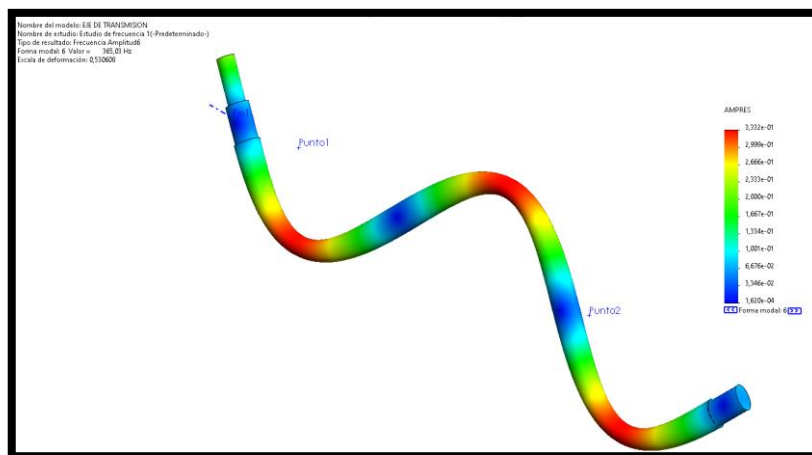


Ilustración 68: Frecuencia natural 6, participación de masa en Y y Z; 1 % y 6%  
Fuente: SolidWorks

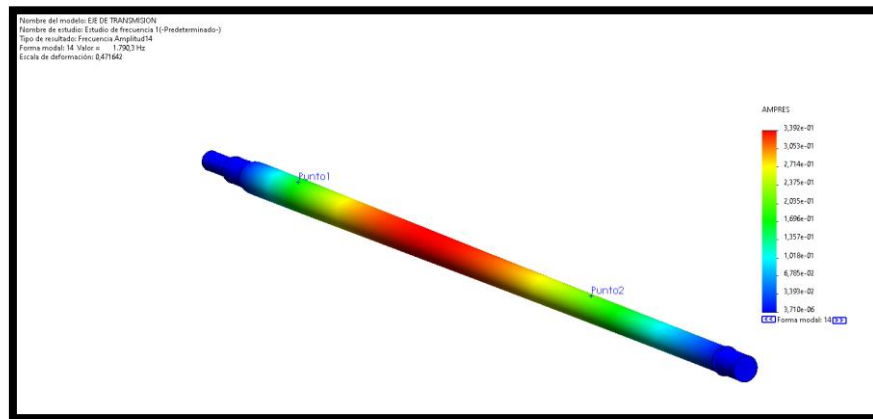


Ilustración 69: Frecuencia natural 14, participación de masa en X: 75.1 %  
Fuente: SolidWorks

Participación de masa (Normalizada)

Nombre de estudio: Estudio de frecuencia 1

Nº de modo	Frecuencia (Hertz)	Dirección X	Dirección Y	Dirección Z
1	41,025	3,6963e-14	1,3722e-05	0,7643
2	41,027	1,0066e-15	0,7643	1,3718e-05
3	163,39	8,9904e-15	1,568e-08	8,5062e-05
4	163,39	2,2927e-13	8,4954e-05	1,59e-08
5	365,03	9,1217e-12	0,01346	0,060761
6	365,03	3,1314e-12	0,060761	0,01346
7	642,59	2,118e-12	0,00016818	0,0002851
8	642,6	3,2283e-11	0,00028504	0,00016808
9	991,46	6,3123e-10	0,0086078	0,0099011
10	991,48	1,5133e-10	0,0099039	0,0086106
11	1,108,9	2,0151e-13	2,0747e-12	1,6388e-09
12	1,405,3	4,2033e-10	0,00071366	0,00091539
13	1,405,3	8,0339e-10	0,00091326	0,00071178
14	1,790,3	0,7514	5,149e-12	1,3141e-10
15	1,874,2	1,8001e-07	0,001265	0,0015757
16	1,874,3	4,1305e-08	0,0015837	0,0012714
17	2,217,7	8,7078e-11	1,0798e-11	5,0256e-12
18	2,379,6	1,2038e-09	0,0031096	0,0040817
19	2,380	4,2222e-10	0,0040562	0,0030904
20	2,884,9	1,256e-09	0,0011066	0,0014204
21	2,885,9	8,255e-11	0,0013993	0,0010926
22	3,326,5	3,9242e-15	9,7409e-10	4,3485e-11
23	3,378	4,1679e-11	0,0090483	0,012368
24	3,379,2	2,4963e-10	0,012362	0,0090506
25	3,580	1,3497e-09	8,0761e-10	1,0462e-08
26	3,939,2	3,3862e-10	0,0016393	0,0025685
27	3,939,8	5,438e-10	0,002583	0,0016509
28	4,435,3	1,0494e-11	1,0463e-09	1,3598e-09
29	4,597,1	4,4926e-14	0,0038468	0,0058787
30	4,597,3	7,7722e-11	0,0058893	0,0038555
31	5,324,1	5,8478e-07	4,2875e-06	0,00076277
32	5,324,2	1,0659e-07	0,0007637	4,4406e-06
33	5,368,4	0,083856	1,0986e-10	6,4857e-09
		Sum X = 0,83525	Sum Y = 0,90787	Sum Z = 0,90788

Cerrar      Guardar      Ayuda

Ilustración 70: Tabla de participación de masa normalizada  
Fuente: SolidWorks

Debido a nuestro sistema siempre trabajará en rotación y con el tiempo los elementos mecánicos sufrirán desgastes podría haber resonancia con alguna de sus frecuencias naturales a futuro, por lo tanto, para evitar una posible resonancia y elevar la primera frecuencia natural del eje de transmisión, se emplearán dos

soportes de caucho anti vibratorio como base de las chumaceras, teniendo las siguientes características:

Tabla 19: Dimensiones de caucho Anti vibratorio

LXAXH	MATERIAL	DUREZA
200X50X20	CAUCHO NATURAL	SHORE A60

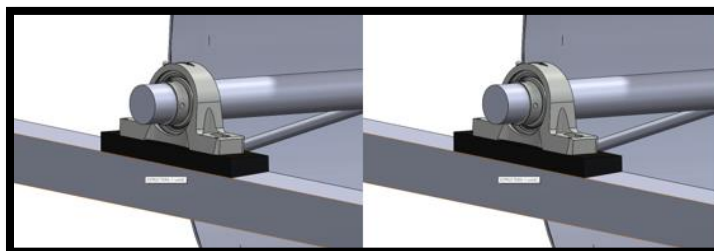


Ilustración 71: Instalación de soportes de caucho.  
Fuente: Autor

TACOS AMC MECANOCAUCHO®  
Son soportes cuadrados antivibratorios ideales para su colocación sin ningún tipo de anclaje ni sujeción.

Tipo	A (mm)	B (mm)	CARGA kg MAX	FIG.	Peso (kg)	Código
 G-060	70	30	400	1	0,16	152005
G-070	80	30	600	1	0,218	152006
G-090	100	40	500	1	0,359	152008
G-110	110	30	800	1	0,4	152009
 G-080	80	50	300	2	0,313	152007

Ilustración 72: Catálogo de tacos de caucho anti vibratorio  
Fuente: Mecanocaucho

#### 4.5.7. Calculo y selección de rodamientos

Nuestro eje necesita de dos rodamientos que son donde la estructura se apoya, se seleccionara un rodamiento de bolas por su buena capacidad de carga radial, para la selección del rodamiento de bolas se utilizará el catálogo de rodamientos de SKF, se necesitan datos como la velocidad de rotación el eje, la carga radial que soportara el rodamiento, la duración de diseño para el rodamiento L10, el número de revoluciones de diseño para el rodamiento Ld, la carga dinámica C, estos dos últimos términos se calculan con las siguientes formulas:

#### 4.5.8. Horas de duración recomendada para el rodamiento L10

Para ambos rodamientos se usa una duración de diseño recomendada h de 30 000 horas según el libro diseño de elemento de máquinas de Robert Moot.

TABLA 14-4 Duración recomendada para rodamientos

Aplicación	Duración de diseño $L_{10}$ , h
Electrodomésticos	1000-2000
Motores de aviación	1000-4000
Automotores	1500-5000
Equipo agrícola	3000-6000
Elevadores, ventiladores industriales, transmisiones de usos múltiples	8000-15 000
Motores eléctricos, sopladores industriales, máquinas industriales en general	20 000-30 000
Bombas y compresores	40 000-60 000
Equipo crítico en funcionamiento durante 24 h	100 000-200 000

Ilustración 73: Horas de duración recomendada para el rodamiento L10

Fuente: Robert Moot

#### 4.5.9. Número de revoluciones de diseño para el rodamiento $L_d$

$$L_d = L_{10} * Rpm * \frac{60min}{h}$$

##### a. Carga dinámica C

$$C = P_d * \left( \frac{L_d}{10^6} \right)^{\frac{1}{K}}$$

Donde:

- $P_d$ : Carga aplicada
- K: 3 para rodamiento de bolas

##### b. Rodamiento A y B

$$L_d = 30\,000 \text{ h} * 24 \text{ Rpm} * \frac{60min}{h}$$

$$L_d = 43,2 * 10^6 \text{ revoluciones}$$

$$C = 90,57 \text{ lbf} * \left( \frac{43,2 * 10^6}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$C = 317,8 \text{ lbf} = 1\,415 \text{ N}$$

Para la selección de ambos puntos de apoyo se tendrá en cuenta un conjunto soporte-rodamiento que soporte la desalineación inicial de  $4.5^\circ$  y la carga dinámica de 1 415N, por lo tanto, se selecciona el conjunto SYK 40 WD de SKF el cual tiene los siguientes parámetros de desalineamiento estático y las siguientes especificaciones técnicas:

- Cuando no es necesaria la relubricación: 5°.
- Cuando es necesaria la relubricación: 2°.
- En el caso de unidades con sello posterior (sufijo de designación DFH) 1°.

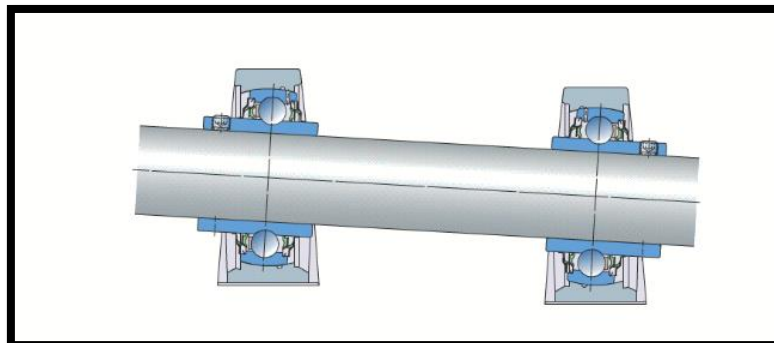


Ilustración 74: Conjunto soporte-rodamiento SYK 40 WA  
Fuente: SKF

Dimensiones		Rendimiento	
Diámetro del eje	40 mm	Capacidad de carga dinámica básica	30.7 kN
Altura del centro (soporte de pie)	49.2 mm	Capacidad de carga estática básica	19 kN
Ancho total del soporte	48 mm	Velocidad límite	950 r/min
Distancia del centro entre los orificios para tornillos	136 mm	Note	Limiting speed with shaft tolerance h6
Ancho del rodamiento, total	56.3 mm		

Ilustración 75: Dimensiones y Rendimiento de SYK 40 WA  
Fuente: SKF

#### 4.5.10. Calculo y selección de Acoplamiento

Para el cálculo y selección del acoplamiento se tendrá en cuenta lo recomendado por SKF, siendo un acoplamiento del tipo flexible. El factor de servicio (Fs) para un servicio medio y un funcionamiento de 10 a 16 horas será de 1.4.

	Tipo de unidad de motriz	Horas de servicio por día					
		Motores eléctricos y turbinas de vapor			Motores de combustión interna, turbinas de vapor e hidráulicas		
		<10	10-16	>16	<10	10-16	>16
<b>Liviano</b>	Agitadores/Mezcladores (líquidos), cintas transportadoras (carga uniforme), ventiladores y aspiradores, bombas centrífugas y compresores, ventiladores (menos de 7.5 kW)	0,8	0,9	1,0	1,3	1,4	1,5
<b>Medio</b>	Agitadores/Mezcladores (exc. líquidos), correas transportadoras (carga variable), ventiladores (más de 7,5 kW), generadores, ejes de transmisión, máquinas herramienta, bombas rotativas y compresores (excepto centrífugos). Maquinaria para las industrias de la alimentación, lavanderías e imprentas.	1,3	1,4	1,5	1,8	1,9	2,0
<b>Pesado</b>	Transportadores para servicio pesado (elevador, draga/pala, transportador a tornillo), triturador de martillos, prensas, punzonadoras, cizallas, bombas a pistón y compresores. Maquinaria para la industria textil, del papel, de ladrillos y aserraderos.	1,8	1,9	2,0	2,3	2,4	2,5
<b>Muy pesado</b>	Trituradoras (giratorias, de mandíbulas, por rodillos), Molinos para serv. pesado (molinos de bolas, de barras), equipos de izaje.	2,3	2,4	2,5	2,8	2,9	3,0

Ilustración 76: Acoplamiento del tipo flexible  
Fuente: SKF

a. La potencia de diseño será la siguiente:

$$P_d = P \times F_s$$

$$P_d = 0,37 \text{ kW} \times 1,4$$

$$P_d = 0,52 \text{ kW}$$

b. Cálculo de torque nominal (Tn):

$$T_n = \frac{P_d \text{ kW} \times 30\,000}{\text{RPM} \times \pi}$$

$$T_n = \frac{0,52 \text{ kW} \times 30\,000}{24 \text{ RPM} \times \pi}$$

$$T_n = 207 \text{ N.m}$$

Velocidad RPM	Tamaño del acoplamiento														
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	140	160	180	200	220	250
50	0.13	0.35	0.66	1.31	1.96	2.62	3.53	4.58	6.96	12.17	19.74	32.83	48.82	60.73	76.83
100	0.25	0.69	1.33	2.62	3.93	5.24	7.07	9.16	13.93	24.35	39.48	65.65	97.64	121.47	153.66
200	0.50	1.38	2.66	5.24	7.85	10.47	14.14	18.32	27.85	48.69	78.95	131.31	195.29	242.93	307.33
300	0.75	2.07	3.99	7.85	11.78	15.71	21.20	27.49	41.78	73.04	118.43	196.96	292.93	364.40	460.99
400	1.01	2.76	5.32	10.47	15.71	20.94	28.27	36.65	55.71	97.38	157.91	262.62	390.58	485.86	614.66
500	1.26	3.46	6.65	13.09	19.63	26.18	35.34	45.81	69.63	121.73	197.38	328.27	488.22	607.33	768.32
600	1.51	4.15	7.98	15.71	23.56	31.41	42.41	54.97	83.56	146.07	236.86	393.93	585.86	728.80	921.99
700	1.76	4.84	9.31	18.32	27.49	36.65	49.48	64.14	97.49	170.42	276.34	459.58	683.51	850.26	1075.65
720	1.81	4.98	9.57	18.85	28.27	37.70	50.89	65.97	100.27	175.29	284.23	472.71	703.04	874.55	1106.39
800	2.01	5.53	10.64	20.94	31.41	41.88	56.54	73.30	111.41	194.76	315.81	525.24	781.15	971.73	1229.32
900	2.26	6.22	11.97	23.56	35.34	47.12	63.61	82.46	125.34	219.11	355.29	590.89	878.80	1093.19	1382.98
960	2.41	6.63	12.77	25.13	37.70	50.26	67.85	87.96	133.70	233.72	378.97	630.28	937.38	1166.07	1475.18
1000	2.51	6.91	13.30	26.18	39.27	52.36	70.68	91.62	139.27	243.46	394.76	656.54	976.44	1214.66	1536.65
1200	3.02	8.29	15.96	31.41	47.12	62.83	84.82	109.95	167.12	292.15	473.72	787.85	1171.73	-	-
1400	3.52	9.68	18.62	36.65	54.97	73.30	98.95	128.27	194.97	340.84	552.67	919.16	-	-	-
1440	3.62	9.95	19.15	37.70	56.54	75.39	101.78	131.94	200.54	350.58	568.46	945.42	-	-	-
1600	4.02	11.06	21.28	41.88	62.83	83.77	113.09	146.60	222.83	389.53	631.62	-	-	-	-
1800	4.52	12.44	23.94	47.12	70.68	94.24	127.23	164.92	250.68	438.22	-	-	-	-	-
2000	5.03	13.82	26.60	52.36	78.53	104.71	141.36	183.25	278.53	-	-	-	-	-	-
2200	5.53	15.20	29.26	57.59	86.39	115.18	155.50	201.57	-	-	-	-	-	-	-
2400	6.03	16.59	31.92	62.83	94.24	125.65	169.63	-	-	-	-	-	-	-	-
2600	6.53	17.97	34.58	68.06	102.09	136.13	183.77	-	-	-	-	-	-	-	-
2800	7.04	19.35	37.24	73.30	109.95	146.60	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2880	7.24	19.90	38.30	75.39	113.09	150.79	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3000	7.54	20.73	39.90	78.53	117.80	157.07	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3600	9.05	24.88	47.87	94.24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Torque nominal Nm	24	66	127	250	375	500	675	875	1330	2325	3770	6270	9325	11600	14675
Torque máximo Nm	64	160	318	467	759	1096	1517	2137	3547	5642	9339	16455	23508	33125	42740

Ilustración 77: Tabla de tamaños del acoplamiento

Fuente: SKF

De acuerdo con la tabla de tamaños del acoplamiento, con valores obtenidos de torque nominal de 207 N.m y velocidad mínima de 50 rpm, se selecciona un tamaño F 70 del tipo B.

Tamaño del acoplamiento	Velocidad máxima	Masa	Inercia	Rigidez torsional	Desalineación			Torque nominal	Torque máx	Tamaño del tornillo	Torque del tornillo de fijación (Nm)	Designación de la banda elástica	
					Angular	Paralela	Axial					Std	FRAS.
	RPM	kg	kgm <sup>2</sup>	Nm/°	°	mm	mm	Nm	Nm				
F40	4500	0.1	0.00074	5	4	1.1	1.3	24	64	M6	15	PHE F40NRTYRE	PHE F40FRTYRE
F50	4500	0.3	0.00115	13	4	1.3	1.7	66	160	M6	15	PHE F50NRTYRE	PHE F50FRTYRE
F60	4000	0.5	0.0052	26	4	1.6	2.0	127	318	M6	15	PHE F60NRTYRE	PHE F60FRTYRE
F70	3600	0.7	0.009	41	4	1.9	2.3	250	487	M8	24	PHE F70NRTYRE	PHE F70FRTYRE
F80	3100	1.0	0.017	63	4	2.1	2.6	375	759	M8	24	PHE F80NRTYRE	PHE F80FRTYRE
F90	3000	1.1	0.031	91	4	2.4	3.0	500	1096	M10	40	PHE F90NRTYRE	PHE F90FRTYRE
F100	2600	1.1	0.054	126	4	2.6	3.3	675	1517	M10	40	PHE F100NRTYRE	PHE F100FRTYRE
F110	2300	1.4	0.078	178	4	2.9	3.7	875	2137	M10	40	PHE F110NRTYRE	PHE F110FRTYRE
F120	2050	2.3	0.13	296	4	3.2	4.0	1330	3547	M12	50	PHE F120NRTYRE	PHE F120FRTYRE
F140	1800	2.6	0.255	470	4	3.7	4.6	2325	5642	M12	55	PHE F140NRTYRE	PHE F140FRTYRE
F160	1600	3.4	0.380	778	4	4.2	5.3	3770	9339	M16	80	PHE F160NRTYRE	PHE F160FRTYRE
F180	1500	7.7	0.847	1371	4	4.8	6.0	6270	16455	M16	105	PHE F180NRTYRE	PHE F180FRTYRE
F200	1300	8.0	1.281	1959	4	5.3	6.6	9325	23508	M16	120	PHE F200NRTYRE	PHE F200FRTYRE
F220	1100	10.0	2.104	2760	4	5.8	7.3	11600	33125	M20	165	PHE F220NRTYRE	PHE F220FRTYRE
F250	1000	15.0	3.505	3562	4	6.6	8.2	14675	42740	M20	165	PHE F250NRTYRE	PHE F250FRTYRE

Ilustración 78: Tamaño del acoplamiento F 70  
Fuente: SKF

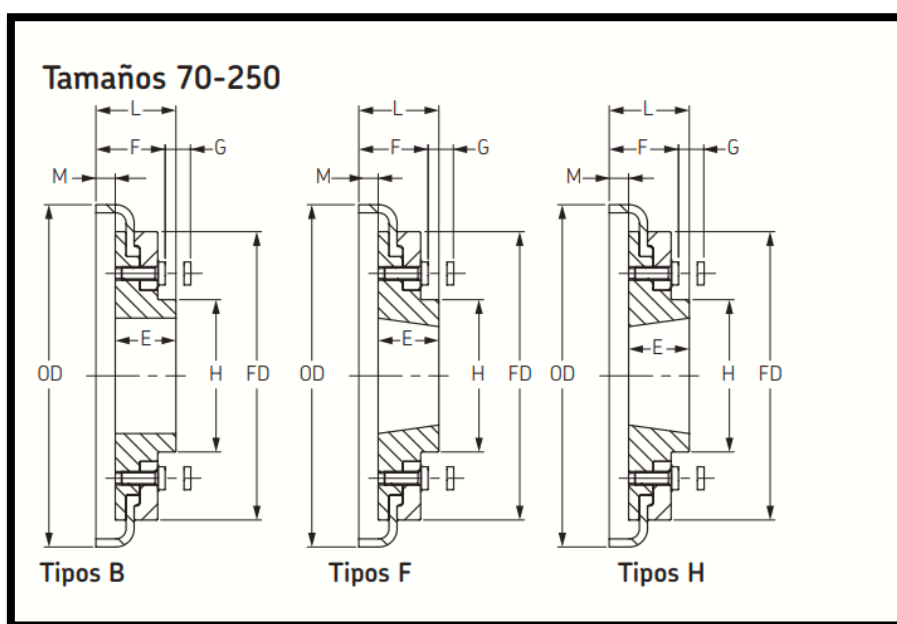


Ilustración 79: Dimensiones de las mazas SKF Flex, tipos B, F y H  
Fuente: SKF

Dimensiones de las mazas SKF Flex, tipos B, F y H																			
Tamaño	Tipo	Buje No.	Orificio		Tipos F y H		Tipo B		Tornillo de fijación	O.D.	FD	H	F	R*	G+	M	Masa→	Inercia→	Designación
			Min	Max	L	E	L	E											
40	B	-	30	-	-	-	33.0	22	M5	104	82	-	-	29	-	11.0	0.80	0.00074	PHE F40RSBFLG
40	F	1008	9	25	33.0	22	-	-	-	104	82	-	-	29	-	11.0	0.80	0.00074	PHE F40FTBFLG
40	H	1008	9	25	33.0	22	-	-	-	104	82	-	-	29	-	11.0	0.80	0.00074	PHE F40HTBFLG
50	B	-	38	-	-	-	45.0	32	M5	133	100	79	-	38	-	12.5	1.20	0.00115	PHE F50RSBFLG
50	F	1210	11	32	37.5	25	-	-	-	133	100	79	-	38	-	12.5	1.20	0.00115	PHE F50FTBFLG
50	H	1210	11	32	37.5	25	-	-	-	133	100	79	-	38	-	12.5	1.20	0.00115	PHE F50HTBFLG
60	B	-	45	-	-	-	55.0	38	M6	165	125	70	-	38	-	16.5	2.00	0.0052	PHE F60RSBFLG
60	F	1610	14	42	41.5	25	-	-	-	165	125	103	-	38	-	16.5	2.00	0.0052	PHE F60FTBFLG
60	H	1610	14	42	41.5	25	-	-	-	165	125	103	-	38	-	16.5	2.00	0.0052	PHE F60HTBFLG
70	B	-	60	-	-	-	47.0	35	M10	187	142	80	50	-	13	11.5	3.10	0.009	PHE F70RSBFLG
70	F	2012	14	50	43.5	32	-	-	-	187	142	80	50	42	13	11.5	3.10	0.009	PHE F70FTBFLG
70	H	1610	14	42	36.5	25	-	-	-	187	142	80	50	38	13	11.5	3.00	0.009	PHE F70HTBFLG
80	B	-	63	-	-	-	55.0	42	M10	211	165	98	54	-	16	12.5	4.90	0.018	PHE F80RSBFLG
80	F	2517	16	60	57.5	45	-	-	-	211	165	97	54	48	16	12.5	4.90	0.018	PHE F80FTBFLG
80	H	2012	14	50	44.5	32	-	-	-	211	165	98	54	32	16	12.5	4.60	0.017	PHE F80HTBFLG

Ilustración 80: Tamaño del acoplamiento F 70 del tipo B  
Fuente: SKF

Por consiguiente, el acoplamiento a usar será de SFK Flex PHE F70RSBFLG.

## 5. CONCLUSIÓN

- Se identificó el proceso de tamizado existente en los trabajos de construcción domiciliaria a través de los métodos de recolección de información, visualización directa en los diferentes campos establecidos, elaboración de encuestas y resolución del cuestionario a los 15 obreros de los diferentes domicilios. Como resultado se da que el tamizado a utilizar en las construcciones domiciliarias es el tamizado manual, en el que los obreros zarandean la arena con ayuda de una malla galvanizada, colocan un poco de arena y con su esfuerzo físico ciernen la arena hasta que queden los residuos y la arena pase por la malla limpia y fina.
- Por medio de un cuadro se analizaron las necesidades y métricas que necesita la máquina para determinar sus especificaciones finales. Se tomaron en cuenta diversos criterios de selección de necesidades y se evaluaron conjuntamente con las diversas métricas señaladas para un correcto diseño.
- Se seleccionaron los componentes de la máquina cribadora de arena a través del método de matriz morfológica, en el cual se brindaron tres soluciones y con ayuda de este método se realizó un cuadro comparativo con las tres soluciones para evaluarlas de acuerdo a sus diversos criterios de selección y así con el puntaje dado en cada una de ellas, se eligió la solución adecuada para el respectivo diseño.
- Se diseñó la máquina cribadora de arena mediante cálculos de resistencia de materiales para soportar la capacidad de 500 kg/hora. Se tomaron en cuenta varias bases teóricas científicas para la resolución de todos los cálculos dados como el ángulo de inclinación de la máquina, el tiempo de cernido, la potencia del motor, etc.
- Se simuló el diseño estático estructural de la máquina cribadora de arena mediante el análisis CAE del software SolidWorks. Después de aplicar las cargas en la simulación se obtuvieron los resultados como: tensión máxima de 50 Mpa, tensión mínima de 0,5 kPa, un desplazamiento máximo de 0,13 mm y un factor de seguridad mínima de 2.

## 6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar mediciones de la densidad de arena en el lugar de aplicación de la máquina, con el fin de contar con una medición exacta de la densidad de arena, este parámetro es esencial en el diseño de la máquina.
- Se recomienda realizar un análisis por elementos discretos para verificar el movimiento de catarata adecuado dentro del cilindro cernidor, tener una alta eficiencia de cernido y para verificar un correcto ángulo de inclinación del cilindro cernidor.
- Se recomienda usar pernería acero inoxidable grado 304, debido a que la maquina estará expuesta a la intemperie.
- Se recomienda que todas las juntas soldadas de la estructura cumplan con la normativa AWS D1.1
- Se recomienda evaluar otro método de alimentación de arena hacia la máquina, debido a que este genera posiciones disergonómicas para el operador durante la operación.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] B. Briones y K. Quispe, «Diseño de un sistema automatizado de zarandeo para incrementar la productividad en la cantera Casa Blanca - Namora,» Cajamarca - Perú, 2017.
- [2] N. Hnadra, D. A. y J. Randa, «Mesin Pengayak Pasir Otomatis dengan Tiga Saringan,» Jurnal Telmik Mesin Institut Teknologi Padang, 2016.
- [3] R. Ankit Singh, S. Singh y S. Shukla, «Fabrication of Sand Sieving Machine,» International Journal of Scientific Research and Review, 2019.
- [4] M. Badri, D. Arief, A. Solid, D. Ayunita y A. Muflihama, «Sieving machine calibration using a profile project with estándar method ASTM E-11 2004,» Journal of Ocean Mechanical and Aerospace, 2018.
- [5] A. Calderon, Diseño de una máquina cernidora de arena verde para proceso de fabricación artesanal de utensilios de aluminio en el caserío Chacupe - Lambayeque, Chiclayo, 2020.
- [6] J. Amancha y W. Zuñiga, Diseño y simulación de una criba vibratoria con una capacidad de 25 ton/h e inclinación variable para la clasificación de piedra de canto rodado, Quita, 2023.
- [7] L. Panadés Barrueta, «Diseño de una criba vibratoria para el procesamiento de arcilla en una planta de cemento LC2,» Santa Clara, 2021.
- [8] J. Barreno Barreno y D. Lema Londo, «Diseño y construcción de una tamizadora con un sistema de vaivén para arenas de moldeo en el taller de fundición de la empresa Minabradec,» Riobamba - Ecuador, 2018.
- [9] C. Rescalvo Peña, «Diseño de una cribadora para una empresa de energías limpias,» Ciudad de Mexico, 2021.
- [10] F. Delgado y K. Hurtado, «Diseño de una máquina cribadora de arena,» Tinaquillo - Venezuela, 2014.
- [11] L. Salazar González, «Implementación de una tamizadora vibratoria para arenas de moldeo en el taller de fundición de la facultad de mecánica de la escuela superior politécnica de Chimborazo,» Riobamba - Ecuador, 2014.
- [12] A. Chinduamba Capingana, «Dimensionamiento de una criba vibratoria para la planta metalúrgica UEB Producciones Mineras de Placetas,» 2019.
- [13] (. Svedala , «Operaciones de cribado. Tema 6: Separación por tamaños, cribado,» 2021.
- [14] W. Miranda, «Diseño de una criba para la concentración de oro para la cooperativa "Unión Flor de Mayo",» La Paz - Bolivia , 2017.

- [15] L. Quintero Arteaga y A. Ricardo Geney, «Diseño y construcción de una máquina tamizadora de arenas con tamices intercambiables,» Montería - Córdoba, 2016.
- [16] M. Palancar, T. Vasquez, M. Frías y M. Sánchez de Rojas, «Dispositivo de tamizado,» Madrid - España, 2017.
- [17] A. Cevallos Cevallos y L. Dias Yupanqui, «Diseño y simulación de una zaranda mecánica oscilatoria con una capacidad 50 kg/min de arena,» Quito, 2021.
- [18] L. León Paro, «Diseño de un módulo educativo a escala de una zaranda vibratoria,» Lima, 2019.
- [19] Luzmare, «Cernidora para diversos productos,» 2015.
- [20] N. Carrasco, «Cálculos y diseño para la fabricación de una hidrozaranda para la recuperación de finas en la minería,» Arequipa - Perú, 2017.
- [21] J. Istupe Ibañez, «Influencia de la granulometría en las características volumétricas del diseño en mezclas asfálticas,» San Carlos, 2017.
- [22] H. Ramos, «Agregados: gravas y arenas para la construcción,» 2020.
- [23] G. Rivera, «Agregados para mortero o con concreto,» 2010.
- [24] J. Marquéz Salgado, A. Pantaleón Tellez y E. Santillan Guerrero, «Rediseño de una máquina cribadora,» Morelia - Michoacán.
- [25] F. Beer y McGraw-Hill, Mecánica de materiales, 2013.

8. ANEXOS

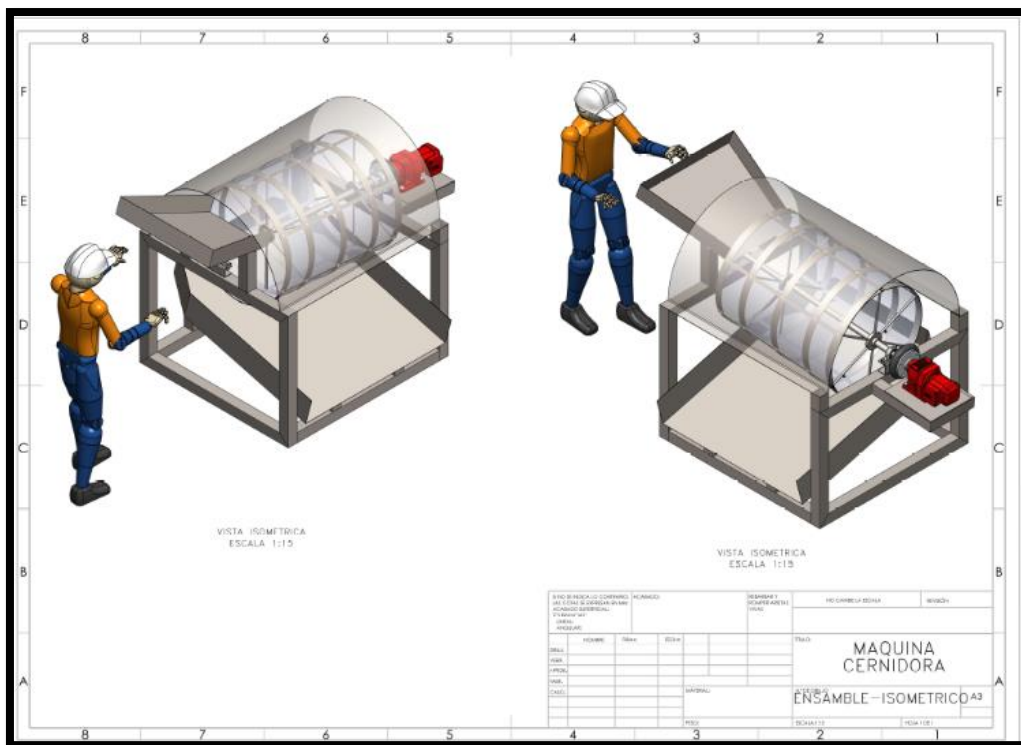


Ilustración 81: Máquina cernidora (ensamble isométrico)  
 Fuente: Diseño elaborado en el programa SolidWorks - Autor

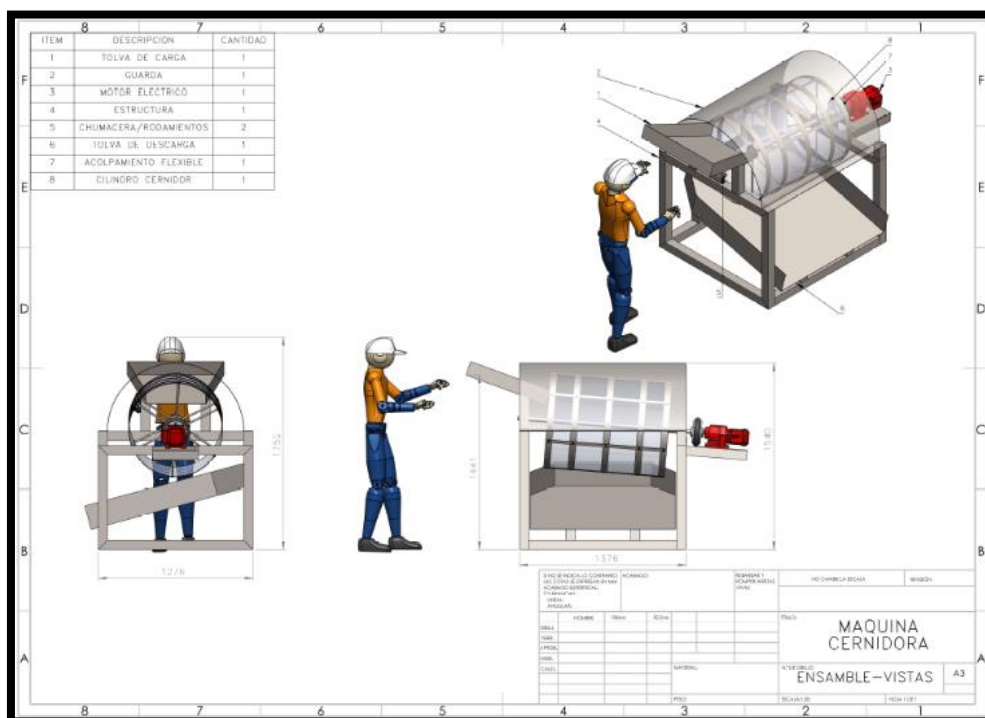


Ilustración 82: Máquina cernidora (ensamble - vistas)  
 Fuente: Diseño elaborado en el programa SolidWorks - Autor

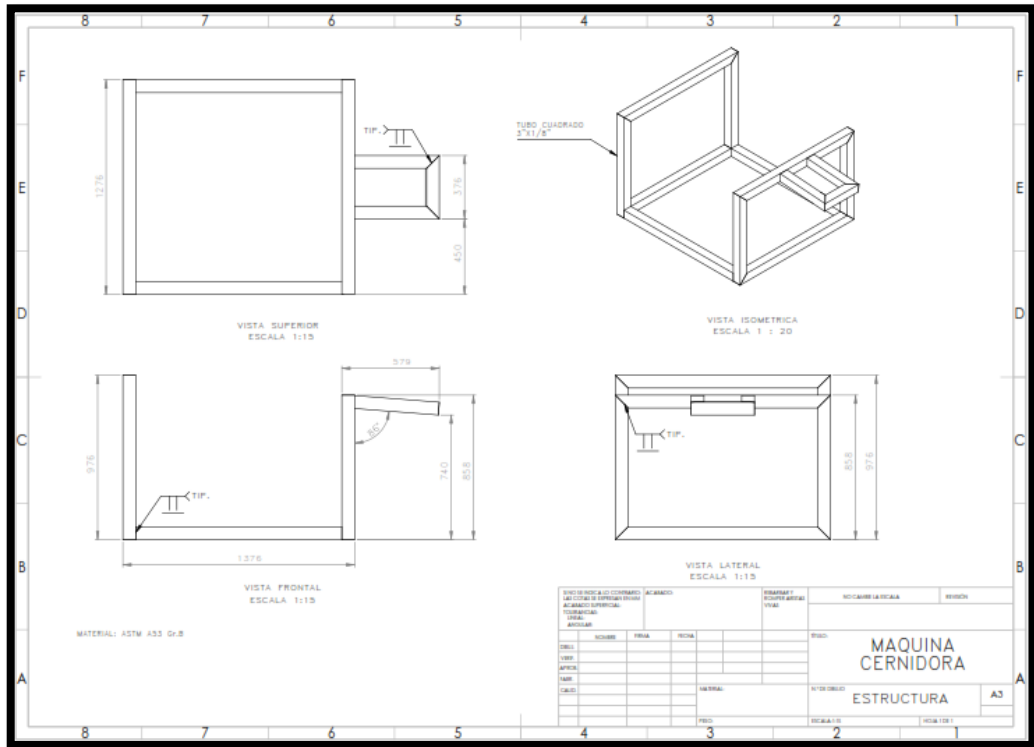


Ilustración 83: Máquina cernidora (estructura)  
 Fuente: Diseño elaborado en el programa SolidWorks - Autor

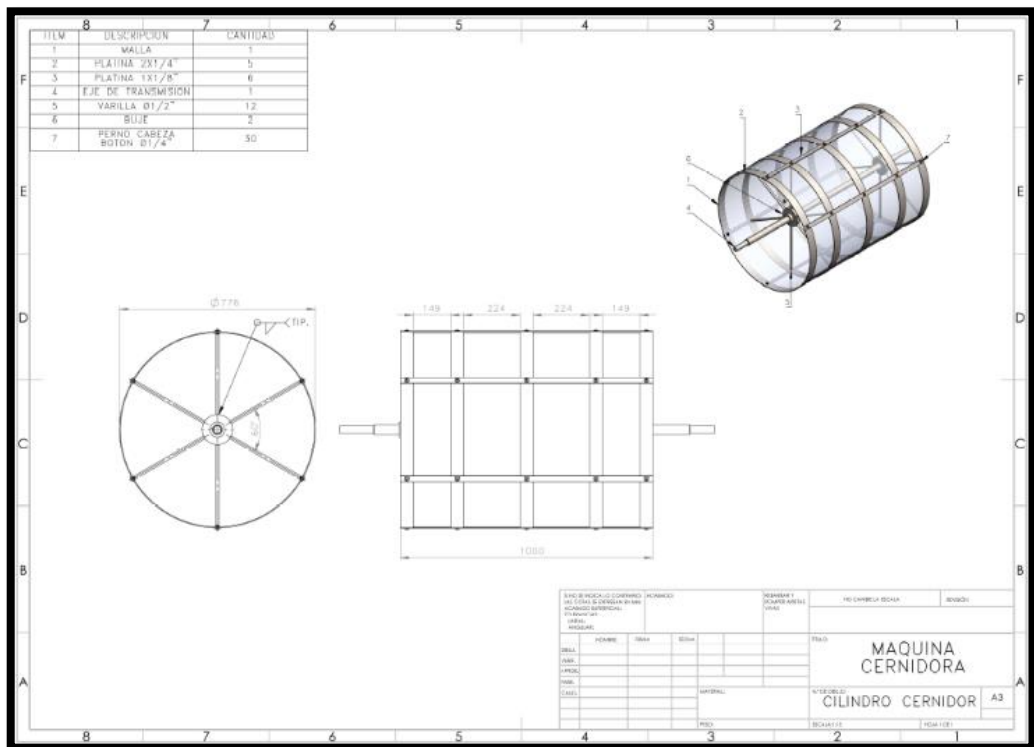


Ilustración 84: Máquina cernidora (cilindro cernidor)  
 Fuente: Diseño elaborado en el programa SolidWorks - Autor



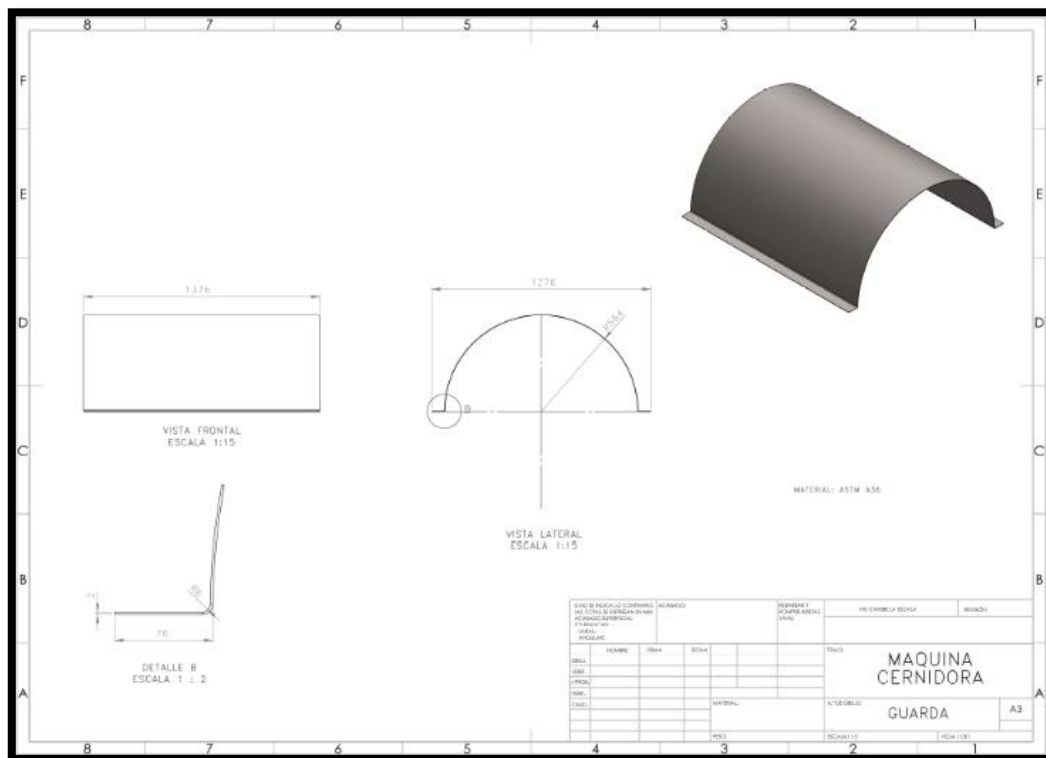


Ilustración 87: Máquina cernidora (guarda)  
 Fuente: Diseño elaborado en el programa SolidWorks - Autor

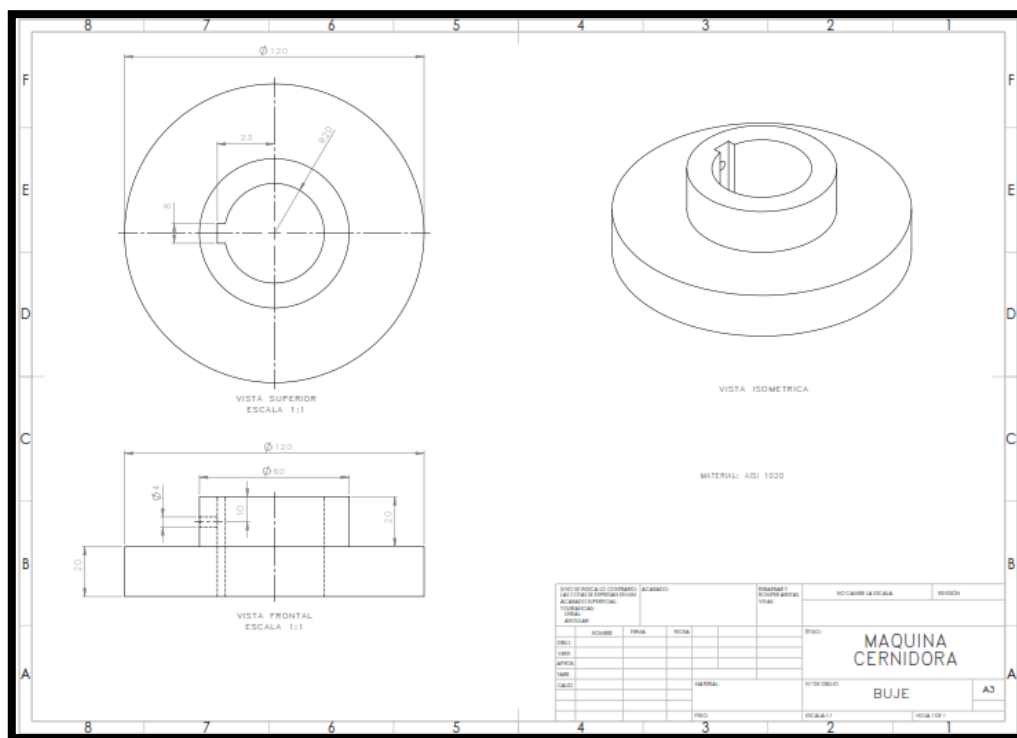


Ilustración 88: Máquina cernidora (buje)  
 Fuente: Diseño elaborado en el programa SolidWorks - Autor

