

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA CERNIDORA DE DOS  
NIVELES PARA SEPARAR CASCARILLA DE PALMA AFRICANA MOLIDA EN  
DIFERENTES TAMAÑOS**

**CARLOS ALBERTO LLORENTE ESPITIA  
ANDERSON VALERO VILLABONA**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2023**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MAQUINA CERNIDORA DE DOS  
NIVELES PARA SEPARAR CASCARILLA DE PALMA AFRICANA MOLIDA EN  
DIFERENTES TAMAÑOS**

**CARLOS ALBERTO LLORENTE ESPITIA  
ANDERSON VALERO VILLABONA**

**Trabajo de grado para optar al título de  
Ingeniero Mecánico**

**DIRECTOR  
ISNARDO GONZALEZ JAIMES  
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2023**

## DEDICATORIA

*A mis padres, Jaime Llorente y Idalvis Espitia, por su amor y apoyo incondicional durante mi desarrollo personal y profesional*

*A mi hermano, Jaime Llorente Banquez por apoyarme incondicionalmente en toda mi vida y ser mi ejemplo para seguir como persona.*

*Carlos Llorente*

*Principalmente dedico este logro a mi familia la cual fue de gran apoyo y motivación, gracias a mis padres Edgar Valero y Blanca Nieves Villabona por darme toda la motivación y siempre guiarme por el buen camino.*

*A mis hermanos, Yesica Tatiana, Yojan Estiven, Edgar Ferney y Liseth Juliana por su compañía y motivación a lo largo de mi desarrollo personal y profesional.*

*Anderson Valero Villabona*

## **AGRADECIMIENTOS**

A Miguel acuña, subgerente de la empresa INDUSTRIAS ACUÑA por tener la mejor disposición para aconsejarnos y brindarnos sus conocimientos.

A Hugo Rey, jefe de la empresa INOXIDABLES H.R por ayudarnos y asesorarnos en el proceso de fabricación de la máquina.

A Isnardo Gonzales Jaimes, docente de la escuela de ingeniería mecánica y director de este proyecto, por asesorarnos, brindarnos toda la información y conocimiento a lo largo de la carrera, garantizando siempre formar buenos profesionales.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN .....	15
1. GENERALIDADES DEL CERNIDO DE LA CASCARILLA.....	16
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	16
1.2 JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA.....	19
1.3. OBJETIVOS.....	21
1.3.1. Objetivo general.....	21
1.3.2 Objetivos específicos.....	21
1.4 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA EMPRESA.....	22
1.5 INDUSTRIAS ACUÑA LTDA- INAL .....	23
2. DISEÑO CONCEPTUAL DEL PROCESO DE CERNIDO.....	25
2.1. ETAPAS DEL CUESCO DE PALMA AFRICANA .....	25
2.2 ANÁLISIS DE DA INFORMACIÓN RECOPIADA .....	28
2.3 DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN CALIDAD (QFD).....	30
2.4. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS.....	35
2.5 EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS.....	39
3. DISEÑO DE LA MÁQUINA DE CERNIDO DE DOS NIVELES .....	42
3.1 DISEÑO DE LA CERNIDORA .....	42
3.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE CERNIDO .....	43
3.4 DISEÑO DE LAS BIELAS DE ZARANDA.....	58
3.5 SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA .....	64
3.6 BIELAS CENTRALES DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA.....	65
3.7 DISEÑO DEL DISCO CENTRAL DEL MECANISMO DE MOVIMINETO .....	72
3.8 SELECCIÓN DE MOTORREDUCTOR .....	75
3.9 DISEÑO DEL BASTIDOR.....	78

3.9 DISEÑO CANAL INFERIOR EN “U” .....	82
4. SISTEMA DE CONTROL ELÉCTRICO .....	85
4.1 PRINCIPALES CONEXIONES DEL VARIADOR.....	87
4.2 TECLAS Y FUNCIONES DEL VARIADOR.....	88
4.3 MANUAL DE OPERACIÓN DEL VARIADOR.....	89
4.4 CONEXIONES FINALES DEL VARIADOR .....	91
4.5 DISEÑO FINAL DEL EQUIPO .....	91
4.6 DISEÑO FINAL CAD .....	92
4.7. INGENIERÍA ASISTIDA POR COMPUTADOR (CAE) .....	95
5. PROCESOS DE FABRICACIÓN DE LA MÁQUINA .....	100
5.1 FICHA TÉCNICA DE LA MÁQUINA .....	113
6. PRUEBAS Y RESULTADOS.....	114
6.1 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO .....	114
7. FLUJO ECONÓMICO Y VIABILIDAD DEL PROYECTO .....	127
7.1 COSTOS DEL PROYECTO.....	127
7.2 VPN (VALOR PRESENTE NETO).....	133
7.3 TIR (TASA INTERNA DE RETORNO DEL PROYECTO).....	136
8. CONCLUSIONES .....	138
BIBLIOGRAFÍA.....	140

## LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Matriz calidad .....	33
Cuadro 2. Ponderación de resultados de la matriz de calidad .....	34
Cuadro 3. Evaluación de alternativas.....	40
Cuadro 4. Dimensiones de grano por nivel de cernido. ....	44
Cuadro 5. Selección malla zaranda superior .....	46
Cuadro 6. Selección malla zaranda superior .....	46
Cuadro 7. Propiedades físicas de la zaranda superior.....	50
Cuadro 8. Cálculo de las cargas (soportes zaranda superior) .....	51
Cuadro 9. Cálculo de las cargas en los soportes de la zaranda superior. ....	52
Cuadro 10. Cálculo de soldadura soporte lateral zaranda. ....	54
Cuadro 11. Evaluación de alternativas.....	59
Cuadro 12. Cálculo sobre las bielas.....	60
Cuadro 13. Factor de carga $f_w$ .....	62
Cuadro 14. Cálculos para la selección del rodamiento .....	63
Cuadro 15. Cálculo de la carga en la biela central.....	67
Cuadro 16. Cálculo sobre la biela central. ....	68
Cuadro 17. Cálculos para la selección del rodamiento de bolas a rótula.....	71
Cuadro 18. Cálculos de la soldadura en el disco central. ....	73
Cuadro 19. Potencia requerida motorreductor. ....	76
Cuadro 20. Cálculo de las cargas en los soportes laterales del bastidor. ....	79
Cuadro 21. Cálculo de soldadura soporte lateral del bastidor.....	81
Cuadro 22. Función de las conexiones. ....	87
Cuadro 23. Puesta en marcha variador. ....	89
Cuadro 24. Puesta en marcha variador .....	90
Cuadro 25. Conexiones finales variador. ....	91
Cuadro 26. Descripción de los componentes de la cernidora .....	94
Cuadro 27. Propiedades acero AISI 1020.....	96

Cuadro 28. Propiedades AISI 1045 .....	96
Cuadro 29. Inspección general del estado de la máquina cernidora. ....	114
Cuadro 30. Condiciones de encendido (Prueba 1). ....	115
Cuadro 31. Condiciones de encendido (Prueba 2). ....	116
Cuadro 32. Condiciones de encendido (Prueba 3). ....	117
Cuadro 33. Condiciones de encendido (Prueba 4). ....	118
Cuadro 34. Condiciones de encendido (Prueba 5) .....	119
Cuadro 35. Cernido a 180 RPM (Prueba 1) .....	119
Cuadro 36. Cernido a 150 RPM (Prueba 2). ....	122
Cuadro 37. Cernido a 120 RPM (Prueba 3) .....	123
Cuadro 38. Cernido a 125 RPM (Prueba 4). ....	124
Cuadro 39. Costo de materia prima e insumos. ....	127
Cuadro 40. Costo de maquinado y servicios externos. ....	130
Cuadro 41. Costo de maquinado y servicios externos .....	130
Cuadro 42. Costo de diseño y mano de obra. ....	131
Cuadro 43. Costo total de la máquina. ....	132
Cuadro 44. Cálculo del interés mensual ofrecido por el banco. ....	134
Cuadro 45. Cálculo el <i>VPNIngresos</i> y el <i>VPNIngresos</i> .....	135
Cuadro 46. Cálculo de la TIR. ....	136

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Recolección de frutos de palma africana.....	16
Figura 2. Esquema simplificado de los procesos de palma africana .....	17
Figura 3. Proceso actual de cernido de residuos del cuesco.....	18
Fuente: elaboración propia .....	18
Figura 4. Ciclón separador de partículas de la empresa INAL .....	20
Figura 5. Ubicación de la empresa INAL .....	23
Figura 6. Diagrama de flujo de las etapas realizadas al subproducto (cuesco).....	26
Figura 7. Separador de partículas (CICLÓN). .....	28
Figura 8. Organización de requerimientos por procesos. ....	32
Figura 9. Organización de requerimientos por seguridad .....	32
Figura 10. Organización de requerimientos por vida útil.....	33
Figura 11. Esquema Alternativa 1.....	36
Figura 12. Esquema Alternativa.....	37
Figura 13. Esquema Alternativa 3.....	38
Figura 14. Esquema Alternativa 4.....	39
Figura 15. Dimensiones generales .....	43
Figura 16. Malla metálica cuadrada tipo A.....	45
Figura 17. Porcentaje de cuesco por malla molido .....	47
Figura 18. Canal de salida zaranda superior .....	48
Figura 19. Modelo CAD zaranda superior .....	49
Figura 20. Diagrama de cargas en los soportes de la zaranda superior.....	50
Figura 21. Soporte lateral zaranda superior .....	52
Figura 22. Propiedades de resistencia mínima según número de electrones .....	53
Figura 23. Canal de salida zaranda inferior .....	57
Figura 24. Modelo CAD zaranda superior. ....	57
Figura 25. Biela de zaranda.....	59
Figura 26. Sistema de transmisión de potencia .....	65
Figura 27. Biela central.....	66

Figura 28. Disco central del motorreductor .....	72
Figura 29. Motorreductor .....	77
Figura 30. Especificaciones técnicas Motorreductor.....	77
Figura 31. Dimensiones del Bastidor .....	78
Figura 32. Dimensiones del Bastidor .....	83
Figura 33. Ensamble canal inferior en "U" .....	84
Figura 34. Variador de frecuencia.....	85
Figura 35. Variador de frecuencia.....	85
Figura 36. Variador de frecuencia.....	86
Figura 37. Conexión motor-variador .....	88
Figura 38. Diseño final del equipo (CAD) .....	92
Figura 39. Explosionado final de la máquina .....	93
Figura 40. Renderizado diseño final CAD.....	94
Figura 41. Aplicación de cordones de soldadura .....	97
Fuente: elaboración propia .....	97
Figura 42. Fuerzas aplicadas en el bastidor .....	97
97	
Figura 43. Análisis de tensiones SolidWorks.....	97
Figura 44. Deformación SolidWorks .....	98
Figura 45. Factor de seguridad SolidWorks.....	99
Figura 46. Máquinas utilizadas .....	100
Figura 47. Formato de construcción 1. ....	101
Figura 48. Formato de construcción 2. ....	102
Figura 49. Formato de construcción 3. ....	103
Figura 50. Formato de construcción 4. ....	104
Figura 51. Formato de construcción 5. ....	105
Figura 52. Formato de construcción 6. ....	106
Figura 53. Formato de construcción 7. ....	107
Figura 54. Formato de construcción 8. ....	108
Figura 55. Formato de construcción 9. ....	109

Figura 56. Formato de construcción 10. ....	110
Figura 57. Formato de construcción 11. ....	111
Figura 58. Formato de construcción 12. ....	112
Figura 59. Ficha técnica .....	113
Figura 60. Abultamiento zarando superior (Prueba 1) .....	121
Figura 61. Canal inferior de salida hacia el ciclón.....	125
Figura 62. Canales de salida de las zarandas.....	126
Figura 63. Diagrama de flujo económico del proyecto.....	133

## **LISTA DE ANEXOS**

“Los anexos están adjuntos y puede visualizarlos en base de datos de la biblioteca UIS”

Anexo A. Marco teórico del proyecto.

Anexo B. Catálogo de la selección de mallas.

Anexo C. Catálogo de rodamientos.

Anexo D. Catálogo de Motorreductor.

Anexo E. Variador de frecuencia.

Anexo F. Graficas de desplazamiento, velocidad y aceleración de la zaranda

Anexo G. Planos de diseño de la máquina.

## RESUMEN

**TÍTULO:** DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MAQUINA CERNIDORA DE DOS NIVELES PARA SEPARAR CASCARILLADE PALMA AFRICANA MOLIDA EN DIFERENTES TAMAÑOS\*

**AUTORES:** CARLOS ALBERTO LLORENTE ESPITIA, ANDERSON VALERO VILLABONA\*\*

**PALABRAS CLAVE:** Diseño, construcción, cernidora, palma africana, cascarilla, abono, acuña.

**DESCRIPCIÓN:** INDUSTRIAS ACUÑA LTDA es una empresa metalmecánica colombiana con más de treinta años de vida institucional, enfocada en la generación de soluciones de ingeniería integrales e innovadoras para diferentes sectores industriales. INAL ofrece un diverso portafolio de productos, servicios y tecnologías asociadas al diseño, fabricación y montaje de maquinaria, plantas y herramientas industriales, así como al mantenimiento y reparación de maquinarias y equipos. Se encuentra ubicada en la Cl. 22 #11-61, Comuna 4 Occidental, Bucaramanga, Santander.

En esta ocasión INDUSTRIAS ACUÑA LTDA se plantea diseñar y construir una máquina que supla las necesidades que tienen los productores de cascarilla de palma africana respecto a la obtención de cuesco molido en diferentes granulometrías. En este proyecto se plantea el diseño de una máquina cernidora de dos niveles de cernido para la obtención de tres tipos de granulometría de cascarilla de palma africana, cálculos y selección de materiales para su construcción. Además de esto, es importante tener en cuenta el factor económico que influye en la empresa, para esto, se realiza un análisis económico para verificar si el proyecto genera ganancias de acuerdo con el valor presente neto.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Programa académico. Director: Isnardo González Jaimes. Ingeniero Mecánico.

## ABSTRACT

**TITLE:** DESIGN AND CONSTRUCTION OF A TWO-LEVEL SIEVING MACHINE TO SEPARATE HUSK FROM GROUND AFRICAN PALM INTO DIFFERENT SIZES\*

**AUTHORS:** CARLOS ALBERTO LLORENTE ESPITIA, ANDERSON VALERO VILLABONA\*\*

**KEY WORDS:** Design, construction, sieve, African palm, husk, fertilizer, coin.

**DESCRIPTION:** INDUSTRIAS ACUÑA LTDA is a Colombian metal-mechanic company with more than thirty years of institutional life, focused on generating comprehensive and innovative engineering solutions for different industrial sectors. INAL offers a diverse portfolio of products, services and technologies associated with the design, manufacture and assembly of industrial machinery, plants and tools, as well as the maintenance and repair of machinery and equipment. It is located at Cl. 22 #11-61, Comuna 4 Occidental, Bucaramanga, Santander.

On this occasion, INDUSTRIAS ACUÑA LTDA plans to design and build a machine that meets the needs of African palm husk producers with respect to obtaining ground stone in different granulometries. This project proposes the design of a sifting machine with two levels of sifting to obtain three types of granulometry of African palm husk, calculations and selection of materials for its construction. In addition to this, it is important to take into account the economic factor that influences the company, for this, an economic analysis is carried out to verify if the project generates profits according to the net present value.

---

\* Degree work

\*\* Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Academic program. Director: Isnardo González Jaimes. Mechanical engineer.

## INTRODUCCIÓN

La palma africana es una planta que se caracteriza por ser la oleaginosa más productiva del planeta, siendo Colombia el cuarto productor de aceite de palma en el mundo y el primero en América. Desde 1999 comenzó como una apertura económica para reemplazar el cultivo de coca y generar una estabilidad en la agroindustria, desarrollándose en climas cálidos y generando miles de empleos.

Su estructura principal está conformada por seis partes: semilla, hoja, estípite, raíces y fruto. El proceso de extracción de aceite de esta planta no usa solventes químicos, es un proceso físico donde se obtienen productos como aceite crudo de palma y palmiste. y subproductos para el alimento de ganado y otros residuos orgánicos, tales como: el raquis, lodos, fibras, cascarilla de nuez y el cernido.

La finalidad de este proyecto es presentar el diseño y la construcción de una máquina cernidora automatizada que aproveche el subproducto cascarilla de nuez para utilizarlo como filtro y residuos orgánicos aprovechables como abono natural.

## 1. GENERALIDADES DEL CERNIDO DE LA CASCARILLA

### 1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En el proceso de transformar los frutos de palma africana en productos oleosos vegetales como el aceite de palma crudo y el palmiste, se pueden distinguir varios pasos, como la esterilización, el desfrutado, el prensado, entre otros, los cuales se dividen en una gran cantidad de subproductos.

En la cosecha como primer paso, se cortan las hojas de la palma para así obtener los RFF (racimos de frutos frescos), las raíces y los troncos se liberan cuando el terreno está preparado para replantar después de un periodo de 20 a 30 años.

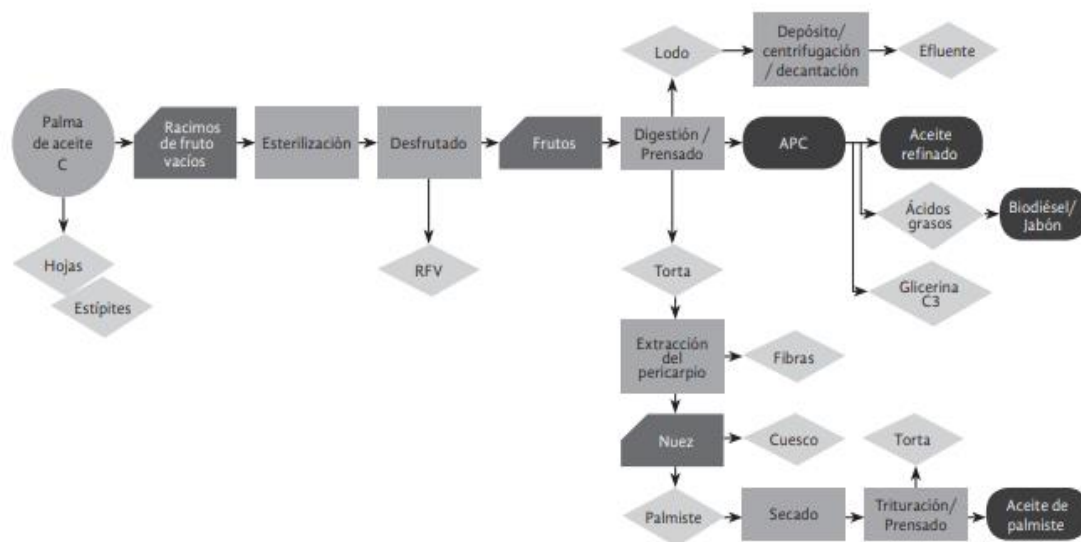
Figura 1. Recolección de frutos de palma africana.



Fuente: EL CULTIVO de la palma de aceite: negocio y deforestación [Anónimo].  
En: desInformémonos [en línea]. 4, octubre, 2016. Disponible en:  
<https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/6df805ec-f8a0-4d78-97a9-02dcb7fb6f11/content>

En el siguiente paso el fruto es digerido y prensado para producir el primer tipo de aceite (aceite crudo) un lodo y una torta sólida. La torta contiene fibras de mesocarpio y nuez (Almendras y cascarilla). Por lo general, las fibras se queman para generar vapor, las nueces se trituran para separar la almendra y la cascarilla de palma africana, que es la de interés en este proyecto para aprovechar su uso de valor agregado en filtros y abono para plantas.

Figura 2. Esquema simplificado de los procesos de palma africana



Fuente: VAN, Jan. Subproductos de la palma de aceite como materias primas de biomasa\*. En: Fedepalma [en línea]. 2016. vol. 37, p. 151. Disponible en Internet: [https://web.fedepalma.org/conferenciainternacional/wp-content/uploads/2022/09/M\\_2\\_15\\_-Subproductos-de-la-palma.pdf](https://web.fedepalma.org/conferenciainternacional/wp-content/uploads/2022/09/M_2_15_-Subproductos-de-la-palma.pdf)

En la empresa Industrias Acuña Ltda. Como primera fase en el proceso de molienda de cuesco se tiene una máquina que tritura la cascarilla de palma de aceite, con esto se obtienen diferentes tamaños del cuesco o cascarilla que salen

mediante una tolva de descarga de sólidos que está a una distancia del suelo de un metro aproximadamente, la siguiente fase se realiza de forma manual, dos operarios sostienen y mueven cada uno una zaranda para separar el cuesco de palma en diferentes tamaños, esto genera un cansancio muscular y una rotación de operarios, ya que la máquina trabaja en un turno de ocho horas diarias, con una parada planificada para almuerzo de dos horas, alguno de los operarios que ayudan en este proceso dejan de hacer sus respectivas tareas que tienen establecidas en su jornada laboral para ayudar en el proceso de molienda. Como tercera fase, un ventilador trabaja simultáneamente para esparcir la materia fina de cascarilla de palma en el ambiente (Figura 3), esto generando pequeñas lomas de polvo y una gran contaminación en la empresa.

Figura 3. Proceso actual de cernido de residuos del cuesco



Fuente: elaboración propia

Finalmente, cuando las zarandas están llenas, dos operarios más recogen los residuos que quedan en la zaranda superior, llevándolos a reprocessar en la máquina trituradora para posteriormente ser cernidos de nuevo y, de esta forma, obtener más residuos que quedan en la zaranda inferior, ya que ellos son los más importantes en este proceso, y son utilizados para aprovechar su valor agregado en el proceso. Por último, las pequeñas partículas de cascarilla que quedan debajo de las zarandas son usadas como abono orgánico para plantas.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA**

Con el propósito de cumplir y contribuir al desarrollo de nuevas tecnologías que mejoren los procesos productivos en la empresa Industrias Acuña, se pretende realizar el diseño y la construcción de una máquina capaz de cernir en diferentes tamaños la cascarilla de palma africana sin la necesidad de tener tantos operarios que lo hagan manualmente y que la máquina impacte positivamente en aspectos como la productividad laboral como también en el ambiente de trabajo de la empresa Industrias Acuña.

En primer lugar, debido a que la máquina es capaz de cernir mediante movimientos mecánicos, no requiere de operarios que estén moviendo las zarandas simultáneamente, estos operarios pueden volver a sus respectivos trabajos y algunos pueden ser aprovechados para otras tareas en la empresa, lo que aumenta la eficiencia del trabajador y, en consecuencia, la productividad de cada empleado.

Ahora, lo segundo, será debido a que ya no se tendrá el ventilador que esparcía el polvo por todo el ambiente de trabajo mejorando las condiciones de trabajo, la máquina estará encerrada y se contará con un ciclón separador de partículas (ver Figura 4), que se tiene en la empresa para sacar el polvo que queda dentro de ella, reduciendo así la contaminación de pequeñas partículas de cascarilla de palma africana en el ambiente.

Figura 4. Ciclón separador de partículas de la empresa INAL



Fuente: elaboración propia

Además, se pretende que el diseño de esta máquina cuenta con dos canales de salida para cada nivel de colado, esto facilitando la recolección de los diferentes tamaños de cascarilla de palma africana, ya sea para volver a triturar o para recoger el cuesco con el tamaño adecuado para el proceso de fabricación de filtros de agua y aceite.

### 1.3. OBJETIVOS

**1.3.1. Objetivo general.** Contribuir con la misión de la escuela de ingeniería mecánica de la universidad industrial de Santander en la formación integral de ingenieros mecánicos capaces de solucionar problemas en la industria, desarrollando una máquina cernidora para separar residuos de cascarilla de palma africana para el uso de filtros y abono de plantas.

#### 1.3.2 Objetivos específicos

- ✓ Diseñar una máquina para la separación de residuos de palma africana con dimensiones aproximadas de 100x140 cm, que cumpla con las especificaciones señaladas a continuación:
  - Contar con dos niveles de separación para obtener tres diferentes tamaños de residuos de palma africana, así mismo tener dos canales de salida para cada uno de ellos.
  - La máquina deberá estar encerrada para evitar la contaminación de materia fina de cascarilla de palma en el ambiente de trabajo.
  - Tener un canal de salida para extraer la materia fina de cascarilla de palma mediante un ciclón separador de partículas para la extracción de esta.
  
- ✓ Realizar una respectiva simulación CAD/CAE de la máquina para así obtener sus dimensiones y materiales necesarios para su construcción.
  
- ✓ Planificar la construcción y el ensamble de la máquina cernidora para luego evaluar que cumpla los requerimientos de producción correspondientes a 125 [Kg/hora] durante una jornada de trabajo diario con turno de 8 [horas]

- ✓ Realizar una comparación económica de los costos de producción antes y después de la construcción de la máquina.

#### **1.4 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA EMPRESA**

INDUSTRIAS ACUÑA LTDA- INAL, es una empresa metalmecánica colombiana creada en 1985 por la familia Acuña Llanes, la cual opera desde Bucaramanga con más de treinta años en el mercado, enfocada en trabajar en el área de soluciones integrales e innovadoras para la industria en general. INAL es una compañía con experiencia innovadora que ofrece un diverso portafolio de productos, servicios y tecnologías asociadas al diseño, construcción y montaje de maquinaria, plantas y herramientas industriales, así como el mantenimiento y reparación de maquinarias y/o equipos, además presta sus servicios de investigación y desarrollo de productos a la industria extractiva de aceites, a las universidades locales para la elaboración de instrumentos y prototipos de nuevos proyectos de desarrollo tecnológico.

La empresa se ha posicionado en el mercado nacional e internacional, logrando que su propuesta de valor sea percibida con valores de alta calidad y con un excelente nivel de satisfacción de los clientes. Brindando soluciones al sector de agroindustria, aceite de palma, minero-energético e hidrocarburos, ciencia, tecnología e innovación y al sector de la química industrial, ofreciendo la producción y prestación de servicios relacionados con el diseño y desarrollo de proyectos.

1.4.1 Ubicación. Industrias Acuña LTDA- INAL, considerada como una empresa líder en el sector empresarial de desarrollos de máquinas y herramientas innovadoras en Santander, ubicada en la calle 22 # 11-61 del barrio Comuna 4 Occidental, Bucaramanga Santander.

Figura 5. Ubicación de la empresa INAL



Fuente. Mapas de Google. (s/f). Mapas de Google. Recuperado el 16 de diciembre de 2022, de <https://www.google.com/maps/place/INDUSTRIAS+ACUÑA+LTDA+-+INAL>

## 1.5 INDUSTRIAS ACUÑA LTDA- INAL

1.5.1 Misión. La misión de INAL, actualizada en 2019 por el comité de innovación de la empresa, evidencia el foco de la empresa en la innovación, el desarrollo de capacidades dinámicas y la implementación tecnológica como herramientas fundamentales para el cumplimiento de la propuesta de valor de la empresa. De esta manera, la misión de INAL corresponde a: “Somos una empresa metalmecánica de base tecnológica que ofrece un portafolio integral al sector industrial y de la investigación, en el diseño, desarrollo, fabricación y mantenimiento de maquinaria industrial y sus componentes, apoyados en una dinámica innovadora, personal especializado y tecnología de punta, superando las expectativas y necesidades de nuestros clientes”. Esta misión refleja el interés de la empresa de ser una compañía de ingeniería de base tecnológica en constante crecimiento y evolución para solucionar de manera efectiva las necesidades de los clientes y ofrecerles soluciones innovadoras y de alto impacto.

1.5.2 Visión. Innovar logrando así el posicionamiento de sus productos como resultado del crecimiento dinámico de toda la organización con claros objetivos a nivel financiero para la empresa. La visión de INAL es: “INAL incrementará sus ventas sobre los 10 millones de dólares en el 2025 mediante la incursión en el mercado centroamericano y mexicano de maquinaria y plantas para la extracción de aceite y aprovechamiento de biomasa de oleaginosas a través de sus tecnologías innovadoras y únicas a nivel global, estableciendo alianzas sinérgicas en el sector metalmecánico nacional e internacional enfocado al sector palmero, logrando márgenes de rentabilidad superiores al 20% y brindando bienestar y oportunidades de crecimiento al equipo de trabajo”. Con esta MEGA ambiciosa, INAL busca enfocarse en la internacionalización, transcribiendo la proyección de la gerencia a un objetivo futuro mucho más claro y motivador para toda la organización.

## **2. DISEÑO CONCEPTUAL DEL PROCESO DE CERNIDO**

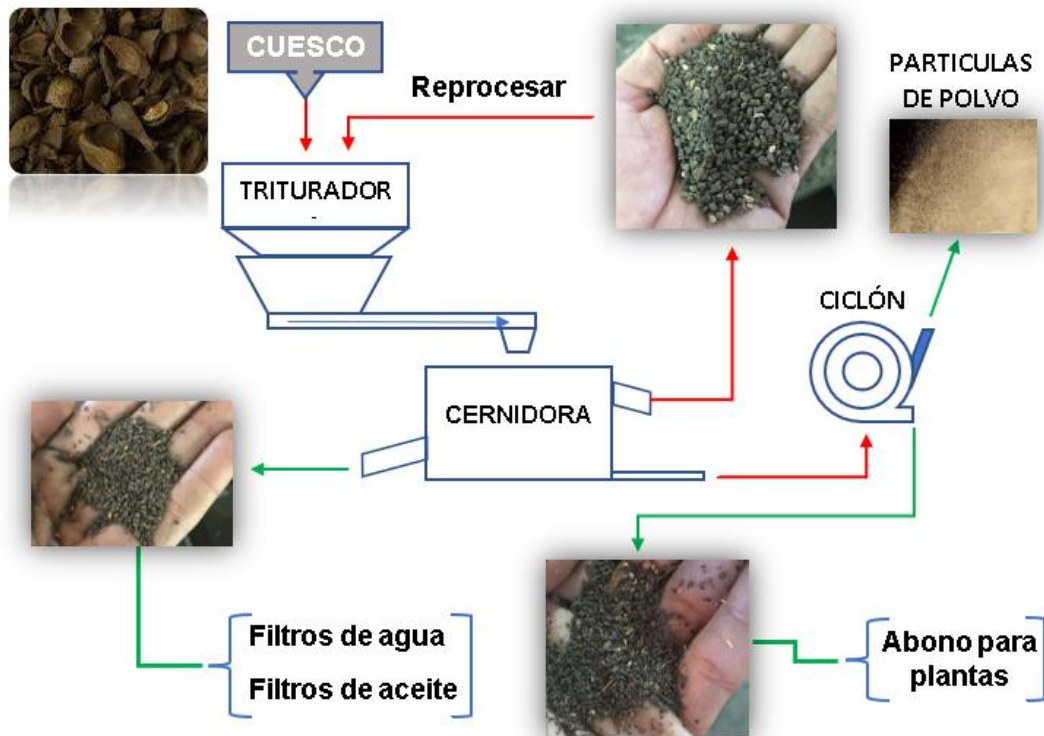
Es preciso realizar el diseño conceptual para obtener una visión más general de los sistemas de cernido de la cascarilla de palma africana, los cuales han sido de gran estudio y desarrollo, adicionalmente se estudiará algunos antecedentes resaltando el proceso llevado a cabo para el desarrollo del mismo, así mismo como el planteamiento de alternativas de solución que permite determinar la mejor opción para el desarrollo del presente proyecto, dicha alternativa deberá cumplir con los requerimientos principales determinados en el QFD, dando prioridad al orden de los procesos de diseño, con el fin de garantizar los requerimientos del usuario y aumentando su eficiencia.

### **2.1. ETAPAS DEL CUESCO DE PALMA AFRICANA**

El cuesco o cascarilla es un subproducto generador en el proceso de extracción de aceite de palma africana, el cual pasa por diferentes etapas.

- Etapa de triturado del cuesco o cascarilla.
- Etapa de cernido según granulometría.
- Etapa de re triturado de la cascarilla de granulometría gruesa.
- Etapa de separación de partículas de cuesco por medio de un ciclón

Figura 6. Diagrama de flujo de las etapas realizadas al subproducto (cuesco).



Fuente: elaboración propia

2.1.1 Etapa de triturado del cuesco o cascarilla. Etapa en la cual se realiza la trituración de la cascarilla, esta es obtenida del rompimiento físico de la nuez de la palma africana. Con la trituración de la cascarilla en diferentes granulometrías se busca obtener su aprovechamiento máximo como subproducto.

2.1.2 Etapa de cernido según granulometría. En esta etapa se busca lograr separar la cascarilla según su tamaño, las cascarillas trituradas poseen diferentes granulometrías que serán aprovechadas de diferente forma, ya sea como materia prima para filtros de agua y aceites como también abonos para plantas entre otros.

En su mayoría este proceso es realizado por máquinas de cernidos automáticas las cuales se encargan de separar según su tamaño de grano, en el mercado existen una gran variedad de máquinas que realizan tareas similares, sin embargo, también

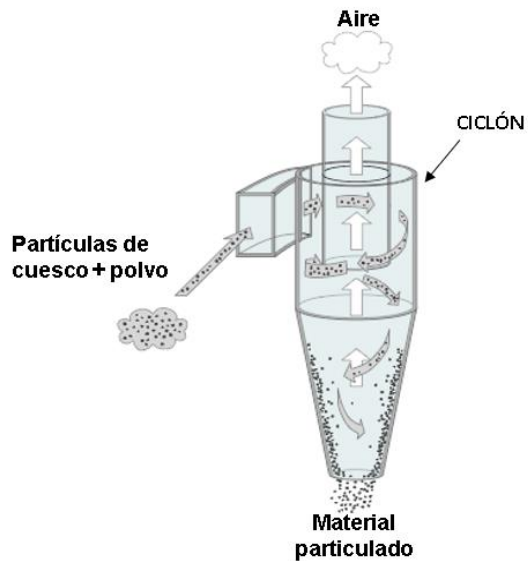
hay una gran cantidad de empresas que realizan este proceso de cernido totalmente manual con zarandas de madera y operarios que realizan el movimiento y separación de los diferentes tamaños de cascarilla triturada.

2.1.3 Etapa de re triturado de la cascarilla de granulometría gruesa. La re-trituración se hace a los granos de mayor tamaño para obtener la mayor cantidad de cascarilla fina, la cual es el subproducto más importante. Esta etapa es continua hasta lograr que el 90% del cuesco sea aprovechado como subproducto.

2.1.4 Etapa de separación de partículas de cuesco por medio de un ciclón. Las partículas más pequeñas de cuesco y polvo que logran pasar las dos etapas de cernido son llevadas a un separador de partículas conocido como ciclón, el cual se encarga de separar los pequeños granos de cuesco y retirar el polvo del ambiente de trabajo, estos pequeños granos de cuesco serán utilizados como abono orgánico para cultivos.

El funcionamiento del ciclón está dado por principio de impacto inercial, el cual es generado por la fuerza centrífuga, esta misma se encarga de separar el material particulado de las corrientes de aire. El material que es separado es aprovechado como abono orgánico para cultivos.

Figura 7. Separador de partículas (CICLÓN).



Fuente. GONZÁLEZ, Pablo. Diseño e implementación de un equipo separador de partículas sólidas (ciclón) en la industria del caucho. 2018. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/16998/1/T-UCE-0017-IQU-016.pdf>

## 2.2 ANÁLISIS DE DA INFORMACIÓN RECOPIADA

Para dar una contextualización de este proyecto a continuación se presentarán varios proyectos similares a nivel internacional, nacional y local, resaltando el proceso llevado a cabo para desarrollar el objetivo principal y su viabilidad, además se traen a colación los fundamentos teóricos necesarios para el desarrollo del proyecto.

**GOMÉZ Andrés Felipe.** Diseño y construcción de un prototipo de desraquitizador del racimo de fruta fresca de palma africana; Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2018.

Es una guía del trabajo de investigación en cómo abarca la problemática y el diseño de construcción de una máquina capaz de suplir las expectativas. Asimismo, las normas y la estructura del modelo escrito.

**GOMÉZ David Santiago.** Residuos de palma africana purifican agua y aire; Periódico Universidad Nacional. Bogotá, 2014.

Suministra información sobre los usos y el aprovechamiento del cusco de la palma africana, el cual se desecha en los mayores casos. La principal utilidad como filtro de agua, siendo una alternativa eficaz descontaminante.

**VAN DAM Jan.** Subproductos de la palma de aceite como materias primas de biomasa; Revista Palmas, 2016.

En este artículo recopila información teórica respecto a las etapas en el procesamiento de los frutos de palma de aceite hasta convertirlos en productos oleosos vegetales.

**TECHNOSERVE.** Manual técnico de palma africana. San Pedro Sula, 2009.

Describe información general sobre la palma africana, la historia, los distintos tipos y los subproductos obtenidos como el cuesco. Además, de su importancia para el sector de los biocombustibles.

**MARTINEZ Julián David, NARANJO William Daniel.** Elección de un filtro de carbón activado de cuesco de palma africana para agua pretratada; Universidad Antonio Nariño. Meta, 2021.

Recopila información sobre el uso y el aprovechamiento del cuesco de la palma africana para elaborar un material carbonoso, proporcionando información significativa al cuesco como material filtrante.

## **2.3 DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN CALIDAD (QFD)**

El QFD es un método el cual consiste en determinar la relación entre los requerimientos del usuario y los requerimientos funcionales para el diseño por medio de una matriz, determinado a su vez las prioridades en el desarrollo del proyecto, de esta manera se desarrollan puntos clave en los cuales se puede profundizar para mejorar el confort del cliente.

2.3.1 Requerimientos básicos del consumidor. Con el objetivo de realizar un buen diseño que cumpla con las características deseadas por los usuarios interesados en la máquina cernidora, se realizó un estudio detallado en los requerimientos del consumidor necesarios para llevar a cabo dicha solución y que esta se ajuste a las necesidades planteadas. El propósito de este proceso es presentar diferentes alternativas de diseño, para así evaluar y calificar los criterios y seleccionar la alternativa más adecuada para los requerimientos presentados por el consumidor.

La siguiente lista representa los requerimientos básicos de los usuarios interesados en la maquina cernidora:

- Ensamble sencillo
- Producción eficiente
- Bajos costos de mantenimiento (disponibilidad de repuestos)
- Fácil limpieza
- Seguridad para los operarios

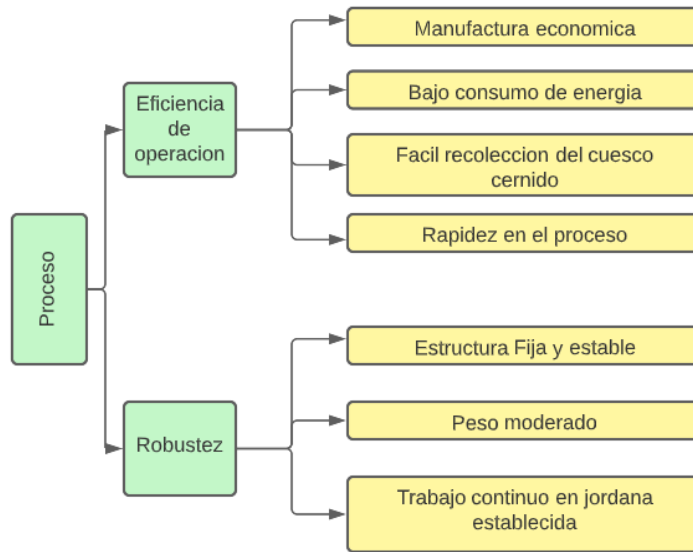
- Sencillez y rapidez en la operación
- Peso moderado
- Bajo consumo de energía
- Bajos ruidos y vibraciones
- Libre de peligros durante su funcionamiento
- Dimensiones adecuadas
- Estética

2.3.2 Requerimientos funcionales de diseño. En la siguiente lista se mencionan los principales requerimientos para la funcionalidad de la máquina cernidora de dos niveles, basados en la necesidad del cliente y sus procesos de manufactura.

- Materiales resistentes
- Capacidad
- Estable y compacta
- Económica
- Mantenibilidad
- Vida útil
- Bajos ruidos y vibraciones

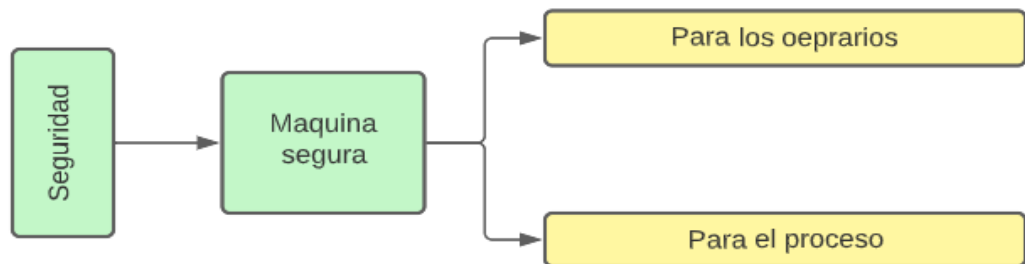
2.3.3 Organización de requerimientos. A continuación, se organizan los requerimientos en subgrupos de criterios de evaluación cualitativos:

Figura 8. Organización de requerimientos por procesos.



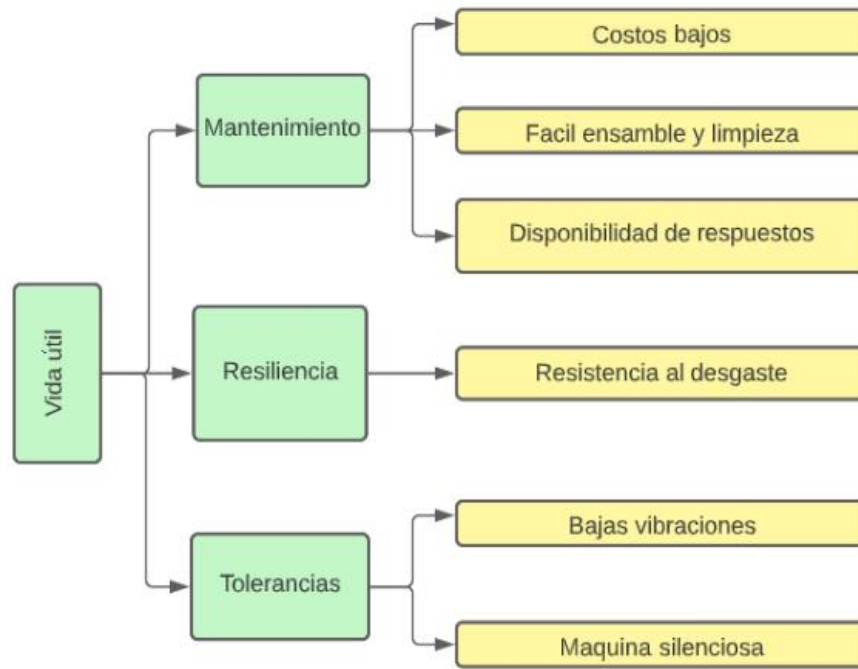
Fuente: elaboración propia

Figura 9. Organización de requerimientos por seguridad.



Fuente: elaboración propia

Figura 10. Organización de requerimientos por vida útil.



Fuente: elaboración propia

2.3.4 Matriz calidad. Para analizar y seleccionar los criterios más influyentes en la maquina cernidora con base a los requisitos del usuario se presenta a continuación la matriz de calidad QFD (Quality Function Deployment).

Cuadro 1. Matriz calidad

MATRIZ DE CALIDAD			Potencia requerida	Materiales	Estructura resistente	Disponibilidad de repuestos	Costos de Materiales	Mecanismo de movimiento de zarandas	Número de componentes	Diseño modular	Dimensiones	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	
PROCES	EFICIENCIA EN	Manufactura económica	7	1	9	3	1	9	1	9	3	9
		Bajos consumos de energía	7	9	1	1	1	1	3	1	1	1

	OPERACIÓN	Fácil recolección del cuesco triturado	7	1	1	1	1	1	9	1	9	3
		Rapidez en el proceso de cernir	9	9	1	1	1	1	9	3	3	1
	ROBUSTEZ	Estructura fija y estable	9	3	9	9	1	3	1	3	1	3
		peso moderado	7	1	9	3	1	3	1	9	1	9
		trabajo continuo en jornada establecida	9	1	1	1	3	1	9	3	1	1
VIDA ÚTIL	MANTENIMIENTO	costos bajos	5	1	9	3	3	1	9	3	3	9
		fácil limpieza y ensamble	9	1	3	3	1	1	3	3	3	9
		Disponibilidad de repuestos	7	1	9	3	9	1	9	3	3	3
	RESILIENCIA	Resistencia al desgaste	5	1	9	9	1	3	9	1	3	1
	TOLERANCIAS	Bajas vibraciones	5	1	9	9	1	3	9	3	1	9
Maquina silenciosa		3	1	9	3	1	3	9	1	1	9	
SEGURI	MÁQUINA SEGURA	Para los operarios	9	1	1	1	1	1	1	1	1	3
		para los procesos	9	1	3	3	1	1	1	1	1	1
<b>TOTALES</b>				253	527	353	191	221	539	325	247	459

Fuente: elaboración propia

2.3.5 Ponderación de resultados. Para este proyecto se le da prioridad a los criterios de evaluación con mayor relevancia que se obtuvieron en el análisis de la matriz de calidad, en la siguiente tabla se muestran los resultados de cada criterio, adicionalmente se resalta el orden de los procesos de diseño según su importancia de mayor a menor.

Cuadro 2. Ponderación de resultados de la matriz de calidad

Criterios de Evaluación	Peso [%]
Mecanismo movimiento de zarandas	17,3
Materiales	16,91

Dimensiones	14,73
Estructura resistente	11,33
Número de componentes	10,43
potencia requerida	8,12
Diseño modular	7,92
Costo de materiales	7,09
Disponibilidad de repuestos	6,13

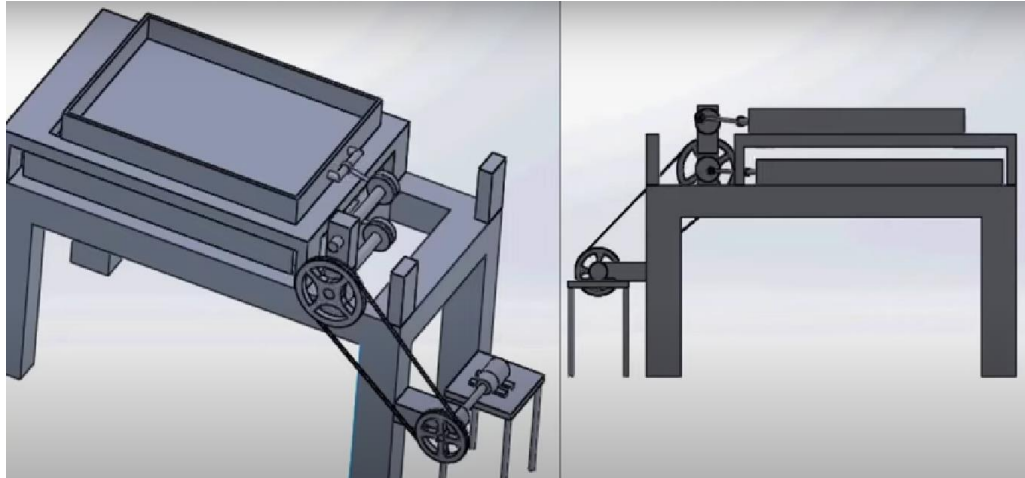
Fuente: elaboración propia

## **2.4. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS.**

El planteamiento de alternativas de solución permite determinar la mejor opción para el desarrollo del presente proyecto, dicha alternativa deberá cumplir con los requerimientos principales determinados en el QFD, dando prioridad al orden de los procesos de diseño, con el fin de garantizar los requerimientos del usuario y requerimientos funcionales de diseño.

2.4.1 Alternativa 1. La primera alternativa de diseño consiste en una estructura fija hecha por acero estructural, su funcionamiento consiste en uno de los principales sistemas de potencia mecánica que se emplea en la industria, el sistema de transmisión de correas, este sistema tiene un número de correas que se determinan en el proceso de diseño. Por el tamaño de las poleas se puede deducir que este sistema se está usando como un reductor de velocidad porque la velocidad de la polea conducida es menor que la velocidad de la polea motriz, esto se debe a que la polea conducida tiene un mayor diámetro que la polea conductora.

Figura 11. Esquema Alternativa 1



Fuente: THEYAGU SELVAM. Design, Simulation and Fabrication of Horizontal Sand Sieving Machine in Creo| Design in Creo | [video]. YouTube. (12, diciembre, 2020). [Consultado el 2, diciembre, 2022]. 00:27 min. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=QpZ5UoaMU04>

2.4.2 Alternativa 2. Esta alternativa consiste en un sistema denominado cernidora de columpio, este sistema de esta máquina consiste en un mecanismo de biela manivela que es capaz de transformar un movimiento circular en un movimiento de traslación o viceversa. El movimiento circular se da por un disco que esté acoplado a un eje impulsado por un motor eléctrico, la zaranda realiza un movimiento traslacional producido por el sistema de biela manivela y también está conectada a la estructura por un sistema de dos rodamientos unidos a una varilla esto para permitirle el movimiento traslacional y que realice el proceso de cernir de manera adecuada.

Figura 12. Esquema Alternativa

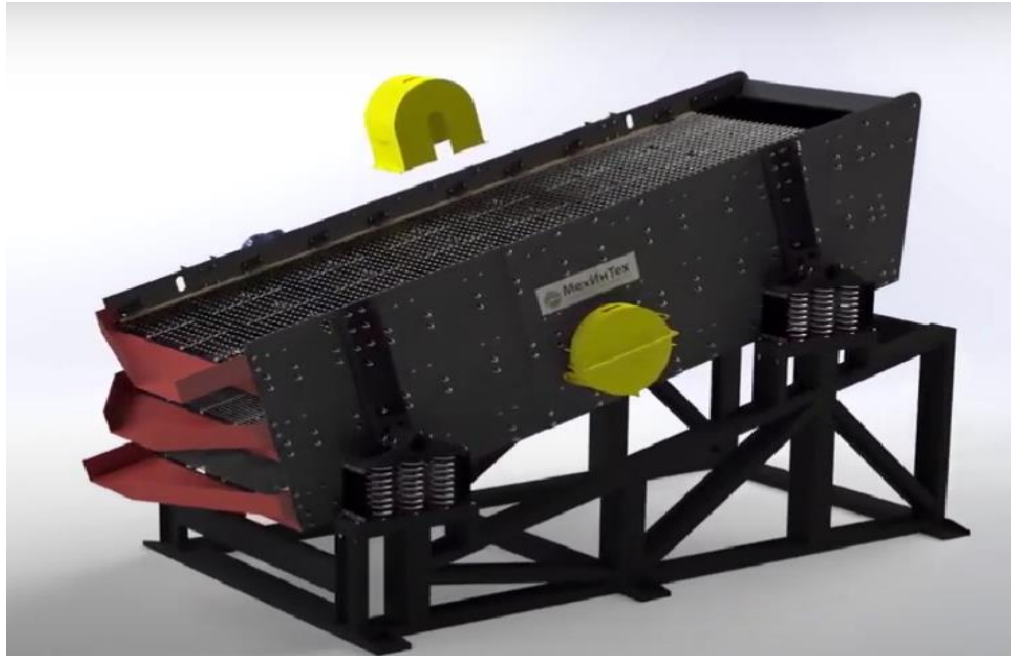


Fuente: HAMDY RIHANE - حمدي ريجان. Sand Sieve Machine | Machine de tamisage de sable [video]. YouTube. (11, abril, 2020). [Consultado el 5, diciembre, 2022]. 00:37 min. Disponible en: [https://www.youtube.com/watch?v=WnubtNcO\\_2s](https://www.youtube.com/watch?v=WnubtNcO_2s)

En la figura 12 se logra evidenciar que un usuario externo es el encargado de sostener la máquina para que esta no se mueva de su sitio de trabajo, esto debido a que la estructura no es estable debido a las vibraciones producidas por el movimiento de la zaranda, para evitar esto se plantea diseñar una estructura muy estable que evite el movimiento de la máquina.

2.4.3 Alternativa 3. Esta alternativa consiste en una cernidora vibradora que está diseñada con unas placas laterales resistentes a las vibraciones, la cernidora posee características de vibración ajustables para diferentes tipos de materiales y tamaño de cribado, estas cernidoras vibradoras brindan una alta eficiencia de cribado, su mantenimiento es muy sencillo debido a que sus componentes tienen un ensamble sencillo.

Figura 13. Esquema Alternativa 3



Fuente: MEKA GLOBAL. Inclined Vibrating Screen, working principle (for aggregates, mining industries) [video]. YouTube. (31, julio, 2018). [Consultado el 11, noviembre, 2022]. 03:03 min. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=M1K6uDv6bx4>

2.4.4 Alternativa 4. Esta alternativa se basa en un cilindro giratorio compuesto por tres diferentes tipos de mallas para clasificar en tres niveles de cribado diferentes, su sistema de potencia está compuesto por un mecanismo denominado ruedas de fricción, consiste en dos ruedas, una rueda motriz impulsada por el motor y la otra denominada conducida, el movimiento de estas ruedas se transmite de una rueda a otra mediante la fricción, como se logra notar en la figura 14 la rueda motriz es la que tiene un diámetro mucho menor que la rueda conducida, entonces este mecanismo está funcionando como un reductor de velocidad para regular los parámetros iniciales del sistema de potencia.

Figura 14. Esquema Alternativa 4



Fuente: FLORIAN MODELLBAU. 1:14,5 Modulare Siebanlage: Siebtest [video]. YouTube. (26, abril, 2019). [Consultado el 3, mayo, 2023]. 02:46 min. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=lbuqKE2ugA0>

El espacio que se tiene en la empresa Industrias Acuña es un poco reducido, esta máquina presenta altas dimensiones para este proyecto, debido a que se debe tener una altura y un largo adecuado para que el proceso de cernir funcione correctamente sin tener pérdidas o una combinación de cribado en los diferentes niveles.

## 2.5 EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

La evaluación de alternativas consiste en ponderar las características más importantes de cada modelo, las cuales permitan cumplir los requerimientos establecidos en el QFD, por tal motivo se plantea una tabla en el cual se evalúan todas estas alternativas para seleccionar una como base para este proyecto, en la siguiente tabla se puede evidenciar los resultados.

Cuadro 3. Evaluación de alternativas

Criterios de Evaluación	PI	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3		Alternativa 4	
		Nota	Ponderado	Nota	Ponderado	Nota	Ponderado	Nota	Ponderado
Mecanismo movimiento de zarandas	17,3	5	0,87	5	0,87	4	0,69	4	0,69
Materiales	16,9	3	0,51	4	0,68	3	0,51	4	0,68
Dimensiones	14,7	4	0,59	4	0,59	2	0,29	2	0,29
Estructura resistente	11,3	2	0,23	3	0,34	3	0,34	2	0,23
Número de componentes	10,4	2	0,21	4	0,42	3	0,31	4	0,42
potencia requerida	8,12	3	0,24	3	0,24	3	0,24	3	0,24
Diseño modular	7,92	3	0,24	4	0,32	5	0,4	3	0,24
Costo de materiales	7,09	4	0,28	4	0,28	3	0,21	4	0,28
Disponibilidad de repuestos	6,13	4	0,25	5	0,31	3	0,18	5	0,31
<b>TOTAL</b>		3,42		4,05		3,17		3,38	

Fuente: elaboración propia

En el cuadro 3 se presenta la ponderación de las diferentes alternativas, las cuales están calificadas de 1 a 5 según su participación en los requerimientos, adicionalmente esta calificación es multiplicada por el porcentaje (PI) que fue obtenido del análisis de resultados de la matriz de calidad (ver tabla 2), con estos resultados se inicia la fase de cálculos y diseño para luego continuar con la manufactura y entrega de la máquina a la empresa interesada en este proyecto.

Como resultado de la evaluación de alternativas, se logró determinar que el modelo de máquina de cernido que cumple con la mayor cantidad de requerimientos es el presentado en la alternativa número 2, por tal motivo todos los procesos de diseño estarán enfocados en este modelo, sin embargo, el desarrollo de la máquina de cernido puede estar sujetos a grandes modificaciones, estas con el fin de mejorar sus características teniendo siempre en cuenta los requerimientos de usuario, de diseño y el costo total del producto.

### **3. DISEÑO DE LA MÁQUINA DE CERNIDO DE DOS NIVELES**

#### **3.1 DISEÑO DE LA CERNIDORA**

La máquina de cernido de dos niveles para la separación de residuos de palma africana es clave para procesar la cascarilla de palma como subproducto, siendo éste el objetivo por el cual se diseña teniendo en cuenta factores tales como la capacidad requerida, condiciones de trabajo, producción eficiente, tiempos de operación, bajo costo en mantenibilidad, larga vida útil entre otros.

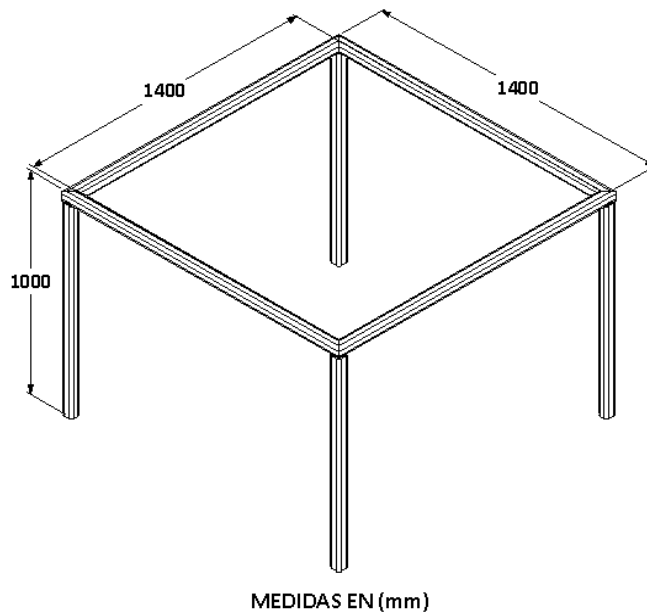
La máquina busca reemplazar el proceso de cernido manual y reducir la cantidad de personal en el proceso, por tal motivo se pretende un diseño robusto, estable y sin mayor intervención del personal en su funcionamiento, adicionalmente la máquina debe de cumplir con criterios como:

- Contar con dos niveles de cernido de diferente granulometría.
- Canales de salida para extraer la materia prima.
- Totalmente cerrada para evitar el esparcimiento de material particulado de cascarilla de palma en el medio de trabajo.

3.1.1 Capacidad y dimensiones de la cernidora. La cantidad de materia prima triturada que deberá ser cernida como mínimo está dada por la máquina trituradora la cual entrega 125 kg/hora de cascarilla molida, estos 125 kg/hora estarán en constante flujo durante 8 horas diarias, la máquina cernidora debe cumplir con esta capacidad y a su vez cumplir con las dimensiones requeridas por el cliente, tales como una altura máxima de 105 cm que es la distancia que hay entre el suelo y la tolva de salida del material, y las dimensiones de ancho y largo de 145 centímetros cada una, teniendo estas medidas se establece un diseño de las dimensiones generales de 100x140x140 alto, ancho y largo respectivamente (ver figura 15),

teniendo en cuenta tolerancias para que la máquina cernidora encaje perfectamente.

Figura 15. Dimensiones generales



Fuente: elaboración propia

### 3.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE CERNIDO

Uno de los componentes más importantes a tener en cuenta en el diseño de la máquina de cernido es la selección de la malla, ya que de esta depende la capacidad de cernido y la granulometría que se obtendrá del cuesco triturado.

La malla de la zaranda superior debe cumplir con condiciones específicas, pues en este primer nivel de cernido se debe obtener el cuesco de mayor granulometría, permitiendo el paso de residuos y cuesco fino.

La malla de la zaranda inferior debe cumplir con el objetivo de separar el cuesco fino del material particulado, dicho material particulado es el que se utiliza como abono para cultivos y el cuesco fino es el que será utilizado como materia prima para la elaboración de filtros de agua o aceites.

Las características del cuesco triturado que se requieren obtener después de cernido son:

Para el primer nivel de cernido (Zaranda superior), se busca separar el cuesco con dimensiones de grano mayores a 2 mm de diámetro y para el segundo nivel de cernido (Zaranda inferior), se busca separa el cuesco de dimensiones de grano mayores a 1.19 mm de diámetro (ver cuadro 4).

Cuadro 4. Dimensiones de grano por nivel de cernido.

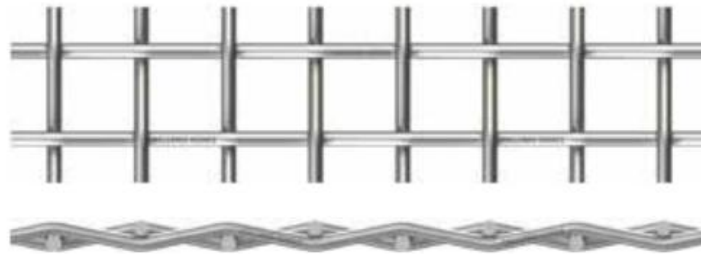
<b><i>DIMENSIONES DE GRANO POR NIVEL DE CERNIDO</i></b>		
<i>ZARANDA SUPERIOR.</i>	<i>∅ de grano retenido</i>	<i>∅ ≥ 2.0 mm</i>
	<i>∅ de grano pasantes</i>	<i>∅ &lt; 2.0 mm</i>
<i>ZARANDA INFERIOR</i>	<i>∅ de grano retenido</i>	<i>∅ ≥ 1.19 mm</i>
	<i>∅ de grano pasantes</i>	<i>∅ &lt; 1.19 mm</i>

Fuente: elaboración propia.

3.3.1 Selección de malla. La selección de la malla es determinada por la granulometría que se busca obtener en los dos niveles de cernido como se muestra en el apartado anterior (ver tablas 4), la malla más utilizada en el mercado para este tipo de aplicaciones son las mallas metálicas cuadradas de tipo A, las cuales poseen características como:

- Los alambres de este tipo de malla poseen una geometría en forma pre ondulada la cual permite aumentar su rigidez.
- La forma pre ondulada de la malla, le permite mantener una distribución uniforme en sus agujeros ya que sirve como paso entre los alambres tejidos.
- La elevada resistencia a la tracción del acero utilizado permite obtener alta resistencia a las vibraciones y una larga vida útil.
- Es implementada para la clasificación de material con gran rendimiento debido a su alto porcentaje de superficie de cribado.

Figura 16. Malla metálica cuadrada tipo A.



Fuente. MALLA METÁLICA Cuadrada Tipo A-F Extrafina [Anónimo]. Mallas y Cribas [página web]. [Consultado el 17, noviembre, 2022]. Disponible en: <https://www.nubasm.com/producto-cribado-clasificacion-aridos/mallas-metalicas/malla-metalica-cuadrada-tipo-af-extrafina/>

Con las características ya determinadas de la malla, se establece que para el primer y segundo nivel de cernido (zaranda superior e inferior) la superficie de cribado debe permitir el flujo de fragmentos de dimensiones inferiores a la apertura, la cual está basada en las características del cuesco que se desea obtener. La malla seleccionada para el primer nivel de cernido (Zaranda superior) se define en el siguiente cuadro.


Cuadro 5. Selección malla zaranda superior

<b>Malla de la zaranda superior</b>				
Huecos por Pulgada lineal	Tamaño de Apertura	Material	Dimensiones	
10	2 x 2 mm	AISI 304	100 X 100 cm.	
Diámetro del Alambre $\varnothing = 1,0$ mm			Peso total: 0,61 kg	

Fuente: elaboración propia

La malla seleccionada para el segundo nivel de cernido (Zaranda inferior) se define en el siguiente cuadro:

Cuadro 6. Selección malla zaranda superior

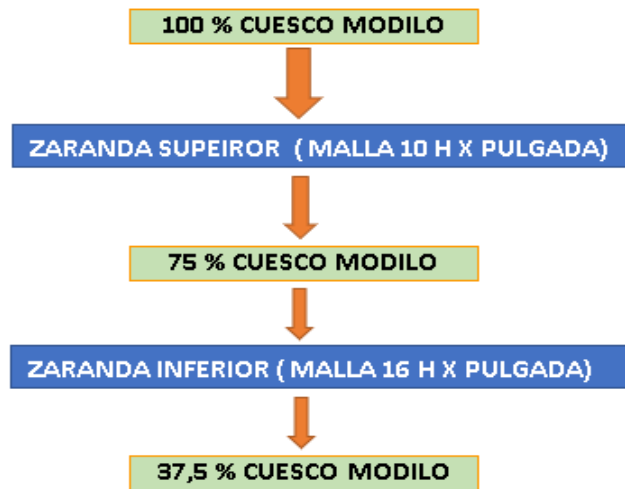
<b>Malla de la zaranda inferior</b>				
Huecos por Pulgada lineal	Tamaño de Apertura	Material	Dimensiones	
16	1,19 x 1,19 mm	AISI 304	100 X 100 cm.	
Diámetro del Alambre $\varnothing = 1,0$ mm			Peso total: 0,82 kg	

Fuente: elaboración propia

Una vez seleccionada la malla se puede determinar el porcentaje de cuesco que retiene cada malla, estos porcentajes fueron determinados mediante cernidos experimentales con cada tipo de malla.

La malla de 10 agujeros por pulgada retiene un 25 % del cuesco total molido y la malla de 16 agujeros por pulgada retiene 50% del cuesco que pasa del primer nivel de cernido, de tal forma el porcentaje de materia prima se divide de la siguiente manera (ver figura 17).

Figura 17. Porcentaje de cuesco por malla molido



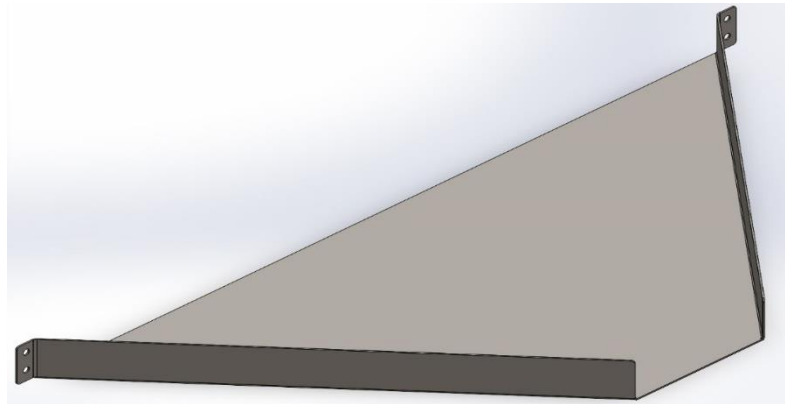
Fuente: elaboración propia

3.3.2 Zaranda superior. Para diseñar la Zaranda superior se tuvieron en cuenta las recomendaciones de la empresa, la cual afirma que aunque el flujo de cuesco molido entregado al día de hoy por la máquina trituradora sea aproximadamente 2.1 kg por minuto y que la malla retiene un 25% de este valor, la empresa desea en un futuro aumenta el flujo de cuesco entregado por la máquina trituradora, por tal motivo se decide diseñar una máquina robusta de tal forma soporte mayor flujo de cuesco, permitiendo un promedio de 10 kg/min.

Basado en lo anterior se establece una geometría de la zaranda de 100x100x12 cm ancho, largo y alto respectivamente, estas dimensiones permitir que su superficie de cribado sea aproximadamente 7.9422,84 cm<sup>2</sup>, teniendo en cuenta que la superficie de cribado es reducida por los soportes sujetadores de la malla, adicionalmente la zaranda se diseña con una salida en forma de canal, con un ancho de entrada del canal de 72 cm y un ancho de salida de 14 cm, la cual permite que el 25% de cuesco que es retenido pueda ser evacuado (ver figura 18).

Se selecciona como material de fabricación de la zaranda y el canal de salida, lámina de acero AISI 316 calibre 14, el cual posee propiedades adecuadas para su aplicación como a su vez un bajo costo.

Figura 18. Canal de salida zaranda superior.

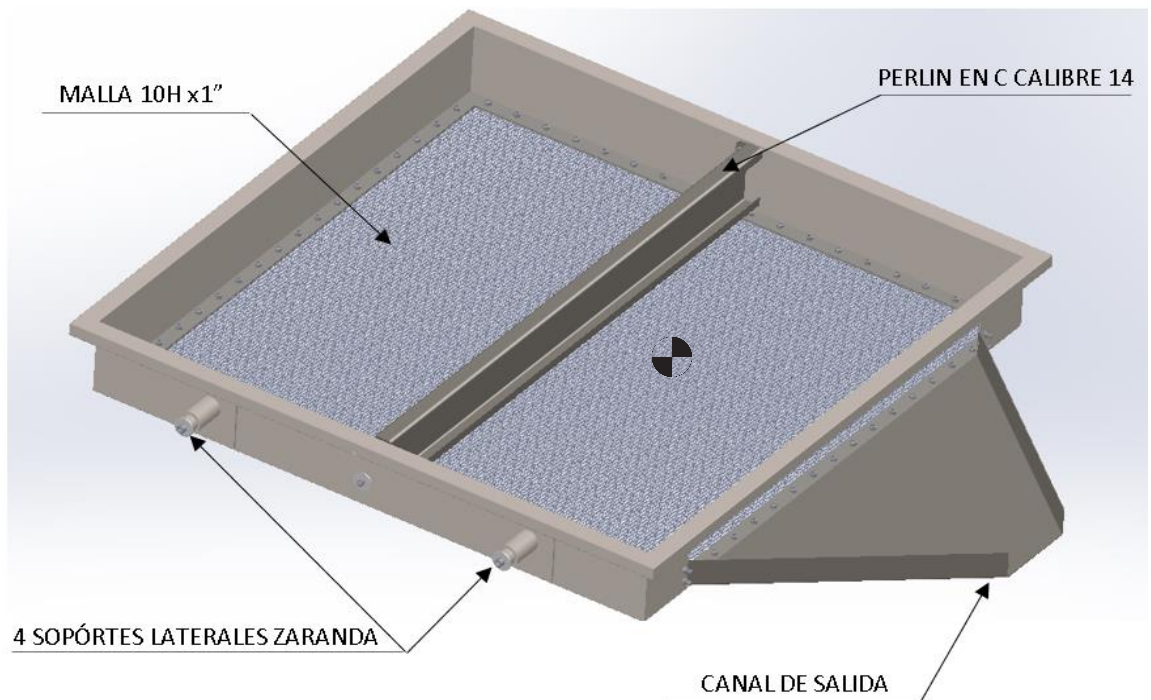


Fuente: elaboración propia

El flujo constante de cuesco que sale por el canal permite que la zaranda no se sobrecargue con material, en caso de abultamiento o prensado del mismo, sin embargo, se decide colocar un perfil en “C” en el centro el cual se encarga de distribuir uniformemente el cuesco en toda la superficie de cribado y regular la salida del cuesco seleccionado (ver figura 18).

3.3.2.1 Modelo CAD Zaranda Superior. Se modela la zaranda utilizando el software *SolidWorks Simulation* para obtener sus propiedades físicas como: peso, volumen, centros de masa y geometría específica de la distribución de los soportes de apoyo, además la zaranda es modelada en chapa metálica de acero AISI 316, permitiendo su fácil fabricación (ver figura 19).


Figura 19. Modelo CAD zaranda superior.



Fuente: elaboración propia

Con las propiedades físicas obtenidas por el modelado de la zaranda se pueden determinar las cargas que se ejercen sobre los soportes laterales de la zaranda.

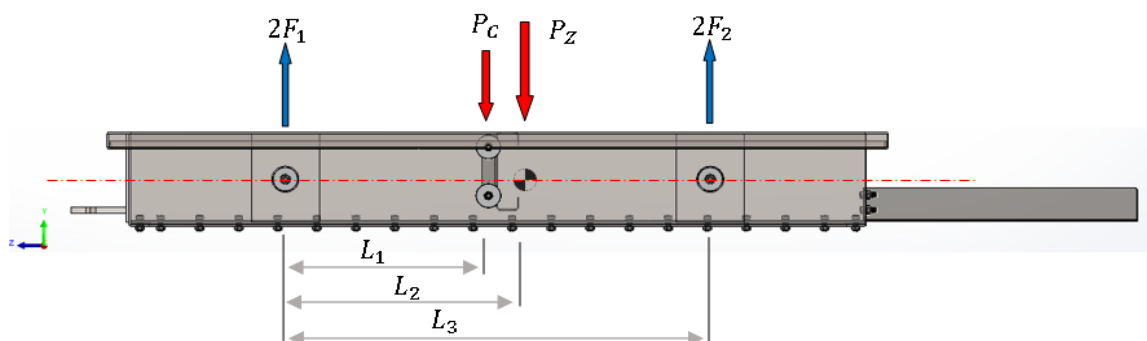
Cuadro 7. Propiedades físicas de la zaranda superior

Propiedades físicas de la zaranda superior.			
Peso total de la zaranda	$P_Z$	23,64 Kgf	
Peso de la carga de cuesco	$P_C$	10,0 Kgf	
Volumen máximo permitido de cuesco en la zaranda.	$V_C$	104063,076 $cm^3$	
Centro de masa en X, respecto ejes de simetría	X	0,0 mm	
Centro de masa en Z, respecto ejes de simetría	Z	-36,65 mm	

Fuente: elaboración propia

Con las propiedades físicas y la separación entre los soportes en el eje Z se determina las cargas ejercidas en los apoyos.

Figura 20. Diagrama de cargas en los soportes de la zaranda superior.



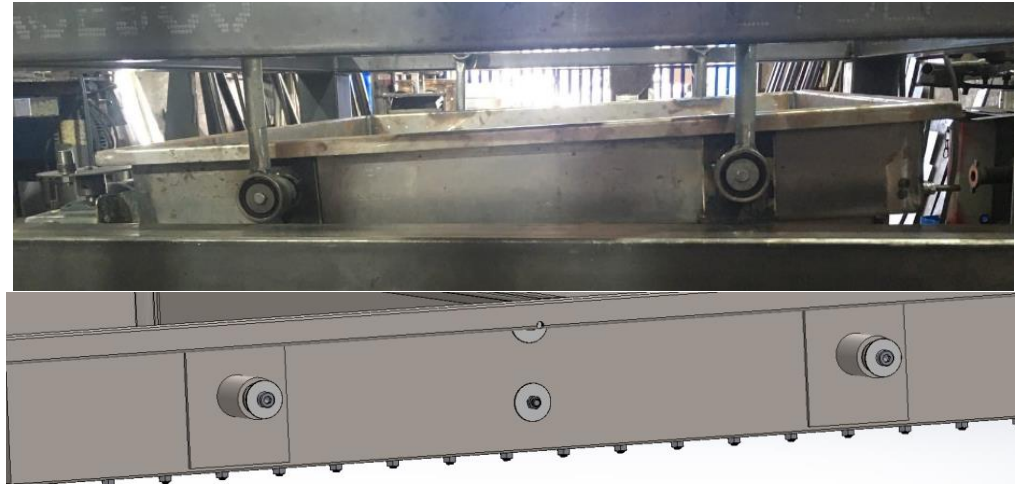
Cuadro 8. Cálculo de las cargas (soportes zaranda superior)

Cálculo de las cargas en los soportes de la zaranda superior.		
Ecuaciones	Diagrama	
$\sum F_y = 0$ $(\curvearrow+) \sum M_1 = 0$ $\sum M_1 = P_C * L_1 + P_Z * L_2 - 2F_2 * L_3$		
Símbolos	Valor	Descripción
$L_1$	0,272 [m]	Distancia entre el centro de presión del cuesco y el apoyo "1"
$L_2$	0,308 [m]	Distancia entre el centro de masa en "Z" y el apoyo "1"
$L_3$	0,544 [m]	Distancia entre apoyos "1" y "2"
$P_Z$	23,64 [Kgf]	Peso de la zaranda
$P_C$	10,0 [Kgf]	Peso máximo de la carga de cuesco
$F_1$	59,48 [N]	Fuerza ejercida en el soporte "1" de la zaranda
$F_2$	105,52 [N]	Fuerza ejercida en el soporte "2" de la zaranda

Fuente: elaboración propia

La mayor carga ejercida sobre los apoyos se encuentra en el soporte número "2", el cual está sometido a una fuerza de 105.52 [N] en su extremo como se muestra (ver cuadro 8), estos apoyos son los encargados de transmitir las cargas al bastidor por medio de bielas (ver figura 21).

Figura 21. Soporte lateral zaranda superior.



Fuente: elaboración propia

Para determinar la fuerza cortante y el momento flector del soporte lateral se realiza un análisis estático.

Cuadro 9. Cálculo de las cargas en los soportes de la zaranda superior.

<b>Cálculo de las cargas en los soportes de la zaranda superior.</b>		
<b>Ecuaciones</b>	<b>Diagrama</b>	
$(\cup+)\sum M_2 = F_2 * a$ $\sum M_2 = 0$ $\sum F_y = 0$ $\sum F_y = F_2 - V_2$		
<b>Símbolos</b>	<b>Valor</b>	<b>Descripción</b>
$a$	66,3 [mm]	Distancia entre el centro de presión de la fuerza y la zaranda

$F_2$	105,52 [N]	Fuerza ejercida en la punta (soporte "2" de la zaranda)
$V_2$	105,52 [N]	Fuerza de corte ejercida la unión del soporte "2" de la zaranda
$M_2$	7,0 [N * m]	Momento flector que actúa en la unión del soporte "2"

Fuente: elaboración propia

Con la fuerza cortante, momento flector y geometría ya definida del soporte lateral de la zaranda, permite determinar las características de la unión soldada, adicionalmente el soporte es diseñado en acero AISI 1045.

**3.3.2.2 Cálculo de la Unión Soldada del Soporte Lateral de la Zaranda.** Se establece que para la unión del soporte lateral de la zaranda se utilizará un número de electrodo AWS E6013 y soldadura de filete, la soldadura de filete permite determinar el tamaño de la soldadura, ya que es el mismo que el espesor del objeto más delgado unido., en este caso está definido por el espesor de lámina el cual es de 3/16".

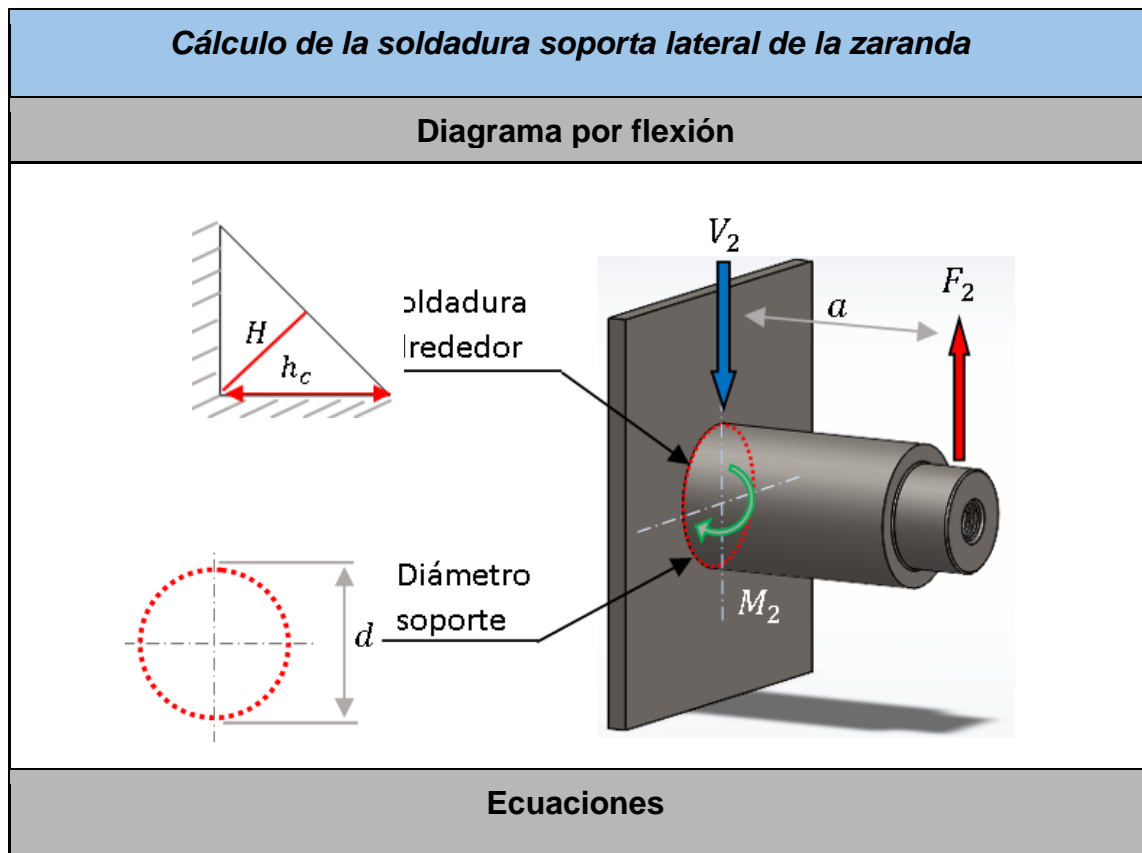
Figura 22. Propiedades de resistencia mínima según número de electrones.

NÚMERO DE ELECTRODO	RESISTENCIA ÚLTIMA kpsi (MPA)	RESISTENCIA DE FLUENCIA kpsi (MPA)	ELONGACIÓN %
E60xx	62 (427)	50 (345)	17-25
E70xx	70 (482)	57 (393)	22
E80xx	80 (551)	67 (462)	19
E90xx	90 (620)	77 (531)	14-17
E100xx	100 (689)	87 (600)	13-16
E120xx	120 (827)	107 (737)	14

Fuente. RINGEGNI, Pablo. Cálculo de uniones soldadas. En: Facultad de Ingeniería U.N.L.P. [en línea]. 2013. Disponible en: <http://www.aero.ing.unlp.edu.ar/catedras/archivos/Uniones%20soldadas%20sexta%20edicion%202013.pdf>.

Para el cálculo de la unión soldada se determina el esfuerzo de corte puro generado por la fuerza de corte, permitiendo determinar a su vez el esfuerzo normal por flexión, posteriormente se determinan los esfuerzos principales lo cuales permiten determinar por medio de la teoría (esfuerzos cortantes máximos) el factor de seguridad (ver cuadro 10).

Cuadro 10. Cálculo de soldadura soporte lateral zaranda.



$A = \pi * d$ $I = 0,707 * h_c * I_U$ $H = 0.707 * h_c$ $\tau' = \frac{V_2}{A} \quad \tau = \frac{M}{I}$			$I_U = \pi * \left(\frac{d^2}{4}\right)$ $\tau \approx \sigma = \frac{M}{(0,707 * h_c * I_U)}$ $\tau_{admissible} = 0.6 * \sigma_y$ $FS = \frac{\tau_{admissible}}{\tau_{max}}$		
Símbolos	Valor	Descripción			
$A$	109,96 [ $mm^2$ ]	Área de la garganta en todas las soldaduras.			
$V_2$	105,52 [ $N$ ]	Fuerza cortante generada por la fuerza $F_2$			
$d$	35,0 [ $mm$ ]	Diámetro del soporte lateral número "2"			
$M_2$	7,0 [ $N * m$ ]	Momento flector que actúa en la unión del soporte 2			
$h_c$	4,76 [ $mm$ ]	Longitud del cateto de la soldadura			
$H$	3,36 [ $mm$ ]	Altura del cordón (Plano cortante de la garganta)			
$I_U$	962,11 [ $mm^2$ ]	Momento resistente unitario			
$I$	3237,8 [ $mm^3$ ]	Momento resistente de la garganta de la junta			
$\tau'$	0,96 [ $MPa$ ]	Esfuerzo de corte puro generado por la fuerza de corte $V_2$			
$\tau$	2,16 [ $MPa$ ]	Esfuerzo cortante máxima			
$\sigma$	2,16 [ $MPa$ ]	Esfuerzo normal por flexión en la junta			
$\sigma_y$	345 [ $MPa$ ]	Resistencia de fluencia del electrodo E60XX			
$\tau_{admissible}$	207 [ $MPa$ ]	Tensión admisible para el corte de filete			
$FS$	95	Factor de seguridad de la unión soldada			

Fuente: elaboración propia

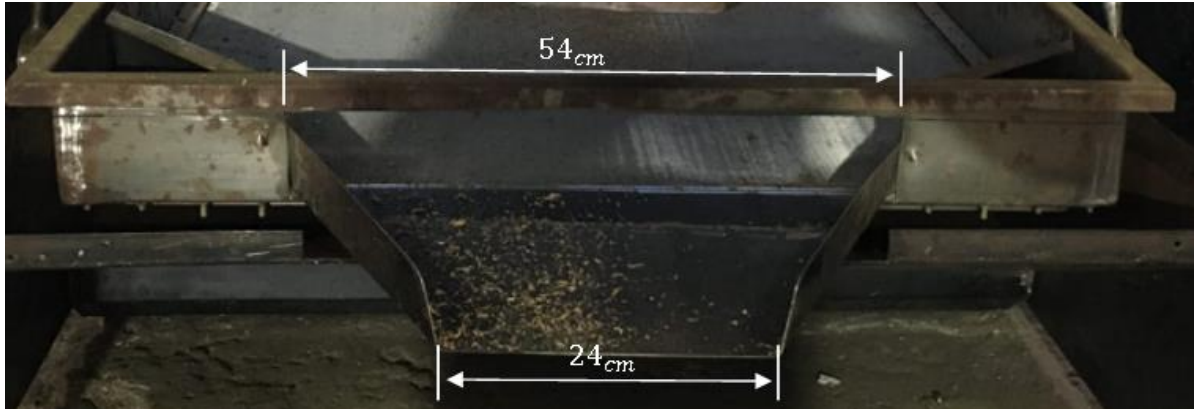
Los esfuerzos calculados en la unión soldada no son elevados debido a sus bajas cargas en la zaranda por tal motivo la soldadura presenta un factor de seguridad alto, permitiendo un diseño confiable y seguro.

El factor de seguridad ( $FS$ ) puede disminuir notoriamente si se disminuye la altura del cordón, sin embargo, se decide dejar este  $FS$  para contrarrestar las variaciones en el proceso de soldado ya que este proceso es implementado manualmente por un operario.

**3.3.3 Zaranda Inferior.** Para el diseño de la zaranda inferior se decide utilizar el mismo diseño de la zaranda superior cambiando solo el canal de salida y el tipo de malla, esto debido a que la zaranda inferior revise solo el 75% de carga inicial recibida por la zaranda superior, lo cual permite determinar que sus apoyos laterales no superan en carga a los apoyos laterales de la zaranda superior, por tal motivo se utilizara el mismo diseño de soldadura para esta zaranda garantizando su seguridad.

El diseño de la zaranda inferior cuenta con un cañal de salida más pequeño, el cual permite evacuar el 37,5 % de cuesco triturado que entrega la máquina trituradora, aunque la cantidad de cuesco es mayor en comparación al material retenido en la zaranda superior, este tiene menor volumen debido a que sus partículas son más esféricas y de menor diámetro, permitiendo ocupar menos espacio entre ellas, basado en lo anterior el diseño del canal de salida cuenta con un ancho de entrada de 54 [cm] y una ancho de salida de 24 [cm] para evacuar el 37,5% de cuesco retenido por la zaranda. (ver figura 23).

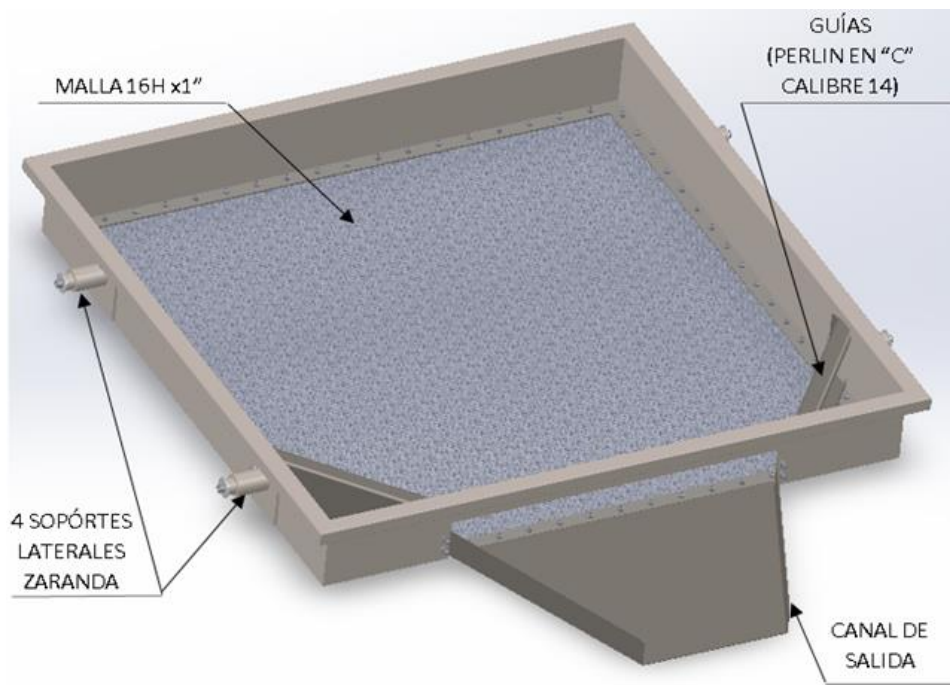
Figura 23. Canal de salida zaranda inferior.



Fuente: elaboración propia

Se selecciona como material de fabricación de la zaranda y el canal de salida, el mismo material utilizado en la zaranda superior (lámina de acero AISI 316 calibre 14), adicionalmente la zaranda inferior no cuenta con el perlin en “C” en el centro, debido a que en este nivel de cernido el cuesco se distribuido uniformemente por la superficie de cribado, sin embargo se diseñan unas guías laterales para evitar que el cuesco retenido por la zaranda se acumule en las esquinas de la salida del canal (ver figura 24).

Figura 24. Modelo CAD zaranda superior.



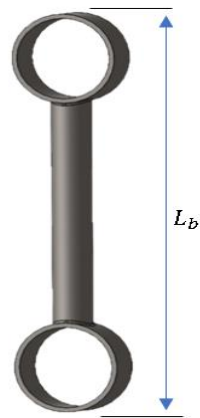
Fuente: elaboración propia

### 3.4 DISEÑO DE LAS BIELAS DE ZARANDA

Las bielas son las encargadas de sostener las zarandas en sus 4 extremos, así como a su vez permiten el movimiento oscilatorio para generar el cernido del cuesco, dichas bielas están diseñadas de diferentes longitudes esto con el fin de permitir la inclinación de las zarandas hacia un extremo y así lograr que el material retenido pueda salir.

El diseño planteado de las bielas sugiere utilizar una barra de acero AISI 1045 de un  $\varnothing \frac{3}{4}$ " soldada a una sección de tubo de acero AISI 1045 de 2", la sección de tubo circular será el soporte de los rodamientos en sus dos extremos (ver figura 25).

Figura 25. Biela de zaranda



Fuente: elaboración propia

Tanto la zaranda superior como la inferior poseen bielas de diferentes longitudes, esta variación de su longitud fue determinada por la inclinación de la zaranda, a continuación, se presenta una tabla con las dimensiones básicas de las bielas.

Cuadro 11. Evaluación de alternativas

DIMENSIONES BÁSICAS DE LAS BIELAS				
Descripción	Símbolo	Biela #1	Biela #2	Biela #3
Diámetro ext. Porta Rodamiento	$\emptyset_R$	2"	2"	2"
Diámetro de la barra	$\emptyset_b$	$\frac{3}{4}$ "	$\frac{3}{4}$ "	$\frac{3}{4}$ "
Longitud de la biela	$L_b$	226,6 mm	246,6 mm	266,6mm


Fuente: elaboración propia

Las bielas están apoyadas en rodamientos en sus extremos, por tal motivo se comportan como una barra de dos fuerzas, es decir que sus cargas están dirigidas en dirección axial a la biela.

La biela número 3 se encuentra en el soporte lateral de la zaranda con mayor carga, por tal motivo se realiza un análisis dinámico, determinado a su vez si la barra sufre alguna deformación bajo carga.

Cuadro 12. Cálculo sobre las bielas

<b>Cálculo de las cargas sobre la biela</b>		
<b>Ecuaciones</b>		<b>Diagrama</b>
$\sum F_y = ma_g$ $\sum F_y = F_b - F_2$		
Símbolos	Valor	Descripción
$F_2$	105,52 [N]	Fuerza ejercida en la punta (soporte "2" de la zaranda)
$m$	0,041 [kg]	Masa de la biela
$F_b$	105,52 [N]	Fuerza de reacción en la biela ( $F_b$ )
<b>Cálculo de la deformación de la biela</b>		
<b>Ecuaciones</b>		<b>Diagrama</b>

$\sigma = E * \varepsilon$ $\sigma = P/A$ $A = \Pi * d^2/4$ $P = F_b$ $\zeta = \frac{PL}{AE}$		
Símbolos	Valor	Descripción
$E$	195 [GPa]	Módulo de Young (acero AISI 1045)
$\varepsilon$	$1,85 \times 10^{-6}$	Deformación unitaria
$L$	170 [mm]	Longitud de la barra de la biela
$P$	105,52 [N]	Fuerza axial de la biela ( $F_b$ )
$d$	19,05[mm]	Diámetro de barra de la biela
$A$	$2,85 \times 10^{-4}$ [m <sup>2</sup> ]	Área transversal de la biela
$\sigma$	$370,24 \times 10^3$ [N/m <sup>2</sup> ]	Esfuerzo axial
$\zeta$	$3,22 \times 10^{-7}$ [mm]	Deformación de la axial de la biela

Fuente: elaboración propia

Como resultado de análisis de deformación se determinó que la carga ejercida en las bielas no genera mayor deformación axial, esta deformación es de aproximadamente 0,000000322 mm, lo cual determina que el diseño y material de la barra trabaja de modo seguro bajo estas condiciones.

Adicionalmente se debe tener en cuenta que para el análisis anterior se desprecia la masa de la biela (0,041 kg) por ser pequeña en comparación a las fuerzas aplicadas en la biela.

Para el cálculo de la unión soldada de la biela se determina que el tamaño del filete de soldadura será igual al espesor del tubo de acero de 2" el cual es de 2.5 mm, esto con el fin de aumentar sus capacidades de carga, de igual forma se utilizara un electro revestido número E6013.

3.4.1 Selección de Rodamiento de la Biela. Para la selección del rodamiento que se utilizaran en las bielas, se tiene en cuenta el diámetro del eje normalizado, la carga radial que soportará el rodamiento y el ambiente de trabajo, por tal motivo se elegirá un rodamiento de bolas el cual soportan cargas radiales altas y cargas axiales pequeñas, siendo uno de los rodamientos más comunes en el mercado.

Se utiliza el catálogo del fabricante NSK para el cálculo de la selección de rodamientos, adicionalmente se establece un factor de carga  $f_w = 1,6$  basado en las condiciones de trabajo y tipo de máquina. (ver cuadro 13).


Cuadro 13. Factor de carga  $f_w$

Grado de carga	Ejemplos	$f_w$
Movimiento uniforme sin ningún impacto	Acondicionador de aire, instrumento de medición, equipo de oficina	1 ~ 1,2
Con rotación estándar	Caja de engranajes, vehículo, máquina de fabricación de papel	1,2 ~ 1,5
Operación con vibración e impacto	Máquina laminadora, maquinaria de construcción, trituradora	1,5 ~ 3,0

Fuente: elaboración propia

Una vez determinado el factor de carga se puede conocer la carga real que soporta el rodamiento, así como su vida útil (ver cuadro 14).

Cuadro 14. Cálculos para la selección del rodamiento

Cálculos para la selección del rodamiento		
Ecuaciones		Diagrama
$K = f_w * K_C$ $f_h = f_v * C/P$ $P = XK_R + YK_A$ $YK_A = 0$ $L10h = \frac{16666}{n} * \left(\frac{C}{P}\right)^p$		
Símbolos	Valor	Descripción
$f_w$	1,6	Factor de carga
$f_h$	2,7	Factor de vida
$f_v$	0,77	Factor de velocidad
$n$	100 a 180 Rpm	Velocidad de funcionamiento
$X$	2,04	Factor de carga radial (rodamiento de simple efecto)
$Y$	0,54	Factor de carga axial (rodamientos de simple efecto)
$K_{CR}$	105,52 [N]	Carga radial teórica
$K_R$	168,83 [N]	Carga radial real
$K_{CA}$	0,0	Carga axial teórica
$K_A$	0,0	Carga axial real

$C$	1,45 [KN]	Capacidad de carga dinámica básica
$P$	344,41 [N]	Carga dinámica equivalente
$p$	<b>3</b>	3 para los rodamientos de bolas
$L_{10h}$	10.000,0 [h]	Vida nominal (horas de funcionamiento)

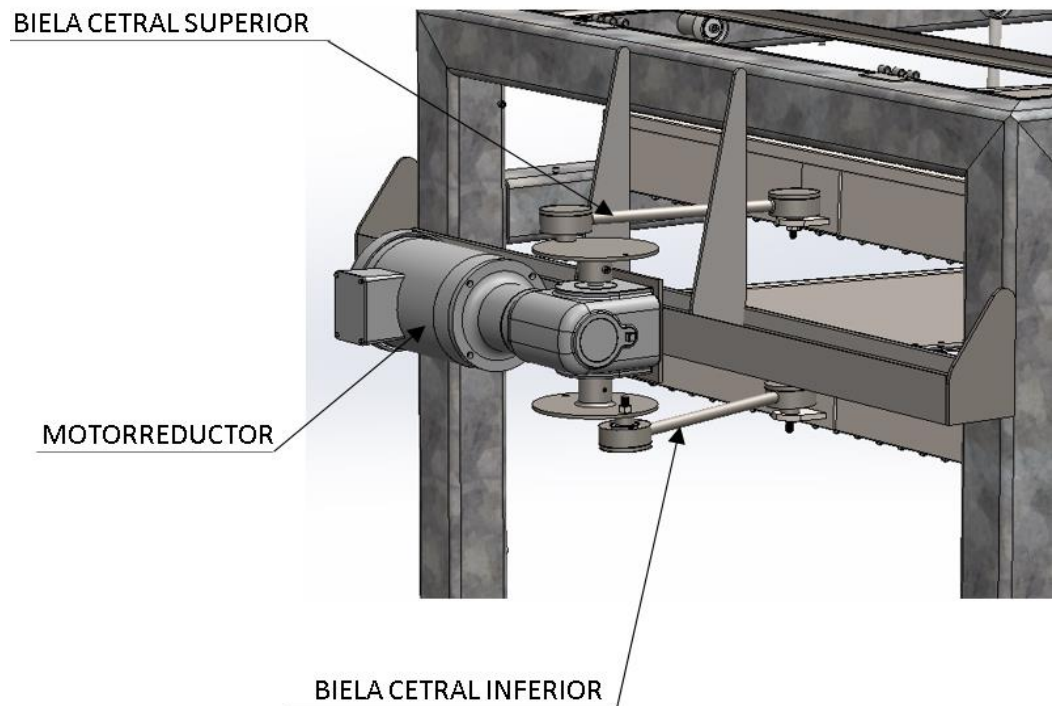
Fuente: elaboración propia

La capacidad de carga dinámica del rodamiento calculado es de 1,45 [KN], por tal motivo se selecciona un rodamiento con mayor capacidad de carga dinámica para garantizar más de 10.000,0 horas de funcionamiento, el rodamiento de bolas seleccionado es el 16005 2RS del catálogo de rodamientos del fabricante NSK (ver anexo C).

### 3.5 SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA

El sistema de transmisión de potencia está compuesto un sistema mecánico manivela biela corredera, las cuales se unen a las zarandas superior e inferior, estas transmiten el movimiento circular del motorreductor en movimiento lineal oscilatorio para el cernido de la cascarilla (ver figura 26).

Figura 26. Sistema de transmisión de potencia.



Fuente: elaboración propia

El recorrido de la zaranda está dado por el diámetro del disco central, el cual fue determinado teniendo en cuenta el desplazamiento máximo permitido por la zaranda, este desplazamiento es de 146 mm y permite generar el movimiento oscilante de las zarandas.

### 3.6 BIELAS CENTRALES DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA

Las bielas centrales hacen parte del sistema de transformación del movimiento circular del motorreductor a un movimiento alternativo oscilatorio, dicho sistema es aplicado para las dos zarandas, teniendo en cuenta el sentido del movimiento de las zarandas, es decir, cuando la zaranda superior se desplace hacia la derecha

entonces la zaranda inferior deberá desplazarse en sentido contrario, esto con el fin de reducir grandes vibraciones y sobrecargas en el motorreductor.

El diseño planteado de las bielas centrales sugiere utilizar una barra de acero AISI 1045 de un  $\varnothing$  18 mm soldada a una sección de tubo de acero AISI 1045 de  $2\frac{7}{8}$ " (ver Figura 27).

Figura 27. Biela central



Fuente: elaboración propia

Las bielas permiten alojar rodamientos en sus extremos con el fin de acoplarse a la zaranda y el disco central del motorreductor, la longitud de la biela es de 423 mm tanto para la zaranda superior como inferior, sin embargo, la biela central que se acopla a la zaranda superior es la que recibe mayor carga debido a que esta zaranda recibe mayor volumen de cuesco triturado.

Se determina la carga que soporta la biela central superior cuando la zaranda se encuentra en su desplazamiento máximo con velocidad cero y máxima aceleración gravitacional y esta quiere retornar a su punto de equilibrio (ver cuadro 15).

La aceleración fue determina de la simulación dinámica realizada por SolidWorks y esta tiene un valor aproximado a una gravedad.

Cuadro 15. Cálculo de la carga en la biela central

Diagrama		
$\sum F_x = 2F_1 \cos(\phi_1) + 2F_2 \cos(\phi_2) - F_3 = -ma_g$		
Símbolos	Valor	Descripción
$\phi_1$	27.03°	Ángulo generado por la fuerza de la biela en el apoyo "1"
$\phi_2$	21.41°	Ángulo generado por la fuerza de la biela en el apoyo "2"
$m$	3.42 [Kg]	Masa total de la zaranda con carga.
$a_g$	9,121 [ $\frac{m}{s^2}$ ]	Aceleración gravitacional de la zaranda con carga
$P_z$	23,6 [Kgf]	Peso de la zaranda
$P_c$	10,0 [Kgf]	Peso máximo de la carga de cuesco
$F_1$	59,48 [N]	Fuerza ejercida en el soporte "1" de la zaranda

$F_2$	105,52 [N]	Fuerza ejercida en el soporte "2" de la zaranda
$F_3$	333,69 [N]	Fuerza axial que ejercida por la biela central


Fuente: elaboración propia

La biela central superior está sometida a una carga axial de 333,69 [N], esta fuerza es generada cuando la zaranda se encuentra en su desplazamiento máximo derecho o izquierdo de su punto de equilibrio, el desplazamiento máximo y los ángulos en las bielas laterales  $F_1$  y  $F_2$  se obtiene de la simulación CAD de la máquina, adicionalmente se desprecia la masa de la biela por ser muy pequeña (0,012 kg) para efectos del cálculo de las fuerzas.

La fuerza de la biela central permite determinar si sufre alguna deformación bajo carga, así como la selección del rodamiento.

Cuadro 16. Cálculo sobre la biela central.

<b>Cálculo de las cargas sobre la biela central</b>		
<b>Ecuaciones</b>		<b>Diagrama</b>
$\sum F_x = ma_g$ $\sum F_x = F_{bc} - F_3$		
<b>Símbolos</b>	<b>Valor</b>	<b>Descripción</b>
$F_3$	322,69 [N]	Fuerza ejercida en la punta por la zaranda
$m$	0,12 [kg]	Masa de la biela central

$F_{bc}$	333,69 [N]	Fuerza de reacción en la biela central
<b>Cálculo de la deformación de la biela</b>		
<b>Ecuaciones</b>		<b>Diagrama</b>
$\sigma = E * \varepsilon$ $\sigma = P/A$ $A = \Pi * d^2 / 4$ $P = F_b$ $\zeta = \frac{PL}{AE}$		
<b>Símbolos</b>	<b>Valor</b>	<b>Descripción</b>
$E$	195 [GPa]	Módulo de Young (acero AISI 1045)
$\varepsilon$	$5,95 \times 10^{-6}$	Deformación unitaria
$L_b$	277 [mm]	Longitud de la barra de la biela
$L$	423 [mm]	Longitud total de la biela
$P$	333,69 [N]	Fuerza axial de la biela ( $F_{bc}$ )
$d$	18,0 [mm]	Diámetro de barra de la biela
$A$	$2,54 \times 10^{-4}$ [m <sup>2</sup> ]	Área transversal de la biela central

$\sigma$	$1190,71 \times 10^3 \text{ [N/m}^2\text{]}$	Esfuerzo axial
$\zeta$	$2,89 \times 10^{-6} \text{ [mm]}$	Deformación de la axial de la biela central

Fuente: elaboración propia


La biela central está sometida a una fuerza la cual se comporta a tensión en medio recorrido de la zaranda y a compresión en el recorrido restante, sin embargo, bajo esta condición la barra de la biela no sufre mayor deformación ya que esta es aproximadamente igual a cero.

Para el cálculo de la unión soldada de la biela se determina que el tamaño del filete de soldadura será igual al espesor del tubo de acero de  $2 \frac{7}{8}$  el cual es de 3.5 mm, esto con el fin de aumentar sus capacidades de carga, de igual forma se utilizara un electro revestido número E6013.

3.6.1 Selección de Rodamiento de la Biela Central. El comportamiento de la biela central es similar al de una rótula, puesto que el movimiento oscilatorio de las zarandas hace que las bielas centrales no se mantengas horizontal, por tal motivo se utiliza el catálogo del fabricante NSK para el cálculo de la selección de rodamientos, adicionalmente se establece un factor de carga  $f_w = 2,0$  (ver tabla 11) basado en las condiciones de trabajo y el impacto generado por el movimiento oscilatorio de la zaranda.

Una vez determinado el factor de carga se puede conocer la carga real que soporta el rodamiento, así como su vida útil, para esto se decide utilizar un rodamiento de bolas a rótula, los cuales permiten desalineación estática y dinámica, siendo los más comunes para este tipo de aplicación (ver cuadro 17),

Cuadro 17. Cálculos para la selección del rodamiento de bolas a rótula.

Cálculos para la selección del rodamiento		
Diagrama		Ecuaciones
		$K = f_w * K_C$ $f_h = f_n * C/P$ $P = 0.65K_R + Y_2K_A$ $P_0 = K_R + Y_0K_A$
Símbolos	Valor	Descripción
$f_w$	2.0	Factor de carga
$f_h$	2,7	Factor de vida
$f_v$	0,77	Factor de velocidad
$n$	100 a 180 Rpm	Velocidad de giro [rpm]
$e$	0.52	Factor de cálculo
$d$	20,0 mm	Diámetro del eje normalizado
$Y_2$	1,9	Factor de carga radial (rodamiento de bolas a rótula)
$Y_0$	1,3	Factor de carga equivalente (rodamiento de bolas a rótula)
$K_{CR}$	302,44 [N]	Carga radial teórica
$K_R$	604.88 [N]	Carga radial real
$K_{CA}$	8,99 [N]	Carga axial teórica (pero de la biela)
$K_A$	17,99[N]	Carga axial real
$C$	1,498 [KN]	Capacidad de carga dinámica básica

$P$	427,35 [N]	Carga dinámica equivalente del rodamiento
$P_0$	628,267 [N]	Carga estática equivalente del rodamiento
$L_{10h}$	10.000,0 [h]	Vida nominal (horas de funcionamiento)

Fuente: elaboración propia

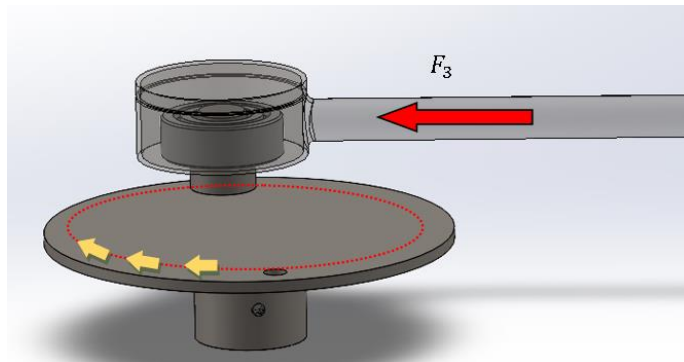
La capacidad de carga dinámica del rodamiento calculado es de 1,498 [KN], por tal motivo se selecciona un rodamiento con mayor capacidad de carga dinámica para garantizar más de 10.000,0 horas de funcionamiento, el rodamiento de bolas a rótula seleccionado es el 2304 TN9 del catálogo de rodamientos del fabricante NSK (ver anexo C).

### 3.7 DISEÑO DEL DISCO CENTRAL DEL MECANISMO DE MOVIMINETO

El disco central consiste en una platina de acero AISI 1045 de ¼" de espesor en forma circular, soldada a un buje del mismo acero, en el cual se acopla el eje del motorreductor para transmitir el movimiento a las bielas centrales.

El disco recibe la carga transmitida por las bielas, en este caso se toma la biela con mayor carga para el cálculo de la soldadura (ver figura 28).

Figura 28. Disco central del motorreductor.



Fuente: elaboración propia

La carga máxima que recibe el disco ocurre cuando la zaranda se encuentra en su desplazamiento máximo a la derecha o a la izquierda de su punto de equilibrio, por tal motivo se utiliza esta fuerza para calcular el tamaño de la soldadura (ver cuadro 18).

Cuadro 18. Cálculos de la soldadura en el disco central.

<b>Cálculo de la soldadura en el disco central del motorreductor</b>	
Diagrama por torsión	Ecuaciones
	$A = \pi * d$ $M_t = F * L_d$ $J_U = \pi * \left(\frac{d^3}{4}\right)$ $J = 0,707 * h_c * J_U$ $H = 0.707 * h_c$ $\tau_d = \frac{V}{A} \quad \tau_t = \frac{M*r}{J}$ $\tau_{max} = \sqrt{(\tau_d)^2 + (\tau_t)^2} \leq C * \sigma_{admissible}(sold)$ $\tau_{admissible} = 0.6 * \sigma_{admissible}(sold)$ $FS = \frac{\tau_{admissible}}{\tau_{max}}$
<b>Disco central</b>	



Símbolos	Valor	Descripción
$A$	149,23 [ $mm^2$ ]	Área de la garganta en todas las soldaduras.
$L_d$	73,0 [ $mm$ ]	Distancia del punto de aplicación de la fuerza al centro del disco
$L_B$	350,0 [ $mm$ ]	Longitud de la biela central desde sus puntos de acople
$\emptyset$	78°	Ángulo de la fuerza $F_3$
$r$	23,75 [ $mm$ ]	Radio de la sección transversal del elemento bajo torsión
$C$	0.6	Constante menor que 1
$V$	333,69 [ $N$ ]	Fuerza cortante generada por la fuerza $F_3$ cuando la zarandas estas en desplazamiento máximo
$d$	47,5 [ $mm$ ]	Diámetro exterior del buje que se acopla al eje de motorreductor
$M_t$	24.4 [ $Nm$ ]	Momento de torsión que actúa sobre el buje
$h_c$	5,0 [ $mm$ ]	Longitud del cateto de la soldadura
$H$	3,35 [ $mm$ ]	Altura del cordón (Plano cortante de la garganta)
$J_U$	$8,42 \times 10^{-5}$ [ $m^2$ ]	Momento de inercia de área polares unitarios

$J$	$2,98 \times 10^{-7} [m^3]$	Momento resistente de la garganta de la junta
$\tau_t$	$2,2 [MPa]$	Esfuerzo cortante por torsión
$\tau_d$	$1,94 [MPa]$	Esfuerzo de corte directo
$\tau_{max}$	$2,93 [MPa]$	Esfuerzo cortante máximo
$\sigma_{admissible}$	$345 [MPa]$	Resistencia de fluencia del electrodo E6013
$\tau_{admissible}$	$207 [MPa]$	Esfuerzo admisible de la soldadura
$FS$	$70$	Factor de seguridad de la unión soldada

Fuente: elaboración propia


El esfuerzo cortante máximo generado por el esfuerzo cortante por torsión y cortante directo, no es elevado debido a que el disco está sometido a baja carga, sin embargo, se decide conservar la garganta del cordón de soldadura ( $H = 3.35 [mm]$ ), con el fin de contrarrestar las variaciones en el proceso de soldado ya que este proceso es implementado manualmente por los operarios.

El factor de seguridad determinado es alto, debido a lo robusto del diseño, esto con el fin de reducir la probabilidad de falla y garantizar una larga vida útil, ya que la máquina funcionará 8 horas diarias continuas.

### 3.8 SELECCIÓN DE MOTORREDUCTOR

Para la selección del motorreductor se debe conocer el momento torsor generado por las cargas en el disco central. El montaje del motorreductor debe contar con dos discos centrales, tanto para la zaranda superior como inferior, teniendo en cuenta que la zaranda inferior ejerce un 25% menos de la carga ejercida por la zaranda superior, por tal motivo el momento torsor que actúa sobre el eje de salida del motorreductor es igual a  $1,75 M_t$ , siendo  $M_t = 24.4 [Nm]$ .

Cuadro 19. Potencia requerida motorreductor.

Potencia requerida Motorreductor		
Ecuaciones		Motorreductor
$H_{motor} = \frac{T*n}{63025}$ $T = 1.75 M_t$		
Símbolos	Valor	Descripción
$M_t$	24,4 [Nm]	Momento de torsión que actúa sobre el buje y se transmite al eje del motorreductor
$n_{max}$	180 [RPM]	Revoluciones por minuto del eje de salida
$T$	42,7 [Nm]	Torque requerido [Nm]
$T$	377,9 [lbf in]	Torque requerido [lbf in]
$H_{motor}$	1.0 [HP]	Potencia requerida

Fuente: elaboración propia

La potencia necesaria para el funcionamiento de la máquina cuando está se encuentra sometida a su capacidad máxima de carga es de aproximadamente 1.0 [HP]. por tal motivo se selecciona un motorreductor sin fin corona trifásico con las siguientes características (ver catalogo en anexo D).

**Potencia:** 1.0 [HP]

**Velocidad de salida:** 180 [RPM]

**Relación:** 10 a 1

**Caja reductora:** NMRV50.

Figura 29. Motorreductor



Fuente. MOTORREDUCTOR 2HP sinfín corona - Exhibir Equipos [Anónimo]. Exhibir Equipos [página web]. Disponible en: <https://exhibirequipos.com/producto/motorreductor-sinfin-corona-2hp/>

Figura 30. Especificaciones técnicas Motorreductor

#### Especificaciones técnicas

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

Fuente. MOTORREDUCTOR 2HP, Op. cit., sinfín corona - Exhibir Equipos [Anónimo]. Exhibir Equipos [página web]. Disponible en: <https://exhibirequipos.com/producto/motorreductor-sinfin-corona-2hp/>

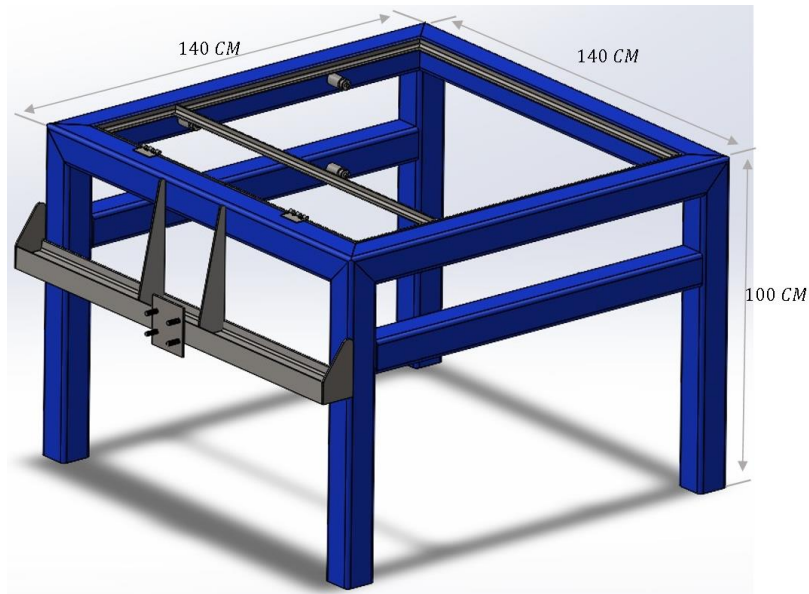
La información y especificaciones técnicas del motorreductor se encuentran en los anexos.

### **3.9 DISEÑO DEL BASTIDOR**

El bastidor es uno de los componentes más importantes a tener en cuenta en el diseño de la máquina cernidora, este se plantea bajo dimensiones específicas determinadas por el espacio permitido que se cuenta debajo de la máquina trituradora de cascarilla.

La estructura central del bastidor (ver figura 31. *(componente azul)*) es diseñada en tubo cuadrado de acero AISI 1020 de 4" calibre 8 y los demás componentes son diseñados bajo las condiciones de ensamble y funcionamiento de la máquina.

Figura 31. Dimensiones del Bastidor



Fuente: elaboración propia

Las cargas más importantes que recibe el bastidor son las cargas ejercidas por las bielas de las zarandas, estas están aplicadas en los soportes laterales de la estructura central del bastidor, dichos soportes son diseñados de tal manera sean soldados a la estructura permitiendo un anclaje sólido y seguro.

La carga máxima que reciben los soportes laterales es de 105,52 [N] en su extremo, por tal motivo se determina la fuerza cortante y el momento flector del soporte lateral.

Cuadro 20. Cálculo de las cargas en los soportes laterales del bastidor.

<b><i>Cálculo de las cargas en los soportes laterales del bastidor.</i></b>	
<b>Ecuaciones</b>	<b>Diagrama</b>

$(\curvearrowright)$ $\sum M_E = F_b * a$ $\sum M_E = 0$ $\sum F_y = 0$ $\sum F_y = -F_b + V_E$		
Símbolos	Valor	Descripción
$a$	58,1 [mm]	Distancia entre el centro de presión de la carga y la estructura central del bastidor
$F_b$	105,52 [N]	Fuerza ejercida en la punta del soporte lateral de la estructura central del bastidor
$V_E$	105,52 [N]	Fuerza de corte ejercida la unión soldada
$M_E$	6,13[N * m]	Momento flector que actúa en la unión del soporte lateral

Fuente: elaboración propia

Con la fuerza cortante, momento flector definidos del soporte lateral de la estructura central del bastidor, se determinan los cálculos de la unión soldada, teniendo en cuenta que se utilizara el mismo electrodo AWS E6013 y soldadura de filete utilizado en el soporte lateral de las zarandas.

El tamaño de la soldadura es determinado por el espesor del tubo cuadrado de 4", ya que la soldadura de filete se toma el espesor del objeto más delgado unido, en este caso es de calibre 8 (4,18 [mm]).

Para el cálculo de la unión soldada se determina el esfuerzo de corte puro generado por la fuerza de corte, permitiendo determinar a su vez el esfuerzo normal por flexión, posteriormente se determinan los esfuerzos principales lo cuales permiten

determinar por medio de la teoría (esfuerzos cortantes máximos) el factor de seguridad (ver cuadro 21).

Cuadro 21. Cálculo de soldadura soporte lateral del bastidor.

Cálculo de la soldadura soporta lateral de la zaranda		
Diagrama por flexión		
<p>El diagrama ilustra el cálculo de la soldadura. A la izquierda, un triángulo de esfuerzos cortantes muestra la altura <math>H</math> y el espesor <math>h_c</math>. Debajo, un círculo de diámetro <math>d</math> representa el diámetro soporte. A la derecha, un cilindro de soldadura alrededor de un eje muestra el momento <math>M_E</math>, la fuerza <math>V_E</math> aplicada en la base, la fuerza <math>F_b</math> aplicada a una distancia <math>a</math>, y la soldadura alrededor del eje.</p>		
Ecuaciones		
$A = \pi * d$ $I = 0,707 * h_c * I_U$ $H = 0.707 * h_c$ $\tau = \frac{V_E}{A} \quad \tau = \frac{M}{I}$ $I_U = \pi * \left(\frac{d^2}{4}\right)$ $\tau \approx \sigma = M / (0,707 * h_c * I_U)$ $\tau_{admissible} = 0.6 * \sigma_y$ $FS = \frac{\tau_{admissible}}{\tau_{max}}$		
Símbolos	Valor	Descripción
$A$	109,96 [ $mm^2$ ]	Área de la garganta en todas las soldaduras.

$V_E$	105,52 [N]	Fuerza cortante generada por la fuerza $F_b$
$d$	35,0 [mm]	Diámetro del soporte lateral
$M_2$	6,13 [N * m]	Momento flector que actúa en la unión del soporte lateral
$h_c$	4,18 [mm]	Longitud del cateto de la soldadura
$H$	2,96 [mm]	Altura del cordón (Plano cortante de la garganta)
$I_U$	962,11 [mm <sup>2</sup> ]	Momento resistente unitario
$I$	2843.28 [mm <sup>3</sup> ]	Momento resistente de la garganta de la junta
$\tau'$	0,96 [MPa]	Esfuerzo de corte puro generado por la fuerza de corte $V_E$
$\tau$	2,16 [MPa]	Esfuerzo cortante máxima
$\sigma$	2,16 [MPa]	Esfuerzo normal por flexión en la junta
$\sigma_y$	345 [MPa]	Resistencia de fluencia del electrodo E6013
$\tau_{admissible}$	207 [MPa]	Tensión admisible para el corte de filete
$FS$	95	Factor de seguridad de la unión soldada

Fuente: elaboración propia

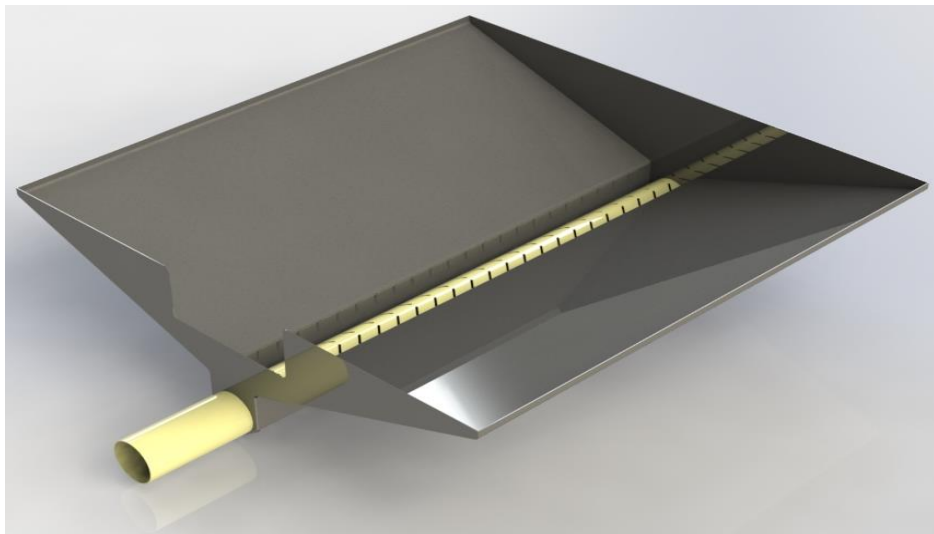
Los esfuerzos calculados en la unión soldada a la estructura central del bastidor son relativamente pequeños, debido al diseño robusto que se decide implementar para la máquina, por tal motivo el factor de seguridad ( $FS$ ) es alto asegurando su confiabilidad y larga vida útil.

### 3.9 DISEÑO CANAL INFERIOR EN “U”

El canal de salida en “u” es el encargado de recolectar todo el material particulado que pasa por las dos zarandas, dicho canal permite transportar el polvo y material particulado al ciclón, el cual se encarga de separar partículas que será utilizada como abono para plantas.

El diseño planteado para el cañal sugiere utilizar lámina de acero inoxidable 316 de 1.9 mm de espesor, el cual posee una alta resistencia a la corrosión y un buen acabado superficial, permitiendo que las partículas que caen de las zarandas resbalen en su superficie.

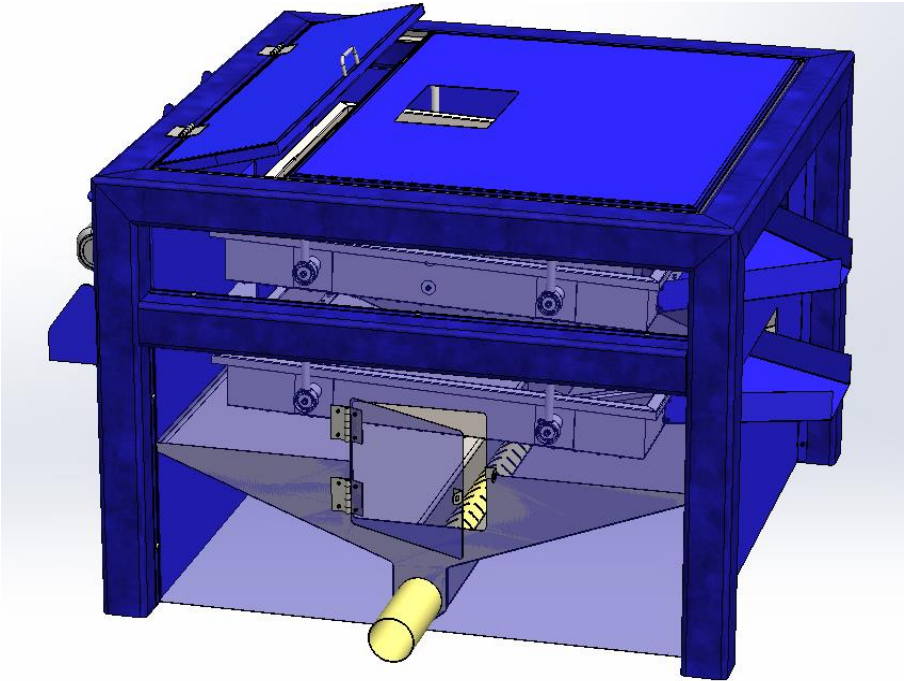
Figura 32. Dimensiones del Bastidor



Fuente: elaboración propia

El canal cuenta con un tubo PVC de 4” para el retiro y transporte del material particulado hacia el ciclón, este se encuentra en la parte inferior de la máquina, adicionalmente toda la máquina es encerrada en chapa metálica asegurando retener todo el polvo que se genera por el cernido y así el polvo pueda ser succionado por el tubo PVC hacia el ciclón (ver figura 33).

Figura 33. Ensamble canal inferior en "U"



Fuente: elaboración propia

#### 4. SISTEMA DE CONTROL ELÉCTRICO

Un variador de frecuencia es un regulador industrial que regula las velocidades de los motores eléctricos de corriente alterna y se encuentra posicionado entre la alimentación energética y el motor. Para el sistema de control eléctrico INDUSTRIAS ACUÑA contaba con un variador de marca Yuskawa v1000 (figura 33.) que se adecuaba perfectamente a los parámetros del motor.

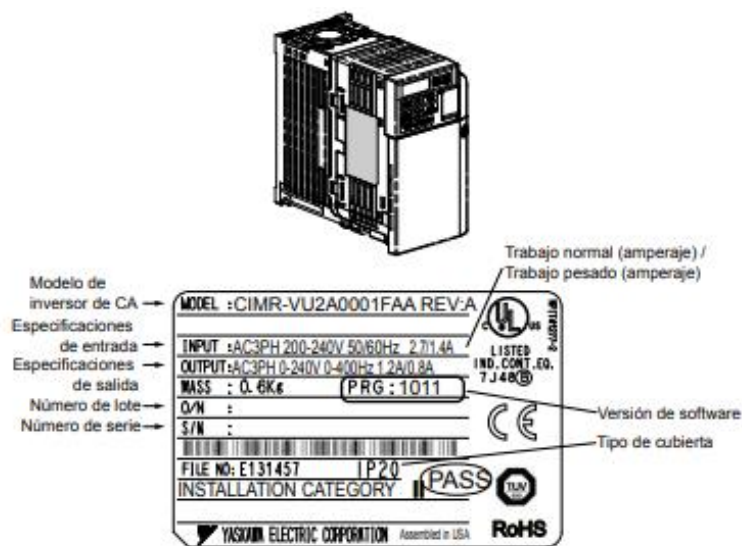
Figura 34. Variador de frecuencia



Fuente: elaboración propia

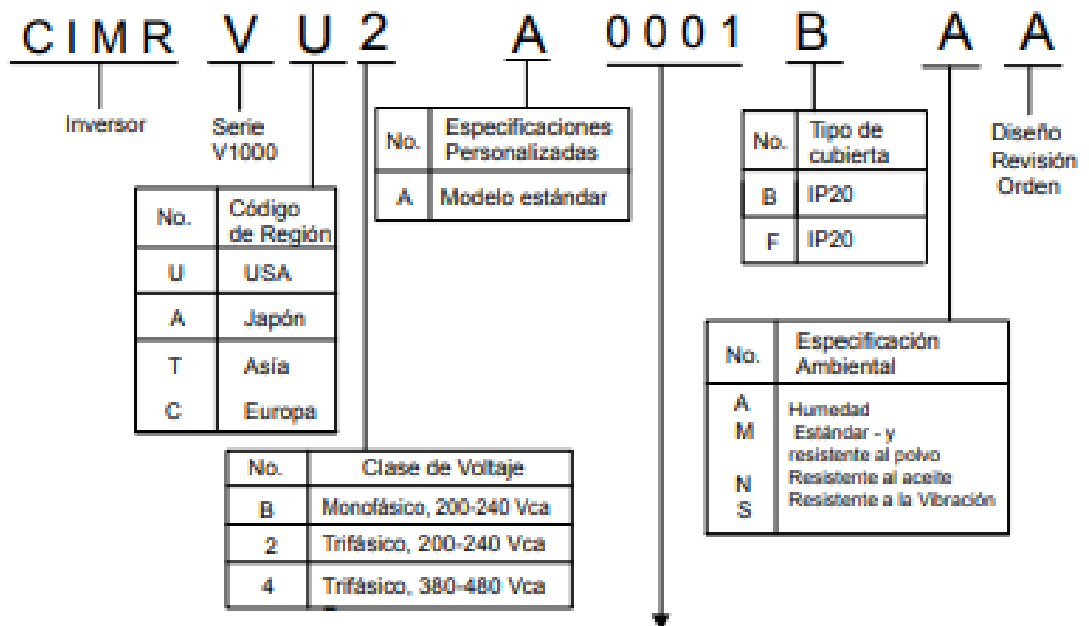
El modelo específico del variador se representa mediante la información de la placa de nombre (ver figura 35) en este caso el variador posee la información de la placa CIMR V U 2 A 0006 B A A, en la (ver figura 36) se muestra el significado de cada sigla que contiene el número de placa del variador.

Figura 35. Variador de frecuencia



Fuente. VARIADOR DE Frecuencia j1000 | PDF | Corriente eléctrica | Señal análoga [Anónimo]. Scribd [página web]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/125473938/Variador-de-Frecuencia-j1000>

Figura 36. Variador de frecuencia



**200 V Monofásico**

Trabajo Normal		
No.	Capacidad Máx. del Motor kW	Corriente Nominal de Salida A
0001	0.2	1.2
0002	0.4	1.9
0003	0.75	3.3
0006	1.1	6
0010	2.2	9.6
0012	3.0	12
—	—	—

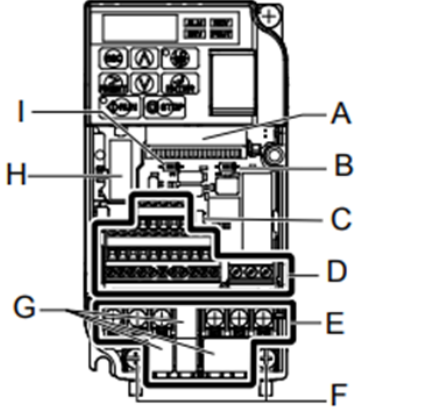
Trabajo Pesado		
No.	Capacidad Máx. del Motor kW	Corriente Nominal de Salida A
0001	0.1	0.8
0002	0.2	1.6
0003	0.4	3
0006	0.75	5
0010	1.5	8
0012	2.2	11
0018	3.7	17.5

**Nota:** CIMR-V□□El BA0018 está disponible sólo con capacidad para trabajo pesado.

Fuente. YASKAWA ELECTRIC TOSP C710606 22B Inversor de CA YASKAWA - V1000 Manual Técnico

**4.1 PRINCIPALES CONEXIONES DEL VARIADOR**

Cuadro 22. Función de las conexiones.

CIMR-V□2A0006B	INDICADOR	FUNCION
		A
	B	INTERRUPTOR DIP S1
	C	INTERRUPTOR DIP S3
	D	TERMINAL DE CIRCUITO DE CONTROL
	E	TERMINAL DE CIRCUITO PRINCIPAL
	F	TERMINAL DE TIERRA
	G	TAPA DE LA TERMINAL
	H	CONEXIÓN DE TARJETA OPCIONAL
	I	INTERRUPTOR DIP S2

*fuelle. YASKAWA ELECTRIC TOSP C710606 22B Inversor de CA YASKAWA - V1000 Manual Técnico*

Fuente: elaboración propia

La Figura 37 muestra las principales conexiones de este módulo, se tiene acceso a estas si retiramos las cubiertas de la parte frontal, donde se pudo observar partes de las conexiones y se cuenta con otro segmento en la parte inferior para otro bloque de conectores.

Figura 37. Conexión motor-variador



Fuente: elaboración propia

## 4.2 TECLAS Y FUNCIONES DEL VARIADOR

Cuadro 23. Puesta en marcha variador.

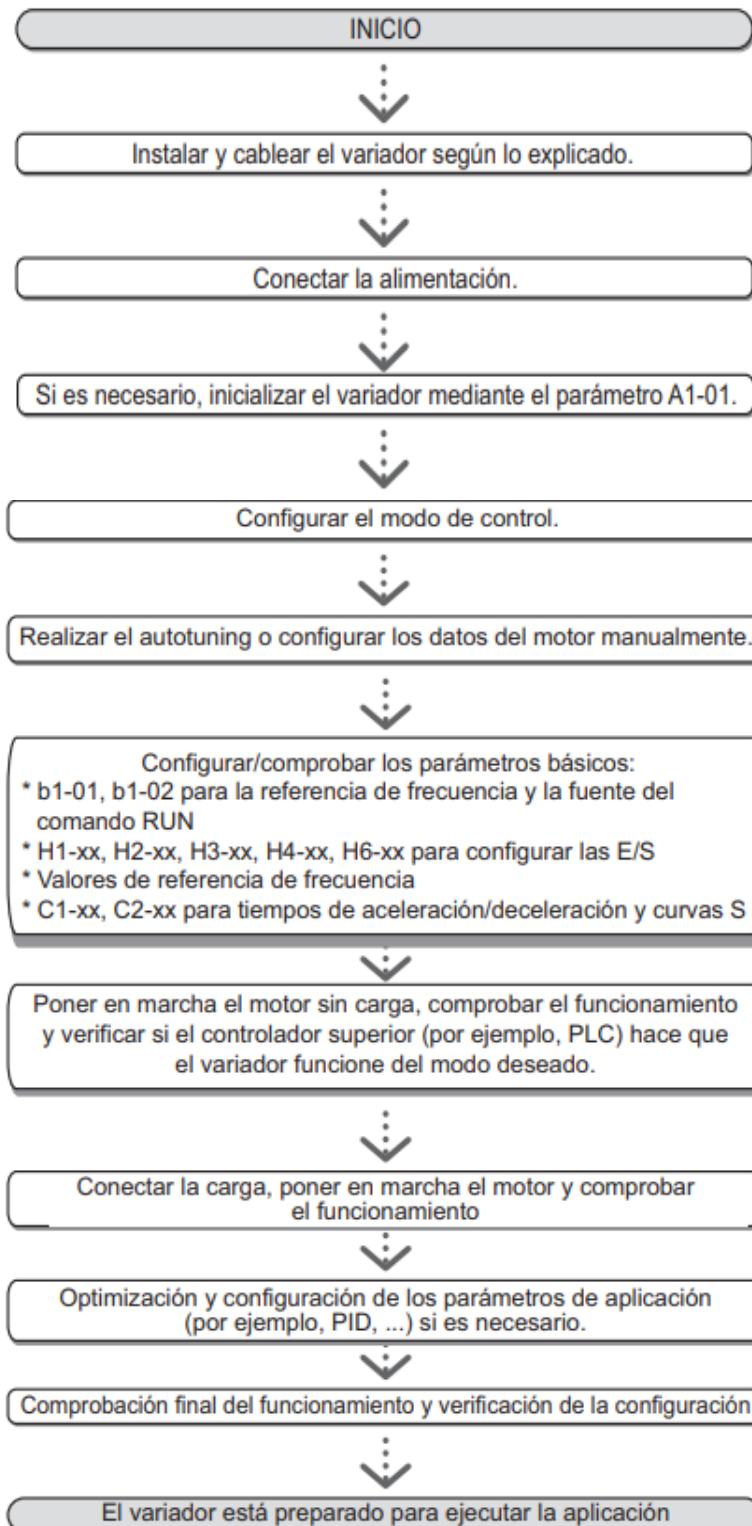
Visualización	Nombre	Función
	Área de visualización de datos	Muestra la referencia de frecuencia, el número de parámetro, etc.
	Tecla ESC	Vuelve a la pantalla anterior.
	Tecla RESET	Mueve el cursor hacia la derecha. Resetea un fallo.
	Tecla RUN	Inicia el variador en el modo LOCAL. El LED de RUN <ul style="list-style-type: none"> <li>• está encendido mientras el variador acciona el motor.</li> <li>• parpadea durante la deceleración hasta la parada o cuando la referencia de frecuencia es 0.</li> <li>• parpadea rápidamente cuando el variador está desactivado por ED, el variador se ha parado por una ED de parada rápida o un comando RUN estaba activo durante el encendido.</li> </ul>
	Tecla de flecha arriba	Permite desplazarse hacia arriba para seleccionar números de parámetro, seleccionar valores, etc.
	Tecla de flecha abajo	Permite desplazarse hacia abajo para seleccionar números de parámetro, seleccionar valores, etc.
	Tecla STOP	Detiene el variador.
	Tecla ENTER	Selecciona modos, parámetros y se utiliza para almacenar configuraciones.
	Tecla de selección LO/RE	Alterna el control del variador entre operador (LOCAL) y los terminales del circuito de control (REMOTO). El LED está encendido mientras el variador está modo LOCAL (operación desde el teclado).
	Luz del LED ALM	Parpadea: El variador está en estado de alarma. Encendida: El variador está en estado de fallo y se ha parado la salida.
	Luz del LED REV	Encendida: La dirección de rotación del motor es inversa. Apagada: La dirección de rotación del motor es directa.
	Luz del LED DRV	Encendida: El variador está preparado para accionar el motor. Apagada: El variador está en modo de verificación, configuración, ajuste de parámetros o autotuning.
	Luz LED FOUT	Encendida: La frecuencia de salida se muestra en la pantalla de datos. Apagada: En la pantalla de datos se muestra otra información distinta de la frecuencia de salida.

Fuente. YASKAWA ELECTRIC TOSP C710606 22B, Op. cit., p. 15. Inversor de CA YASKAWA - V1000 Manual Técnico

#### 4.3 MANUAL DE OPERACIÓN DEL VARIADOR

Es importante proporcionar una guía o un manual de operación de la puesta en marcha del variador de frecuencia para ello en la imagen siguiente se muestra el procedimiento de configuración básica del variador.

Cuadro 24. Puesta en marcha variador

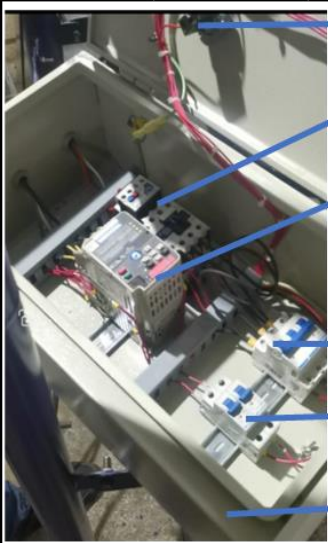


Fuente. V1000 GUÍA rápida de referencia [Anónimo]. Soluciones industriales | RS, anteriormente RS Components [página web]. Disponible en: <https://es.rs-online.com/es/pdf/V1000.pdf>

El manual de operación del variador se encuentra más detallado en la sección de anexos de este proyecto (ver anexo E).

#### 4.4 CONEXIONES FINALES DEL VARIADOR

Cuadro 25. Conexiones finales variador.

	INDICADOR	FUNCION
	1	POTENCIOMETRO
	2	CONTACTOR
	3	VARIADOR YASKAWA V1000
	4	SWITCHS DEL CICLON
	5	SWITCHS DE LA CERNIDORA
	6	CAJA DE CONTROL
NOTA: CONEXIONES FINALES DE LA MAQUINA		

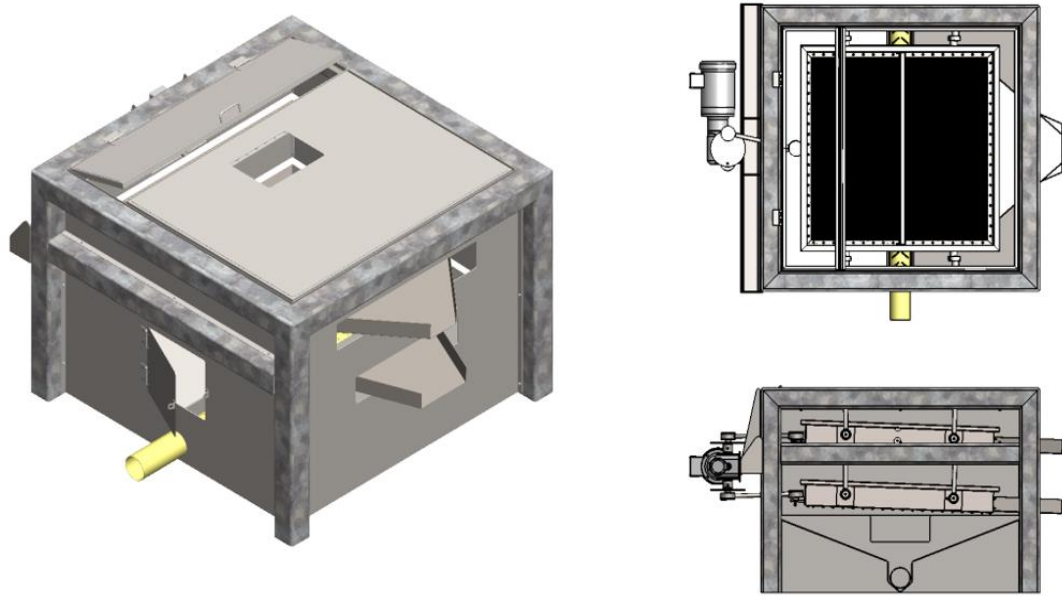
Fuente: elaboración propia

#### 4.5 DISEÑO FINAL DEL EQUIPO

A continuación, se presenta el diseño asistido por computador (CAD) suministrado por el software SolidWorks y la ingeniería asistida por computador (CAE) que consiste en el uso del software para analizar rendimientos y simulaciones de fuerzas en la cernidora.

#### 4.6 DISEÑO FINAL CAD

Figura 38. Diseño final del equipo (CAD)



Fuente: elaboración propia

En la figura 35 se muestra el ensamble general de la cernidora de palma africana en una vista isométrica, superior y frontal para evidenciar las posiciones del ensamble final de la máquina tales como, posición del motor, posición e inclinación de las zarandas, bielas de zaranda, el sistema mecánico de la transmisión de movimiento de la cernidora, entre otros. siguiente a esto se muestra una vista explosionada de la máquina con todos sus componentes (ver figura 39) y una tabla con la cantidad y una breve descripción de la pieza (ver tabla 26).

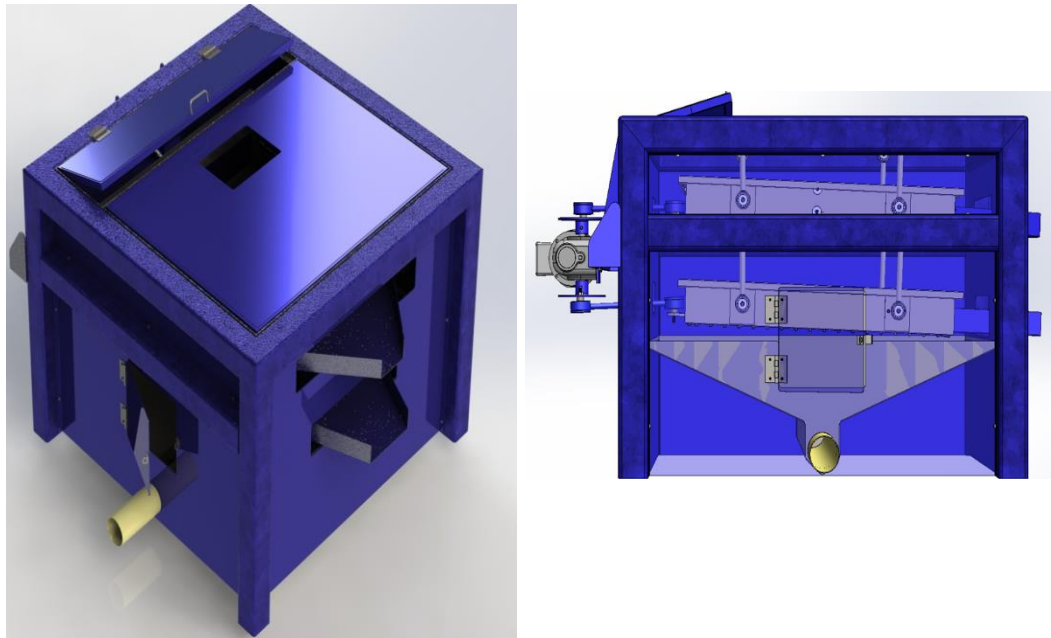


Cuadro 26. Descripción de los componentes de la cernidora

N.º	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANT.
1	MC-HR-01	Subensamble Bastidor	1
2	MC-HR-04-01	Tapa 1 -LT-R	1
3	MC-HR-04-02	Tapa bilateral 2-LT	2
4	MR-V	Motorreductor	1
5	MC-HR-03D	Subensamble disco central	1
6	MC-HR-03-01A	Rutula A (Biela central)	1
7	MC-HR-02-01	Biela zaranda 3/4" x 175.8 mm	2
8	MC-HR-02-02	Biela zaranda 3/4" x 195.8 mm	4
9	MC-HR-02-03	Biela zaranda 3/4" x 215.8 mm	2
10	MC-HR-04U-00	Subensamble canaleta inferior en U	1
11	MC-HR-02-00	Subensamble zaranda superior	1
12	MC-HR-02B-00	Subensamble zaranda inferior	1
13	MC-HR-04-04	Tapa posterior	1
14	MC-HR-04L-00	Subensamble Tapa LT	1
15	MC-HR-04-06	Tapa frontal	1
16	MC-HR-04S-00	Subensamble tapa superior "S"	1
17	MC-HR-04T-00	Subensamble tapa superior "T"	1
18	TBR-M6X15	Tornillo bristol M6 X 15	34
19	MC-HR-03-01B	Rotula B ( Biela central)	1
20	RB-R47	Rodamiento de bolas radial de 47 mm.	18

Fuente: elaboración propia

Figura 40. Renderizado diseño final CAD.



Fuente: elaboración propia

#### **4.7. INGENIERÍA ASISTIDA POR COMPUTADOR (CAE)**

Para el análisis asistido por computador (CAE) fue de gran ayuda el software SolidWorks donde se realizó un estudio de deformaciones para analizar los puntos donde tenemos la mayor deformación durante la operación de la cernidora, para esto se colocaron las propiedades del material para los componentes a los cuales se les hizo el análisis en nuestro caso el bastidor y los ejes de las bielas del bastidor que poseen como material acero AISI 1020 & 1045 respectivamente.

Cuadro 27. Propiedades acero AISI 1020

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	2e+11	N/m <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	0.29	N/D
Módulo cortante	7.7e+10	N/m <sup>2</sup>
Densidad de masa	7900	kg/m <sup>3</sup>
Límite de tracción	420507000	N/m <sup>2</sup>
Límite de compresión		N/m <sup>2</sup>
Límite elástico	351571000	N/m <sup>2</sup>
Coefficiente de expansión térmica	1.5e-05	/K
Conductividad térmica	47	W/(m·K)
Calor específico	420	J/(kg·K)

Fuente: elaboración propia

Cuadro 28. Propiedades AISI 1045

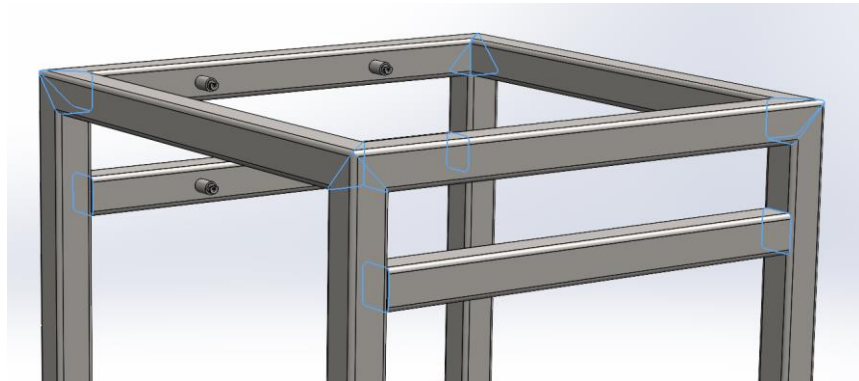
Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	2.05e+11	N/m <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	0.29	N/D
Módulo cortante	8e+10	N/m <sup>2</sup>
Densidad de masa	7850	kg/m <sup>3</sup>
Límite de tracción	625000000	N/m <sup>2</sup>
Límite de compresión		N/m <sup>2</sup>
Límite elástico	530000000	N/m <sup>2</sup>
Coefficiente de expansión térmica	1.15e-05	/K
Conductividad térmica	49.8	W/(m·K)
Calor específico	486	J/(kg·K)

Fuente: elaboración propia

4.7.1 Análisis de la Soldadura. En la ejecución del ensayo se colocan los cordones de soldadura del bastidor (ver figura 41) para realizar un análisis de soldadura, para las partes fijas se tomaron las bases de las estructuras verticales de las cuatro patas, estas están sometidas a las fuerzas que reciben los ejes que soportan las bielas de la zaranda (fuerza =105,52 N (c/u) ), además soporta la fuerza de 214.74

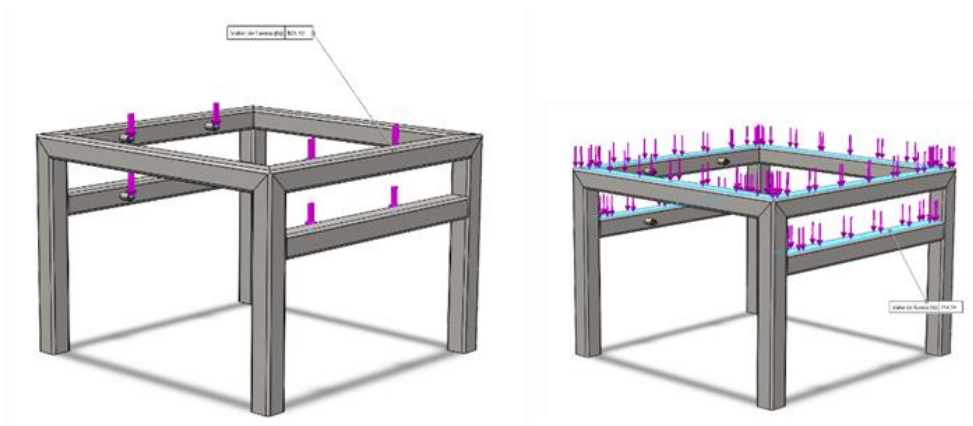
N (C/U) del peso total distribuido en las estructuras, a continuación, se muestran los resultados obtenidos en el software.

Figura 41. Aplicación de cordones de soldadura



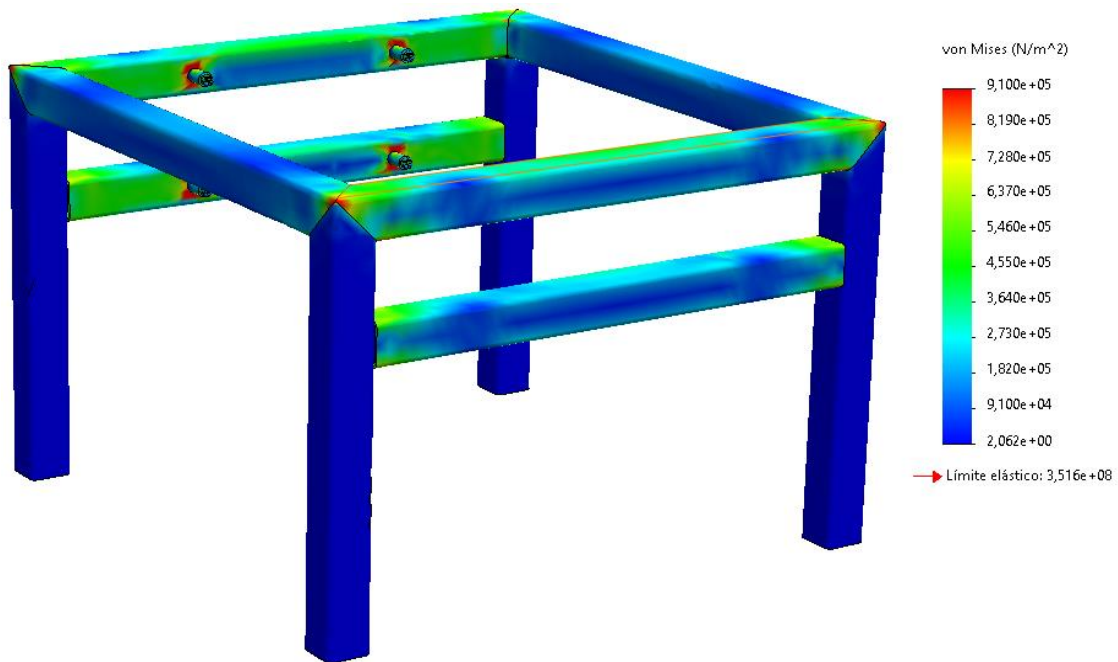
Fuente: elaboración propia

Figura 42. Fuerzas aplicadas en el bastidor



Fuente: elaboración propia

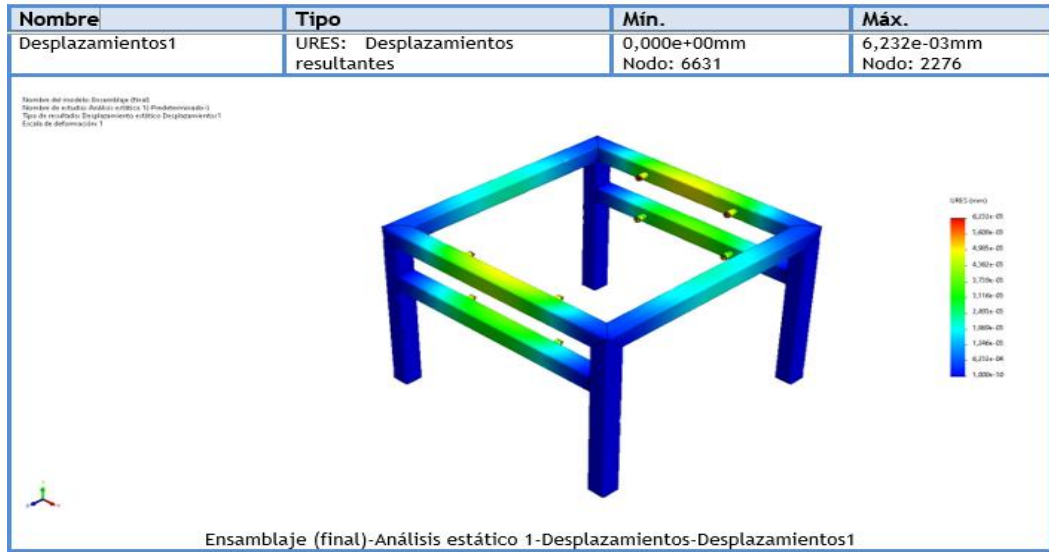
Figura 43. Análisis de tensiones SolidWorks



Fuente: elaboración propia

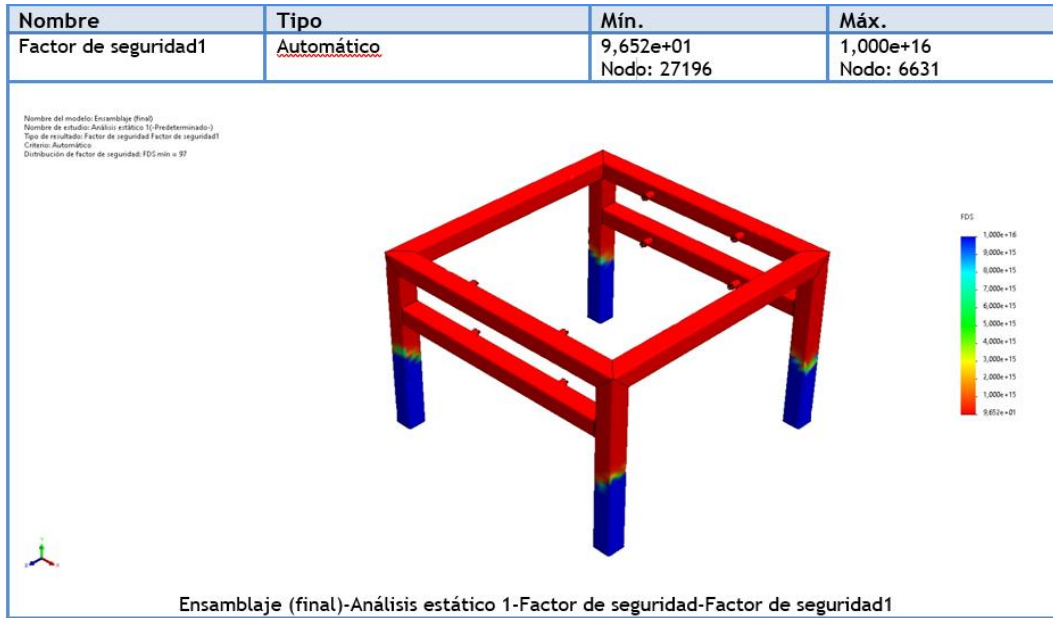
En el análisis de tensiones en la simulación de SolidWorks se muestra un gráfico del bastidor con distintos colores, estos colores están relacionados con los datos que se muestran en el gráfico de la derecha, cuando se tiene un material que tiene límite elástico la gráfica muestra con una flecha cuál es ese valor, y si en la simulación se supera ese límite elástico, la gráfica nos indica a partir de qué color se empieza a superar ese valor, en este caso hay zonas rojas que son puntos donde se concentran más tensiones, esto no quiere decir que se deforme el material de manera permanente debido a que no está superando el límite elástico.

Figura 44. Deformación SolidWorks



Fuente: elaboración propia

Figura 45. Factor de seguridad SolidWorks



Fuente: elaboración propia

## 5. PROCESOS DE FABRICACIÓN DE LA MÁQUINA

La empresa encargada del proceso de fabricación de la máquina fue INOXIDABLES H.R, la cual es una empresa especialista en diseño, construcción y montaje de máquinas en el sector metalmecánica, para la construcción de la máquina, INOX HR contó con la ayuda de toda la mayoría de maquinaria necesaria como equipos de soldadura, tornos, pulidoras, taladro, entre otros, de la empresa INDUSTRIAS ACUÑA LTDA.


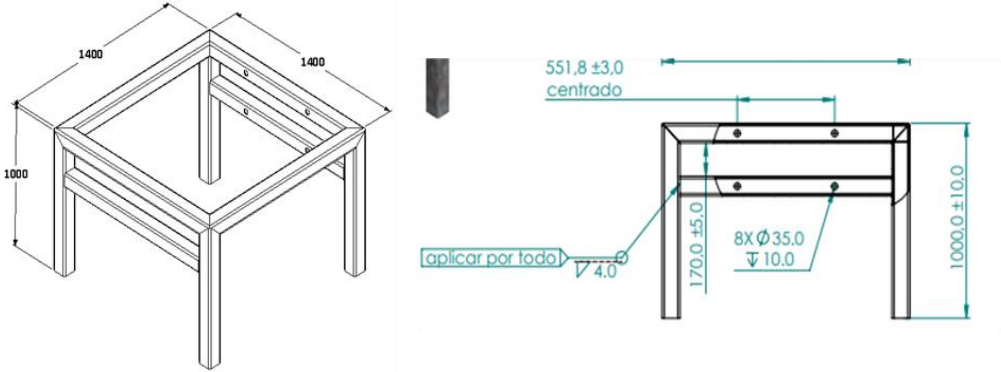

A continuación, se muestran las máquinas donde se realizaron algunas piezas, los componentes de la máquina y las fichas de fabricación con los procesos que se llevaron a cabo en cada sistema y componente de la máquina.

Figura 46. Máquinas utilizadas




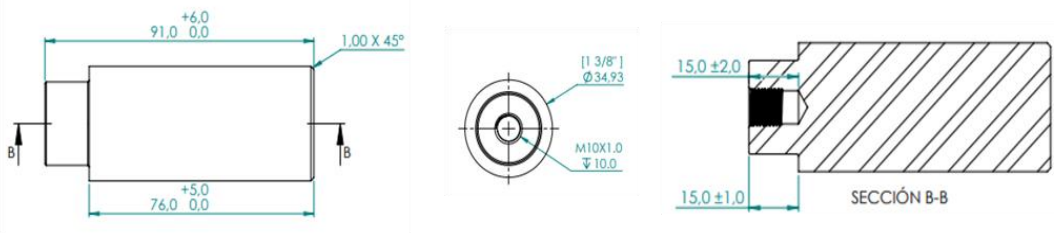

Fuente: elaboración propia

Figura 47. Formato de construcción 1.

		<b>FORMATO DE OPERACIONES PARA CONSTRUCCION Y ENSAMBLAJE DE PIEZAS</b>			CÓDIGO: PR-F-33	
					F.A.: 22/02/2021	
					PÁGINA: 1 DE 1	
FECHA DE FABRICACION:	10	5	2022	TIEMPO DE CONSTRUCCION (MINUTOS)	300	
HORA INICIO:	7:00		HORA FINAL:	12:00	NÚMERO DE PIEZAS:	1
PROYECTO:	CERNIDORA DE PLAMA AFRICANA					
<b>ESPECIFICACIONES DE LA PIEZA</b>						
NOMBRE:	BASTIDOR			MATERIAL:	SAE 1020	
<b>OPERACIONES</b>						
ITEM:	TIEMPO	OPERACIÓN:	MAQUINA	DETALLES		
1	120	CORTE DE TUBOS	SIERRA DE CINTA	CORTAR LOS TUBOS A SUS MEDIDAS		
2	60	HUECOS EN LAS ESTRUCTURAS LATERALES	TALADRO	HACER LOS HUECOS PARA ENSAMBLE DE EJES		
3	120	SOLDADURA	EQUIPO DE SOLDADURA	SOLDAR LOS TUBOS A SU MEDIDA		
4						
5						
<b>DISEÑO CAD</b>						
						
<b>DISEÑO FINAL</b>						
						
<b>CONFORMIDAD DE LA PIEZA</b>						
FIRMA:				ERRORES DE ENSAMBLE:	0	
REVISO:	DISEÑADOR INDUSTRIAL			NOTA:		
FECHA:	20/05/2022					


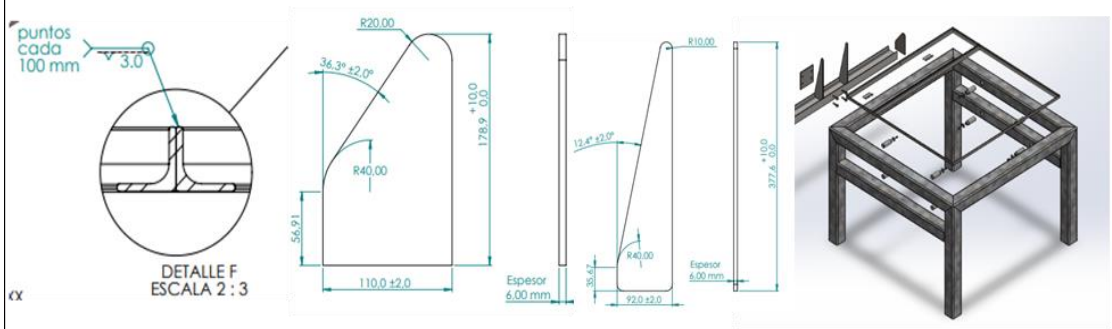

Fuente: elaboración propia

Figura 48. Formato de construcción 2.

		<b>FORMATO DE OPERACIONES PARA CONSTRUCCION Y ENSAMBLAJE DE PIEZAS</b>			CÓDIGO: PR-F-33	
					F.A.: 22/02/2021	
					PÁGINA: 1 DE 1	
<b>FECHA DE FABRICACION:</b>		12	5	2022	<b>TIEMPO DE CONSTRUCCION (MINUTOS)</b> 240	
<b>HORA INICIO:</b>		14:00		<b>HORA FINAL:</b>	18:00	<b>NÚMERO DE PIEZAS:</b> 8
<b>PROYECTO:</b>		CERNIDORA DE PALMA AFRICANA				
<b>ESPECIFICACIONES DE LA PIEZA</b>						
<b>NOMBRE:</b>		EJE PARA RODAMIENTO DE BIELAS			<b>MATERIAL:</b>	AISI 1020 AISI 1045
<b>OPERACIONES</b>						
<b>ITEM:</b>	<b>TIEMPO</b>	<b>OPERACIÓN:</b>		<b>MAQUINA</b>	<b>DETALLES</b>	
1	200	MAQUINADO DE EJE		TORNO	BARRA REDONDA AISI 1020 Ø35mm X 91mm	
2	40	HUECO ROSCADO		MANUAL	MACHOS M10	
3						
4						
5						
<b>DISEÑO CAD</b>						
						
<b>DISEÑO FINAL</b>						
						
<b>CONFORMIDAD DE LA PIEZA</b>						
<b>FIRMA:</b>				<b>ERRORES DE DISEÑO O ENSAMBLE:</b>	0	
<b>REVISO:</b>	DISEÑADOR INDUSTRIAL			<b>NOTA:</b>		
<b>FECHA:</b>	20/05/2022					


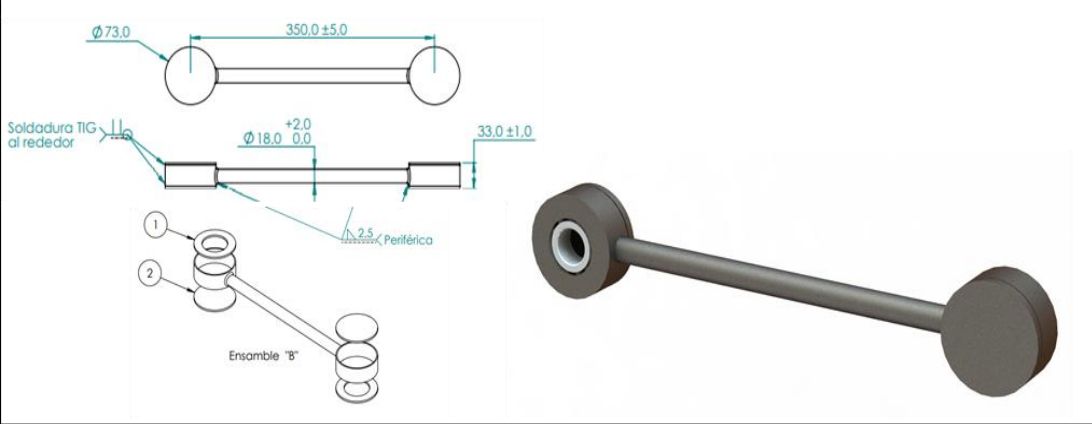
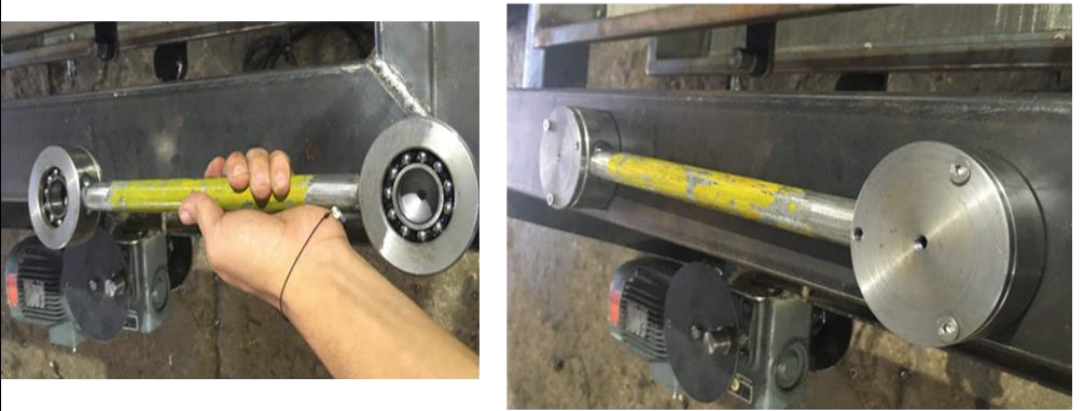
Fuente: elaboración propia

Figura 49. Formato de construcción 3.

		<b>FORMATO DE OPERACIONES PARA CONSTRUCCION Y ENSAMBLAJE DE PIEZAS</b>			CÓDIGO: PR-F-33	
					F.A.: 22/02/2021	
					PÁGINA: 1 DE 1	
FECHA DE FABRICACION:	13	5	2022	TIEMPO DE CONSTRUCCION (MINUTOS)	240	
HORA INICIO:	7:00		HORA FINAL:	11:00	NÚMERO DE PIEZAS:	1
PROYECTO:	CERNIDORA DE PALMA AFRICANA					
<b>ESPECIFICACIONES DE LA PIEZA</b>						
NOMBRE:	ENSAMBLE GENERAL BASTIDOR				MATERIAL:	SAE 1020
<b>OPERACIONES</b>						
ITEM:	DURACION	OPERACIÓN:	MAQUINA	DETALLE		
1	60	CORTE DE ANGULOS	SIERRA CE CINTA	CORTAR ANGULOS A MEDIDA ESPECIFICA		
2	30	CORTE DE VIGA	SIERRA DE CINTA	CORTA VIGA A MEDIDA ESPECIFICA		
3	40	CORTE DE SOPORTES DE VIGA Y MOTOR	CORTADORA DE LASER	PIEZAS EN DWG PARA CORTADORA		
4	110	SOLDADURA ENSAMBLE GENERAL	EQUIPO DE SOLDADURA	MEDIDAS SEGÚN PLANOS		
5						
<b>DISEÑO CAD</b>						
						
<b>DISEÑO FINAL</b>						
						
<b>CONFORMIDAD DE LA PIEZA</b>						
FIRMA:					ERRORES DE ENSAMBLE:	0
REVISOR:	DISEÑADOR INDUSTRIAL				NOTA:	
FECHA:						


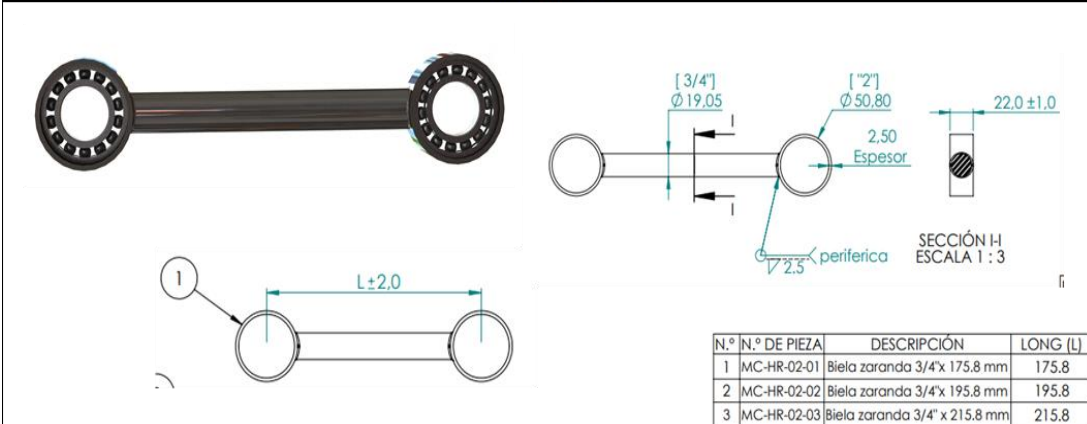

Fuente: elaboración propia

Figura 50. Formato de construcción 4.

	<b>FORMATO DE OPERACIONES PARA CONSTRUCCION Y ENSAMBLAJE DE PIEZAS</b>				CÓDIGO: PR-F-33	
					F.A.: 22/02/2021	
					VERSIÓN : 06	
					PÁGINA: 1 DE 1	
FECHA DE FABRICACION:	15	5	2022	TIEMPO (DURACION DEL PROCESO)	180	
HORA INICIO:	9:00		HORA FINAL:	11:00	NÚMERO DE PIEZAS:	2
PROYECTO:	CERNIDORA DE PALMA AFRICANA					
<b>ESPECIFICACIONES DE LA PIEZA</b>						
NOMBRE:	BANCO DE MEZCLAS CODILUIDAS				MATERIAL:	ASTM A 36 AISI 1045
<b>OPERACIONES</b>						
ITEM:	DURACION	OPERACIÓN:		MAQUINA	DETALLES	
1	120	MECANIZADO DE SOPORTE RODAMIENTOS		TORNO	REDONDO ASTM-A36 $\phi 2"$ X 22mm	
2	40	CORTE DE BARRAS		SIERRA DE CINTA	REDONDO ASTM-A36 $\phi 3/4"$ X 350mm	
3	20	SOLDADURA		EQUIPO DE SOLDADURA	SOLDADURA DE ENSAMBLE	
4						
5						
<b>DISEÑO CAD</b>						
						
<b>DISEÑO FINAL</b>						
						
<b>CONFORMIDAD DE LA PIEZA</b>						
FIRMA:					ERRORES DE ENSAMBLE:	0
REVISO:	DISEÑADOR INDUSTRIAL				NOTA:	
FECHA:						


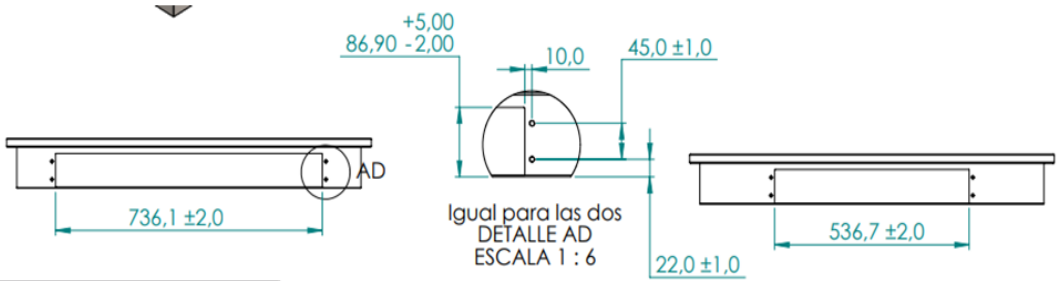
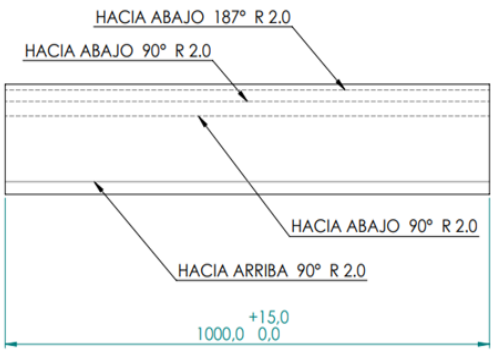
Fuente: elaboración propia

Figura 51. Formato de construcción 5.

	<b>FORMATO DE OPERACIONES PARA CONSTRUCCION Y ENSAMBLAJE DE PIEZAS</b>				CÓDIGO: PR-F-33																
					F.A.: 22/02/2021																
					VERSIÓN : 06																
					PÁGINA: 1 DE 1																
FECHA DE FABRICACION:	15	5	2022	TIEMPO DE CONSTRUCCION (MINUTOS)	180																
HORA INICIO:	9:00		HORA FINAL:	10:00	NÚMERO DE PIEZAS: 8																
PROYECTO:	BANCO MEZCLAS CODILUIDAS																				
<b>ESPECIFICACIONES DE LA PIEZA</b>																					
NOMBRE:	BANCO DE MEZCLAS CODILUIDAS			MATERIAL:	AISI 1045																
<b>OPERACIONES</b>																					
ITEM:	DURACION	OPERACIÓN:	MAQUINA	DETALLE																	
1	120	MECANIZADO DE SOPORTE RODAMIENTOS	TORNO	TUUBO 2" SCH 40 X (LARGO ESPECIFICO)																	
2	40	CORTE DE BARRAS	SIERRA DE CINTA	CORTAR BARRAS SEGÚN MEDIDAS																	
3	20	SOLDADURA	EQUIPO DE SOLDADURA	SOLDADURA FINAL DEL ENSAMBLE																	
4																					
5																					
<b>DISEÑO CAD</b>																					
 <table border="1" data-bbox="1047 1113 1421 1207"> <thead> <tr> <th>N.º</th> <th>N.º DE PIEZA</th> <th>DESCRIPCIÓN</th> <th>LONG (L)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>MC-HR-02-01</td> <td>Biela zaranda 3/4" x 175.8 mm</td> <td>175.8</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>MC-HR-02-02</td> <td>Biela zaranda 3/4" x 195.8 mm</td> <td>195.8</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>MC-HR-02-03</td> <td>Biela zaranda 3/4" x 215.8 mm</td> <td>215.8</td> </tr> </tbody> </table>						N.º	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	LONG (L)	1	MC-HR-02-01	Biela zaranda 3/4" x 175.8 mm	175.8	2	MC-HR-02-02	Biela zaranda 3/4" x 195.8 mm	195.8	3	MC-HR-02-03	Biela zaranda 3/4" x 215.8 mm	215.8
N.º	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	LONG (L)																		
1	MC-HR-02-01	Biela zaranda 3/4" x 175.8 mm	175.8																		
2	MC-HR-02-02	Biela zaranda 3/4" x 195.8 mm	195.8																		
3	MC-HR-02-03	Biela zaranda 3/4" x 215.8 mm	215.8																		
<b>DISEÑO FINAL</b>																					
																					
<b>CONFORMIDAD DE LA PIEZA</b>																					
FIRMA:				ERRORES DE ENSAMBLE:	0																
REVISO:	DISEÑADOR INDUSTRIAL			NOTA:																	
FECHA:																					


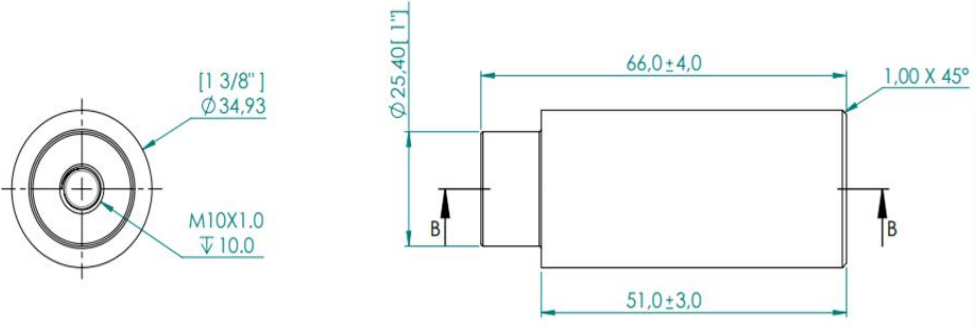


Fuente: elaboración propia

Figura 52. Formato de construcción 6.

	<b>FORMATO DE OPERACIONES PARA CONSTRUCCION Y ENSAMBLAJE DE PIEZAS</b>				CÓDIGO: PR-F-33	
					F.A.: 22/02/2021	
					VERSIÓN : 06	
					PÁGINA: 1 DE 1	
FECHA DE FABRICACION:	16	5	2022	TIEMPO DE CONSTRUCCION (MINUTOS)	120	
HORA INICIO:	9:00		HORA FINAL:	11:00	NÚMERO DE PIEZAS:	2
PROYECTO:	CERNIDORA DE PLAMA AFRICANA					
<b>ESPECIFICACIONES DE LA PIEZA</b>						
NOMBRE:	ZARANDAS			MATERIAL:	SAE 1020	
<b>OPERACIONES</b>						
ITEM:	TIEMPO	OPERACIÓN:	MAQUINA	DETALLES		
1	40	CORTE DE LAMINAS	CORTADORA DE LASER	CORTAR LAMINA PARA CHAPA METALICA		
2	40	DOBLADO DE CHAPA METALICA	DOBLADORA	DOBLAR CHAPA PARA CONSTRUIR LA ZARANDA		
3	40	SOLDADURA	EQUIPO DE SOLDADURA	SOLDAR LA CHAPA METALICA DOBLADA		
4						
5						
<b>DISEÑO CAD</b>						
						
<b>DISEÑO FINAL</b>						
DESCRIPCIÓN: Doblado de chapa metálica espesor de 1.9 mm						
						
<b>CONFORMIDAD DE LA PIEZA</b>						
FIRMA:				ERRORES DE ENSAMBLE:	0	
REISO:	DISEÑADOR INDUSTRIAL			NOTA:		
FECHA:	20/05/2022					


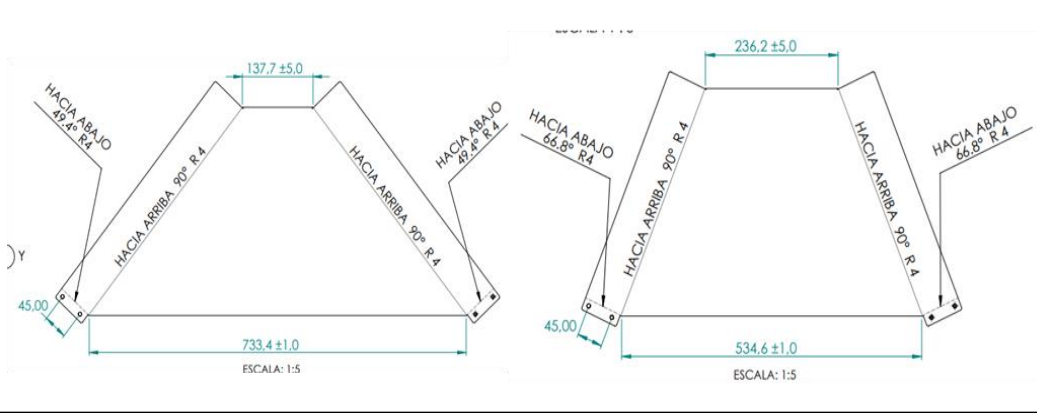

Fuente: elaboración propia

Figura 53. Formato de construcción 7.

		<b>FORMATO DE OPERACIONES PARA CONSTRUCCION Y ENSAMBLAJE DE PIEZAS</b>			CÓDIGO: PR-F-33						
					F.A.: 22/02/2021						
					PÁGINA: 1 DE 1						
FECHA DE FABRICACION:		16	5	2022	TIEMPO DE CONSTRUCCION (MINUTOS) 240						
HORA INICIO:		13:00		HORA FINAL:		18:00		NÚMERO DE PIEZAS:		8	
PROYECTO:		CERNIDORA DE PLAMA AFRICANA									
<b>ESPECIFICACIONES DE LA PIEZA</b>											
NOMBRE:		EJE DE ZARANDAS					MATERIAL:		AISI 1045		
<b>OPERACIONES</b>											
ITEM:	TIEMPO	OPERACIÓN:			MAQUINA	DETALLES					
1	200	MAQUINADO DE EJE			TORNO	REDONDO AST-A36 Ø1 3/8" X 70mm					
2	40	HUECO ROSCADO			MACHOS M10	HACER ROSCA CON MACHOS M10					
3											
4											
5											
<b>DISEÑO CAD</b>											
											
<b>DISEÑO FINAL</b>											
											
<b>CONFORMIDAD DE LA PIEZA</b>											
FIRMA:						ERRORES DE ENSAMBLE:		0			
REVISO:	DISEÑADOR INDUSTRIAL					NOTA:					
FECHA:	20/05/2022										


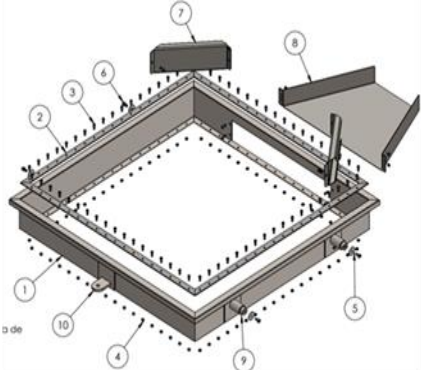


Fuente: elaboración propia

Figura 54. Formato de construcción 8.

		<b>FORMATO DE OPERACIONES PARA CONSTRUCCION Y ENSAMBLAJE DE PIEZAS</b>			CÓDIGO: PR-F-33	
					F.A.: 22/02/2021	
					PÁGINA: 1 DE 1	
<b>FECHA DE FABRICACION:</b>		18	5	2022	<b>TIEMPO DE CONSTRUCCION (MINUTOS)</b> 100	
<b>HORA INICIO:</b>		9:00		<b>HORA FINAL:</b>	10:40	<b>NÚMERO DE PIEZAS:</b> 2
<b>PROYECTO:</b>		CERNIDORA DE PLAMA AFRICANA				
<b>ESPECIFICACIONES DE LA PIEZA</b>						
<b>NOMBRE:</b>		SALIDAS DE LAS ZARANDAS			<b>MATERIAL:</b>	AlSi 316
<b>OPERACIONES</b>						
<b>ITEM:</b>	<b>TIEMPO</b>	<b>OPERACIÓN:</b>		<b>MAQUINA</b>	<b>DETALLES</b>	
1	40	CORTE DE LAMINAS		CORTADORA DE LASER	CORTAR LAMINA PARA CHAPA METALICA	
2	40	DOBLADO DE CHAPA METALICA		DOBLADORA	DOBLAR CHAPA PARA CONSTRUIR LAS SALIDAS	
3	20	HUECOS		TALADRO	HUECOS DE 1/4"	
4						
5						
<b>DISEÑO CAD</b>						
						
<b>DISEÑO FINAL</b>						
						
<b>CONFORMIDAD DE LA PIEZA</b>						
<b>FIRMA</b>					<b>ERRORES DE ENSAMBLE:</b>	0
<b>REVISO:</b>	DISEÑADOR INDUSTRIAL				<b>NOTA:</b>	
<b>FECHA:</b>	20/05/2022					


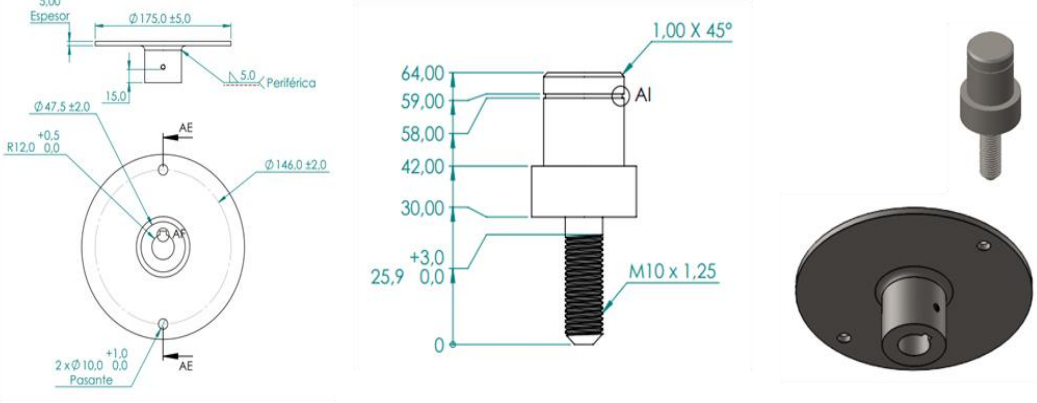

Fuente: elaboración propia

Figura 55. Formato de construcción 9.

	<b>FORMATO DE OPERACIONES PARA CONSTRUCCION Y ENSAMBLAJE DE PIEZAS</b>				CÓDIGO: PR-F-33																																												
					F.A.: 22/02/2021																																												
					VERSIÓN: 06																																												
					PÁGINA: 1 DE 1																																												
FECHA DE FABRICACION:	20	5	2022	TIEMPO DE CONSTRUCCION (MINUTOS)	180																																												
HORA INICIO:	7:00		HORA FINAL:	10:00	NÚMERO DE PIEZAS:	2																																											
PROYECTO:	CERNIDORA DE PLAMA AFRI CANA																																																
<b>ESPECIFICACIONES DE LA PIEZA</b>																																																	
NOMBRE:	ENSAMBLE ZARANDAS			MATERIAL:	AISI 1020																																												
<b>OPERACIONES</b>																																																	
ITEM:	TIEMPO	OPERACIÓN:	MAQUINA	DETALLES																																													
1	15	CORTE DE PLATINAS	SIERRA DE CINTA	PLATINA DE ACERO DE 1"																																													
2	60	HUECOS PASANTES	TALADRO	HACER HUECOS BROCA 1/4" PASANTES																																													
3	40	CHAPA METALICA PERLIN GUIA EN C	DOBLADORA	CHAPA METALICA PERLIN EN C PARA ESQUINAS																																													
4	65	TORNILLERIA	RATCHET	COLOCAR TODA LA TORNILLERIA																																													
5																																																	
<b>DISEÑO CAD</b>																																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th>N.º</th> <th>N.º DE PIEZA</th> <th>DESCRIPCIÓN</th> <th>CANT.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>MC-HR-02B-01</td> <td>Zaranda inf. 950 x 944 mm</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>MC-HR-02-05</td> <td>Platina de soporte malla</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>TBR-M6X15</td> <td>Tornillo bristol M6 X 15</td> <td>78</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>TH-M6X1.0</td> <td>Tuerca Hexagonal M6X1.0</td> <td>78</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>AR-M8</td> <td>Arandela de M8</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>TBR-MBX15</td> <td>TORNILLO BRISTOL M8 X 15</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>MC-HR-02B-03</td> <td>Perlin guía en "C" Calibre 14</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>MC-HR-02B-02</td> <td>Canal de salida Zaranda inf.</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>MC-HR-02-04(01)</td> <td>Soporte roscado 3/8" zarandas</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>MC-HR-02-04(02)</td> <td>Soporte 1/3" (Biela central)</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>				N.º	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANT.	1	MC-HR-02B-01	Zaranda inf. 950 x 944 mm	1	2	MC-HR-02-05	Platina de soporte malla	1	3	TBR-M6X15	Tornillo bristol M6 X 15	78	4	TH-M6X1.0	Tuerca Hexagonal M6X1.0	78	5	AR-M8	Arandela de M8	4	6	TBR-MBX15	TORNILLO BRISTOL M8 X 15	4	7	MC-HR-02B-03	Perlin guía en "C" Calibre 14	2	8	MC-HR-02B-02	Canal de salida Zaranda inf.	1	9	MC-HR-02-04(01)	Soporte roscado 3/8" zarandas	1	10	MC-HR-02-04(02)	Soporte 1/3" (Biela central)	1		
N.º	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANT.																																														
1	MC-HR-02B-01	Zaranda inf. 950 x 944 mm	1																																														
2	MC-HR-02-05	Platina de soporte malla	1																																														
3	TBR-M6X15	Tornillo bristol M6 X 15	78																																														
4	TH-M6X1.0	Tuerca Hexagonal M6X1.0	78																																														
5	AR-M8	Arandela de M8	4																																														
6	TBR-MBX15	TORNILLO BRISTOL M8 X 15	4																																														
7	MC-HR-02B-03	Perlin guía en "C" Calibre 14	2																																														
8	MC-HR-02B-02	Canal de salida Zaranda inf.	1																																														
9	MC-HR-02-04(01)	Soporte roscado 3/8" zarandas	1																																														
10	MC-HR-02-04(02)	Soporte 1/3" (Biela central)	1																																														
<b>DISEÑO FINAL</b>																																																	
																																																	
<b>CONFORMIDAD DE LA PIEZA</b>																																																	
FIRMA					ERRORES DE ENSAMBLE:	0																																											
REVISO:	DISEÑADOR INDUSTRIAL				NOTA:																																												
FECHA:	20/05/2022																																																


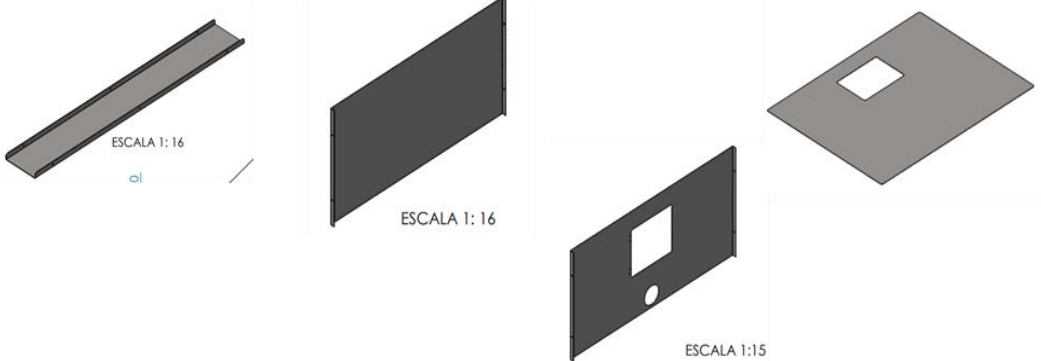

Fuente: elaboración propia

Figura 56. Formato de construcción 10.

	<b>FORMATO DE OPERACIONES PARA CONSTRUCCION Y ENSAMBLAJE DE PIEZAS</b>			CÓDIGO: PR-F-33		
				F.A.: 22/02/2021		
				VERSIÓN : 06		
				PÁGINA: 1 DE 1		
FECHA DE FABRICACION:	22	5	2022	TIEMPO DE CONSTRUCCION (MINUTOS)	180	
HORA INICIO:	7:00		HORA FINAL:	10:00	NÚMERO DE PIEZAS:	4
PROYECTO:	CERNIDORA DE PLAMA AFRI CANA					
<b>ESPECIFICACIONES DE LA PIEZA</b>						
NOMBRE:	PIEZAS TRANSMISION DE POTENCIA			MATERIAL:	AI SI 1045	
<b>OPERACIONES</b>						
ITEM:	TIEMPO	OPERACIÓN:	MAQUINA	DETALLES		
1	20	CORTE DISCO	CORTADORA DE LASER	LAMINA DE 3/16" Ø175mm		
2	60	MECANIZADO SOPORTE DISCO	TORNO	REDONDO DE ACERO Ø48mm x 50mm		
3	80	MECANIZADO TORNILLO	TORNO	REDONDO DE ACERO Ø1" x 280mm		
4	20	SOLDADURA	EQUIPO DE SOLDADURA	SOLDAR COMO SE MUESTRA EN PLANOS		
5						
<b>DISEÑO CAD</b>						
						
<b>DISEÑO FINAL</b>						
						
<b>CONFORMIDAD DE LA PIEZA</b>						
FIRMA				ERRORES DE ENSAMBLE:	0	
REVISO:	DISEÑADOR INDUSTRIAL			NOTA:		
FECHA:						


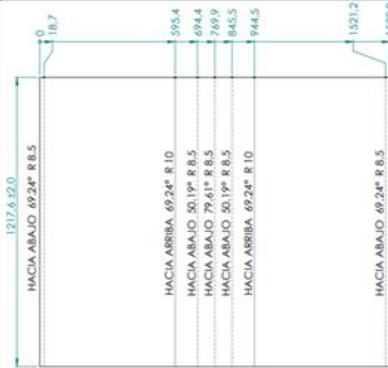
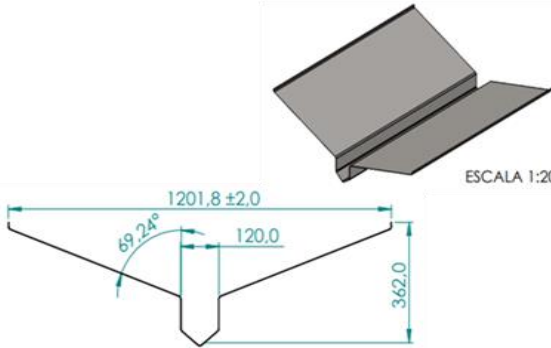


Fuente: elaboración propia

Figura 57. Formato de construcción 11.

	<b>FORMATO DE OPERACIONES PARA CONSTRUCCION Y ENSAMBLAJE DE PIEZAS</b>				CÓDIGO: PR-F-33	
					F.A.: 22/02/2021	
					VERSIÓN : 06	
					PÁGINA: 1 DE 1	
<b>FECHA DE FABRICACION:</b>	30	6	2022	<b>TIEMPO DE CONSTRUCCION (MINUTOS)</b>	180	
<b>HORA INICIO:</b>	7:00		<b>HORA FINAL:</b>	10:00	<b>NÚMERO DE PIEZAS:</b>	1
<b>PROYECTO:</b>	CERNIDORA DE PLAMA AFRI CANA					
<b>ESPECIFICACIONES DE LA PIEZA</b>						
<b>NOMBRE:</b>	CHAPA METALICA				<b>MATERIAL:</b>	AISI 316
<b>OPERACIONES</b>						
<b>ITEM:</b>	<b>TIEMPO</b>	<b>OPERACIÓN:</b>	<b>MAQUINA</b>	<b>DETALLES</b>		
1	60	CORTE LAMINA	CORTADORA DE PLASMA	CORTAR LAMIANS A MEDIDAS ESPECIFICAS		
2	60	DOBLAR LAMINA	DOBLADORA	DOBLAR LAMINA A LAS MEDIDAS DEL PLANO		
3	60	HUECOS	TALADRO	HUECOS DE 6mm		
<b>DISEÑO CAD</b>						
						
<b>DISEÑO FINAL</b>						
						
<b>CONFORMIDAD DE LA PIEZA</b>						
<b>FIRMA</b>					<b>ERRORES DE ENSAMBLE:</b>	0
<b>REVISO:</b>	DISEÑADOR INDUSTRIAL				<b>NOTA:</b>	
<b>FECHA:</b>						

Fuente: elaboración propia


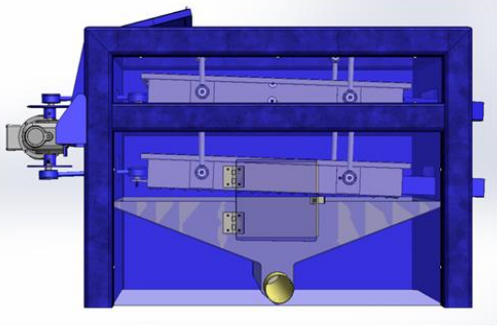


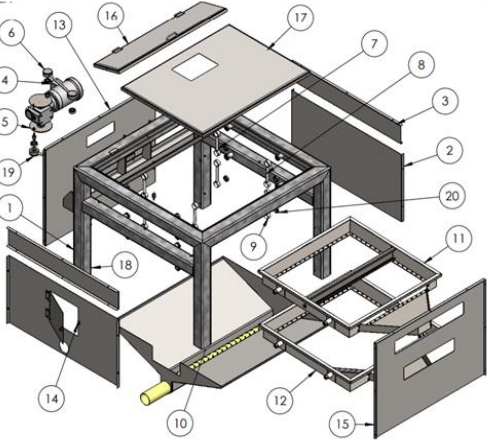
Figura 58. Formato de construcción 12.

		<b>FORMATO DE OPERACIONES PARA CONSTRUCCION Y ENSAMBLAJE DE PIEZAS</b>			CÓDIGO: PR-F-33	
					F.A.: 22/02/2021	
					VERSIÓN : 06	
				PÁGINA: 1 DE 1		
<b>FECHA DE FABRICACION:</b>		1	7	2022	<b>TIEMPO DE CONSTRUCCION (MINUTOS)</b> 80	
<b>HORA INICIO:</b>		7:00		<b>HORA FINAL:</b>	9:20	<b>NÚMERO DE PIEZAS:</b> 1
<b>PROYECTO:</b>		CERNIDORA DE PLAMA AFRICANA				
<b>ESPECIFICACIONES DE LA PIEZA</b>						
<b>NOMBRE:</b>		CHAPA METALICA PARTE INFERIOR			<b>MATERIAL:</b>	AISI 316
<b>OPERACIONES</b>						
<b>ITEM:</b>	<b>TIEMPO</b>	<b>OPERACIÓN:</b>		<b>MAQUINA</b>	<b>DETALLES</b>	
1	20	CORTE LAMINA		CORTADORA DE PLASMA	LAMINA DE 1600mm x 1300mm	
2	30	DOBLAR LAMINA		DOBLADORA	DOBLAR LAMINA A LAS MEDIDAS DEL PLANO	
3	30	SOLDADURA		EQUIPO DE SOLDADURA	SOLDAR PAREDES DE RECOGEDOR	
<b>DISEÑO CAD</b>						
				 <p>ESCALA 1:20</p>		
<b>DISEÑO FINAL</b>						
						
<b>CONFORMIDAD DE LA PIEZA</b>						
<b>FIRMA</b>					<b>ERRORES DE ENSAMBLE:</b>	0
<b>REVISO:</b>	DISEÑADOR INDUSTRIAL				<b>NOTA:</b>	
<b>FECHA:</b>						

Fuente: elaboración propia

## 5.1 FICHA TÉCNICA DE LA MÁQUINA

Figura 59. Ficha técnica

		FICHA TECNICA DE MAQUINARIA		CÓDIGO: PR-F-33	
				F.A.: 22/02/2021	
				VERSIÓN : 06	
				PÁGINA: 1 DE 1	
DATOS DE LA MAQUINA					
MAQUINA:	CERNIDORA DE CUESCO MOLIDO DE PALMA AFRICANA				
CODIGO:	DCLL-MC-01	FECHA:	26/11/2022		
FABRICANTE:	INDUSTRIAS ACUÑA	VERSION:	1		
UBICACIÓN:	BUCARAMANGA-SANTANDER-COLOMBIA				
CONTACTO:	3234608458	MODELO:	2022		
FUNCION					
CERNIR LA CASCARILLA MOLIDA DE PALMA AFRICANA EN TRES DIFERENTES TIPOS DE GRANULOMETRIAS					
DIMENSIONES					
INDICADOR	VALOR	UNIDADES		PESO: 450 kg	
ALTO	1000	MILIMETROS			
ANCHO	1400	MILIMETROS			
LARGO	1400	MILIMETROS			
					
MOTORREDUCTOR					
NOMBRE:	MOTOR TRIFASICO WEG HIERRO W22				
POTENCIA:	1HP	CORRIENTE:			
RPM:	1800	VACIO:	3,4/1,7 A		
VOLTAJE:	220/440V	NOMINAL:	2,64/1,32 A		
REFERENCIA:	NMRV				
REDUCTOR:	ESTRUCTURA ALUMINIO				
RELACIONES:	7.5,10,15,20,30,40,50,60 Y 100				
VELOCIDADES DE SALIDA:	240,180,120,90,45,36,30 Y 18 RESPECTIVAMENTE				
TAMAÑO DE CAJA REDUCTORA:	T50, T63, T75, T90				
MANTENIMIENTO					
LIMPIEZA					
LIMPIAR LA MAQUINA ESPECIALMENTE EN LA PARTE INFERIOR DONDE CAE EL POLVO Y LA GRANULOMETRIA MAS PEQUEÑA DEL CUESCO DE PALMA					
LUBRICACION					
APLICAR ACEITES LUBRICANTES PARA RODAMIENTOS DE LAS BIELAS DE ZARANDA Y RODAMIENTOS TIPO ROTULA QUE ESTAN EN LA TRANSMISION DE MOVIMIENTO DE LA MAQUINA					
					
					
COMPONENTES EN PLANOS					

Fuente: elaboración propia

## 6. PRUEBAS Y RESULTADOS

En el diseño y construcción de la máquina se contempla realizar pruebas y análisis de resultados, esto con el fin de verificar que el diseño cumpla con sus requerimientos, adicionalmente para las pruebas realizadas a la máquina, se determina una secuencia de pasos, los cuales permiten verificar el funcionamiento de cada sistema por separado.

### 6.1 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

**6.1.1 Verificación del estado de la máquina antes de sus pruebas.** Como primer paso antes de encender la máquina se verifica su estado, es decir, que los elementos como las zarandas y bielas no estén sueltas o bloqueadas por algún otro componente externo o interno., para esto se realiza una lista de comprobación del estado de la máquina (ver cuadro 29).

Cuadro 29. Inspección general del estado de la máquina cernidora.

FUNCIONAMIENTO SIN CARGA	
<b>Máquina:</b>	MÁQUINA CERNIDORA DE DOS NIVELES
<b>Estado de fabricación:</b>	100%
<b>Fecha:</b> 5/11/2022. <b>Lugar de prueba:</b>	Industrias Acuña
ESPECIFICACIONES DE CONTROL	Estado
Zarandas superiores / inferior	✓ OK.
Bielas laterales y centrales	✓ OK.
Estructura (Bastidor)	✓ OK.

Transmisión (Motorreductor)	✓ OK.
Conexiones eléctricas (Variador de frecuencia)	✓ OK.
Ensamble total	✓ OK.
Libre de Extrusiones	✓ OK.

Fuente: elaboración propia

En el chequeo se determina si la máquina está en óptimas condiciones para la prueba de encendido, todos los elementos deben cumplir con su dimensiones y características establecidas en el capítulo de diseño.

6.1.2 Pruebas de Encendido y Funcionamiento de la Máquina. El segundo paso consiste en determinar la PAP (Puesta a punto de la máquina), para esto se enciende la máquina sin carga verificando su correcto funcionamiento, que las zarandas y los demás componentes cumplan con su movimiento, verificando que no exista roces entre sus componentes, choques o altas vibraciones.

Cuadro 30. Condiciones de encendido (Prueba 1).

FUNCIONAMIENTO SIN CARGA	
<b>Máquina:</b>	MÁQUINA CERNIDORA DE DOS NIVELES
<b>Fecha:</b>	5/11/2022
<b>Prueba #</b>	1
<b>Lugar y tiempo de prueba:</b>	Industrias Acuña / 60 segundos
ESPECIFICACIONES DE ENCENDIDO	Estado
Encendido directo (180 rpm)	✓ OK.

Movimiento de zarandas	BRUSCO.
Vibraciones	ALTAS.
Ruidos	ALTOS.
Conexiones eléctricas (Variador de frecuencia)	✓ OK.

Fuente: elaboración propia

De la prueba número 1 de funcionamiento sin carga se concluye que: al ser encendida la máquina directamente a sus 180 rpm de salida del motorreductor, el movimiento de las zarandas genera altas vibraciones al punto de generar ruidos y desajustes en la máquina, ya que esta comienza a trasladarse de su ubicación por las vibraciones.

Para solucionar las altas vibraciones se decide realizar otras pruebas, en la cual se regulan el rpm a diferentes valores con el variador de frecuencia instalado en la máquina con la finalidad de determinar sus condiciones ideales de encendido.

Cuadro 31. Condiciones de encendido (Prueba 2).

FUNCIONAMIENTO SIN CARGA	
<b>Máquina:</b>	MÁQUINA CERNIDORA DE DOS NIVELES
<b>Fecha:</b>	5/11/2022
	<b>Prueba # 2</b>
<b>Lugar y tiempo de prueba:</b>	Industrias Acuña / 60 segundos
ESPECIFICACIONES DE ENCENDIDO	Estado

Encendido directo (150 rpm)	✓ OK.
Movimiento de zarandas	BRUSCO.
Vibraciones	ALTAS.
Ruidos	ALTOS.
Conexiones eléctricas (Variador de frecuencia)	✓ OK.

Fuente: elaboración propia

Cuadro 32. Condiciones de encendido (Prueba 3).

FUNCIONAMIENTO SIN CARGA	
<b>Máquina:</b>	MÁQUINA CERNIDORA DE DOS NIVELES
<b>Fecha:</b>	5/11/2022
	<b>Prueba # 3</b>
<b>Lugar y tiempo de prueba:</b>	Industrias Acuña / 180 segundos
ESPECIFICACIONES DE ENCENDIDO	Estado
Encendido directo (125 rpm)	✓ OK.
Movimiento de zarandas	MODERADO.
Vibraciones	ALTAS.
Ruidos	ALTOS.
Conexiones eléctricas (Variador de frecuencia)	✓ OK.

Fuente: elaboración propia

Cuadro 33. Condiciones de encendido (Prueba 4).

<b>FUNCIONAMIENTO SIN CARGA</b>	
<b>Máquina:</b> MÁQUINA CERNIDORA DE DOS NIVELES	
<b>Fecha:</b> 5/11/2022	<b>Prueba # 4</b>
<b>Lugar y tiempo de prueba:</b> Industrias Acuña / 5 minutos	
<b>ESPECIFICACIONES DE ENCENDIDO</b>	<b>Estado</b>
Encendido directo (100 rpm)	✓ OK.
Movimiento de zarandas	✓ OK.
Vibraciones	MODERADO.
Ruidos	MODERADO.
Conexiones eléctricas (Variador de frecuencia)	✓ OK.

Fuente: elaboración propia

Como análisis de las pruebas de encendido realizadas a diferentes rpm, se logra determinar que la máquina debe ser arrancada regulado las rpm con el variador de frecuencia, es decir: se inicia con cero rpm y se van aumentando lentamente para evitar el cambio repentino y brusco en el movimiento de las zarandas, de esta forma la máquina permite trabajar al máximo de su velocidad (180 rpm) sin generar vibraciones y ruidos altos, ya que de esta manera al inicio de su movimiento se comporta como un movimiento armónico amortiguado hasta llegar al máximo de su velocidad y luego se mantiene constante.

Cuadro 34. Condiciones de encendido (Prueba 5)

<b>FUNCIONAMIENTO SIN CARGA</b>	
<b>Máquina:</b> MÁQUINA CERNIDORA DE DOS NIVELES	
<b>Fecha:</b> 5/11/2022	<b>Prueba # 5</b>
<b>Lugar y tiempo de prueba:</b> Industrias Acuña / 10 minutos	
<b>ESPECIFICACIONES DE ENCENDIDO</b>	<b>Estado</b>
Encendido (rpm regulados de 0 a 180)	✓ OK.
Movimiento de zarandas	✓ OK.
Vibraciones	✓ OK.
Ruidos	✓ OK.
Conexiones eléctricas (Variador de frecuencia)	✓ OK.

Fuente: elaboración propia

6.1.3 Pruebas de cernido de la máquina. El tercer paso consiste en determinar las condiciones ideales para el cernido, para esto se enciende la máquina sin carga para posteriormente depositar 50 kg, 10 kg cada minuto y ser cernidos en un tiempo de 5 minutos, las pruebas realizadas a diferentes rpm son las siguientes:

Cuadro 35. Cernido a 180 RPM (Prueba 1)

<b>FUNCIONAMIENTO CON CARGA</b>	
<b>Máquina:</b> MÁQUINA CERNIDORA DE DOS NIVELES	

<b>Fecha:</b>	5/11/2022	<b>Prueba # 1</b>
<b>Lugar y tiempo de prueba:</b>	Industrias Acuña / 5 minutos	
<b>ESPECIFICACIONES DE ENCENDIDO</b>	<b>Estado</b>	
Rpm de cernido (máximo 180 rpm)	✓ OK.	
Nivel de llenado esperado	✓ OK.	
Desplazamiento del cuesco en la superficie de cribado (zaranda superior)	Se amontona	
Desplazamiento del cuesco en la superficie de cribado (zaranda inferior)	✓ OK.	
Salida del cuesco (zaranda superior)	Se queda en la mitad (no sale)	
Salida del cuesco (zaranda inferior)	Se queda en la superficie de cribado (no sale)	
Cuesco total retenido (zaranda superior) del material depositado para la prueba (50kg)	Abultamiento 50% (25kg).	
Cuesco total retenido (zaranda inferior) del material entregado por la zaranda superior	Abultamiento 60% (15kg).	
Salida del material particulado (canal inferior en "U")	✓ OK.	
Polvo levantado	Moderado	
Estabilidad de la máquina	✓ OK.	

Fuente: elaboración propia

De la prueba de cernido a 180 rpm genera que el cuesco o cascarilla de palma se amontone en el centro de la zaranda superior, este comportamiento se debe a la velocidad con la cual se mueven las zarandas, dicha velocidad ocasiona que la

inclinación de la zaranda hacia su canal de salida no sea capaz de evacuar el cuesco, generado abultamiento en el centro de esta (ver Figura 60).

Figura 60. Abultamiento zarando superior (Prueba 1)



Fuente: elaboración propia

Como análisis de la cantidad de cuesco retenido por las zarandas al final de la prueba, se determina que las rpm no son las ideales, ya que la zaranda superior está reteniendo un 25% más de cuesco triturado que el estipulado en el diseño, esto genera acumulamiento de material en la zaranda, pues este no es evacuado por el canal de salida, por otro lado, la zaranda inferior recibe menos material particulado de la zaranda superior haciendo que ésta trabaje a menos carga, sin embargo, esta no evacua el material retenido por el canal de salida de la zaranda.

Se decide realizar otras pruebas a diferentes rpm utilizando la misma carga y tiempo de prueba, hasta determinar los rpm ideales para el proceso de cernido.

Cuadro 36. Cernido a 150 RPM (Prueba 2).

FUNCIONAMIENTO CON CARGA	
<b>Máquina:</b> MÁQUINA CERNIDORA DE DOS NIVELES	
<b>Fecha:</b> 5/11/2022	<b>Prueba # 2</b>
<b>Lugar y tiempo de prueba:</b> Industrias Acuña / 5 minutos	
ESPECIFICACIONES DE ENCENDIDO	Estado
Rpm de cernido (150 rpm)	✓ OK.
Nivel de llenado esperado	✓ OK.
Desplazamiento del cuesco en la superficie de cribado (zaranda superior)	Se amontona
Desplazamiento del cuesco en la superficie de cribado (zaranda inferior)	✓ OK.
Salida del cuesco (zaranda superior)	Se queda en la mitad (sale muy poco)
Salida del cuesco (zaranda inferior)	Se queda en la superficie de cribado (sale la mitad)
Cuesco total retenido (zaranda superior) del material depositado para la prueba (50kg)	Abultamiento 40% (20 kg).
Cuesco total retenido (zaranda inferior) del material entregado por la zaranda superior	Abultamiento 40% (12kg).
Salida del material particulado (canal inf. en "U")	✓ OK.
Polvo levantado	Moderado

Estabilidad de la máquina	✓ OK.
---------------------------	-------

Fuente: elaboración propia

Cuadro 37. Cernido a 120 RPM (Prueba 3)

FUNCIONAMIENTO CON CARGA	
<b>Máquina:</b>	MÁQUINA CERNIDORA DE DOS NIVELES
<b>Fecha:</b>	5/11/2022
	<b>Prueba # 3</b>
<b>Lugar y tiempo de prueba:</b>	Industrias Acuña / 5 minutos
ESPECIFICACIONES DE ENCENDIDO	Estado
Rpm de cernido (120 rpm)	✓ OK.
Nivel de llenado esperado	✓ OK.
Desplazamiento del cuesco en la superficie de cribado (zaranda superior)	✓ OK.
Desplazamiento del cuesco en la superficie de cribado (zaranda inferior)	✓ OK.
Salida del cuesco (zaranda superior)	✓ OK.
Salida del cuesco (zaranda inferior)	✓ OK.
Cuesco total retenido (zaranda superior) del material depositado para la prueba (50kg)	<b>Abultamiento 30% (15kg).</b>
Cuesco total retenido (zaranda inferior) del material entregado por la zaranda superior	<b>Abultamiento 50% (17,5 kg).</b>
Salida del material particulado (canal inf. en "U")	✓ OK.

Polvo levantado	Moderado
Estabilidad de la máquina	✓ OK.

Fuente: elaboración propia

En la prueba número 3 se evidencia que el rpm de cernido lograr distribuir el material triturado en toda la superficie de cribado de la zaranda superior sin embargo esta velocidad de cernido es baja ya que no logra procesar los 10 kg en un minuto, dejando material sin cernir en la zaranda, no obstante, todo el material retenido es correctamente evaluado por los canales de salida de la zaranda.

Se decide realizar una prueba aumentando el rpm para lograr que la máquina cierre los 10 kg/minuto.

Cuadro 38. Cernido a 125 RPM (Prueba 4).

FUNCIONAMIENTO CON CARGA	
<b>Máquina:</b> MÁQUINA CERNIDORA DE DOS NIVELES	
<b>Fecha:</b> 5/11/2022	<b>Prueba # 4</b>
<b>Lugar y tiempo de prueba:</b> Industrias Acuña / 5 minutos	
ESPECIFICACIONES DE ENCENDIDO	Estado
Rpm de cernido (máximo 125 rpm)	✓ OK.
Nivel de llenado esperado	✓ OK.
Desplazamiento del cuesco en la superficie de cribado (zaranda superior)	✓ OK.

Desplazamiento del cuesco en la superficie de cribado (zaranda inferior)	✓ OK.
Salida del cuesco (zaranda superior)	✓ OK.
Salida del cuesco (zaranda inferior)	✓ OK.
Cuesco total retenido (zaranda superior) del material depositado para la prueba (50kg)	Ideal 25% (25 kg).
Cuesco total retenido (zaranda inferior) del material entregado por la zaranda superior	Ideal 37.5% (14 kg).
Salida del material particulado (canal inf. en "U")	Ideal 37.5% (14 kg).
Polvo levantado	✓ OK.
Estabilidad de la máquina	✓ OK.

Fuente: elaboración propia

Como resultado de las pruebas se logra determinar que la velocidad ideales para el cernido es de 125 rpm, con esta velocidad las zarandas logran procesar los 10 kg por minuto, además se evita el abultamiento y las altas vibraciones en su funcionamiento, también se logra evacuar todo el material retenido por las zarandas (ver figura 62), además el canal inferior de salida hacia el ciclón cumple con absorber y transportar todo el polvo y pequeñas partículas que logran pasar las diferentes etapas de cernido (ver figura 61).

Figura 61. Canal inferior de salida hacia el ciclón



Fuente: elaboración propia

Figura 62. Canales de salida de las zarandas.



Fuente: elaboración propia

## 7. FLUJO ECONÓMICO Y VIABILIDAD DEL PROYECTO

Para el diseño y construcción de este proyecto es importante tener en cuenta el análisis de costos de fabricación de la máquina y así determinar cuánto se invertirá o en su defecto se invirtió para llevar a cabo este proyecto, para esto se determina el valor de la materia prima, servicios externos, componentes especiales, diseño y mano de obra de la máquina, así como costos directos e indirectos.

Una vez obtenido el valor de la inversión total para el desarrollo de este proyecto se utilizarán herramientas financieras para determinar su viabilidad económica, estas herramientas permiten determinar el VPN (Valor presente neto) y la TIR (Tasa interna de retorno), las cuales muestran la rentabilidad del proyecto.

### 7.1 COSTOS DEL PROYECTO

El costo del proyecto contempla todos los flujos económicos que la empresa INAL.LTDA destino el diseño y desarrollo de la máquina y estos están definidos de la siguiente manera.

7.1.1 Materia Prima e Insumos. Consiste en todos los materiales que se utilizaron para la fabricación de la máquina cernidora de dos niveles.

Cuadro 39.Costo de materia prima e insumos.

<b>Materia prima e insumos</b>			
<b>Máquina:</b> MÁQUINA CERNIDORA DE DOS NIVELES			
<b>DESCRIPCIÓN / PRODUCTO</b>	<b>CANT.</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Valor Total:</b>

Tubo cuadrado de 4" acero AISI 1020	13 m	\$ 97.600	\$ 1'268.800
Perfil en T de 4" acero AISI 1020	1.4 m	\$ 148.896	\$ 208.500
Lamina de acero AISI 1020 de 6.0 mm	1.5 m <sup>2</sup>	\$ 338.000	\$ 507.000
Barra acero AISI 1045 Ø 1 1/2"	1.0 m	\$ 248.900	\$ 248.900
Ángulo de 1x1" acero AISI 1020	9.0 m	\$ 11.400	\$ 102.600
Barra acero AISI 1045 Ø 3/4"	2.0 m	\$ 172.300	\$ 344.600
Tubo de acero AISI 1045 Ø 2"	0.5 m	\$ 61.300	\$ 31.700
Lámina 1,9 mm acero AISI 316	13.5m <sup>2</sup>	\$ 352.800	\$ 4'762.000
Perlin en C calibre 14, acero AISI 304	2.5 m	\$ 48.999	\$ 122.500
Barra acero AISI 1045 Ø 2"	0.15 m	\$ 251.200	\$ 37.680
Tubo cuadrado de 1" acero AISI 1020	9.0 m	\$ 6.825	\$ 41.000
Barra 1/3" acero AISI 1020	0.5 m	\$26.000	\$ 13.000
Tubo PVC 4"	12.0 m	\$18.816	\$225.792
Codo 90 x 4" PVC	4	\$12.900	\$51.600
Soldadura PVC 1/32	1/32	\$16.900	\$16.900
Bisagras de ½ "x ¼"	4.0	\$7.600	\$30.400

Tornillo Bristol M6x1.0 L'15, con tuerca.	672	\$1.300	\$873.60 0
Tornillo Bristol M8x1.0 L'15, con tuerca	8	\$1.500	\$12.000
Tornillo Hexagonal M12x1.0 L'45, con tuerca	8	\$5.900	\$47.200
Soldadura West arco 6013	4.5 <i>kg</i>	\$20.900	\$94.100
Masilla nitro de alto desempeño (Gris claro)	1/4 <i>gal</i>	\$39.000	\$39.000
Discos de corte para metal de 4 1/2"	6	\$6.500	\$39.000
Lija de agua 600	10	\$1.300	\$13.000
Anticorrosivo verde mate	2 <i>gal</i>	\$61.900	\$123.80 0
Esmalte sintético azul	2 <i>gal</i>	\$107.90 0	\$215.80 0
Cable # 10 de 7 hilos aislado de cobre	35 <i>m</i>	\$3.750	\$131.25 0
Conector resorte AMR.	9	\$2.200	\$19.800
<b>TOTAL</b>			<b>\$9'574.3 00</b>

Fuente: elaboración propia

7.1.2 Maquinado y Servicios Externos. Consiste en todos componentes que fueron procesados para obtener sus especificaciones de diseño tales como: torneados, cortes y doblado de chapa metálica.

Cuadro 40. Costo de maquinado y servicios externos.

<b>Maquinado y servicios externos</b>			
<b>Máquina:</b> MÁQUINA CERNIDORA DE DOS NIVELES			
<b>DESCRIPCIÓN / PRODUCTO</b>	<b>Horas</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Valor Total:</b>
Corte por láser chapa metálica	3.5	\$ 165.000	\$ 577.500
Dobles de chapa metálica (valor por dobles)	2	\$ 22.000	\$ 44.000
Torneado tornillo M10x1.25 (Disco Central)	0.5	\$ 76.000	\$ 38.000
Transporte y asesoría	--	\$500.000	\$500.000
<b>TOTAL</b>			<b>\$1'159.500</b>

Fuente: elaboración propia

7.1.3 Componentes Especiales. Los componentes especiales son tales como: motorreductor, regulador de frecuencia, rodamientos la malla.

Cuadro 41. Costo de maquinado y servicios externos

<b>Componentes especiales</b>			
<b>Máquina:</b> MÁQUINA CERNIDORA DE DOS NIVELES			
<b>DESCRIPCIÓN / PRODUCTO</b>	<b>CANT</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Valor Total :</b>
Motorreductor 1 HP sin fin corona WEG	1	\$ 2'793.800	\$ 2'793.800

Variador de frecuencia Yaskawa V1000	1	\$ 2'729.000	\$ 2'729.000
Malla cuadrada tipo A de 10Hx1"	1.0 m <sup>2</sup>	\$ 206.400	\$ 206.400
Malla cuadrada tipo A de 16Hx1"	1.0 m <sup>2</sup>	\$ 247.000	\$ 247.000
Rodamiento de bolas 16005 2RS-SKF	16	\$ 31.900	\$ 510.400
Rodamiento de bolas a rótula 2304 TN9-SKF	4	\$ 49.900	\$ 199.900
<b>TOTAL</b>			<b>\$6'686.100</b>

Fuente: elaboración propia

7.1.4 Diseño y Mano de Obra. En este apartado se tiene en cuenta todos los costos de personal que fue asignado para trabajar en el diseño y construcción de la máquina cernidor.

Cuadro 42. Costo de diseño y mano de obra.

Diseño y mano de obra			
<b>Máquina:</b> MÁQUINA CERNIDORA DE DOS NIVELES			
DESCRIPCIÓN / PRODUCTO	Horas	Valor Unitario	Valor Total:
Operarios avanzados	288	\$ 7.820	\$ 2'252.200

Soldador	32	\$ 13.100	\$ 419.200
Supervisor de planta	7	\$ 10.100	\$ 70.700
Ingeniero de diseño	96	\$ 18.230	\$ 1'750.000
<b>TOTAL</b>			<b>\$4'492.100</b>

Fuente: elaboración propia

7.1.5 Costo total de la máquina cernidora de cuesco. El costo total es la suma de todos los costos de diseño y fabricación de la máquina más un porcentaje al subtotal para imprevistos.

Cuadro 43. Costo total de la máquina

<b>Costo total de la máquina</b>	
<b>Máquina:</b> MÁQUINA CERNIDORA DE DOS NIVELES	
REFERENCIA	VALOR
Materia prima e insumos	<b>\$9'574.300</b>
Maquinado y servicios externos	<b>\$1'159.500</b>
Componentes especiales	<b>\$6'686.100</b>
Diseño y mano de obra	<b>\$4'492.100</b>
<b>SUBTOTAL:</b>	<b>\$21'912.000</b>

Imprevistos y otros (10% del subtotal)	\$2'191.200
<b>TOTAL</b>	<b>\$24'103.200</b>

Fuente: elaboración propia

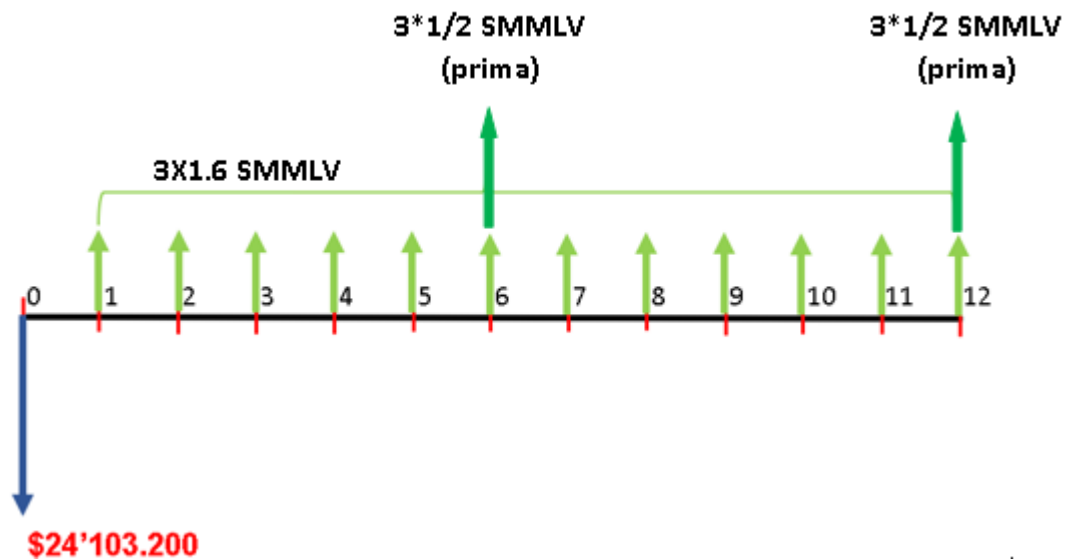
El costo total para el diseño y desarrollo de la máquina cernidora es de 24 '103.200, netamente financiados por la empresa Industrias Acuña LTDA.

## 7.2 VPN (VALOR PRESENTE NETO).

Para el diagrama de flujo económico del proyecto, se debe tener en cuenta el valor total de inversión del proyecto (COP 24'103.200), el cuales se comportan como un egreso en valor presenta, ya que el dinero de la inversión fue destinado en su totalidad el día en el cual se inicia el proyecto.

El proceso de cernido manual requiere de 4 empleados a los cuales se les paga un salario mínimo legal mensual vigente (SMMLV) más prestaciones de ley la cual abarca primas, seguro, pensión y cesantías, sin embargo, con la implementación de la máquina se busca reducir esta cantidad a un solo operario, esta reducción de nómina se toma como ingresos para el diagrama de flujo económico del proyecto en un periodo de 1 año.

Figura 63. Diagrama de flujo económico del proyecto



Fuente: elaboración propia

El interés anual con el cual se realiza el análisis económico del proyecto es de un 15,8 % ya que esta es la tasa de interés que ofrece el banco BBVA para empresas con proyectos de libre inversión.

El interés anual del 15.8% es llevado a interés mensual para determinar el VPN del proyecto.

Cuadro 44. Cálculo del interés mensual ofrecido por el banco.

Cálculo del interés mensual		
Interés anual	$i_a = 15,8 \%$	$i_m = \textit{interés mensual}$
Periodo	$m_a = 1 \textit{ año}$	$m = 12 \textit{ meses}$
<b>Ecuación</b>		
$i_m = (1 + i_a)^{1/m} - 1$		

Tasa de interés mensual ( $i_m$ )	$i_m = 1.2\%$
-----------------------------------	---------------

Fuente: elaboración propia

Con el interés mensual se calcula el valor presente neto de los ingresos ( $VPN_{Ingresos}$ ) y el valor presente neto de los egresos ( $VPN_{Egresos}$ ), el cual es la inversión inicial del proyecto, teniendo en cuenta el diagrama de flujo económico anterior.

Cuadro 45. Cálculo el  $VPN_{Ingresos}$  y el  $VPN_{Egresos}$

<b>Cálculo el (<math>VPN_{Ingresos}</math>) y el (<math>VPN_{Egresos}</math>)</b>	
<b>ECUACIÓN VPN</b>	
$VPN = -I \pm \sum (VP_i); \quad VP_i = VF/(1 + i_m)^m$	
Inversión inicial ( $I$ )	$I = 24'103.200$
Interés mensual ( $i_m$ )	$i_m = 1.2\%$
Periodo ( $m$ )	$m = 12$
Valor futuro ( $VF$ salario)	$VF = 5'568.000 (3 * 1.6 SMMLV)$
Valor presente neto ( $VPN$ )	$VPN = 40'908.113$

Fuente: elaboración propia

Como análisis de viabilidad del proyecto se caracteriza el valor del VPN de la siguiente manera:

- Si el VPN es positivo: El proyecto es rentable.
- Si el VPN es negativo: El proyecto no es rentable.
- Si el VPN es cero: El proyecto es indiferente.

El valor del VPN es positivo dando como resultado favorable la viabilidad de implementación del proyecto, generando ganancias en la reducción de nómina del proceso de cernido.

### 7.3 TIR (TASA INTERNA DE RETORNO DEL PROYECTO).

Para el cálculo de la TIR se debe igualar el VPN a cero, esto con el fin de determinar el interés mensual y así, posteriormente determinar la tasa de interés anual interna de retorno del proyecto.

Cuadro 46. Cálculo de la TIR.

Cálculo de la TIR	
ECUACIÓN VPN	
$VPN = -I \pm \sum (VP_i) ; \quad VP_i = VF / (1 + TIR_{MENSUAL})^m$ $VPN = 0$	
Inversión inicial ( <i>I</i> )	<i>I</i> = 24'103.200
Valor presente neto ( <i>VPN</i> )	<i>VPN</i> = 0
Periodo ( <i>m</i> )	<i>m</i> = 12
Valor futuro ( <i>VF salario</i> )	<i>VF</i> = 5'568.000 (3 * 1.6 SMMLV)
Tasa interna de retorno ( <i>TIR<sub>MENSUAL</sub></i> )	<i>TIR<sub>MENSUAL</sub></i> = 21 %

<b>ECUACIÓN INTERÉS ANUAL</b>	
$i_a = \sqrt[m]{i_m + 1} - 1$	
Interés mensual ( $i_m$ ) ( $TIR_{MENSUAL}$ )	$i_m = 21 \%$
Periodo ( $m$ )	$m = 12$
Tasa interna de retorno ( $TIR_{ANUAL}$ )	$TIR_{ANUAL} = 884.97 \%$

Fuente: elaboración propia

Como análisis de la tasa interna de retorno ( $TIR_{ANUAL}$ ) del proyecto se caracteriza el valor de la  $TIR_{ANUAL}$  del sainete manera:

- Si la  $TIR_{ANUAL} > i_a$  : El proyecto es rentable y se acepta.
- Si la  $TIR_{ANUAL} < i_a$  : El proyecto no es rentable y no se acepta.
- Si la  $TIR_{ANUAL} = i_a$  : El proyecto es indiferente.

Con los valores del interés anual ofrecido por el banco ( $i_m = 1.2 \%$ ) y la tasa de retorno interna del proyecto ( $TIR_{MENSUAL} = 21 \%$ ), se concluye que el proyecto tiene una alta rentabilidad y es muy viable su implementación, ya que esta muestra buenos indicadores económicos.

## 8. CONCLUSIONES

- Con la finalidad de reforzar y poner en práctica los conocimientos adquiridos a lo largo de carrera de ingeniería mecánica en la Universidad Industrial de Santander, junto a la empresa Industrias Acuña LTDA, se logra implementar el diseño y desarrollo de una maquina cernidora de dos niveles para el cuesco triturado de palma africana, aportando al desarrollo tecnológico de esta industria.
- Se logró cumplir y mejorar la capacidad de carga de la máquina, uno de los objetivos consiste en que la máquina sea capaz de procesar 125 Kg/h durante 8 horas diarias, sin embargo, a sugerencia de la empresa interesada en la máquina, se diseña y construir una máquina con capacidad de 600 kg/h máximos, dando como resultado un rendimiento un de 4.8 veces mayor al requerido en el proyecto, todo esto con la finalidad de a futuro aumentar el volumen de cuesco entregado por la máquina trituradora.
- Las pruebas de campo realizadas a la máquina determinaron las condiciones ideales para mantener las vibraciones bajas con ruidos moderados, adicionalmente, en estas pruebas se logró caracterizar los parámetros ideales de encendido y funcionamiento de la máquina evitando sobrecargas o acumulamientos innecesarios de cuesco en las zarandas.
- Se cumple con el objetivo de realizar un análisis económico antes y después de la implementación del proyecto, el resultado es muy favorable debido a que la rentabilidad del proyecto es alta, pues este logra reducir la mano de obra en el proceso de cernido manual de 4 a 1 persona, mejorando las condiciones de trabajo y regenerado un ahorro de nómina para empresa. Además, se logró determinar que el retorno total de la inversión del proyecto se recupera en un plazo máximo de 8 meses después de la implementación de la máquina.

- La culminación de este proyecto permite brindar grandes aportes al desarrollo profesional y académico, también como la oportunidad de enfrentarse a nuevos desafíos. Se espera que este proyecto sea de gran utilidad para futuros proyectos relacionados con la industria de procesamiento de palma africana, o en su defecto sea utilizado para fines académicos.

## BIBLIOGRAFÍA

Antonio Sánchez Alfonso, R., Armando Duran Peralta, H., Marcela Aguiar Urriago, L., Uribe Aldana, N., & Yuri Viviana Rojas Forero, A. (2017). Modelo para la gasificación del cuesco de palma aceitera. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/download/articulo/6333250.pdf>

EL CULTIVO de la palma de aceite: negocio y deforestación [Anónimo]. En: desInformémonos [en línea]. 4, octubre, 2016. Disponible en: <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/6df805ec-f8a0-4d78-97a9-02dcb7fb6f11/content>

FLORIAN MODELLBAU. 1:14,5 Modulare Siebanlage: Siebtest [video]. YouTube. (26, abril, 2019). [Consultado el 3, mayo, 2023]. 02:46 min. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=lbuqKE2ugA0>

Giraldo Ávila, L. C., & Ruiz Ospina, F. L. (2018). Incorporación del cuesco de palma de aceite africana como agregado grueso en mezclas de concreto. [Trabajo de Grado, Universidad Cooperativa de Colombia]. Repositorio, 7, 1–25. <https://repository.ucc.edu.co>

Gómez Mendoza, D. S. (2014). Residuos de palma africana purifican agua y aire. In UN Periódico (p. 1).

GONZÁLEZ, Pablo. Diseño e implementación de un equipo separador de partículas sólidas (ciclón) en la industria del caucho. 2018. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/16998/1/T-UC-0017-IQU-016.pdf>

HAMDY RIHANE - حمدي ریحان. Sand Sieve Machine | Machine de tamisage de sable [video]. YouTube. (11, abril, 2020). [Consultado el 5, diciembre, 2022]. 00:37 min.

Disponible en: [https://www.youtube.com/watch?v=WnubtNcO\\_2s](https://www.youtube.com/watch?v=WnubtNcO_2s)

Mba, O., Dumont, M. y Ngadi, M. (2015) Palm Oil: Processing, Characterization and Utilization in the Food Industry – A Review. Food Bioscience, (10). doi: 10.1016/j.fbio.2015.01.003.

MADR. (2020). Cadena de palma de aceite, indicadores e instrumentos. Lecturas de Economía, 1–25. [https://sioc.minagricultura.gov.co/Palma/Documentos/2020-03-30 Cifras Sectoriales.pdf](https://sioc.minagricultura.gov.co/Palma/Documentos/2020-03-30_Cifras_Sectoriales.pdf)

MALLA METÁLICA Cuadrada Tipo A-F Extrafina [Anónimo]. Mallas y Cribas [página web]. [Consultado el 17, noviembre, 2022]. Disponible en: <https://www.nubasm.com/producto-cribado-clasificacion-aridos/mallas-metalicas/malla-metalica-cuadrada-tipo-af-extrafina/>

MEKA GLOBAL. Inclined Vibrating Screen, working principle (for aggregates, mining industries) [video]. YouTube. (31, julio, 2018). [Consultado el 11, noviembre, 2022]. 03:03 min. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=M1K6uDv6bx4>

MARIA, Angela. CULTIVO DE LA PALMA AFRICANA GUÍA TÉCNICA. (2006). Academia.edu - Share research [página web]. [Consultado el 10, mayo, 2023]. Disponible en: [https://www.academia.edu/28048811/CULTIVO\\_DE\\_LA\\_PALMA\\_AFRICANA\\_GUÍA\\_TÉCNICA](https://www.academia.edu/28048811/CULTIVO_DE_LA_PALMA_AFRICANA_GUÍA_TÉCNICA)

Mauricio, H., Angulo, R., Diana, A., Forero, C., Paola, H., Hormaza, A., Leidy, M., Moreno, P., Rodrigo, C., & Romero, R. Generalidades sobre la morfología y fenología de la palma de aceite.

Martínez Saray, J. D., & Naranjo Nieto, W. D. (2021). Elección de un filtro de carbón

activado de cuesco de palma africana para agua pretratada (caso Del Llano S.A. Restrepo-Meta). Disponible en: <http://repositorio.uan.edu.co>

Mitschke, T. (2016). Desarrollo de análisis de mercado nacional e internacional de los productos de pellet. Quito - Ecuador.

MOTORREDUCTOR 2HP sinfín corona - Exhibir Equipos [Anónimo]. Exhibir Equipos [página web]. Disponible en: <https://exhibirequipos.com/producto/motorreductor-sinfin-corona-2hp/>

MOTORREDUCTOR 2HP, Op. cit., sinfín corona - Exhibir Equipos [Anónimo]. Exhibir Equipos [página web]. Disponible en: <https://exhibirequipos.com/producto/motorreductor-sinfin-corona-2hp/>

Peréz, O. (2020). "EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN DEL CUESCO DE PALMA AFRICANA EN UN QUEMADOR DE TIRO FORZADO". Disponible en: <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/3737/1/OLGER%20GUILLERMO%20P%20C3%89REZ%20VALENCIA.pdf>

RINGEGNI, Pablo. Cálculo de uniones soldadas. En: Facultad de Ingeniería U.N.L.P. [en línea]. 2013. Disponible en: <http://www.aero.ing.unlp.edu.ar/catedras/archivos/Uniones%20soldadas%20sexta%20edicion%202013.pdf>.

Sula, S. A. N. P. (2009). Manual Técnico De Palma Africana. Mac, 99.

THEYAGU SELVAM. Design, Simulation and Fabrication of Horizontal Sand Sieving Machine in Creo | Design in Creo | [video]. YouTube. (12, diciembre, 2020). [Consultado el 2, diciembre, 2022]. 00:27 min. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=QpZ5UoaMU04>

Torres Pérez, C. I., & Quintero López, L. A. (2019). Análisis de residuos sólidos de palma africana, como alternativa de aprovechamiento de energías renovables en el departamento del Cesar. *Ingenierías USBMed*, 10(1), 8–18. Disponible en: <https://doi.org>

VAN, Jan. Subproductos de la palma de aceite como materias primas de biomasa\*. En: Fedepalma [en línea]. 2016. vol. 37, p. 151. Disponible en Internet: [https://web.fedepalma.org/conferenciainternacional/wp-content/uploads/2022/09/M\\_2\\_15\\_-Subproductos-de-la-palma.pdf](https://web.fedepalma.org/conferenciainternacional/wp-content/uploads/2022/09/M_2_15_-Subproductos-de-la-palma.pdf)

VARIADOR DE Frecuencia j1000 | PDF | Corriente eléctrica | Señal análoga [Anónimo]. Scribd [página web]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/125473938/Variador-de-Frecuencia-j1000>

V1000 GUÍA rápida de referencia [Anónimo]. Soluciones industriales | RS, anteriormente RS Components [página web]. Disponible en: <https://es.rs-online.com/es/pdf/V1000.pdf>

YASKAWA ELECTRIC TOSP C710606 22B Inversor de CA YASKAWA - V1000 Manual Técnico

YASKAWA ELECTRIC TOSP C710606 22B, Op. cit., p. 15. Inversor de CA YASKAWA - V1000 Manual Técnico