



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MECÁNICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MOLINO
PULVERIZADOR PARA LA INDUSTRIALIZACIÓN DE UNCARIA
TOMENTOSA (UÑA DE GATO)”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico.

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTOR:

DENNYS FERNANDO GUASPACHA POAQUIZA

Riobamba - Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MECÁNICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MOLINO
PULVERIZADOR PARA LA INDUSTRIALIZACIÓN DE UNCARIA
TOMENTOSA (UÑA DE GATO)”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico.

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTOR: DENNYS FERNANDO GUASPACHA POAQUIZA

DIRECTOR: Ing. MIGUEL ÁNGEL ESCOBAR GUACHAMBALA

Riobamba - Ecuador

2022

© 2022, **Dennys Fernando Guaspacha Poaquiza.**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Yo, Dennys Fernando Guaspacha Poaquiza, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 15 de Agosto del 2022





Dennys Fernando Guaspacha Poaquiza

060450006-6

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MECÁNICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MOLINO PULVERIZADOR PARA LA INDUSTRIALIZACIÓN DE LA PLANTA UNCARIA TOMENTOSA (UÑA DE GATO)**, realizado por el señor: **DENNYS FERNANDO GUASPACHA POAQUIZA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Msc. Edwin Fernando Viteri Núñez PRESIDENTE DE TRIBUNAL		2022-08-15
Ing. Msc. Miguel Ángel Escobar Guachambala DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022-08-15
Ing. Msc. Lidia del Rocío Castro Cepeda MIEMBRO DE TRABAJO		2022-08-15

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación va dedicado a toda mi familia y amigos que de alguna u otra manera estuvieron siempre pendientes de mi vida persona y también la estudiantil; pero de manera especial a mi madre ya que ella fue mi pilar primordial en este proceso ya que muchas de las veces estuve por quebrarme y no seguir más, pero el ánimo y dedicación de ella es la que me sostuvo para poder culminar todo este proceso.

Dennys

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la vida y brindarme el apoyo de todas las personas que me motivaron para poder continuar, a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por la oportunidad de pertenecer a tan prestigiosa institución; a todo el cuerpo de docentes que a lo largo del camino estudiantil supieron educarme en lo académico y en lo personal, aconsejarme para poder lograr este paso más a mi vida y a todas las personas que supieron manifestar su sincero cariño para poder culminar esta etapa.

Dennys.

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
SUMMARY:.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Delimitación.....	2
1.2.1. Delimitación espacial.....	2
1.2.2. Delimitación sectorial.....	3
1.3. Formulación del problema.....	3
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. Objetivo general.....	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Revisión bibliográfica.....	5
2.1.1. <i>Uncaria tomentosa</i>	5
2.2. Requerimientos funcionales y parámetros de diseño.....	7
2.2.1. Pulverización de sólidos.....	8
2.2.1.1. Equipos de pulverización.....	8
2.2.1.2. Comparación entre los molinos de pulverización.....	9

2.2.1.3.	<i>Tipos de pulverización</i>	10
2.2.1.4.	<i>Molino de martillos</i>	11
2.2.1.5.	<i>Molino de bolas</i>	11
2.2.1.6.	<i>Molino de impacto de paletas</i>	12
2.2.1.7.	<i>Molino de discos</i>	12
2.2.1.8.	<i>Factores que inciden en la calidad del pulverizado</i>	13
2.3.	Aceros inoxidables	14
2.3.1.	Tipos de aceros inoxidables AISI (UNS)	14
2.3.1.1.	<i>Aceros inoxidables austeníticos - Serie 300</i>	15
2.3.1.2.	<i>Aceros inoxidables ferríticos - Serie 400</i>	15
2.3.2.	Procedimientos de soldadura más usados en aceros inoxidables	16
2.3.2.1.	<i>Proceso SMAW (electrodo revestido)</i>	16
2.3.2.2.	<i>Proceso TIG (Tungsten Inert Gas)</i>	16
2.3.2.3.	<i>Proceso MIG-MAG</i>	17

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	18
3.1.	Propuesta metodológica para el diseño del molino pulverizador	18
3.2.	Selección del sistema de pulverización	18
3.2.1.	Matriz QFD (Quality Function Deployment)	18
3.2.1.1.	<i>Voz del usuario</i>	18
3.2.1.2.	<i>Voz del ingeniero</i>	19
3.2.2.	Análisis funcional	20
3.2.3.	Definición de los módulos	21
3.2.4.	Matriz morfológica	22
3.2.4.1.	<i>Solución 1</i>	23
3.2.4.2.	<i>Solución 2</i>	24
3.2.5.	Evaluación de las soluciones a los módulos	24
3.2.5.1.	<i>Tipo de motor</i>	24
3.2.5.2.	<i>Transmisión de potencia</i>	27
3.2.5.3.	<i>Sistema de pulverización</i>	29
3.3.	Parámetros de diseño	31
3.3.1.	Determinación de la fuerza de corte	31
3.3.2.	Diseño del eje	33
3.3.2.1.	<i>Fuerzas que actúan en el eje</i>	33

3.3.2.2.	<i>Límite de fatiga Se</i>	38
3.3.2.3.	<i>Dimensionamiento del eje</i>	39
3.3.3.	<i>Análisis de Resonancia</i>	40
3.3.3.1.	<i>Método de Dunckerley</i>	42
3.3.3.2.	<i>Método de Rayleigh-Ritz</i>	42
3.3.4.	<i>Cálculo de la potencia requerida para el molino</i>	42
3.3.4.1.	<i>Potencia requerida por la máquina</i>	42
3.3.4.2.	<i>Selección del motor eléctrico</i>	43
3.3.4.3.	<i>Conexión eléctrica del motor</i>	44
3.3.5.	<i>Dimensionamiento de la carcasa</i>	45
3.3.6.	<i>Dimensionamiento del rotor</i>	47
3.3.6.1.	<i>Dimensionamiento de las cuchillas fijas</i>	47
3.3.6.2.	<i>Dimensionamiento de las cuchillas móviles</i>	48
3.3.7.	<i>Dimensionamiento de la tolva de alimentación</i>	49
3.3.8.	<i>Dimensionamiento de la tolva de salida</i>	50
3.3.9.	<i>Dimensionamiento de la chaveta</i>	50
3.3.10.	<i>Diseño de la bancada de la máquina pulverizadora</i>	50
3.3.10.1.	<i>Carga viva</i>	53
3.3.10.2.	<i>Carga muerta</i>	53
3.3.10.3.	<i>Definición de patrones de carga</i>	54
3.3.10.4.	<i>Combinación de carga</i>	55
3.3.11.	<i>Selección del material mediante software CES eduPACK</i>	60
3.3.11.1.	<i>Las restricciones del material</i>	60
3.3.11.2.	<i>Objetivo de selección del material para la construcción de la máquina</i>	60
3.3.11.3.	<i>Material de partida aisi 1020</i>	61
3.3.12.	<i>Índices de desempeño</i>	62
3.3.12.1.	<i>Índice de desempeño para el criterio peso</i>	62
3.3.12.2.	<i>Índice de optimización para el criterio costo</i>	62
3.3.12.3.	<i>Análisis de factibilidad de producción con el part cost simulator</i>	63

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS	65
4.1.	Análisis en el software CAE Ansys	65
4.1.1.	Eje	65

4.1.1.1.	<i>Resultado de deformaciones en el eje.....</i>	67
4.1.1.2.	<i>Resultado del análisis de esfuerzos de Von Mises.....</i>	68
4.1.2.	<i>Rotor.....</i>	68
4.1.2.1.	<i>Resultado de las deformaciones en las cuchillas móviles.</i>	69
4.1.2.2.	<i>Resultado del análisis de esfuerzos de Von Mises.....</i>	70
4.1.3.	<i>Cuchillas fijas</i>	71
4.1.3.1.	<i>Resultado del análisis de deformaciones en las cuchillas fijas</i>	72
4.1.3.2.	<i>Resultado del análisis de esfuerzos de Von Mises.....</i>	72
4.2.	<i>Construcción del prototipo.</i>	73
4.2.1.	<i>Prototipado rápido.</i>	73
4.2.2.	<i>Consideraciones tomadas al imprimir en 3D.....</i>	73
4.2.3.	<i>Dificultades en la impresión 3D FDM.....</i>	73
4.2.4.	<i>Material de impresión.....</i>	74
4.2.5.	<i>Resultado del proceso de construcción de la impresión en 3D.....</i>	74
4.3.	<i>Análisis de costos</i>	75
4.3.1.	<i>Costos directos</i>	75
4.3.1.1.	<i>Costo de fabricación.....</i>	75
4.3.1.2.	<i>Costo de mano de obra.....</i>	76
4.3.1.3.	<i>Costo de Materiales.....</i>	76
4.3.1.4.	<i>Costo directo total</i>	77
4.3.2.	<i>Costos indirectos</i>	77
4.3.2.1.	<i>Costos de ingeniería</i>	78
4.3.2.2.	<i>Costo indirecto total</i>	78
4.3.3.	<i>Costo total del molino pulverizador.....</i>	78
4.4.	<i>Plan de mantenimiento.....</i>	78
4.4.1.	<i>Plan de mantenimiento mensual.....</i>	79
	Conclusiones	80
	Recomendaciones	81
	GLOSARIO	
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Clasificación del tipo de molienda	7
Tabla 2-2:	Clasificación de los equipos de pulverización.....	9
Tabla 3-2:	Cuadro comparativo de los molinos de pulverización.....	9
Tabla 4-2:	Tipos de aceros inoxidables.....	14
Tabla 5-2:	Propiedades mecánicas del Acero AISI 304.....	15
Tabla 1-3:	Matriz morfológica.....	23
Tabla 2-3:	Evaluación de los pesos específicos de los criterios para el módulo 1.....	25
Tabla 3-3:	Evaluación del peso específico del criterio de costo.	25
Tabla 4-3:	Evaluación del peso específico del criterio de accesibilidad.	26
Tabla 5-3:	Evaluación del peso específico del criterio de mantenimiento.....	26
Tabla 6-3:	Tabla de conclusiones.....	26
Tabla 7-3:	Evaluación de los pesos específicos de los criterios para el módulo 2.....	27
Tabla 8-3:	Evaluación del peso específico del criterio de mantenimiento.....	27
Tabla 9-3:	Evaluación del peso específico del criterio de costo.	28
Tabla 10-3:	Evaluación del peso específico del criterio de durabilidad.	28
Tabla 11-3:	Tabla de conclusiones.....	28
Tabla 12-3:	Evaluación de los pesos específicos de los criterios para el módulo 3.....	29
Tabla 13-3:	Evaluación del peso específico del criterio de calidad.	29
Tabla 14-3:	Evaluación del peso específico del criterio de mantenimiento.....	30
Tabla 15-3:	Evaluación del peso específico del criterio de costo	30
Tabla 16-3:	Tabla de conclusiones.....	30
Tabla 17-3:	Resultados obtenidos de la fuerza P aplicada.	31
Tabla 18-3:	Características del motor eléctrico	44
Tabla 19-3:	Dimensionamiento de la chaveta para un eje de 18 mm	50
Tabla 20-3:	Peso de los elementos que componen el molino pulverizador.	53
Tabla 21-3:	Resultados de deformación por combinación de cargas de servicio.	57
Tabla 22-3:	Resumen de las funciones, restricciones, objetivos y variables libres.....	61
Tabla 1-4:	Costo de fabricación.....	75
Tabla 2-4:	Costo de mano de obra	76
Tabla 3-4:	Costo de materiales.....	76
Tabla 4-4:	Costo directo total.....	77
Tabla 5-4:	Costo indirecto total.	78
Tabla 6-4:	Costo total.....	78
Tabla 7-4:	Plan de mantenimiento mensual.	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2:	Planta Uncaria Tomentosa	5
Figura 2-2:	Corteza de la planta uncaria tomentosa.....	5
Figura 3-2:	Proceso de cosecha de la uña de gato	6
Figura 4-2:	Partes de un equipo de pulverización.....	8
Figura 5-2:	Tipos de pulverización.....	11
Figura 6-2:	Molino de martillos.....	11
Figura 7-2:	Molino de bolas.....	12
Figura 8-2:	Molino de paletas.....	12
Figura 9-2:	Molino de discos.....	13
Figura 1-3:	Casa de la calidad del molino pulverizador.	20
Figura 2-3:	Nivel 0.....	20
Figura 3-3:	Nivel 1.....	21
Figura 4-3:	Generación de módulos.....	22
Figura 5-3:	Proceso para el cálculo de la fuerza de corte	31
Figura 6-3:	Fuerza P promedio	32
Figura 7-3:	Fuerza de corte en la herramienta.	32
Figura 8-3:	Eje del molino	33
Figura 9-3:	Diagrama de cuerpo libre.....	34
Figura 10-3:	Diagrama de fuerzas.	35
Figura 11-3:	Diagrama de fuerzas en el plano yz	35
Figura 12-3:	Diagrama de cortante en el plano yz.....	36
Figura 13-3:	Diagrama de momentos flectores en el plano yz	36
Figura 14-3:	Dimensiones del eje del molino.....	39
Figura 15-3:	Geometría del eje en el programa SAP 2000.....	41
Figura 16-3:	Deflexión en el punto A debido a la masa A	41
Figura 17-3:	Placa de un motor eléctrico WEG disponible en el mercado.....	44
Figura 18-3:	Conexión eléctrica del motor.....	44
Figura 19-3:	Carcasa del molino.....	45
Figura 20-3:	Partes de la carcasa	45
Figura 21-3:	Partes de la tapa	46
Figura 22-3:	Cuchillas fijas.....	46
Figura 23-3:	Rotor y cuchillas	47
Figura 24-3:	Proceso de cizalladura entre cuchillas	47
Figura 25-3:	Cuchillas fijas.....	48

Figura 26-3:	Geometría de las cuchillas móviles.....	48
Figura 27-3:	Distancia entre cuchillas fijas y móviles.....	49
Figura 28-3:	Tolva de entrada.....	49
Figura 29-3:	Tolva de salida	50
Figura 30-3:	Bancada del molino pulverizador	51
Figura 31-3:	Estructura de la máquina.....	51
Figura 32-3:	Estructura en SAP 2000	52
Figura 33-3:	Configuración del tubo cuadrado de 25x25x1.5 mm	52
Figura 34-3:	Definición de patrones de carga.....	54
Figura 35-3:	Combinación de cargas	55
Figura 36-3:	Combinación de cargas para servicio.....	56
Figura 37-3:	Aplicación de la carga.....	56
Figura 38-3:	Asignación de la tubería estructural.....	57
Figura 39-3:	Localización de las juntas para análisis de rigidez.....	59
Figura 40-3:	Resultados de la deformación de la estructura.....	59
Figura 41-3:	Resultados de la razón demanda/capacidad	60
Figura 42-3:	Selección del material de partida con el Ces edupack	61
Figura 43-3:	Índices de desempeño.	62
Figura 44-3:	Materiales óptimos para la construcción de la máquina	63
Figura 45-3:	Análisis de factibilidad para el acero 1020 y el acero inoxidable 304	64
Figura 1-4:	Molino pulverizador.....	65
Figura 2-4:	Importación de la geometría y mallado del eje en el programa.	65
Figura 3-4:	Representación de los soportes del eje.....	66
Figura 4-4:	Representación de la fuerza y los momentos el eje.	66
Figura 5-4:	Análisis de deformaciones en el eje.....	67
Figura 6-4:	Análisis de esfuerzos de Von Mises.	68
Figura 7-4:	Importación de la geometría y mallado del rotor y cuchillas en el programa.	68
Figura 8-4:	Representación de la fuerza de corte en la cuchilla.	69
Figura 9-4:	Análisis de deformación en las cuchillas.	69
Figura 10-4:	Análisis de esfuerzos de Von Mises	70
Figura 11-4:	Importación de la geometría y mallado de la carcasa y cuchillas fijas.	71
Figura 12-4:	Representación de la fuerza de corte en la cuchilla fija del molino.	71
Figura 13-4:	Análisis de deformaciones en las cuchillas fijas.....	72
Figura 14-4:	Análisis de esfuerzos de Von Mises en las cuchillas fijas	72
Figura 15-4:	Regulación de temperatura.....	75
Figura 16-4:	Prototipo terminado.....	76

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** PESO DEL EJE CALCULADO MEDIANTE EL SOFTWARE SOLIDWORKS
- ANEXO B:** PESO DEL ROTOR CALCULADO CON EL SOFTWARE SOLIDWORKS
- ANEXO C:** PLATINAS DE ACERO INOXIDABLE.
- ANEXO D:** PROPIEDADES MECÁNICAS DEL TUBO ESTRUCTURAL UTILIZADO EN LA BANCADA DEL MOLINO PULVERIZADOR.
- ANEXO E:** ESPESOR COMERCIAL EN PLANCHAS DE ACERO.
- ANEXO F:** COMBINACIÓN DE CARGAS PARA EL ANÁLISIS DE UNA ESTRUCTURA BAJO LA NORMA NEC-SE-CG.

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tuvo como objetivo diseñar y construir el prototipo de un molino pulverizador de la planta Uncaria Tomentosa (Uña de gato), con el fin de industrializar su procesamiento. Inicialmente, con el despliegue del QFD se obtuvo los siguientes requerimientos técnicos: capacidad de molienda de 25 kg/h y convertir la corteza de Uncaria completamente en polvo. Este trabajo consta de: el diseño de elementos mecánicos, la selección de materiales y el análisis estructural. En cuanto a los elementos mecánicos se determinó usar un motor eléctrico monofásico de 1HP, un sistema de pulverización de impacto a través de paletas, un sistema de cuchillas fijas y móviles y dos tolvas (alimentación / salida) con la capacidad para un flujo másico aproximado de 25 kg de corteza. Luego, se diseñó y dimensionó la bancada del molino tomando en cuenta el peso total, ergonomía y facilidad de transporte de la máquina, en donde a través de un análisis estructural realizado en SAP 2000 y aplicando una carga total de 34.74 kgf correspondiente al peso de los elementos mecánicos, se obtuvo una relación D/C de 0.5, con lo cual se aseguró su resistencia. En cuanto a la selección del material para la construcción de la máquina, se empleó el software CES eduPACK y se determinó que el acero inoxidable 304 es adecuado para resistir la corrosión y la protección a la salud del usuario, al aplicar software CAD permite al diseñador tener una visualización de la geometría, dimensiones y resistencia de la máquina previo a ser construida. Finalmente, se concluye que la construcción del prototipo mediante impresión 3D permite observar de manera real los elementos de la máquina. Para la construcción de la máquina pulverizadora se recomienda tener en cuenta las especificaciones técnicas y los planos realizados en este proyecto.

Palabras Clave: < UÑA DE GATO (Uncaria Tomentosa) >, <PULVERIZACIÓN>, <PROTOTIPO>, <ELEMENTOS MECÁNICOS>, <CAPACIDAD DE MOLIENDA>, <ANÁLISIS ESTRUCTURAL>, <RESISTENCIA >.

1955-DBRA-UTP-2022



SUMMARY:

The objective of this degree work was to design and build the prototype of a pulverizing mill of the Uncaria Tomentosa plant (Uña de gato), to industrialize its processing. Initially, with the deployment of the QFD, the following technical requirements were obtained: grinding capacity of 25kg/h and converting the Uncaria bark completely into powder. This work consists of the design of Mechanical elements, the selection of Materials and the structural analysis. Regarding the mechanical elements, it was determined to use a 1 HP single-phase electric motor, an impact spraying system through paddles, a system of fixed and mobile blades and two hoppers (infeed /outfeed) with the capacity for an approximate mass flow. Of 25 kg of bark. Then, the mill bed was designed and dimensioned considering the total weight, ergonomics and ease of transport of the machine, where through a structural analysis carried out in SAP 2000 and applying a total load of 34.74 kgf corresponding to the weight, ergonomics and ease of transport of the machine, the CES eduPACK software was used and it was determined that 304 stainless steel is adequate to resist corrosion and protect the user's health, when applying CAD software, it allows the designer to have a visualization of the geometry, dimensions and resistance of the machine prior to being built. Finally, it is concluded that the construction of the prototype by means of 3D printing allows the elements of the machine to be observed in a real way. For the construction of the spraying machine, it is recommended to consider the technical specifications and the plans made in this Project.

Keywords: <CAT'S CLAW (Uncaria Tomentosa)>, <PULVERIZATION>, <PROTOTYPE>, <MECHANICAL ELEMENTS>, <GRINDING CAPACITY>, <STRUCTURAL ANALYSIS>, <RESISTANCE>.



Lic. Luis Francisco Mantilla Cabrera Mgs.

CI:0603747809

INTRODUCCIÓN

La *Uncaria Tomentosa* (uña de gato) es una planta medicinal que crece en la región Oriente de nuestro país y que es usada de forma tradicional en la Provincia de Morona Santiago en particular en la ciudad de Macas donde surge la necesidad de industrializar esta planta medicinal, entre los beneficios que ofrece esta planta están sus usos para aliviar dolores provocados por enfermedades como la artritis reumatoide, la osteoartritis, dolores provocados por exceso de ejercicio físico, potencia las defensas fortaleciendo el sistema inmunológico ayudando a combatir enfermedades infecciosas es capaz de prevenir la hipertensión gracias a sus propiedades antioxidantes (Keplinger, 2005, pp. 26-27).

Industrializar la *Uncaria Tomentosa* (uña de gato) permite a nuestros centros farmacológicos profundizar en el estudio de los activos de esta planta como los alcaloides que se concentran principalmente en su raíz y corteza aunque también en sus hojas y ramas jóvenes, para el beneficio de nuestra población y poder comercializarla a futuro hacia el exterior, en Europa occidental los extractos de esta planta se usan en dosis de 20 a 60 mg diario, nuestro país es conocido por su variedad de plantas medicinales que se usan de manera tradicional, transformar el tallo de la *uncaria tomentosa* en polvo, nos permite competir en mercados nacionales y extranjeros (Lopez, 2006, pp. 104-108).

La *Uncaria Tomentosa* (uña de gato) usada de forma artesanal es beneficiosa para la salud de forma preventiva, nuestro país es rico en vegetación y la medicina ancestral es fruto de la sabiduría de nuestros pueblos, misma medicina que al ser estudiada profundamente se ha podido determinar que componentes exactos de nuestras plantas son los que actúan sobre ciertas enfermedades como tratamiento y en el caso de la *Uncaria Tomentosa* de manera preventiva, la industrialización de estos procesos es un avance tecnológico que nos ayuda a acelerar un desarrollo en nuestra medicina (Aquino, 2008, pp. 327-328).

Se recomienda su tomar después de cada comida en capsulas de 250 a 1000 mg cada 24 horas, si se desea tomar en infusión se recomienda 30 gr en 500 ml de agua cada 24 horas, esto ayuda a la actividad cerebral mejorando la memoria y mejora la circulación de la sangre previniendo la coagulación, debido a la falta de estudio profundamente no se ha comprobado su utilidad para curar ninguna enfermedad solamente se ha comprobado su consumo en tratamientos como antiinflamatorio (Sandoval, 2002, pp. 329-330).

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

La planta uncaria tomentosa conocida como uña de gato ha sido usada durante años con propósitos medicinales de forma tradicional para el tratamiento de diabetes, cáncer, convalecencia y debilidad, esta planta alcanza a los 20 m de altura y 40 m de longitud, su corteza presenta grietas de color amarillento con secreciones acuosas de sabor astringente, sus hojas son ovaladas y grandes con medidas de 7.5 a 17 cm de longitud y 4.3 a 12 cm de ancho, al revés de sus hojas posee pequeños vellos denominados tomentos de allí su nombre de tomentosa (Lopez, 2006, pp. 104-108).

Un estudio clínico publicado por Phytomedicine comprueba que esta planta es capaz de ayudar a estimular el sistema inmunitario, aumentando la producción de glóbulos blancos, las sustancias activas de esta planta han sido aprovechadas por diferentes laboratorios extranjeros quienes han formulado productos como cremas, capsulas, té y jarabes que se comercializan en centros naturistas a nivel nacional, mientras que nuestros habitantes la consumen de manera artesanal hirviendo el tallo de la planta e ingiriéndola sin conocimiento del porcentaje de gramos recomendado para la afección que se quiera prevenir (Keplinger, 2005, pp. 25-30).

Los curanderos que usan esta planta de forma tradicional utilizan la corteza, tallos jóvenes y las hojas para la preparación de sus infusiones, es necesario aclarar que diferentes medios al recabar información oral sobre el uso de esta planta recogieron el termino raíz, que se ha señalado no es la raíz de la planta la que se usa, sino es un término metafórico para referirse al espíritu o esencia de donde se origina (Aquino, 2008, pp. 328-330).

1.2. Delimitación.

1.2.1. *Delimitación espacial.*

El presente trabajo tiene una delimitación espacial dirigida a la región amazónica de nuestro país donde crece la planta uncaria tomentosa que deseamos industrializar.

1.2.2. Delimitación sectorial.

La industrialización de la uncaria tomentosa está dirigida especialmente a la Provincia de Morona Santiago en particular en la ciudad de Macas donde se encuentra nuestra sede de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

1.3. Formulación del problema.

Actualmente en el Ecuador esta planta es usada de forma artesanal siendo hervida para tomarse en te, mientras que, en otros países como Perú, Bolivia y Brasil, sus laboratorios han aprovechado esta planta procesándola para la elaboración de múltiples medicamentos para aliviar inflamaciones y en cosmetología para prevenir los signos de la edad, sus estudios han revelado que cuenta con sustancias activas como ácidos oxindólicos, ácido quinóvico, polifenoles, taninos, yohimbina, beta-sitosterol, que contribuyen al cuerpo con efectos antioxidantes, antiinflamatorios y analgésicos (Laus, 2007, pp. 856-859).

En nuestro país la falta de tecnología e investigación no ha permitido que esta planta sea estudiada de mejor manera y procesada adecuadamente a pesar de los múltiples beneficios que ofrece a la salud de las personas como un medicamento preventivo a múltiples enfermedades, los residentes del oriente ecuatoriano al no contar con una máquina que mejore la comercialización de la uncaria tomentosa lo sigue comercializando de forma artesanal esto conlleva a una disminución de ingresos económicos por no otorgar un valor agregado al producto final produciendo desmotivación debido a que la gente no cuenta con una alternativa económicamente accesible para la industrialización de esta planta, conocemos que países como Perú comercializan sus productos derivados de esta planta en los diferentes centros naturistas a nivel nacional, su producción parte de la transformación del tallo de la uncaria tomentosa en polvo para luego colocar este en capsulas y te, y otras compañías que elaboran productos como cremas e infusiones parten también del polvo de este tallo para procesarlo y extraer sus propiedades.

La uncaria tomentosa se comercializa comúnmente en varias presentaciones, extracto, polvo, capsulas y té, las capsulas y las bolsitas de te están llenas del polvo que se extrae del tallo y de las raíces de esta planta, el polvo obtenido del procesamiento de esta planta se usa también en la producción de cremas, ungüentos, jarabes, etc. La falta de un procesamiento rápido del tallo de esta planta ha impedido el avance en la industrialización de este producto, por lo tanto, es importante transformar el tallo de esta planta en polvo, facilitando su comercialización en presentaciones más atractivas para los usuarios.

1.4. Objetivos.

1.4.1. *Objetivo general.*

- Diseñar y construir un prototipo de molino pulverizador para la industrialización de Uncaria Tomentosa (uña de gato).

1.4.2. *Objetivos específicos.*

- Determinar los requerimientos funcionales y parámetros de diseño para un molino pulverizador.
- Analizar y seleccionar un sistema de pulverización para uncaria tomentosa.
- Realizar los cálculos preliminares en base a los requerimientos funcionales.
- Diseñar los elementos que constituyen un molino pulverizador, apoyándonos mediante un modelado 3D en un software CAD.
- Seleccionar y determinar el material óptimo para la construcción del molino empleando software.
- Validar mediante software CAE los elementos que componen el molino pulverizador.
- Realizar la construcción del prototipo mediante impresión 3D.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.

2.1. Revisión bibliográfica.

En el presente capítulo se detalla todo lo relacionado con el marco referencial teórico, en el cual se recopila información de valor para el desarrollo del proyecto técnico.

2.1.1. *Uncaria tomentosa*

La *Uncaria Tomentosa* más conocida como uña de gato es una planta medicinal con propiedades diuréticas, antioxidantes, inmuno estimulantes y depuradoras, el termino uncaria proviene del latín que significa gancho, por la semejanza de sus espinas a las uñas de los felinos de allí su nombre común de uña de gato (Laus, 2007, pp. 857-858).



Figura 1-2: Planta *Uncaria Tomentosa*

Fuente: (López, 2006 pág. 104)

Estudios demuestran que el consumo de esta planta ayuda en el tratamiento de infecciones e inflamaciones, la uncaria tomentosa es una planta trepadora que crece en forma de enredadera formando arbustos, llegando a medir hasta 20 metros, sus hojas tienen un color verde claro y su tallo es de color rojizo (Laus, 2007, pp. 857-858).



Figura 2-1: Corteza de la planta uncaria tomentosa

Fuente: (López, 2006, p. 104)

El consumo tradicional en nuestro país de esta planta es en forma de té hecho de su corteza, que se comercializa libremente en mercados, proveniente de nuestra región amazónica, de la provincia de Morona Santiago, comúnmente se toman de 20 a 30 g de pequeños pedazos de uña de gato en un litro de agua, cada 8 horas después de cada comida, existen también productos derivados como capsulas que se comercializan en centros naturistas (Laus, 2007, pp. 857-858).

Estudios etnofarmacológicos muestra su uso tradicional en el tratamiento de abscesos, asma, artritis, enfermedades cutáneas e infecciosas, heridas profundas, gastritis, inflamación general, reumatismo, tumores malignos, úlceras gástricas, recuperación posparto, prevención de enfermedades generales, limpieza renal e irregularidades del ciclo menstrual, además varias pruebas farmacológicas realizadas in vitro confirmaron sus actividades como antioxidante y anticancerígeno. (Laus, 2007, pp. 857-858).

Debido a las propiedades que posee la Uncaria, su presentación medicinal viene dado en diferentes formas, en el presente estudio, se hará enfoque a la corteza de la Uncaria en vista de que esta será pulverizada. En la región amazónica del Ecuador, la población se dedica al cultivo de plantas de Uncaria que luego de varios años se convierten en arboles robustos, a continuación, se definen sus etapas de cosecha (Laus, 2007, pp. 857-858).



Figura 3-2: Proceso de cosecha de la uña de gato

Fuente: (López, 2006, p. 17)

Cultivo:

Dependiendo del tipo de Uncaria, esta es cultivada bajo diferentes condiciones ambientales, térmicas y físicas en la distribución del terreno. El cultivo inicia con el depósito manual de semillas en el suelo, cuando esta apenas va a germinar. Mientras que, plantas ya nacidas son introducidas al suelo por secciones de ramas (López, 2006, p. 17).

Cosecha:

En la cosecha de corteza de Uncaria, bajo recomendación los tallos son cortados a una altura de 50 cm de altura a partir de la base y luego, son seccionados en pedazos de aproximadamente 1m para ser secados (López, 2006, p. 17).

Secado:

El secado de la corteza se realiza al aire libre o mediante un secador bajo cubierta. Aquí, la corteza es ubicada en mesas de secado que bajo una cubierta translúcida recibe directamente la luz solar según los niveles que compongan las mesas (López, 2006, p. 17).

Limpieza:

Una vez seca la corteza, se limpia de asperezas e impurezas su parte externa e interna, con el fin de evitar un deterioro prematuro de la corteza luego de ser almacenada (López, 2006, p. 17).

2.2. Requerimientos funcionales y parámetros de diseño.

El molino pulverizador a diseñar debe tener la capacidad de pulverizar la corteza de la planta Uncaria tomentosa y reducir su tamaño en diminutas partículas de 50 a 100 μm de espesor, es decir vamos a realizar una molienda tipo fina y con una producción tonelada/hora de 0.025 a 3 como dato técnico referencial, en la tabla 1-2 se muestra su clasificación (Dueñas, 2016).

Tabla 1-2: Clasificación del tipo de molienda

Tipo de proceso	Tamaño de salida
Molienda gruesa	1-2 mm
Molienda fina	50-100 μm
Molienda ultrafina	$\leq 10\mu m$

Fuente: Dueñas, 2016.

Realizado por: Guaspacha, D. 2021.

2.2.1. Pulverización de sólidos

Consiste en la reducción del tamaño de partículas secas mediante procesos físicos, químicos o empleando dispositivos mecánicos: como molinos, trituradores o morteros. La pulverización de sólidos es importante porque facilita el empaquetamiento y mezclado con otras sustancias. Este proceso puede ser por compresión, impacto, desgaste o corte.

El proceso de pulverización de sólidos es empleado en la industria alimenticia para el procesamiento de granos, raíces, frutas, etc.; en la minería para pulverizar carbonatos, pigmentos, sulfatos, etc., en cosmetología para polvos faciales, pigmentos o resinas y en el campo farmacéutico para triturar soluciones y luego crear pastillas o capsulas de diferente composición (Cuadrado, 2009, p. 18).

2.2.1.1. Equipos de pulverización.

Un equipo de pulverización se encarga de fraccionar las partículas por medio de diferentes mecanismos, los mismos que varían según el requerimiento de grano a obtener. Este equipo, cuenta generalmente con una tolva de alimentación, fragmentador, tamiz y cámara de almacenamiento (Cuadrado, 2009, p. 18), como se observa en la figura 4-2.

A continuación, se definen los elementos más importantes del equipo de pulverización:

Tolva de alimentación: Permite la alimentación de partículas a fragmentar.

Cámara de pulverización: Es el lugar en donde se fragmentan las partículas, y en donde se ubica el mecanismo de pulverización.

Dispositivo de descarga: Se encarga de eliminar las partículas pulverizadas luego de haber sido tamizadas adecuadamente (Cuadrado, 2009, p. 18).

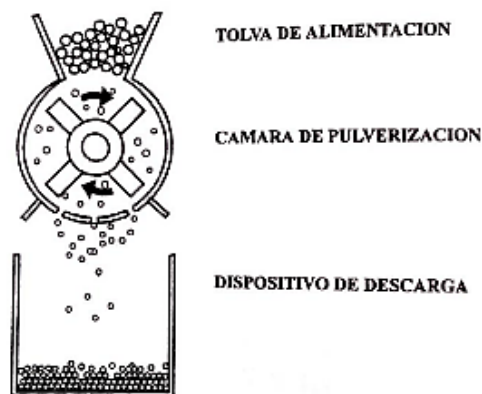


Figura 4-2: Partes de un equipo de pulverización

Fuente: (Cuadrado, 2009, p. 18)

Los equipos de pulverización se clasifican según sus características en el mecanismo de pulverización que utilizan, tamaño de la partícula, régimen de funcionamiento y modalidad de pulverización como se observa en la tabla 2-2.

Tabla 2-1: Clasificación de los equipos de pulverización

Características	Tipos
Mecanismo de pulverización	<ul style="list-style-type: none"> • Compresión • Impacto • Roce o desgaste • Corte
Tamaño de partícula	<ul style="list-style-type: none"> • Pulverización grosera • Pulverización intermedia • Pulverización fina • pulverización ultra fina
Régimen de funcionamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Alimentación por lotes • Alimentación continua
Modalidad de pulverización	<ul style="list-style-type: none"> • Pulverización seca • Pulverización húmeda

Fuente: (Dueñas, 2016)

Realizado por: Guaspacha, D. 2021.

2.2.1.2. Comparación entre los molinos de pulverización.

Debido a que existen diferentes métodos de trituración empleados en molinos manuales o automáticos, estos se caracterizan por sus mecanismos de pulverización. A continuación, se establece un cuadro comparativo de los diferentes mecanismos que se observa en la tabla 2-3.

Tabla 3-2: Cuadro comparativo de los molinos de pulverización.

Tipo de Molino	Mecanismo	Ventajas
De martillos	Por Impacto	<ul style="list-style-type: none"> • Partículas de 20-50µm • Partículas de tamaño homogéneo • Útil para materiales quebradizos y poco abrasivos
De bolas	Por impacto y roce	<ul style="list-style-type: none"> • Útil para materiales duros y abrasivos • Partículas de 10µm

De rodillo	Por atrapamiento de partículas Por fragmentación	<ul style="list-style-type: none"> • Uniformidad de partículas obtenidas • Útil para materiales quebradizos de naturaleza moderada • Partículas de 75µm
De hélices o cuchillas	Por cizallamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Útil para materiales de plástico o fibrosos. • Partículas > 100 µm • Pulverización grosera
De puntas o vástagos	Por fuerza centrifuga	<ul style="list-style-type: none"> • Útil para materiales de baja y mediana densidad a tamaño fino y uniforme • Partículas de 50-200 µm
De disco	Por impacto	<ul style="list-style-type: none"> • Útil para materiales secos, moderadamente duros, friables. • Tamaño final ajustable
Molino coloidal	Por trituración	<ul style="list-style-type: none"> • Útil para productos húmedos • Obtiene partículas de 0.2 -0.001 µm

Fuente: Dueñas, J. 2016.

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

2.2.1.3. Tipos de pulverización

Dependiendo de las características del material a obtener las partículas pueden ser pulverizadas por:

Compresión: Cuando las partículas son atrapadas entre dos piezas, como por ejemplo un cascanueces.

Impacto: Cuando las partículas son sometidas a golpes secos entre sí o por un elemento externo, por lo general por un martillo.

Rozamiento: Cuando las partículas se desgastan mediante la fricción entre el sólido y la superficie dura, se emplea una lima para el proceso.

Cizalladura: Esto se produce cuando los materiales se dividen por la actuación de elementos cortantes.

Desgarramiento: Este proceso se aplica a partículas blandas (Cuadrado, 2009, p. 21).

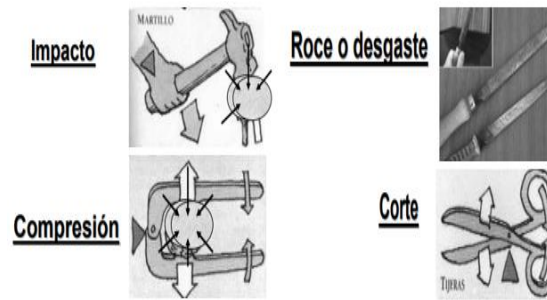


Figura 5-2: Tipos de pulverización

Fuente: (Cuadrado, 2009, p. 21)

El fin de realizar la pulverización de la uña de gato es disminuir su volumen, produciendo pequeñas partículas, esto se logra implementando algún tipo de pulverización que se muestra en la figura 5-2.

2.2.1.4. Molino de martillos.

Son usados para moler minerales, productos alimenticios, fertilizantes y productos químicos, se usan para reducir partículas hasta una medida de 0,5 milímetro por medio del impacto producido por los martillos y la carcasa, la malla que controla el tamaño de las partículas a obtener se encuentra en la parte inferior (Cuadrado, 2009, pp. 20-25).

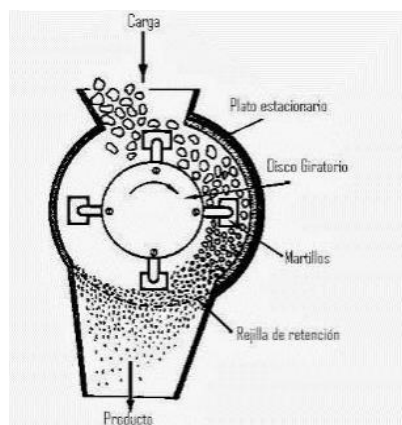


Figura 6-2: Molino de martillos.

Fuente: (Cuadrado, 2009, p. 21)

2.2.1.5. Molino de bolas.

Es utilizado generalmente para moler y mezclar materiales como minerales y piedra para la fabricación del cemento, está compuesto de un cuerpo cilíndrico parcialmente lleno de bolas de acero, que al girar sobre su propio eje produce la molienda del material en su interior (Dueñas, 2016, p. 24).

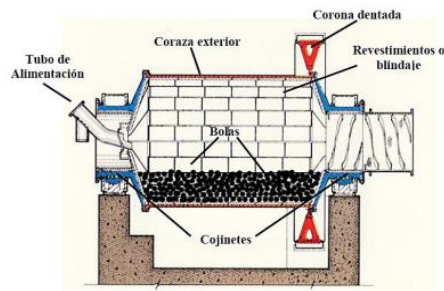


Figura 7-2: Molino de bolas

Fuente: (Dueñas, 2016, p. 25)

2.2.1.6. *Molino de impacto de paletas.*

Es usado por lo general en la industria alimenticia para moler material grueso y fino, el material es triturado y pulverizado por el impacto, rebote y cizallamiento producido entre las palas y el revestimiento que envuelve la carcasa del molino, una criba colocada a la salida en la parte inferior del molino controlara el tamaño de las partículas que se obtienen (Gómez, 2016, pp. 22).

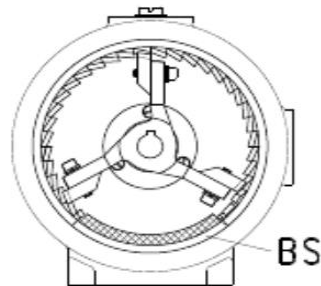


Figura 8-2: Molino de paletas

Fuente: (Gomez, 2016 pág. 22)

2.2.1.7. *Molino de discos.*

Este tipo de molino es usado para reducir el tamaño de materiales semiduros a través de fuerzas de cizalladura, trabaja produciendo fricción entre el material y las paredes del molino, es utilizado principalmente en la industria alimenticia (Rueda, 2015 pág. 33).

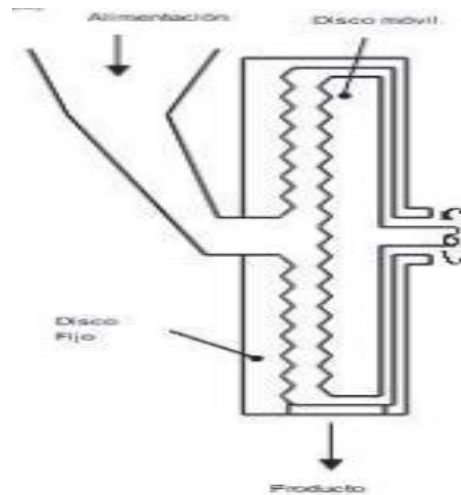


Figura 9-2: Molino de discos

Fuente: (Rueda, 2015, p. 33)

2.2.1.8. Factores que inciden en la calidad del pulverizado.

Claramente, la calidad del pulverizado depende del mecanismo de trituración que tenga acoplado el equipo; pero adicional a esto interfiere la velocidad de trituración, la carga y la frecuencia de aplicación o dosificación de material.

A continuación, se mencionan los factores más relevantes:

Volumen

Si el volumen de partículas a pulverizar es excesivo y el equipo no tiene la capacidad adecuada, el proceso de pulverización es deficiente y se debe reducir nuevamente el tamaño de grano. Mientras tanto, si el volumen es aceptable, se rociará de manera óptima.

Velocidad

La velocidad de pulverización determina el tamaño de grano final y la eficacia del proceso; debido a que, si tienen una velocidad considerada y constante, el proceso de pulverización es uniforme en cada dosificación de material.

Tamaño de partículas

El tamaño de las partículas a pulverizar es importante porque a mayor tamaño, mayor carga de trabajo; por ende, el proceso de trituración es mucho más eficiente. Se recomienda trabajar con partículas uniformes para garantizar la trituración completa del material obtenido.

2.3. Aceros inoxidables

Su principal característica es que es una aleación que contiene al menos 12% de cromo, el cromo forma en la superficie del acero una película muy fina, continua y estable otorgando una capa protectora que ayuda a minimizar las reacciones químicas. La resistencia a la corrosión es la característica principal de los aceros inoxidables (AVNER, 1988, pp. 360-373).

Se considera un grupo de aceros muy versátiles debido a su alta gama de propiedades y subcaracterísticas, en base a estas características se puede realizar la selección de los aceros inoxidables:

- Propiedades mecánicas
- Resistencia a la corrosión y a la oxidación a temperaturas elevadas.
- Características de los procesos
- Costo total
- Disponibilidad del acero

Aplicaciones

En la mayoría de los casos, los aceros inoxidables son utilizados en la industria alimentaria ya que reúnen características y propiedades muy importantes, brindan resistencia a la corrosión en diversos ambientes sin sufrir degradación, por lo que no contaminan la corteza de la uña de gato preservando las propiedades del producto (Kalpakjian, 2008, pp. 161-162)

2.3.1. Tipos de aceros inoxidables AISI (UNS)

Existen cinco tipos de aceros inoxidables según la AISI y UNS como se observa en la tabla 4-2.

Tabla 4-2: Tipos de aceros inoxidables.

AISI (UNS)	Características y aplicaciones típicas
303 (S30300)	Productos de máquinas roscadoras (flechas, válvulas, pernos, bujes y tuercas) y accesorios para aeronaves (pernos, tuercas, remaches, tornillos, espárragos).
304 (S30400)	Equipo químico y de proceso de alimentos, recipientes criogénicos, canales, tubería y placa de escurrimiento.
316 (S31600)	Alta resistencia a la corrosión y alta resistencia a la termo fluencia, equipo químico y para manejo de pulpas, equipo fotográfico, cubas para brandy, partes para fertilizadoras, jarras para cocinar salsa de tomate y

	tinas para levadura
410 (S410009)	Partes para máquinas, flechas para bombas, pernos, bujes, canales para carbón, cuchillería, polipastos, herramientas, partes para motores de aviones, maquinaria para minería, tubería para armas, tornillos y válvulas.
416 (S41600)	Accesorios para aviones, pernos, tuercas, insertos para extinción de incendios, remaches y tornillos

Fuente: Kalpakjian, S. 2008.

Realizado por: Guaspacha, D. 2021.

2.3.1.1. Aceros inoxidables austeníticos - Serie 300

Estos aceros tienen gran demanda, son los más utilizados en la industria por su amplia variedad de propiedades, se obtienen añadiendo níquel a la aleación, lo que provoca la transformación de la estructura cristalina del material se transforme en austenita de donde adquiere su nombre (AC- Fernández Dealer, 2017, p. 5).

Los tipos más comunes de aceros austeníticos son el AISI 304, 304L, 316, 316L, 310 y 317, siendo el más utilizado el AISI 304 para la industria alimentaria, en la tabla 2-5, se muestran las propiedades mecánicas del acero inoxidable AISI 304 (AC- Fernández Dealer, 2017, p. 5).

Tabla 5-2: Propiedades mecánicas del Acero AISI 304.

Nombre del material	Acero inoxidable AISI 304
Límite de fluencia (Sy)	205 MPa
Resistencia mínima a tensión Sut	515 MPa

Fuente: Kalpakjian, S. 2008.

Realizado por: Guaspacha, D. 2021.

2.3.1.2. Aceros inoxidables ferríticos - Serie 400

Son aleaciones de Hierro-cromo y su característica principal es su estructura ferrítica a cualquier temperatura ya que su tratamiento térmico no conduce a la conversión o transformación de Ferrita en Austenita, ni tampoco transformación martensítica en el enfriamiento. Por este motivo no hay posibilidad de cambios de fase. Su gran desventaja frente a los demás aceros inoxidables es la baja soldabilidad que poseen, además, no se pueden realizar tratamientos térmicos como temple (AC- Fernández Dealer, 2017, p. 5).

Su principal aplicación es en sistemas de escape de automóviles, cadenas transportadoras, utensilios de cocina, calderas, electrodomésticos, molduras, vajilla, calefacción, termo tanques, tubos (AC- Fernández Dealer, 2017, p. 5).

2.3.2. Procedimientos de soldadura más usados en aceros inoxidables

El acero inoxidable tiene propiedades físicas y químicas diferentes a la de otros metales y aleaciones, que deben tenerse en cuenta al momento de soldar, es muy importante señalar que posee un punto de fusión a menor temperatura que un acero al carbono, por lo que requiere menos calor para fundirse (Lincoln Electric, 2003).

También es importante considerar el tipo de acero inoxidable a soldar, ya que, dependiendo de esta característica y las propiedades de este, el modo de trabajar cambia. Por ejemplo, los aceros inoxidables austeníticos generalmente suelen ser más estables y fáciles de soldar, lo que permite la automatización de los procesos de soldadura (INDURA, 2010).

Algo de suma importancia es que el equipo de soldadura trabaja con una intensidad de corriente entre 25 y 50% superior, a maquinas que se utilizan para aceros al carbono. El acero inoxidable necesita electrodos específicos para soldarse, esto implica costos adicionales en este tipo de soldaduras y las industrias que utilizan acero inoxidable lo eligen por su alta resistencia, por lo que muchas personas esperan mucho de sus soldaduras, por lo que se aplican procedimientos rigurosos (INDURA, 2010)

2.3.2.1. Proceso SMAW (electrodo revestido)

El término SMAW proviene de Shielded Metal Arc Welding (soldadura de arco metálico protegido). Este proceso que da origen a la unión de metales en base a una fusión localizada, se origina por el alto calor que produce el arco eléctrico de la punta de un electrodo consumible y el metal base (Miller Welds, 2018, p. 6)

El proceso de soldadura para aceros inoxidables es distinto el electrodo que se utiliza es un alambre solido de acero inoxidable, con un revestimiento especial para los diferente gama de aceros inoxidables (Lincoln Electric, 2003).

2.3.2.2. Proceso TIG (Tungsten Inert Gas)

Este proceso corresponde a la soldadura GTAW, procedimiento que se caracteriza porque se utiliza un electrodo no consumible de tungsteno para establecer un arco eléctrico con el metal

base obteniéndose la fusión del metal. A menudo se utiliza argón con un gas inerte, el cual crea una atmósfera protectora para evitar que el aire alrededor de la soldadura la contamine.

Al realizar este proceso se obtienen cordones de elevada calidad, que suelen ser utilizados generalmente para piezas que requieren buenos acabados superficiales (INTECWELD, 2013).

2.3.2.3. Proceso MIG-MAG

Este proceso corresponde a la soldadura GTAW, tanto en los procesos MIG (Metal Inert Gas) como el MAG (Metal Active Gas), que se realizan mediante un arco eléctrico creado por un alambre desnudo que se topa con el metal base. Otorgando un proceso similar que en la soldadura TIG, en la cual se usan gases inertes para la protección de la soldadura, lo cual también mejora la velocidad del proceso y permite la automatización de dicho proceso (INDURA, 2010).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

En el capítulo III se presenta la propuesta metodológica que se va a utilizar para el diseño y construcción del prototipo de molino pulverizador para la industrialización de uncaria tomentosa.

3.1. Propuesta metodológica para el diseño del molino pulverizador

Para diseñar una máquina tipo molino pulverizador, se proponen lineamientos metodológicos en los que se basa un modelo descriptivo la cual usa la teoría de sistemas para sustentar propuestas de trabajo a través de funciones y subfunciones, combinando efectos físicos con propiedades geométricas y materiales, dando como resultado principios de solución mediante el modelo de Pahl y Beitz (Beitz, 1995 pág. 20). También se analizará y seleccionará otros procedimientos que puedan ser incluidos en nuestro modelo de esta forma, adaptar el modelo a las necesidades.

3.2. Selección del sistema de pulverización.

El proceso de pulverización consiste en transformar de manera física el material sin alterar su composición, mediante operaciones de corte, compresión, impacto, entre otros; hasta obtener el tamaño deseado, para determinar las características que debe cumplir nuestro molino pulverizador nos basaremos en las herramientas de ingeniería disponibles como la matriz QFD para la selección y diseño de cada uno de los elementos que constituirán nuestro molino pulverizador.

3.2.1. Matriz QFD (*Quality Function Deployment*)

La matriz QFD nos ayuda a determinar las necesidades del cliente y transformarlas en parámetros de diseño para nuestra máquina pulverizadora.

3.2.1.1. *Voz del usuario.*

El objetivo principal de nuestra máquina pulverizadora es la de convertir en polvo la corteza de la planta uña de gato logrando así su industrialización a nivel nacional, algunos de los requerimientos del usuario son:

- La corteza de la uña de gato alcance una contextura de polvo
- La máquina tenga una capacidad de molienda de 25 kg/h
- La máquina sea pequeña y de fácil manejo
- El costo de la máquina no sea muy elevado
- Fácil de limpiar

3.2.1.2. *Voz del ingeniero.*

La voz del ingeniero se encarga en transformar las necesidades del usuario en especificaciones técnicas que permitirán establecer parámetros de diseño de nuestro molino pulverizador como; tamaño, producción, dimensiones, y calidad del producto final a obtener (polvo de la corteza de la uña de gato), la casa de la calidad se observa en la figura 1-3.

- Capacidad de trituración.
- Tamaño
- Sistema de pulverización
- Costo
- Mantenimiento
- Tamiz

MOLINO PULVERIZADOR PARA LA INDUSTRIALIZACIÓN DE UNCARIA TOMENTOSA (UÑA DE GATO)

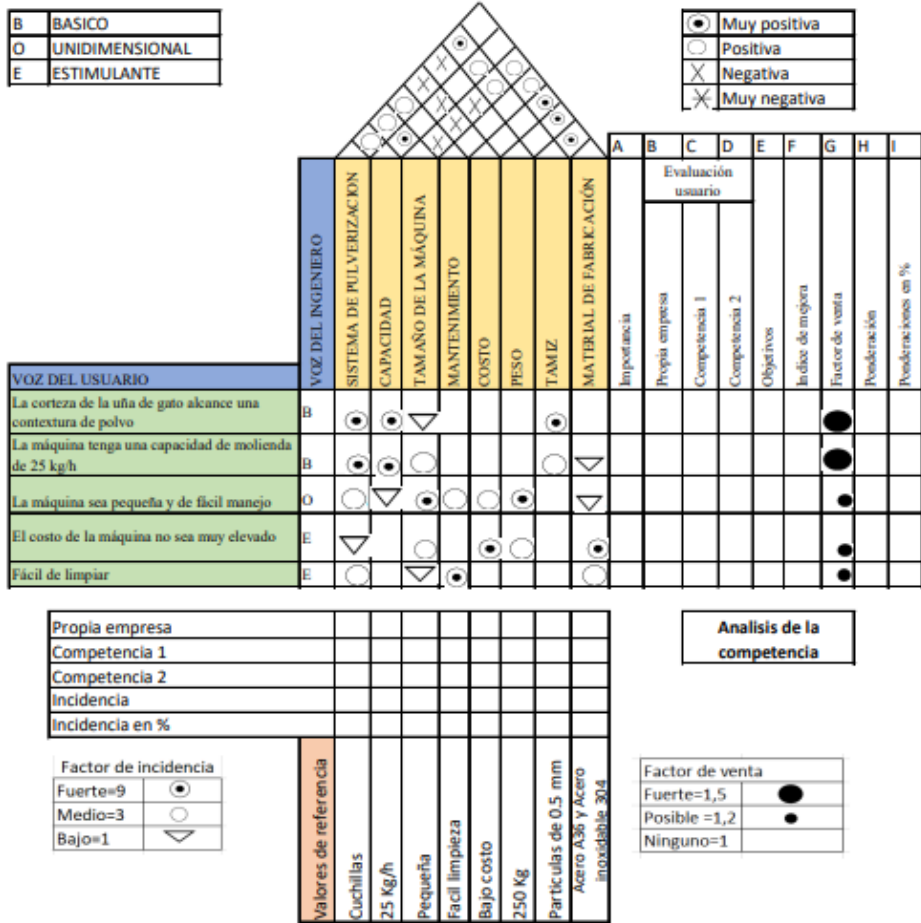


Figura 1-3: Casa de la calidad del molino pulverizador.

Realizado por: Guaspacha, D. 2021.

3.2.2. Análisis funcional

Dividiremos las funciones de nuestro molino pulverizador en diferentes niveles para poder dar opciones de diseño para las diferentes partes que lo constituyen

Nivel 0: Funciones generales de la máquina

En la figura 2-3 se observa el nivel cero donde se muestra las funciones generales de la máquina.

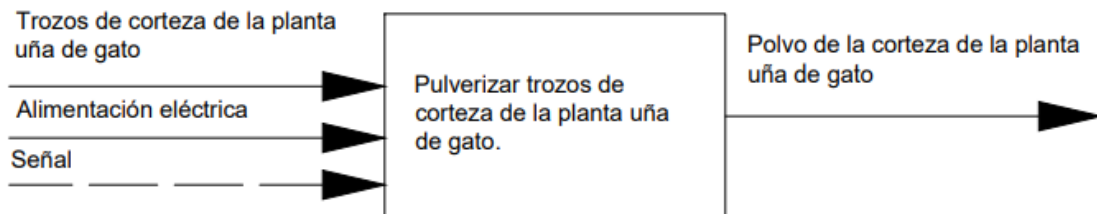


Figura 2-3: Nivel 0

Realizado por: Guaspacha, D. 2021.

Nivel 1: Funciones de la máquina.

En la figura 3-3 se observa el diagrama de proceso para las funciones de la máquina.

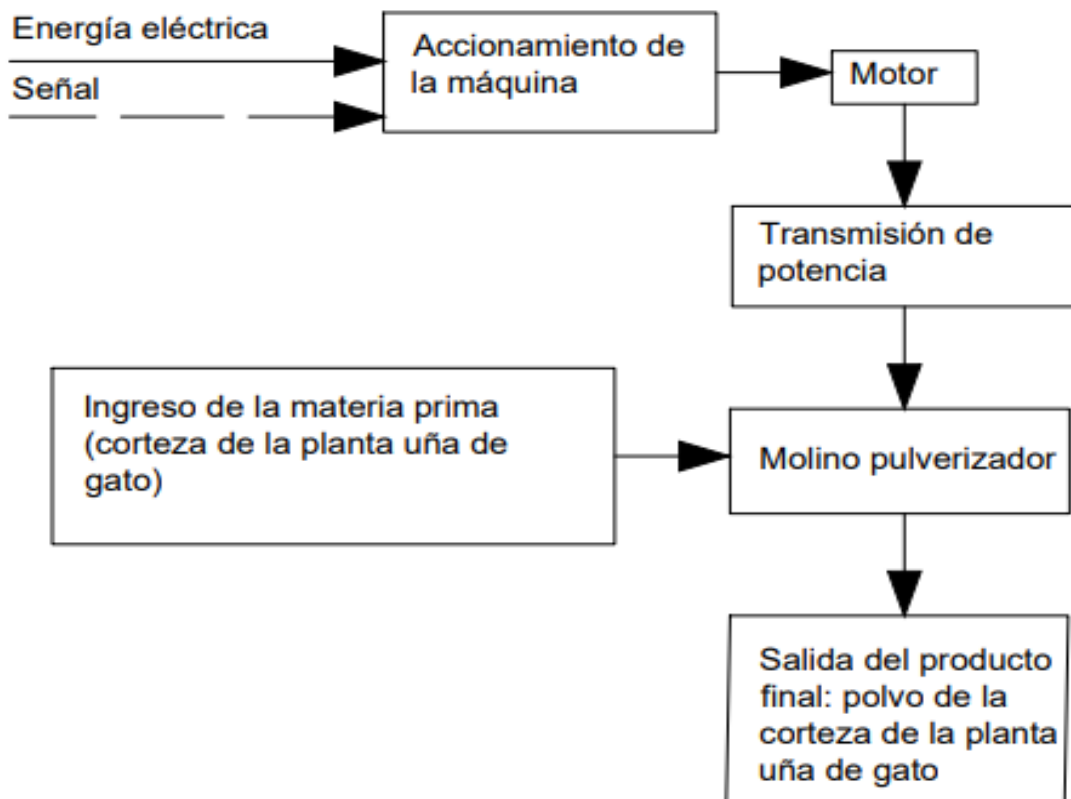


Figura 3-1: Nivel 1.

Realizado por: Guaspacha, D. 2021.

3.2.3. Definición de los módulos.

El proceso de pulverización se divide en grupos para un mejor análisis de las partes y elementos que constituirán el molino pulverizador.

En la figura 4-3 se observa el esquema para los módulos 1,2 y 3 que se detallan a continuación:

Módulo 1

- Accionamiento de la máquina
- Motor

Módulo 2

- Transmisión de potencia
- Molino pulverizador

Módulo 3

- Ingreso de la materia prima (corteza de uña de gato)
- Salida del producto final: polvo de la corteza de la planta uña de gato.

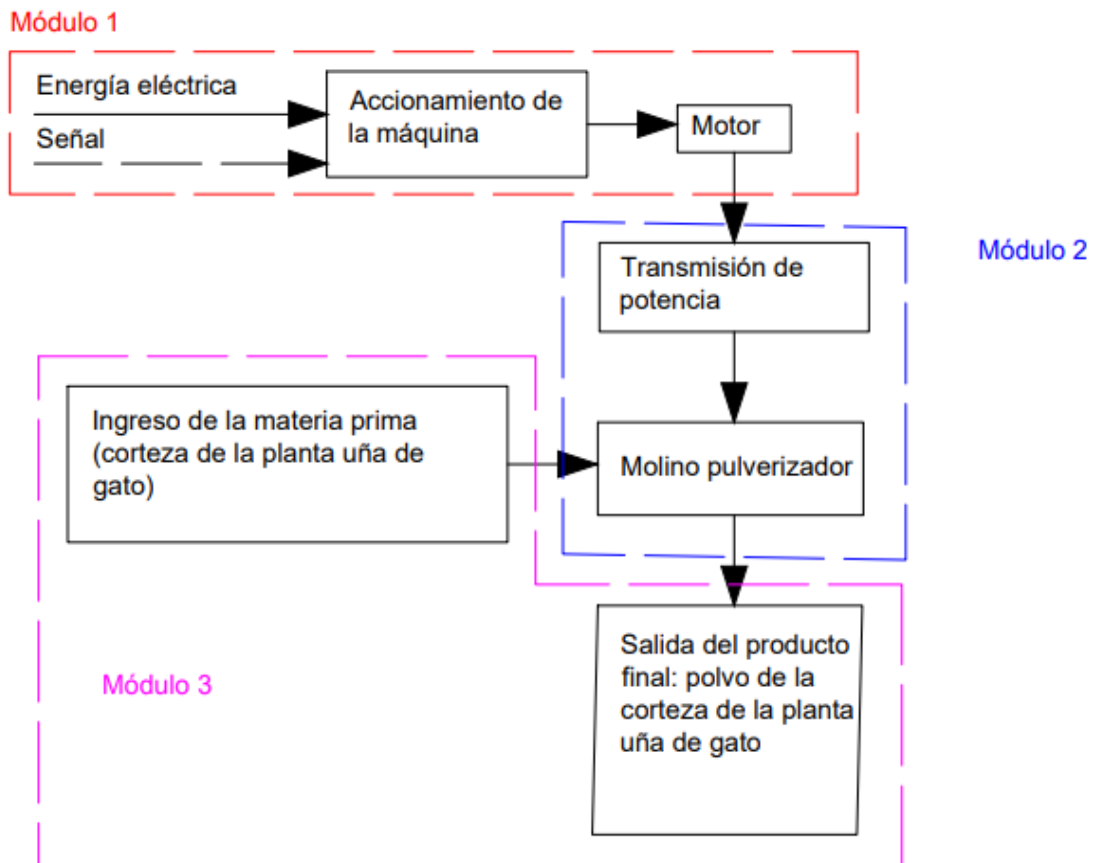


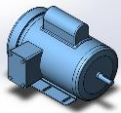
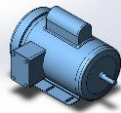

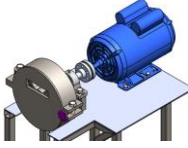

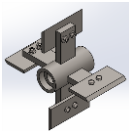
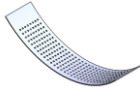
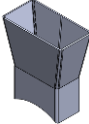
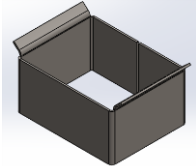
Figura 4-3: Generación de módulos

Realizado por: Guaspacha, D. 2021.

3.2.4. *Matriz morfológica*

Mediante el análisis de la matriz morfológica tabla 1-3, en base a la cual se realiza la exploración de las diferentes posibilidades existentes para el desarrollo de la máquina pulverizadora conforme a las nuevas tecnologías existentes.

Tabla 1-3: Matriz morfológica

Función	Componentes	
Motor	Trifásico 	Monofásico 
Transmisión de potencia	Polea 	Conexión directa 
Sistema de pulverización	Martillos 	Impacto por paletas 
Tamiz	Tamiz 	
Sistema de alimentación	Tolva de alimentación 	
Sistema de descarga	Tolva de salida 	
Solución 1		Solución 2

Fuente: Dueñas, J. 2016.

Realizado por: Guaspacha, D. 2021.

3.2.4.1. Solución 1.

El proceso comienza desde un motor trifásico que alimenta el molino pulverizador, la materia prima será introducida a través de una tolva que pasará al sistema de molienda por martillos donde el material molido saldrá a través de un tamiz para asegurar el tamaño de partícula deseada pasando finalmente a la tolva de descarga.

Ventajas:

- El sistema de molienda por martillos es muy eficiente en granos y productos secos

Desventajas:

- El sistema de transmisión de potencia por polea y el sistema de molienda por martillos son muy ruidosos
- La corteza de la planta de uña de gato es muy flexible por lo cual no es posible pulverizarla por métodos de impacto que es el método con el cual trabaja este tipo de molino.
- Una conexión trifásica no es muy común, por lo que requiere de instalaciones especiales.

3.2.4.2. *Solución 2.*

Esta solución propone la utilización de un motor monofásico con una conexión directa entre el motor y el rotor, disminuyendo el ruido provocado por la transmisión de potencia por poleas, la materia prima entrará al cuerpo del molino de forma manual a través de la tolva, pasara al cuerpo del molino donde por medio de procesos de impacto y cizalladura entre las cuchillas ubicadas en las paletas del molino pulverizador y el cuerpo del molino alcanzarán el proceso de pulverización, finalmente el material molido pasará por un tamiz hacia la tolva de salida.

Ventajas:

- La conexión directa produce menos ruido que el usado en la solución 1 por poleas.
- Los procesos de impacto y cizalladura aseguran un mejor proceso de pulverización de la corteza de la planta uña de gato.

3.2.5. *Evaluación de las soluciones a los módulos.*

Evaluaremos las posibles soluciones mediante el método de criterios ponderados, asignando criterios y evaluándolos entre ellos, los valores serán 1 para el criterio de mayor relevancia, 0.5 si su importancia es igual y 0 si el criterio evaluado tiene menor importancia que el criterio con el que está siendo comparado.

3.2.5.1. *Tipo de motor.*

Los criterios a considerar para seleccionar el tipo de motor son los siguientes:

Costo: El precio de un motor trifásico difiere de un monofásico, por lo que este es un criterio que se debe considerar

Accesibilidad: Una conexión monofásica es común en un domicilio, mientras que una conexión trifásica requiere de una instalación especial.

Mantenimiento: El mantenimiento del motor de la máquina debe ser el adecuado debido a los restos de polvo de uña de gato o del ambiente que pueden desviarse hacia el interior del motor

Evaluación del peso específico de cada criterio.

Motor

Solución 1: Motor trifásico

Solución 2: Motor monofásico

Costo > Accesibilidad > Mantenimiento.

Tabla 2-3: Evaluación de los pesos específicos de los criterios para el módulo 1.

Criterio	Costo	Accesibilidad	Mantenimiento	$\sum +1$	Ponderación
Costo		1	1	3	0.5
Accesibilidad	0		1	2	0.333
Mantenimiento	0	0		1	0.167
			Suma	6	1

Fuente: Peña, M. 2015.

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

En la tabla 2-3, se realiza la evaluación de los pesos específicos de los criterios para el módulo 1, costo, accesibilidad y mantenimiento.

Evaluación del peso específico del criterio de costo.

Solución 1 < Solución 2

Tabla 3-1: Evaluación del peso específico del criterio de costo.

Costo	Solución 1	Solución 2	$\sum +1$	Ponderación
Solución 1		0	1	0.333
Solución 2	1		2	0.667
		Suma	3	1

Fuente: Peña, M. 2015.

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

Se concluye en base a la tabla 3-3, que el motor monofásico es menos costoso generando un menor gasto en el desarrollo de la máquina.

Evaluación del peso específico del criterio de accesibilidad.

Solución 1 < Solución 2

Tabla 4-3: Evaluación del peso específico del criterio de accesibilidad.

Accesibilidad	Solución 1	Solución 2	$\sum +1$	Ponderación
Solución 1		0	1	0.333
Solución 2	1		2	0.667
		Suma	3	1

Fuente: Peña, M. 2015

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

Debido a que en nuestra amazonia todavía el servicio eléctrico es deficiente se concluye que la mejor opción es una conexión monofásica siendo esta la más común en un domicilio.

Evaluación del peso específico del criterio de mantenimiento.

Solución 1 = Solución 2

Tabla 5-3: Evaluación del peso específico del criterio de mantenimiento.

Mantenimiento	Solución 1	Solución 2	$\sum +1$	Ponderación
Solución 1		0.5	1.5	0.5
Solución 2	0.5		1.5	0.5
		Suma	3	1

Fuente: Peña, M. 2015

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

En cuanto a mantenimiento tenemos que los dos motores ofrecen la misma facilidad.

Tabla 6-3: Tabla de conclusiones.

Conclusión	Costo	Accesibilidad	Mantenimiento	\sum	Prioridad
Solución 1	0.5 (0.333)	0.333 (0.333)	0.167 (0.5)	0.357	2
Solución 2	0.5(0.667)	0.333 (0.667)	0.167 (0.5)	0.637	1

Fuente: Peña, M. 2015

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

Conclusión: En base a la tabla 6-3, se concluye que la solución 2, un motor monofásico es el más adecuado para nuestra máquina pulverizadora.

3.2.5.2. Transmisión de potencia.

Los criterios por considerar para seleccionar la transmisión de potencia son:

Mantenimiento: El mantenimiento para el sistema de transmisión debe ser fácil para el operador.

Costo: El costo de mantener en funcionamiento el sistema de transmisión de potencia debe ser bajo

Durabilidad: Es importante que el sistema de transmisión perdure por un tiempo prolongado para evitar gastos innecesarios.

Evaluación del peso específico de cada criterio.

Transmisión de potencia

Solución 1: Polea

Solución 2: Transmisión directa

Durabilidad > Costo > Mantenimiento

Tabla 7-3: Evaluación de los pesos específicos de los criterios para el módulo 2.

Criterio	Mantenimiento	Costo	Durabilidad	$\sum +1$	Ponderación
Mantenimiento		0	0	1	0.167
Costo	1		0	2	0.333
Durabilidad	1	1		3	0.5
			Suma	6	1

Fuente: Peña, M. 2015

Realizado por: Guaspacha, D. 2021.

En la tabla 7-3 se realiza la evaluación de los pesos específicos de los criterios para el módulo 2, mantenimiento, costo y durabilidad.

Evaluación del peso específico del criterio de mantenimiento.

Solución 1 < Solución 2

Tabla 8-3: Evaluación del peso específico del criterio de mantenimiento.

Mantenimiento	Solución 1	Solución 2	$\sum +1$	Ponderación
Solución 1		0	1	0.33
Solución 2	1		2	0.67
			Suma	3
				1

Fuente: Peña, M. 2015.

Realizado por: Guaspacha, D. 2021.

Se concluye que la transmisión de potencia mediante un mecanismo de arrastre como las poleas y banda requiere mayor dificultad en cuanto a mantenimiento siendo la transmisión directa la mejor opción.

Evaluación del peso específico del criterio de costo.

Solución 1 < Solución 2

Tabla 9-3: Evaluación del peso específico del criterio de costo.

Costo	Solución 1	Solución 2	$\sum +1$	Ponderación
Solución 1		0	1	0.33
Solución 2	1		2	0.67
		Suma	3	1

Fuente: Peña, M. 2015

Realizado por: Guaspacha, D. 2021.

Las bandas para transmisión de potencia tienen un tiempo de vida útil la cual tendrá que ser reemplazada generando un mayor costo, a diferencia de la transmisión directa que no emplea bandas.

Evaluación del peso específico del criterio de durabilidad.

Solución 1 > Solución 2

Tabla 10-3: Evaluación del peso específico del criterio de durabilidad.

Durabilidad	Solución 1	Solución 2	$\sum +1$	Ponderación
Solución 1		0	1	0.33
Solución 2	1		2	0.67
		Suma	3	1

Fuente: Peña, M. 2015

Realizado por: Guaspacha, D. 2021.

La brida mediante la cual se va a conectar el eje del motor eléctrico con el eje de la máquina pulverizadora nos brinda mayor durabilidad en comparación a la durabilidad de poleas y bandas.

Tabla 11-3: Tabla de conclusiones

Conclusión	Mantenimiento	Costo	Durabilidad	\sum	Prioridad
Solución 1	0.167(0.333)	0.333 (0.333)	0.5(0.333)	0.357	2
Solución 2	0.167(0.667)	0.333 (0.667)	0.5(0.667)	0.637	1

Fuente: Peña, M. 2015.

Realizado por: Guaspacha, D. 2021.

Conclusión: En base a la tabla 11-3, se concluye que la solución 2, una conexión directa entre el motor y el rotor es la más adecuada para nuestra máquina pulverizadora.

3.2.5.3. Sistema de pulverización.

Los criterios por considerar para seleccionar el sistema de pulverización son:

Calidad: Es muy importante que la corteza de uña de gato alcance su textura de polvo.

Mantenimiento: La máquina debe ser fácil de limpiar puesto que acabada la jornada laboral debe quedar limpia de restos que puedan irse descomponiendo con el tiempo.

Costo: Este debe ser accesible por cuanto se busca industrializar la uña de gato.

Evaluación del peso específico de cada criterio.

Sistema de pulverización

Solución 1: Sistema de pulverización por martillos

Solución 2: Sistema de pulverización por impacto de paletas.

Calidad > Mantenimiento > Costo.

Tabla 12-3: Evaluación de los pesos específicos de los criterios para el módulo 3

Criterio	Calidad	Mantenimiento	Costo	$\sum +1$	Ponderación
Calidad		1	1	3	0.5
Mantenimiento	0		1	2	0.333
Costo	0	0		1	0.167
			Suma	6	1

Fuente: Peña, M. 2015

Realizado por: Guaspacha, D. 2021.

En la tabla 12-3 se realiza la evaluación de los pesos específicos de los criterios para el módulo 3, calidad, mantenimiento y costo.

Evaluación del peso específico del criterio de calidad.

Solución 1 < Solución 2

Tabla 13-3: Evaluación del peso específico del criterio de calidad.

Calidad	Solución 1	Solución 2	$\sum +1$	Ponderación
Solución 1		0	1	0.33
Solución 2	1		2	0.67
		Suma	3	1

Fuente: Peña, M. 2015

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

La pulverización por martillos nos ofrece molienda de partículas tipo gruesas en comparación al de golpeo por paletas, mecanismo que nos ofrece un menor tamaño de partículas generando mayor calidad de pulverización de la uña de gato.

Evaluación del peso específico del criterio de mantenimiento.

Solución 1 < Solución 2

Tabla 14-3: Evaluación del peso específico del criterio de mantenimiento

Mantenimiento	Solución 1	Solución 2	$\sum +1$	Ponderación
Solución 1		0	1	0.33
Solución 2	1		2	0.67
		Suma	3	1

Fuente: Peña, M. 2015

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

El mantenimiento del mecanismo de paletas nos ofrece mayor facilidad de mantenimiento en comparación que la de martillos.

Evaluación del peso específico del criterio de costo.

Solución 1 = Solución 2

Tabla 15-3: Evaluación del peso específico del criterio de costo

Costo	Solución 1	Solución 2	$\sum +1$	Ponderación
Solución 1		0.5	1.5	0.5
Solución 2	0.5		1.5	0.5
		Suma	3	1

Fuente: Peña, M. 2015

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

En cuanto al criterio costo los dos sistemas de pulverización ofrecen un precio semejante.

Tabla 16-3: Tabla de conclusiones.

Conclusión	Calidad	Mantenimiento	Costo	\sum	Prioridad
Solución 1	0.5(0.33)	0.333 (0.333)	0.167(0.5)	0.357	2
Solución 2	0.5(0.667)	0.333 (0.667)	0.167(0.5)	0.637	1

Fuente: Peña, M. 2015

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

Conclusión: En base a la tabla 16-3, se concluye que la solución 2, un sistema de pulverización por impacto de paletas. Es la más adecuada.

3.3. Parámetros de diseño

3.3.1. Determinación de la fuerza de corte.

La fuerza de corte necesaria para dividir la corteza de uña de gato se ha realizado mediante el procedimiento que se observa en la figura 5-3, aplicamos la fuerza **P** que es medida con el dinamómetro hasta obtener un corte limpio de la muestra, este procedimiento fue realizado 10 veces para obtener un promedio de la fuerza **P** aplicada.

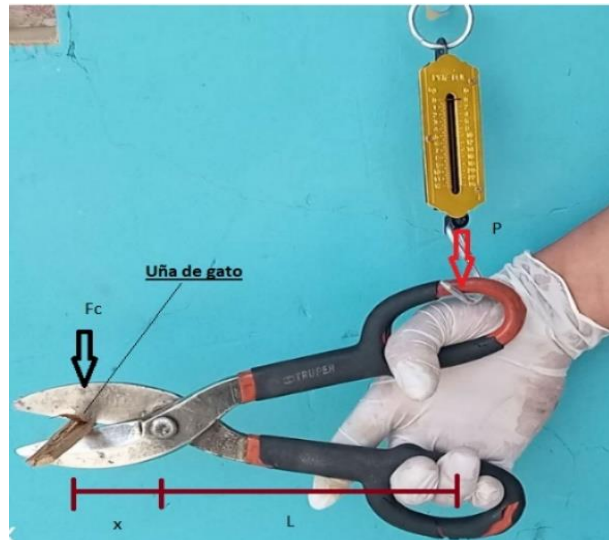


Figura 5-3: Proceso para el cálculo de la fuerza de corte

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

A continuación, en la tabla 17-3, se muestra la tabla con los resultados obtenidos de la fuerza **P** en [Kg] datos necesarios para determinar la fuerza de corte **F_c** para nuestra máquina pulverizadora.

Tabla 17-3: Resultados obtenidos de la fuerza P aplicada.

No. de muestra	Fuerza P obtenida (Kg)
1	2.75
2	3.25
3	3.0
4	2.50
5	2.75
6	3.0
7	3.25
8	3.50
9	3.0
10	2.25

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

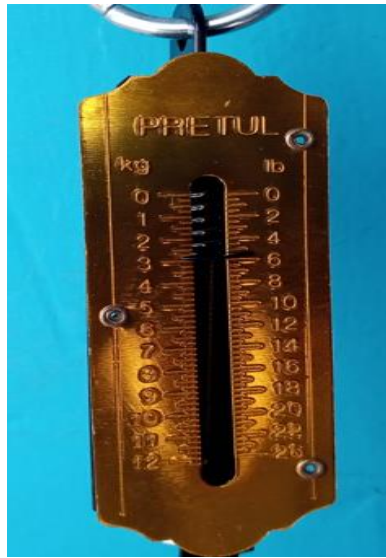


Figura 6-3: Fuerza P promedio

Realizado por: Guaspacha, D. 2022

$$P_{prom} = \frac{2.75 + 3.25 + 3 + 2.50 + 2.75 + 3 + 3.25 + 3.50 + 3 + 2.25}{10}$$

$$P_{prom} = 2.925 \text{ kg}$$

La fuerza **P** promedio obtenida que se muestra en la figura 6-3, fue de **2.925 Kg = 28.67 N**.

La fuerza aplicada **P** no es igual a la fuerza de corte **F_c**, esta debe ser calculada mediante un análisis de palanca como se muestra en la figura 3-7.

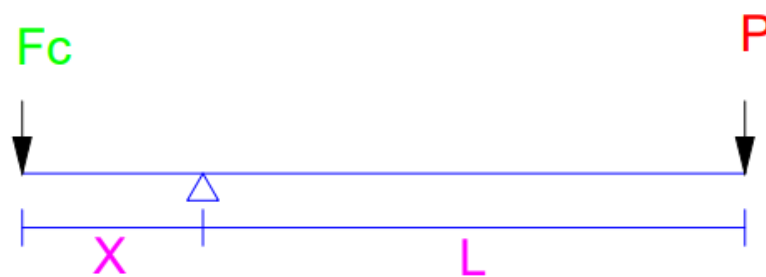


Figura 7-3: Fuerza de corte en la herramienta.

Realizado por: Guaspacha, D. 2022

$$F_c * x = P * L \tag{1}$$

F_c : Fuerza de corte.

X: distancia del brazo de la fuerza de corte.

P: fuerza aplicada.

L: distancia del brazo de la fuerza aplicada.

$$F_c * x = P * L$$

$$F_c * 40 \text{ mm} = 28.67 \text{ N} * 60 \text{ mm}$$

$$F_c = \frac{1720.2 \text{ N} \cdot \text{mm}}{40 \text{ mm}}$$

$$F_c = 43 \text{ N}$$

3.3.2. Diseño del eje

3.3.2.1. Fuerzas que actúan en el eje.

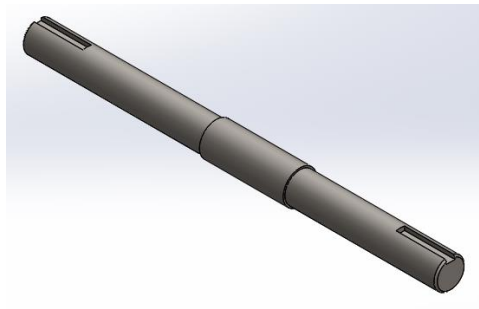


Figura 8-3: Eje del molino

Realizado por: Guaspacha, D. 2022

Este elemento es el más importante debido a que se encarga de transmitir la potencia del motor eléctrico hacia el cuerpo pulverizador del molino, para ello determinaremos las fuerzas a las que está sometido, figura 8-3.

Las fuerzas que actúan en el eje se representan mediante el diagrama de cuerpo libre que se muestra en la figura 9-3, un momento torsor se genera a partir de la fuerza de corte que actúa sobre el filo de la cuchilla.

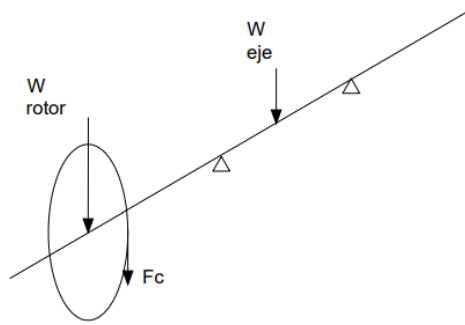


Figura 9-3: Diagrama de cuerpo libre

Realizado por: Guaspacha, D. 2022

El peso del eje y del rotor fueron determinados mediante el programa SolidWorks como se muestra en los Anexos A y B respectivamente.

$$W_{eje} = 0,53 \text{ kg} = 5 \text{ N}$$

$$W_{rotor} = 1,56 \text{ kg} = 15,29 \text{ N}$$

$$M = F_c * d \tag{2}$$

Dónde:

$M = \text{momento (N.mm)}$

$F_c = \text{Fuerza de corte (N)}$

$d = \text{distancia (mm)}$

$$M = 43 \text{ N} * 86.77 \text{ mm}$$

$$M = 36.98 \text{ N.mm}$$

En la figura 10-3, se muestra el diagrama de fuerzas que actúan sobre el eje que se va a diseñar para la máquina pulverizadora.

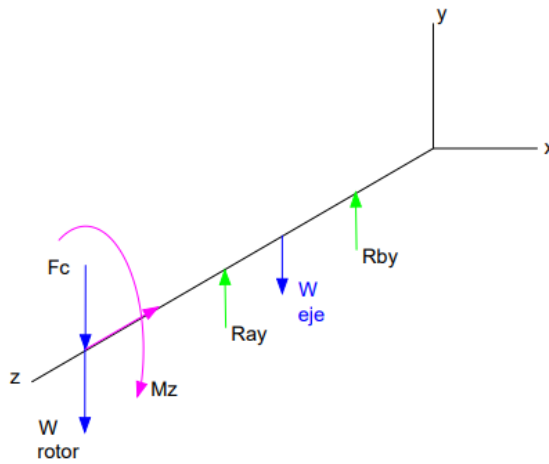


Figura 10-3: Diagrama de fuerzas.

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

Cálculo de las reacciones:

Plano yz

En la figura 11-3, se muestra el resultado del cálculo de las reacciones que se generan en los apoyos del eje en el plano yz.

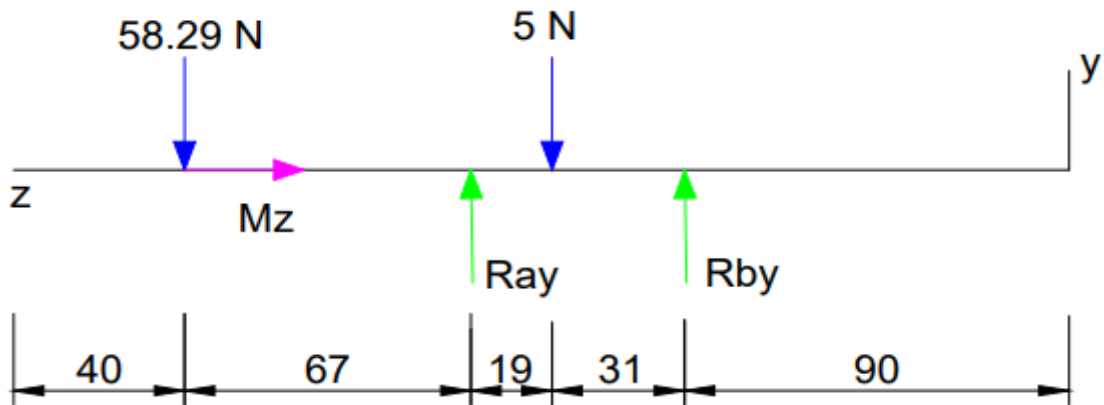


Figura 11-3: Diagrama de fuerzas en el plano yz

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{ay} - R_{by} - 58.29 - 5 = 0$$

$$\sum M_{ay} = 0$$

$$-58.29 \text{ N} * 67 \text{ mm} + 5 \text{ N} * 19 \text{ mm} + R_{by} * 50 \text{ mm} = 0$$

$$R_{by} = \frac{-58.29 \text{ N} * 67 \text{ mm} + 5 \text{ N} * 19 \text{ mm}}{50 \text{ mm}}$$

$$R_{by} = 76.21 \text{ N}$$

$$R_{ay} = 5 + 59.29 + 76.21 \text{ N}$$

$$R_{ay} = 140.5 \text{ N}$$

El diagrama de esfuerzo cortante y el tramo en el que tiene un mayor valor se observa en la figura 12-3.

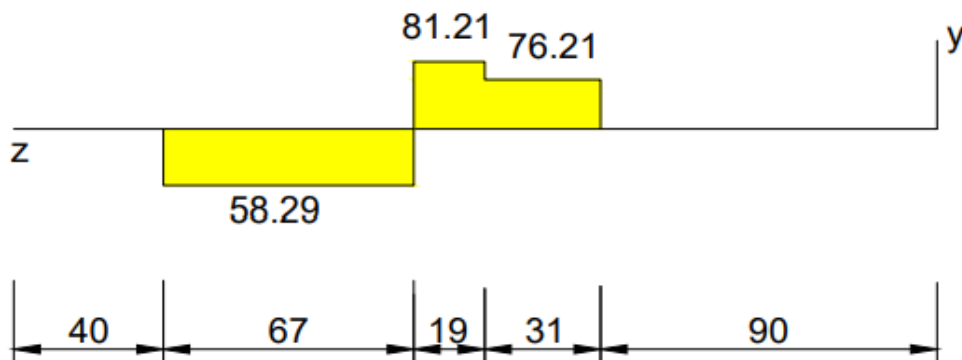


Figura 12-3: Diagrama de cortante en el plano yz

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

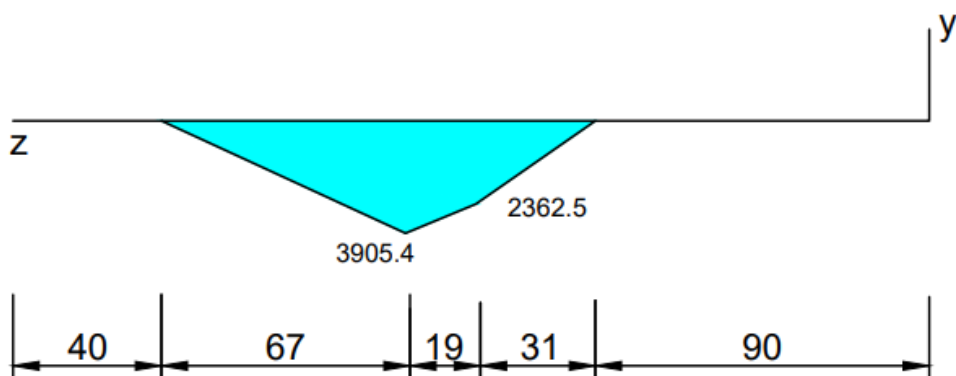


Figura 13-3: Diagrama de momentos flectores en el plano yz

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

El momento máximo en el eje tiene un valor de 3905.4 N.mm, se observa en la figura 13-3.

El eje de la máquina pulverizadora se encuentra sometido a esfuerzos fluctuantes de flexión y torsión para lo cual aplicaremos conceptos de diseño con las siguientes ecuaciones:

$$\sigma_a = K_f \frac{32M_a}{\pi d^3} \quad (3)$$

$$\sigma_m = K_f \frac{32M_m}{\pi d^3} \quad (4)$$

$$\tau_a = K_{fs} \frac{16T_a}{\pi d^3} \quad (5)$$

$$\tau_m = K_{fs} \frac{16T_m}{\pi d^3} \quad (6)$$

De donde:

σ_a = *esfuerzo amplitud de flexión*

σ_m = *esfuerzo medio de flexión*

τ_a = *esfuerzo amplitud a torsión*

τ_m = *esfuerzo medio a torsión*

M_a = *momento amplitud*

M_m = *Momento medio*

T_a = *par a torsión amplitud*

T_m = *par a torsión medio*

K_f = *factor de concentración de esfuerzos a flexión*

K_{fs} = *factor de concentración de esfuerzos a torsión*

d = *diámetro nominal del eje*

El eje de la máquina pulverizadora está sometido a una flexión completamente reversible y a una torsión.

$$M_a = 3905.4 \text{ N.m} \quad (7)$$

$$M_m = 0 \text{ N.m} \quad (8)$$

$$T_a = 0 \text{ N.m} \quad (9)$$

$$T_m = 3737.13 \text{ N.m} \quad (10)$$

Para determinar el diámetro nominal del eje debemos tomar en cuenta los esfuerzos medios y de amplitud en la ecuación de Von Misses para el diseño de ejes:

$$\sigma'_a = (\sigma_a^2 + 3\tau_a^2)^{1/2} \quad (11)$$

$$(\sigma_a^2 + 3\tau_a^2)^{1/2} = \left[\left(\frac{32K_f M_a}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left(\frac{16K_{fs} T_a}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (12)$$

$$\sigma'_m = (\sigma_m^2 + 3\tau_m^2)^{1/2} \quad (13)$$

$$(\sigma_m^2 + 3\tau_m^2)^{1/2} = \left[\left(\frac{32K_f M_m}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left(\frac{16K_{fs} T_m}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (14)$$

De donde:

$\sigma'_m =$ *esfuerzo medio equivalente.*

$\sigma'_a =$ *esfuerzo amplitud equivalente.*

Estos criterios los evaluamos mediante la ecuación de falla por fatiga de Soderberg.

$$\frac{1}{n} = \frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_y} \quad (15)$$

Resolviendo la ecuación

$$\frac{1}{n} = \frac{1}{S_e} \left[\left(\frac{32K_f M_a}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left(\frac{16K_{fs} T_a}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{1/2} + \frac{1}{S_y} \left[\left(\frac{32K_f M_m}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left(\frac{16K_{fs} T_m}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (16)$$

$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left\{ 4 \left(\frac{k_{ff} M_a}{S_e} \right)^2 + 3 \left(\frac{k_{fs} T_a}{S_e} \right)^2 + 4 \left(\frac{k_{fs} M_m}{S_y} \right)^2 + 3 \left(\frac{k_{fs} T_m}{S_y} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (17)$$

De donde:

$S_e =$ *límite de fatiga*

$d =$ *diámetro nominal del eje*

3.3.2.2. Límite de fatiga S_e

Para realizar el diseño del eje es necesario tomar en cuenta el límite a la fatiga del elemento, este es igual al 50% de la resistencia a la tensión del acero.

$$S_e = kS'_e \quad (18)$$

$$S'_e = 0.5 Sut \quad (19)$$

De donde:

S'_e = Limite a la fatiga de una probeta de muestra

Sut = resistencia a la tensión

k = factor global de modificación para el diseño del eje estimado de 0,6

$$S_e = k(0.5 Sut)Mpa$$

$$S_e = 0.6(0.5 (440))Mpa$$

$$S_e = 132 Mpa$$

Reemplazamos nuestros valores en la fórmula para determinar el diámetro de nuestro eje.

$$d = \left\{ \frac{16(4)}{\pi} \left\{ 4 \left(\frac{1.6 * 3905.4}{132} \right)^2 + 3 \left(\frac{1.4 * 3737.13}{295} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 17.59 mm$$

Equivalente a 18 mm.

3.3.2.3. Dimensionamiento del eje

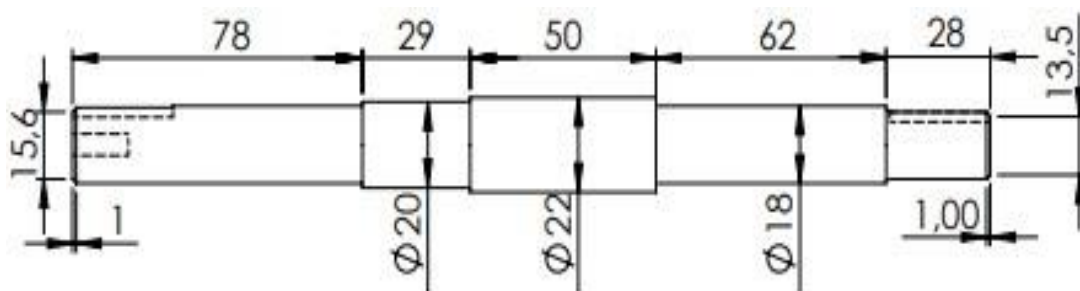


Figura 14-3: Dimensiones del eje del molino

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

Para evitar deformaciones extremas la longitud del eje diseñado debe ser la menor posible, siendo de 247 mm la longitud, con un diámetro de 18 mm, como se observa en la figura 14-3.

3.3.3. *Análisis de Resonancia*

Todo eje, sufre deformación durante la rotación, sus valores máximos se observan durante sus velocidades críticas, para determinar dichas velocidades existen dos métodos de cálculo, Duckerley y Rayleigh-Ritz.

Método de Dunckerley

El método de Dunckerley subestima la velocidad crítica del eje mediante las ecuaciones (20) y (21). (Shigley, 2008 pág. 700)

$$\eta_i = \sqrt{\frac{g}{\delta_i}} \quad (20)$$

$$\frac{1}{w_{crit}^2} = \frac{1}{\eta_1^2} + \frac{1}{\eta_2^2} + \frac{1}{\eta_3^2} + \dots + \frac{1}{\eta_i^2} \quad (21)$$

Dónde:

η_i = frecuencia critica en el punto "i" (rpm)

δ_i = deformación en el punto "i" (m)

w_{crit} = velocidad critica del eje (rpm)

$$g = \text{gravedad} \left(9.8 \text{ m/s}^2 \right)$$

Método de Rayleigh-Ritz.

El método de Rayleigh-Ritz sobrestima la velocidad critica del eje mediante la ecuación (21) (Shigley, 2008 pág. 701)

$$w_{crit} = \sqrt{\frac{g[(m_1)(\delta_1) + (m_2)(\delta_2) + \dots + (m_i)(\delta_i)]}{(m_1)(\delta_1)^2 + (m_2)(\delta_2)^2 + \dots + (m_i)(\delta_i)^2}} \quad (22)$$

Dónde:

w_{crit} = velocidad critica del elemento

$$g = \text{gravedad} \left(9.8 \text{ m/s}^2 \right)$$

m_i = masa "i" unida al eje

δ_i = deflexión en el punto "i" del eje.

Los valores de la masa unida al eje (rotor) fueron determinada mediante el programa SolidWorks en el Anexo B

Nuestro eje tiene una única masa unida a él, la cual para nuestro cálculo denominaremos:

$$masa A = masa del rotor$$

Coeficiente de influencia:

$$\delta_{AA} = deflexión en el punto A debido a la masa A.$$

Para calcular la deflexión que produce la masa del rotor en nuestro eje utilizaremos el programa SAP 2000

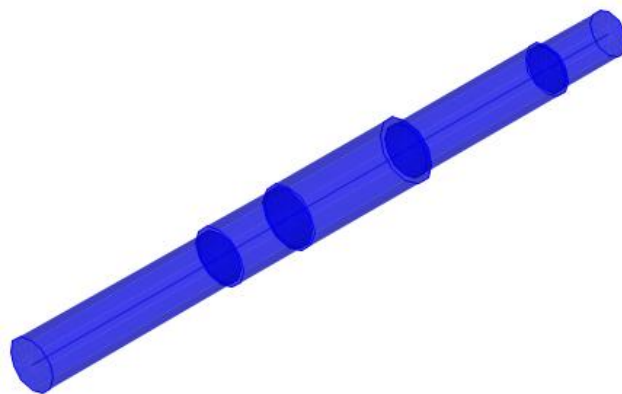


Figura 15-3: Geometría del eje en el programa SAP 2000

Realizado por: Guaspacha, D. 2022

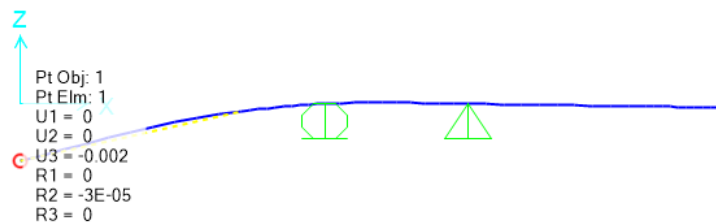


Figura 16-3: Deflexión en el punto A debido a la masa A

Realizado por: Guaspacha, D. 2022

$$\delta_A = 0.002 \text{ mm} = 0.000078 \text{ in}$$

Con este valor podemos encontrar la velocidad crítica de nuestro eje mediante los métodos de Dunckerley y Rayleigh-Ritz

3.3.3.1. Método de Dunckerley

Reemplazando nuestros valores en la ecuación (20) y (21) tenemos:

$$\eta_A = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{32.2(12)}{0.000078}}$$

$$\eta_A = 21254.09 \text{ rad/s}$$

$$\frac{1}{w_{crit}^2} = \frac{1}{21254.09^2}$$

$$w_{crit} = 21254.09 \text{ rad/s}$$

$$w_{crit} = 202961.6 \text{ rpm}$$

3.3.3.2. Método de Rayleigh-Ritz.

Reemplazando nuestros valores en la ecuación (22) tenemos:

$$w_{crit} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{32.2(12)(536.51)(0.000078)}{(536.51)(0.000078)^2}}$$

$$w_{crit} = 21254.09 \text{ rad/s}$$

$$w_{crit} = 202961.6 \text{ rpm}$$

Nuestro eje va a trabajar a 1500 rpm por lo cual no existe riesgo de resonancia.

3.3.4. Cálculo de la potencia requerida para el molino.

3.3.4.1. Potencia requerida por la máquina.

La potencia necesaria para el molino pulverizador la calculamos mediante la ecuación:

$$P = T * w \quad (2)$$

Dónde:

$P =$ Potencia requerida por el molino pulverizador

$T =$ Torque necesario para el proceso de pulverización

$w =$ Velocidad angular $\left(\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)$

$$T = F * d \quad (3)$$

$T =$ Torque [N.m]

$d =$ Distancia de aplicación de la fuerza de corte [m]

$F =$ Fuerza de corte [N]

$$T = 43 \text{ N} * 86.91 \text{ mm}$$

$$T = 3737.13 \text{ N.mm}$$

La velocidad de operación de nuestro molino será $1500 \frac{\text{rev}}{\text{min}}$

$$1500 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \approx 157.08 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$P = 3.74 \text{ N} * 157.08 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$P = 587.47 \text{ Watts}$$

$$P = 587.47 \text{ Watts} * \frac{1 \text{ Hp}}{746 \text{ Watts}}$$

$$P = 0.787 \text{ Hp}$$

3.3.4.2. Selección del motor eléctrico

Para seleccionar el motor eléctrico multiplicaremos la potencia requerida por la máquina por un factor de trabajo de 1.2 previniendo así una sobrecarga en el molino pulverizador (Harper, 2005 págs. 25-28).

$$Pm = 1.2 * P \quad (4)$$

Dónde:

$P =$ potencia requerida por la máquina

$Pm =$ potencia requerida en el motor eléctrico

$$Pm = 1.2 * 0.787$$

$$Pm = 0.945 \text{ hp}$$

Por lo tanto, escogeremos un motor eléctrico con las siguientes características:

Tabla 18-3: Características del motor eléctrico

Marca	Weg
Potencia	1 HP
Revoluciones	1730
Voltaje	110/220

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

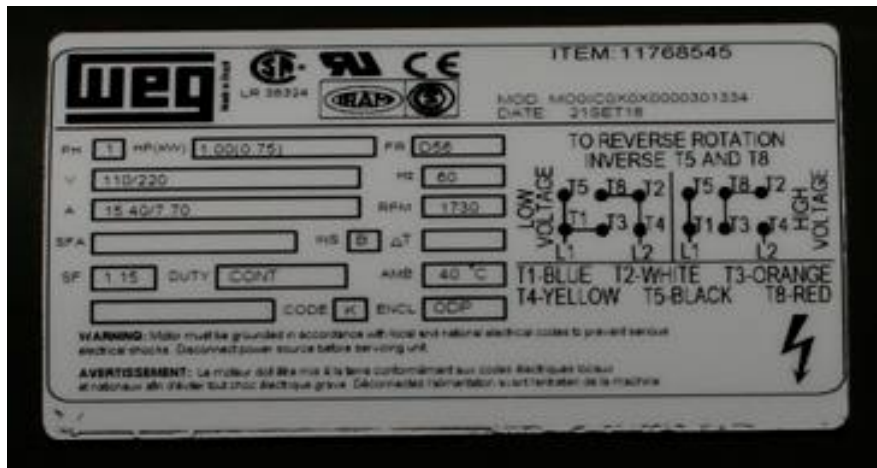


Figura 17-3: Placa de un motor eléctrico WEG disponible en el mercado.

Fuente: (Promesa, 2021 pág. 45)

3.3.4.3. Conexión eléctrica del motor.

Cualquier circuito de devanado monofásico se puede conectar en paralelo entre sí, los motores monofásicos de inducción tienen aplicaciones en residencias, oficinas, comercio e industrias, su uso y aplicación es más amplio en comparación al motor trifásico (Harper, 2004)

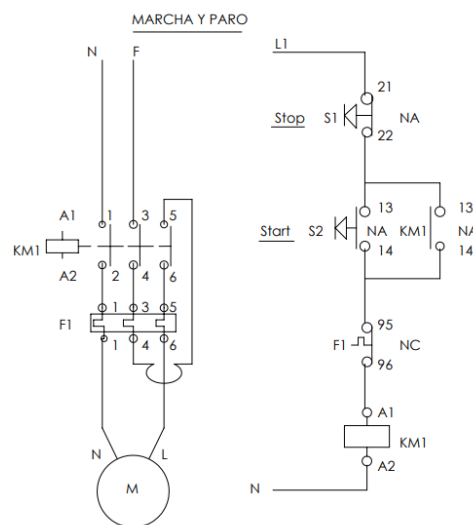


Figura 18-3: Conexión eléctrica del motor

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

La figura 18-3 representa la conexión eléctrica para un motor monofásico, con sus botones de arranque y parada.

3.3.5. Dimensionamiento de la carcasa.

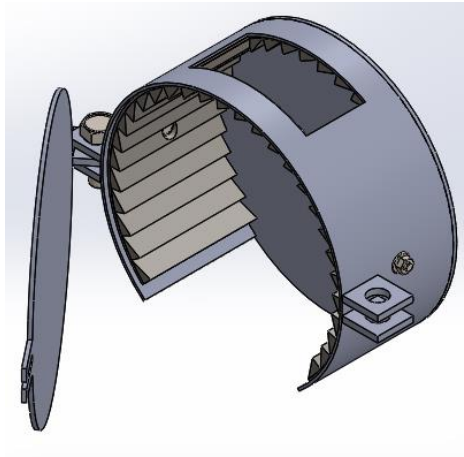


Figura 19-3: Carcasa del molino

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

Para el dimensionamiento de la carcasa se tomará en cuenta que la máquina es un prototipo y su tamaño debe ser compacto para poder ser movilizado e instalado en cualquier lugar, su diámetro externo es de 20.5 cm por 10cm de ancho, en la figura 3-19 podemos observar el modelo propuesto para nuestro molino pulverizador.

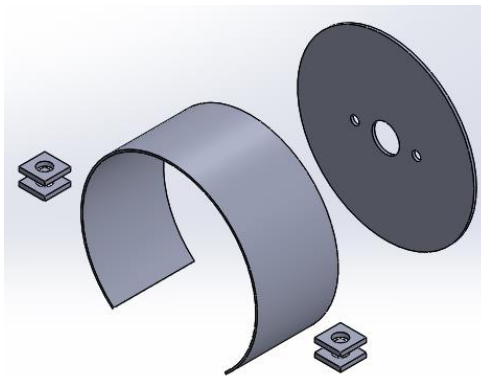


Figura 20-3: Partes de la carcasa

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

En la figura 20-3 se observa las partes para el proceso de construcción de la carcasa, fabricadas a partir de una plancha de 3 mm de espesor.

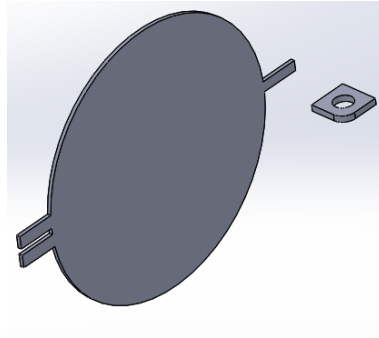


Figura 21-3: Partes de la tapa

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

La tapa de la carcasa está compuesta de dos piezas para poder acoplarse al cuerpo de la carcasa, como se observa en la figura 21-3.

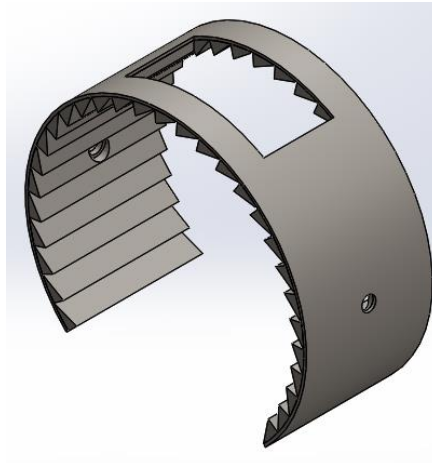


Figura 22-3: Cuchillas fijas

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

En la figura 22-3, podemos observar que dentro de la carcasa se encuentran acopladas las cuchillas fijas, las mismas que junto a las cuchillas móviles se encargaran del proceso de pulverización mediante cizalladura.

Las cuchillas fijas irán montadas sobre una lámina de 2mm para ser acopladas dentro de la carcasa.

3.3.6. Dimensionamiento del rotor.

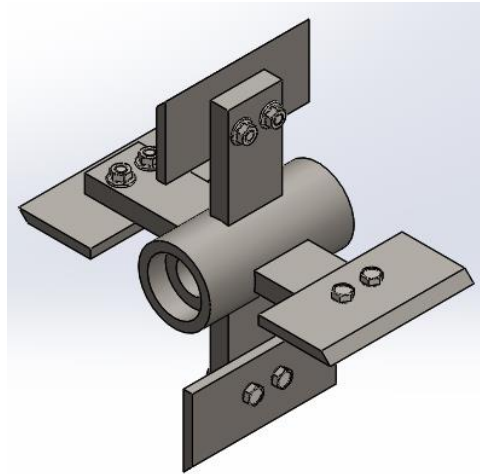


Figura 23-3: Rotor y cuchillas

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

El diseño propuesto está compuesto por 4 cuchillas móviles distribuidas uniformemente sobre el rotor, estas estarán sujetas mediante pernos a los 4 brazos del rotor para poder ser intercambiadas cuando sufran desgaste, la operación de corte o cizalladura se producirá entre las cuchillas móviles y las cuchillas fijas ubicadas sobre la carcasa de la máquina pulverizadora.

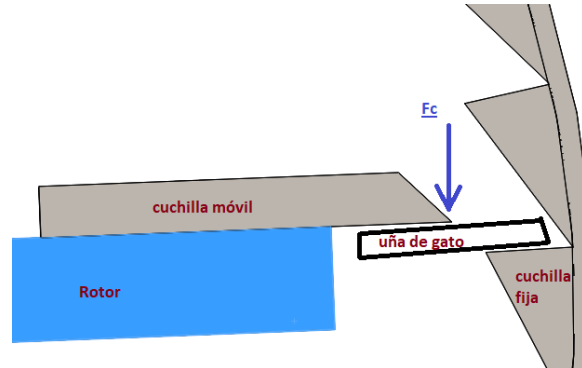


Figura 24-3: Proceso de cizalladura entre cuchillas

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

La distancia entre los bordes de las cuchillas es ajustable como se observa en la figura 24-3, asegurando que el corte se produzca hasta conseguir partículas muy pequeñas, la recirculación del material se consigue gracias al tamiz que se encuentra en la parte inferior de la carcasa, mientras el material pulverizado no alcance al tamaño deseado este no podrá pasar por los agujeros del tamiz.

3.3.6.1. Dimensionamiento de las cuchillas fijas

Las cuchillas fijas se muestran en la figura 25-3, estas deberán cubrir el interior de la carcasa para que se produzca el proceso de corte cada vez que pasen las cuchillas móviles.

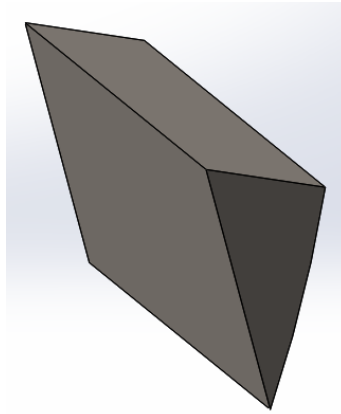


Figura 25-3: Cuchillas fijas

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

3.3.6.2. Dimensionamiento de las cuchillas móviles

El ancho de las cuchillas móviles deberá coincidir con el ancho de las cuchillas fijas, tendrá dos ranuras para permitir sostenerse mediante pernos al rotor como se muestra en la figura 26-3, estas ranuras permiten calibrar la distancia entre las cuchillas fijas y móviles.

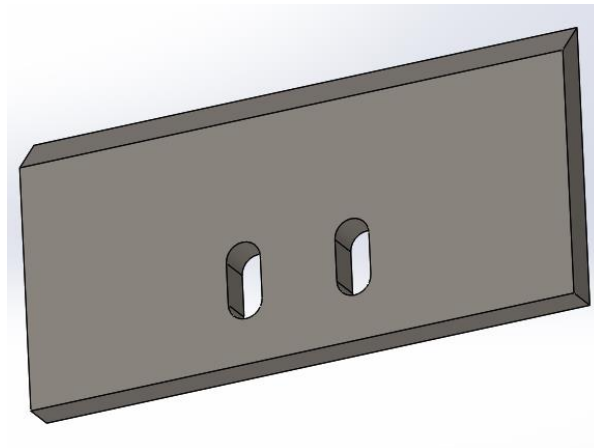


Figura 26-3: Geometría de las cuchillas móviles

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

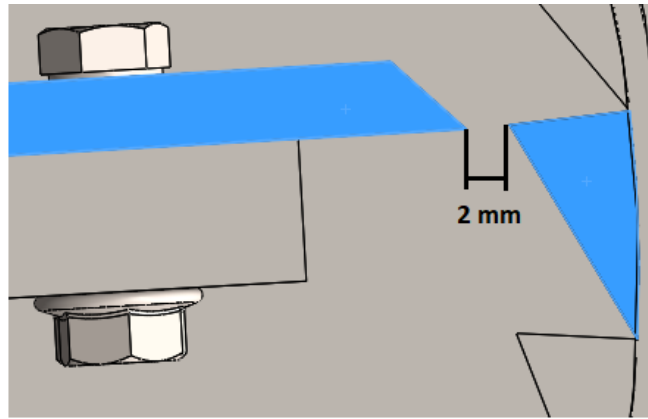


Figura 27-3: Distancia entre cuchillas fijas y móviles

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

El material de las cuchillas será acero inoxidable, por ser un material adecuado en procesos donde se encuentran implicados productos de consumo humano, la descripción comercial de este material se adjunta en el Anexo C.

3.3.7. Dimensionamiento de la tolva de alimentación.

El diseño de la tolva se observa en la figura 28-3, esta debe facilitar el ingreso de la corteza de la planta ña de gato para que pueda ser pulverizada dentro de la máquina.

El material del que está realizada la tolva corresponde a una plancha de 2 mm de espesor y va acoplada a la tapa de la carcasa.

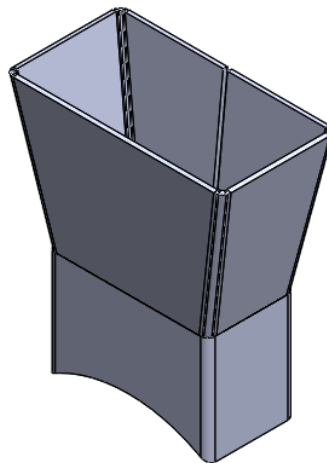


Figura 28-3: Tolva de entrada

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

3.3.8. Dimensionamiento de la tolva de salida.

La tolva de salida figura 29-3, es la encargada de direccionar el material pulverizado afuera del molino para ser recogida o almacenada, sus dimensiones se acoplan a la carcasa del molino y al tamiz.

El material del que está hecha la tolva es de plancha de 2 mm acopada a la carcasa del molino pulverizador.

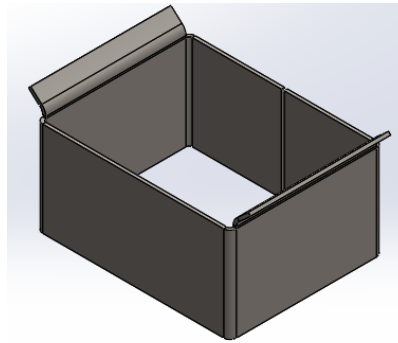


Figura 29-3: Tolva de salida

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

3.3.9. Dimensionamiento de la chaveta.

Tabla 19-3: Dimensionamiento de la chaveta para un eje de 18 mm

	Chaveta lengüeta	Chaveta
	a = 6 mm	e = 3.5 mm
	b = 6 mm	f = 2.5 mm

Fuente: Larburu, N. 1989

Realizado por: Guaspacha, D. 2022

Se recomienda que la longitud de la chaveta debe ser menor o igual a 1,5 veces el diámetro del eje

$$L = 1.5 \phi$$

$$L = 1.5 (18 \text{ mm})$$

$$L = 27 \text{ mm}$$

3.3.10. Diseño de la bancada de la máquina pulverizadora.

La bancada está constituida por una estructura de tubo cuadrado de 25x25x1.5 y una plancha de 3mm de espesor que fueron seleccionadas del catálogo comercial Dipac que se muestra en los Anexos D y E respectivamente.

Para el dimensionamiento de la estructura de la máquina figura 30-3, se toma en cuenta los parámetros del peso que soporta la estructura, ergonomía del trabajador para operar con facilidad la máquina.

Es importante seleccionar el perfil de la base tomando en cuenta varios parámetros como la ubicación de la carga distribuida donde soporta la estructura además de determinar los esfuerzos admisibles a flexión, momento máximo y módulo de sección.

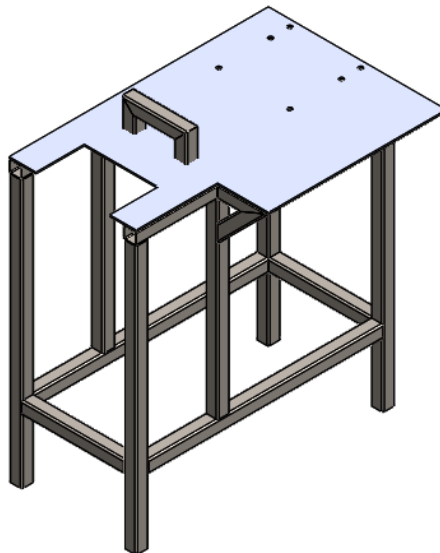


Figura 30-3: Bancada del molino pulverizador

Realizado por: Guaspacha, D. 2022

El análisis de resistencia de la estructura se realiza utilizando el programa SAP 2000 en la siguiente figura 31-3 se presenta la estructura propuesta para esta investigación.

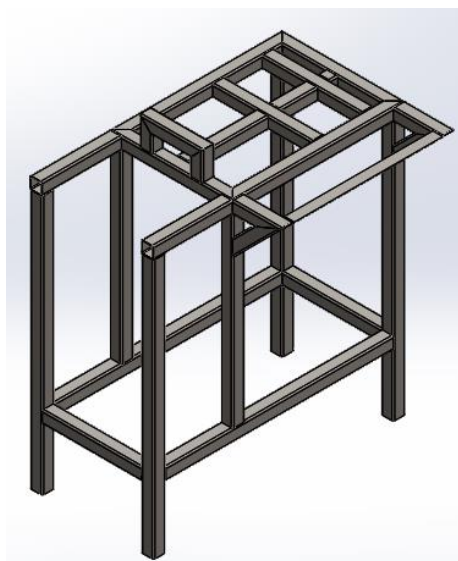


Figura 31-3: Estructura de la máquina

Realizado por: Guaspacha, D. 2022

Con la estructura se realiza un modelo unifilar para realizar el análisis en SAP 2000, donde se aplicará las cargas que debe soportar la estructura durante el funcionamiento de la máquina en la figura 32-3, se presenta el esquema de la bancada.

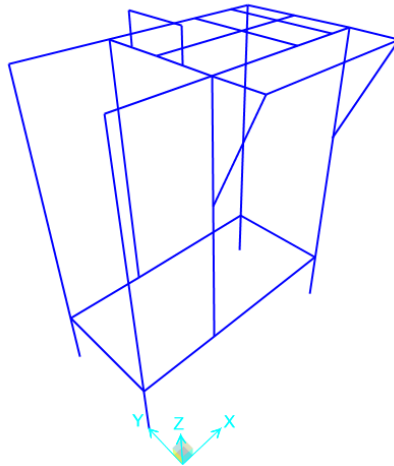


Figura 32-2: Estructura en SAP 2000

Realizado por: Guaspacha, D. 2022

A continuación, en la opción “Asignar” seleccionamos “Frame section”, modificar propiedades y en nueva sección editar los parámetros para el tubo cuadrado de 25x25x1.5mm para el soporte de los elementos principales figura 33-3.

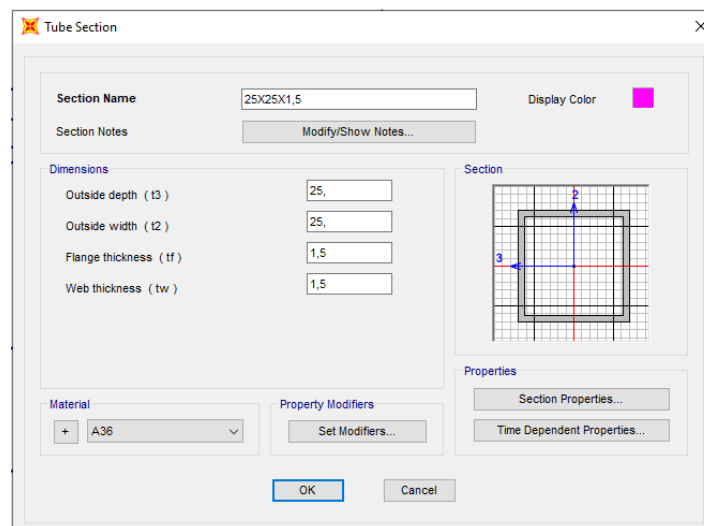


Figura 33-3: Configuración del tubo cuadrado de 25x25x1.5 mm

Realizado por: Guaspacha, D. 2022

Las cargas que se utilizan para el análisis son las siguientes; carga viva y carga muerta, considerando el material de la bancada, el material a triturar y los elementos que soporta toda la estructura.

3.3.10.1. Carga viva

Material a triturar

Para el análisis de la carga viva es necesario determinar el volumen de la corteza que ingresara en la máquina, siendo de 10 mm de ancho por 20 mm de largo y 3 mm de espesor, la densidad del material promedio se estima en 650 [Kg/m³].

$$m = \rho * V \quad (20)$$

Dónde:

m = masa

ρ = densidad

V = volumen

$$m = 650 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 6 \times 10^{-7} \text{ m}^3$$

$$m = 3,9 \times 10^{-4} \text{ kgf} * 9.81 \text{ N}$$

$$m = 0.003826 \text{ N}$$

Este valor se divide para los 2 tubos donde se encuentra apoyada la carcasa que es la que contiene el material a triturar que tienen una longitud de 182 mm

$$\text{Carga viva}_1 = 0.00001051 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

3.3.10.2. Carga muerta.

Elementos de la máquina

En la siguiente tabla se presenta el peso aproximado que va a soportar la estructura del molino pulverizador.

Tabla 20-3: Peso de los elementos que componen el molino pulverizador.

ELEMENTO	Peso (Kg)	Cantidad	Peso total (Kg)
Motor eléctrico	16.93	1	16.93
Carcasa	6.70	1	6.70
Rotor	0.77	1	0.77
Cuchillas	0.06	4	0.24

Tolva salida	0.39	1	0.39
Tamiz	0.02	1	0.02
Tapa carcasa	6.84	1	6.84
Tolva entrada	1.34	1	1.04
Plancha	1.81	1	1.81
TOTAL			34.74

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

Los pesos de la máquina y demás elementos se muestran en la tabla 3.20 y es de 34.74 Kgf.

$$M = 34.74 \text{ Kgf} = 340.8 \text{ N}$$

Este valor se divide para la magnitud de los tubos principales de la estructura que sostienen el molino obteniendo el siguiente valor $0.243 \frac{N}{mm}$.

$$m = 0.243 \frac{N}{mm}$$

3.3.10.3. Definición de patrones de carga.

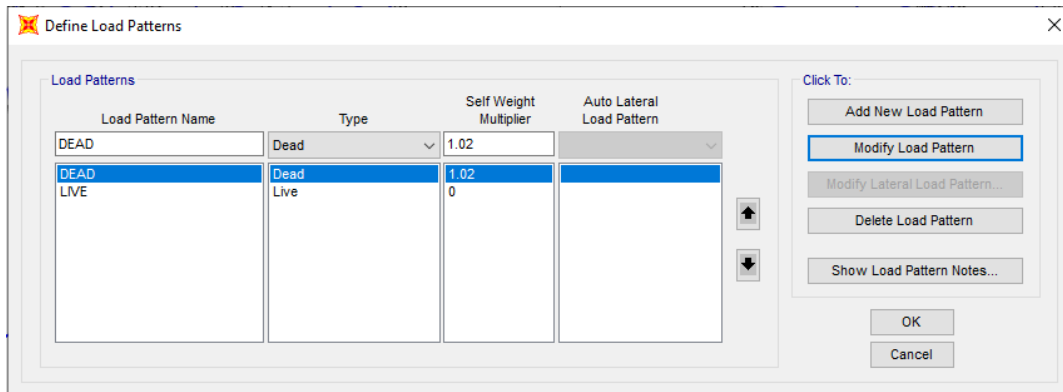


Figura 34-3: Definición de patrones de carga.

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

La carga muerta con un factor de 1.02 por efectos de soldadura y la carga viva con un factor de 0 se muestran en la figura 34-3, Esta combinación de carga corresponde para el método LRFD de la AISC 360.

3.3.10.4. Combinación de carga

Finalmente, aplicados los valores de carga viva y muerta posteriormente, se procede a juntar las cargas y se establece la combinación de cargas para el análisis, bajo norma NEC-SE-CG cargas (no sísmicas) y se utiliza los coeficientes de 1.2 a la carga muerta y de 1.6 a la carga viva figura 35-3, estos valores los observamos en el Anexo F

1.2D D (carga permanente)

1.6L L (carga viva)

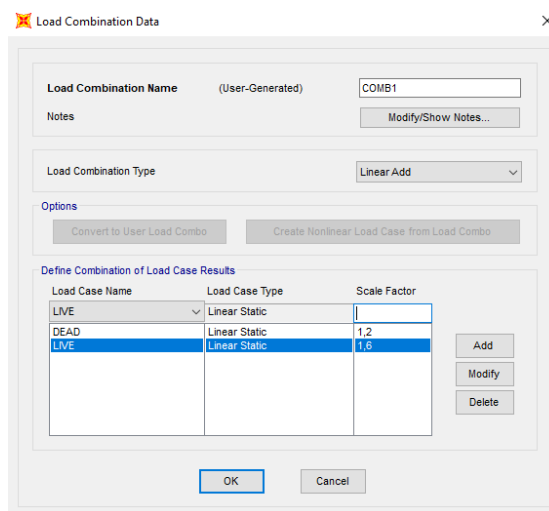


Figura 35-3: Combinación de cargas

Realizado por: Guaspacha, D. 2022

También realizaremos una combinación para el estado límite de servicio o rigidez,

Servicio 1: D + L

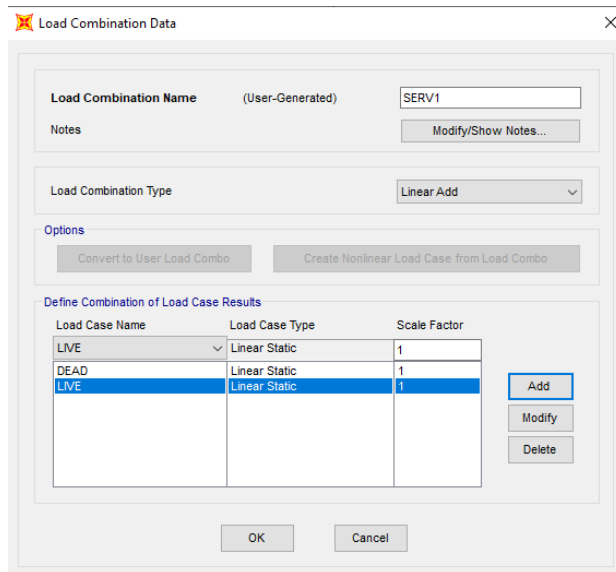


Figura 36-4: Combinación de cargas para servicio

Realizado por: Guaspacha, D. 2022

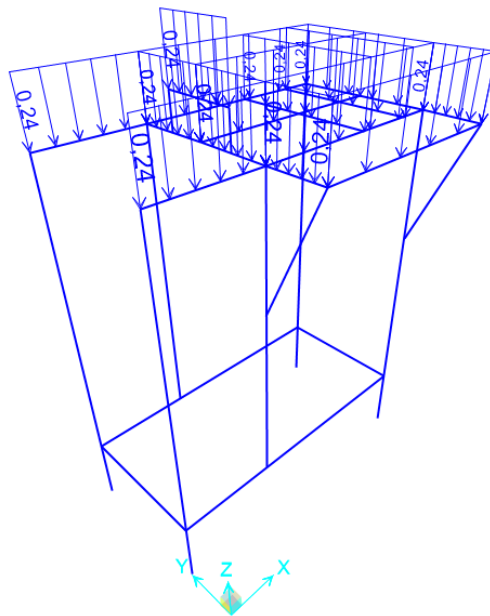


Figura 37-5: Aplicación de la carga

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

Es importante asignar la tubería seleccionada para el análisis estático de la estructura como se indica en la siguiente figura 38-3.

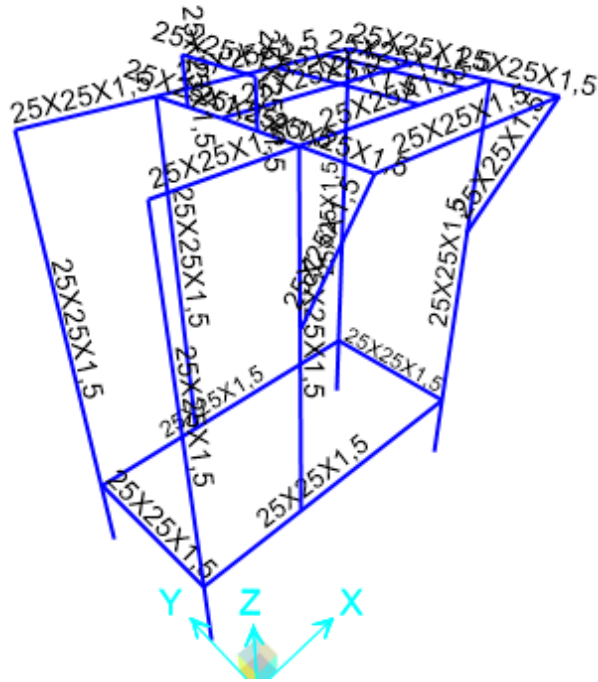


Figura 38-6: Asignación de la tubería estructural

Realizado por: Guaspacha, D. 2022

Tabla 21-3: Resultados de deformación por combinación de cargas de servicio.

Desplazamientos				
Junta	Combinación	U1	U2	U3
2	Servicio 1	0,116166	-0,057885	-0,017524
3	Servicio 1	0,098049	-0,049407	-0,021807
4	Servicio 1	0,286085	-0,272352	-0,395998
5	Servicio 1	0,286065	-0,275589	-0,365979
6	Servicio 1	0,285997	-0,290147	-0,176669
7	Servicio 1	0,02793	-0,005701	-0,367695
8	Servicio 1	0,028125	-0,005543	-0,023563
9	Servicio 1	0,032812	0,00141	-0,468961
10	Servicio 1	0,032966	-0,004858	-0,020204
11	Servicio 1	0,315515	-0,259984	-0,41645
12	Servicio 1	0,297384	-0,258395	-0,465164
13	Servicio 1	0,326148	-0,270971	-0,442269
14	Servicio 1	0,209618	-0,048201	-0,034117
16	Servicio 1	0,180033	-0,093351	-0,018827

17	Servicio 1	0,180091	-0,076697	-0,475393
18	Servicio 1	0,165869	-0,09619	-0,368365
19	Servicio 1	0,259264	-0,247691	-0,508926
20	Servicio 1	0,223777	-0,178072	-0,510436
21	Servicio 1	0,25758	-0,29836	-0,086953
22	Servicio 1	0,34933	-0,212469	-0,086674
23	Servicio 1	0,250582	-0,27507	-0,428483
24	Servicio 1	0,305725	-0,232381	-0,221101
25	Servicio 1	0,304605	-0,272393	-0,347731
26	Servicio 1	0,26897	-0,230981	-0,29088
74	Servicio 1	0,267387	-0,272505	-0,424014
79	Servicio 1	0,306033	-0,218307	-0,026277
81	Servicio 1	0,30379	-0,297881	-0,030347
82	Servicio 1	0,266205	-0,298143	-0,056744
83	Servicio 1	0,269425	-0,213108	-0,033408
88	Servicio 1	0	0	0
89	Servicio 1	0,286245	-0,247086	-0,447485
90	Servicio 1	0,285982	-0,298016	-0,065123
91	Servicio 1	0,304503	-0,275599	-0,317329
92	Servicio 1	0,267245	-0,275597	-0,3876
93	Servicio 1	0,304041	-0,290187	-0,13039
94	Servicio 1	0,266575	-0,290093	-0,171446
95	Servicio 1	0,030939	-0,005032	-0,009718
96	Servicio 1	0,025207	-0,005905	-0,009279
97	Servicio 1	0,029762	-0,005181	-0,015374
101	Servicio 1	0,036232	-0,004685	-0,012207
102	Servicio 1	0,305417	-0,246619	-0,371748
103	Servicio 1	0,268516	-0,247557	-0,479906

Realizado por: Guaspacha, D. 2022

De la Tabla 21-3 podemos observar que la mayor deformación se ha producido en la junta 102 con un valor de -0.47 mm

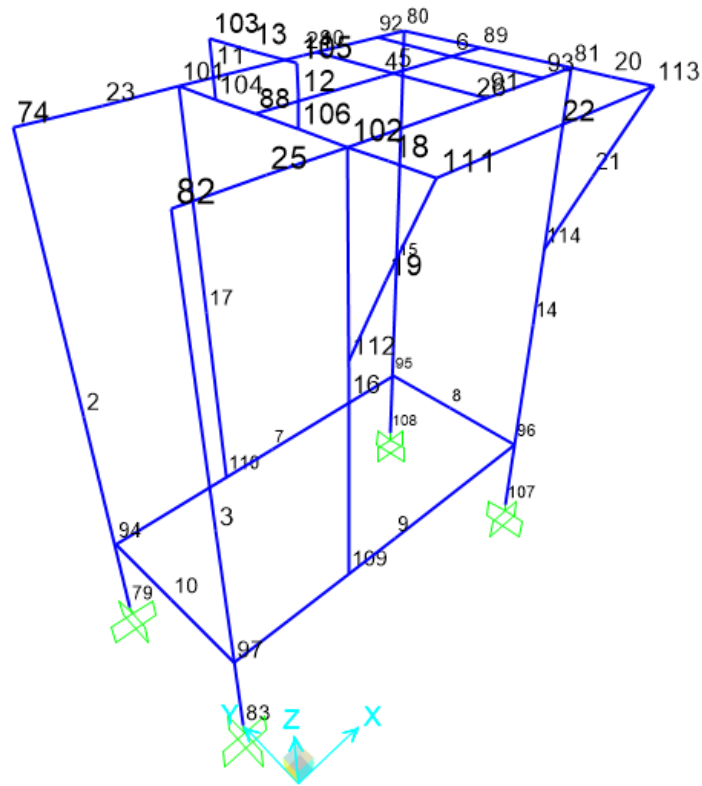


Figura 39-3: Localización de las juntas para análisis de rigidez

Realizado por: Guaspacha, D. 2022

Deformed Shape (SERV1)

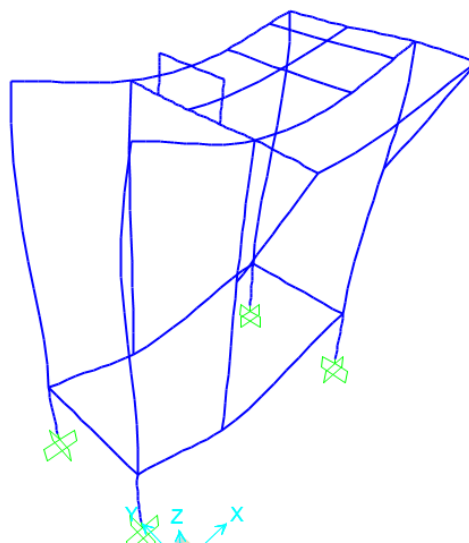


Figura 40-3: Resultados de la deformación de la estructura

Realizado por: Guaspacha, D. 2022

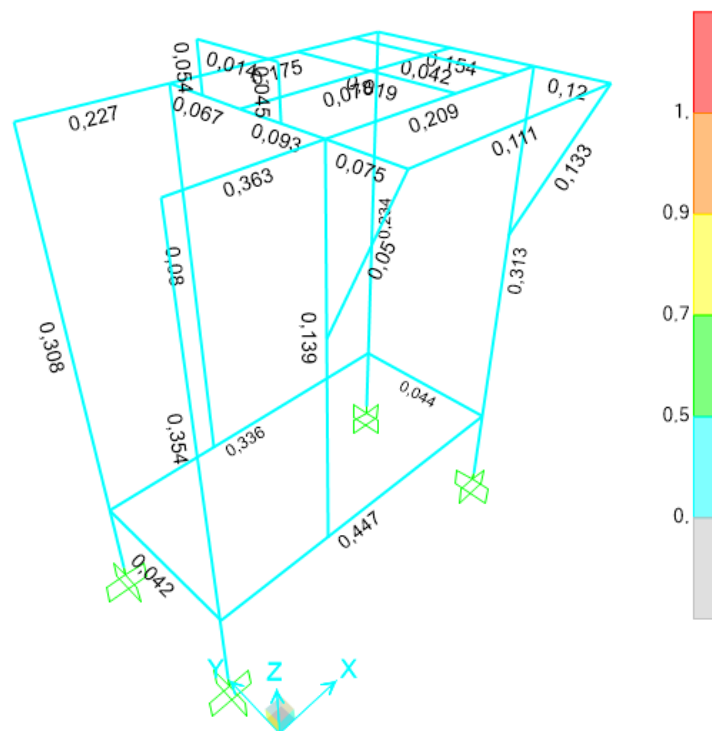


Figura 41-3: Resultados de la razón demanda/capacidad

Realizado por: Guaspacha, D. 2022

Los resultados obtenidos mediante el programa nos indica que la relación demanda/capacidad tiene un valor aproximado de 0.5, permitiéndonos asegurar que la estructura diseñada resistirá las cargas a las que se encuentra sometida.

3.3.11. Selección del material mediante software CES eduPACK

3.3.11.1. Las restricciones del material

- Material sometido a flexión
- Factible para producción en serie
- Longitud constante

3.3.11.2. Objetivo de selección del material para la construcción de la máquina

Seleccionar el material óptimo para la construcción de las cuchillas, tolvas y carcasa, buscando un material resistente a la corrosión por efectos de la humedad y que sea resistente a la flexión en comparación con los materiales más comunes para que la producción en serie sea factible.

El material a utilizar nos debe ofrecer rigidez, resiliencia, resistencia a la flexión y a la fatiga, pero a la vez que sea ligero y con un costo razonable.

- La variable libre: Se considera que la sección del material puede ser variada

Tabla 22-3: Resumen de las funciones, restricciones, objetivos y variables libres

Funciones	Carcasa tolva y cuchillas pulveriza el material
Restricciones	Rigidez especifica Geometría especifica Plancha o laminas resistencia a la corrosión y a la flexión
Objetivos	Material resistente a la corrosión y a la flexión
Variables libres	Sección del material

Fuente: (Ashby, 2013)

Realizado por: Guaspacha, D. 2021.

3.3.11.3. Material de partida aisi 1020

Se ingresa el material de partida el acero AISI 1020 por ser el más común en el mercado, con un módulo de ruptura de 295 MPa y con la condición de que sea resistente a la humedad, con la aplicación de estas condiciones los materiales se reducirán a la mitad de los existentes en la librería del software como se muestra en la figura 3-42.

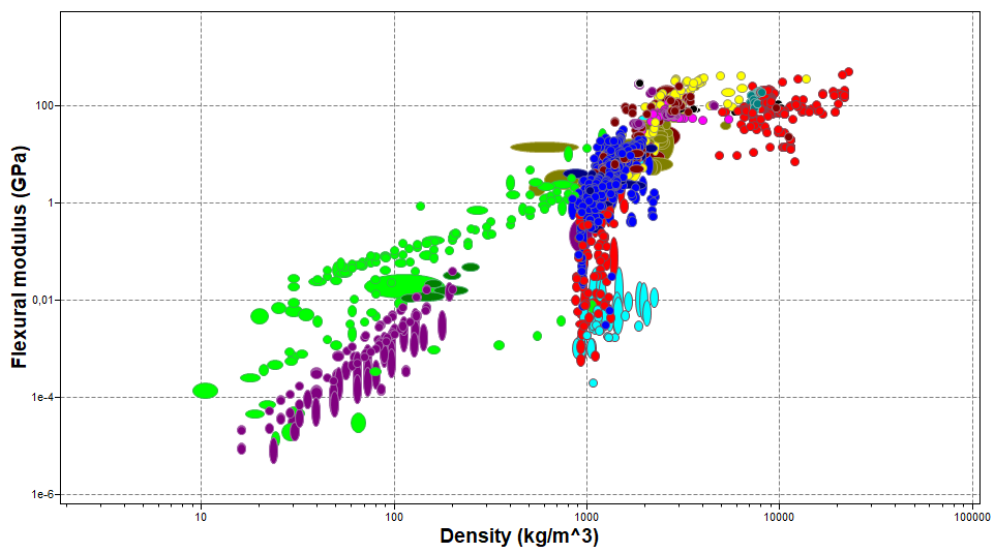


Figura 42-3: Selección del material de partida con el Ces edupack

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

3.3.12. Índices de desempeño

3.3.12.1. Índice de desempeño para el criterio peso

Adicionalmente si se presiona en el botón aprende podemos acceder a las tablas de índice de desempeño, para este caso se parte de las funciones que tiene el material que está sometido a flexión con restricción de rigidez específica y geometría específica con el objetivo de que sea lo más ligero posible obteniendo el índice de optimización.

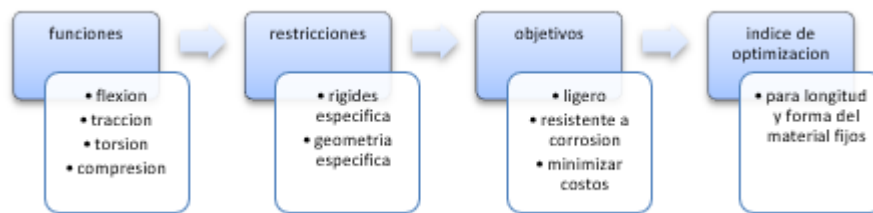


Figura 43-3: Índices de desempeño.

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

3.3.12.2. Índice de optimización para el criterio costo

Se dirige al criterio costos para el elemento que se encuentra en flexión, realizando el reajuste se obtiene diversos materiales que dan mejor relación en cuanto a precio, densidad y resistencia a la corrosión, los materiales que se muestran en la figura 44-3 cuentan con las características solicitadas.

Estos son todos los materiales que cumplen con las restricciones, densidad, buena resistencia al agua, buena resistencia a la flexion.

El programa se basa en la metodología de Asbhy y la aplicación de la regla de las mezclas, en donde se analizan diferentes materiales. De esta manera, mediante el uso de los índices de optimizacion, se selecciono el material óptimo para unas condiciones determinadas partiendo únicamente de los materiales base que compone la maquina.

Cabe recalcar que lo que se busca es seleccionar el material adecuado en base a las consideraciones de partida, sin dejar de lado la calidad del material y a su vez que mantenga un costo bajo para la fabricacion de la maquina. El acero inoxidable de tipo 316 o acero quirúrgico es el de mejor calidad para cocinar pero mucho mas costoso, porque contiene molibdeno en su aleación, por lo que es más resistente a la corrosión cuando se trabaja con materiales humedos en este caso la corteza de la ña de gato contiene cierto porcentaje de humedad, otro material de menor costo y de calidad semejante con buenas propiedades anticorrosivas es el acero inoxidable de tipo 304.

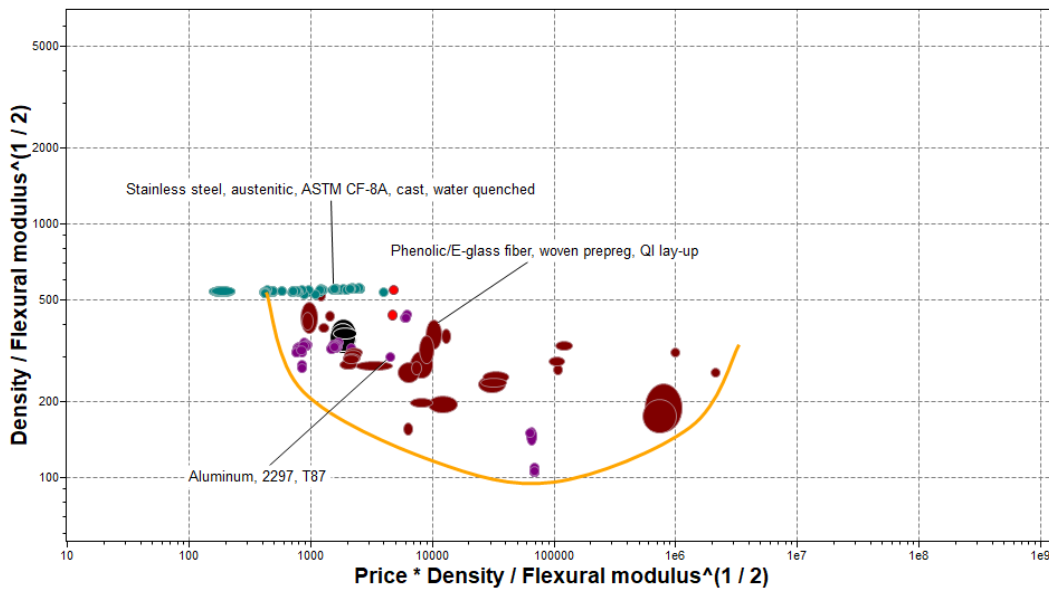


Figura 44-3: Materiales óptimos para la construcción de la máquina

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

3.3.12.3. Análisis de factibilidad de producción con el part cost simulator

El análisis de factibilidad sirve para recopilar datos relevantes sobre el desarrollo de un proyecto y en base a ello tomar la mejor decisión, si procede su estudio, desarrollo o implementación.

La investigación de factibilidad en un proyecto consiste en descubrir cuáles son los objetivos de la organización, luego determinar si el proyecto es útil para que la empresa logre sus objetivos. La búsqueda de estos objetivos debe contemplar los recursos disponibles o aquellos que la empresa puede proporcionar, nunca deben definirse con recursos que la empresa no es capaz de dar.

Se analizara la factibilidad económica en la cual interviene los recursos económicos y financieros necesarios para llevar a cabo el proyecto, mediante el part cost simulator analiza los recursos básicos considerarse como el costo del tiempo, el costo de producción y el costo de adquirir materia prima de esta manera concluir si el proyecto es viable o no.

En la gráfica se puede apreciar el costo por elemento producido en este caso se tomó el peso de la carcasa de 6,7 kg para una producción de 100 hasta 500 unidades producidas, se observa que a medida que se van produciendo las unidades va disminuyendo el costo de producción.

Para el caso del acero AISI 1020 observamos que es el material más barato, pero no cuenta con buenas propiedades de resistencia a la corrosión.

Para el acero inoxidable 304 se observa que tiene un mayor costo y propiedades mecánicas parecidas, pero cuenta con una excelente resistencia a la corrosión.

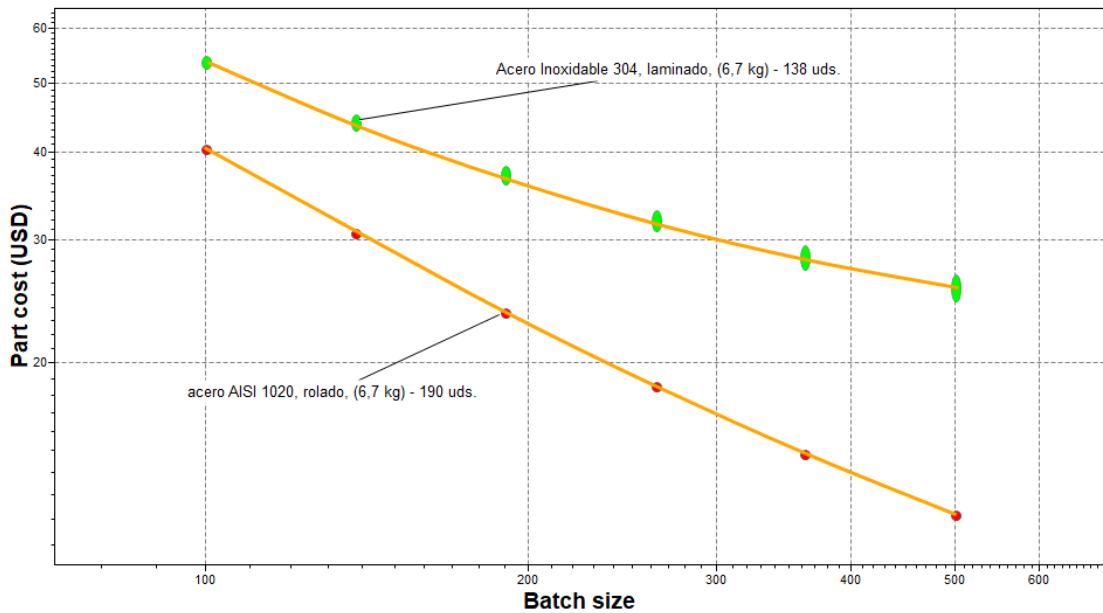


Figura 45-3: Análisis de factibilidad para el acero 1020 y el acero inoxidable 304

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

Por lo tanto, se selecciona el material acero inoxidable 304 que se muestra en la figura 45-3 con una densidad de 8000 Kg/m^3 , con buenas propiedades anticorrosivas y resistencia a la flexión, en este caso la carcasa es factible de producir debido a que el acero inoxidable pese a ser más costoso resiste de mejor forma la corrosión lo cual es buscado generalmente en máquinas que trabajen con productos medicinales o alimenticios en donde se prioriza la salud del consumidor.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

Una vez terminado el diseño y dimensionamiento de los componentes de la máquina pulverizadora se procede a validar mediante software CAE Ansys los elementos principales que se encuentran sometidos a esfuerzos y son los más importantes en el funcionamiento del molino pulverizador. En la figura 1-4 se muestra la máquina pulverizadora con todos los elementos que la conforman y la estructura base en la que se anclara el mecanismo.

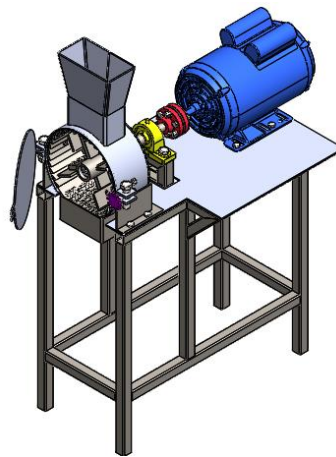


Figura 1-4: Molino pulverizador.

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

4.1. Análisis en el software CAE Ansys.

4.1.1. Eje

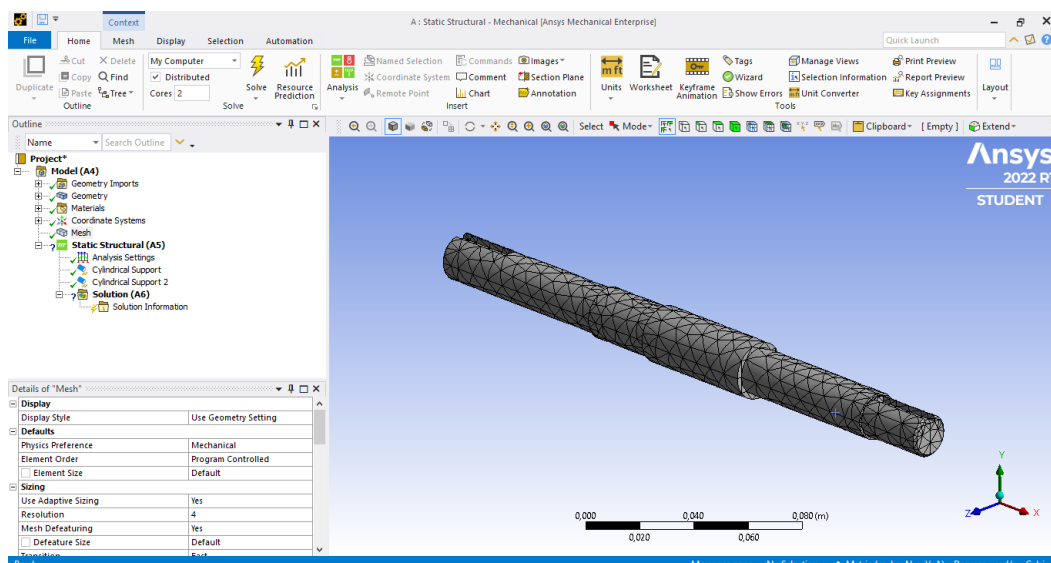


Figura 2-4: Importación de la geometría y mallado del eje en el programa.

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

El primer paso para validar nuestro diseño mediante software CAE es importar la geometría del elemento y realizar un mallado uniforme para que nuestros resultados sean lo más cercanos a la realidad como se muestra en la figura 2-4.

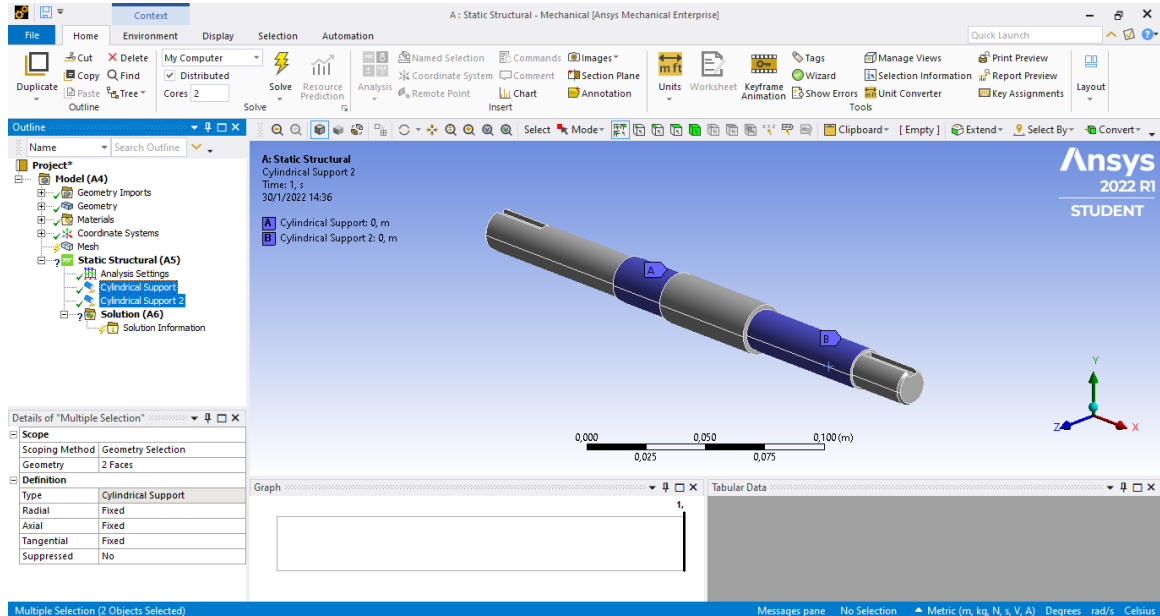


Figura 3-4: Representación de los soportes del eje

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

Los puntos A y B que se observan en la figura 3-4 representan las chumaceras en las que esta soportado el eje

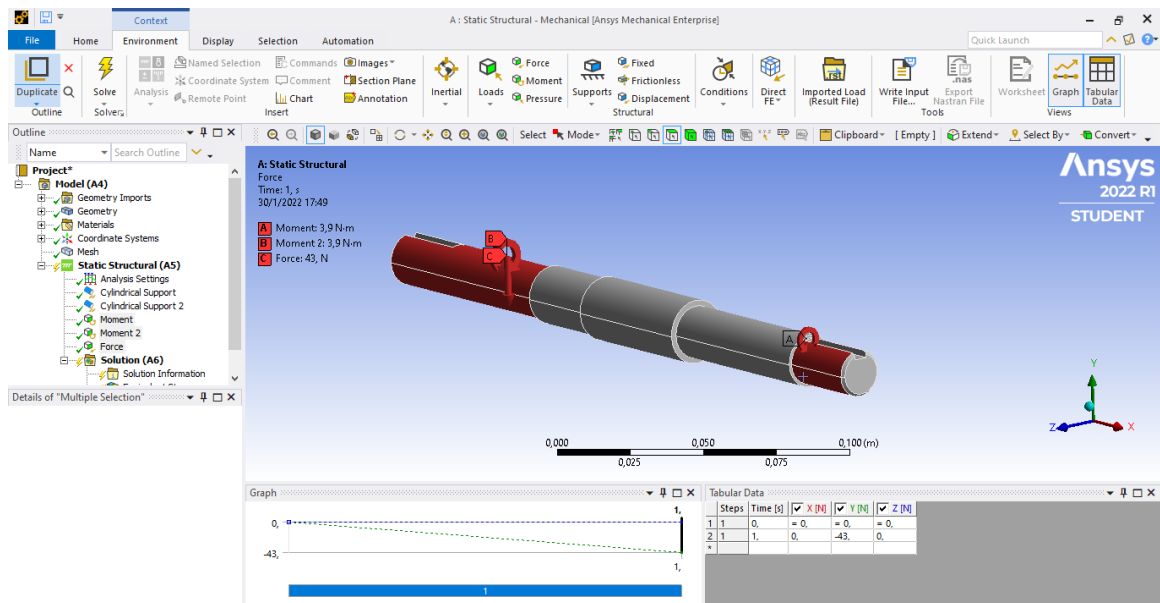


Figura 4-1: Representación de la fuerza y los momentos el eje.

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

4.1.1.1. Resultado de deformaciones en el eje.

Los puntos “A” y “B” representan el momento torsor al que está sometido el eje por acción del motor y el momento torsor que se produce debido a la fuerza de corte en el punto “C” por acción de las cuchillas que se localizan en el rotor respectivamente figura 5-4.

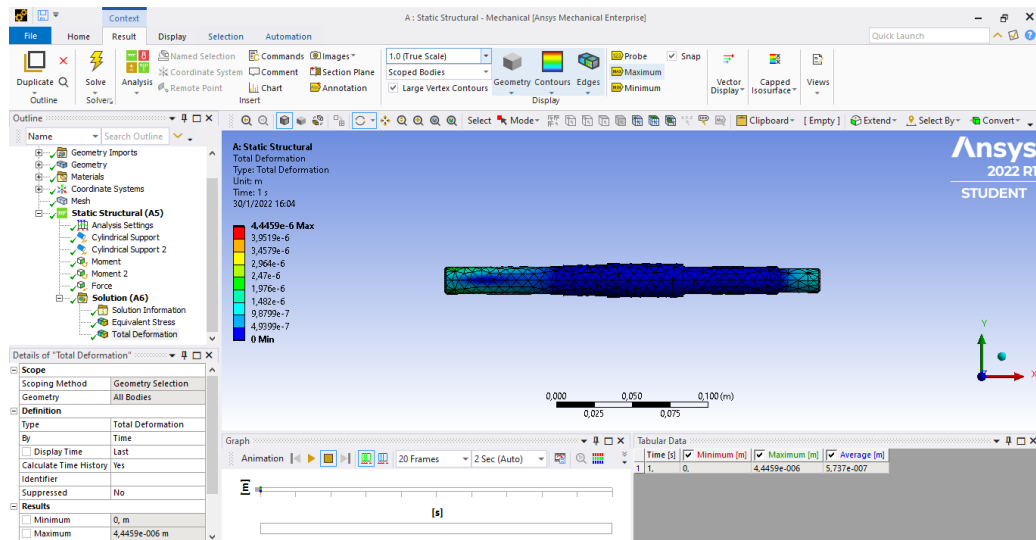


Figura 5-4: Análisis de deformaciones en el eje.

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

La deformación máxima permisible en ejes es de 0,16 mm/m por lo que nuestro eje puede tener una deformación máxima de 0,647 mm figura 5-4.

$$0,16 \frac{mm}{m} \times 0,247 m = 0,647 mm$$

La deformación máxima obtenida en nuestro análisis es de 0.0044 mm, muy por debajo de la deformación permisible, comprobando que nuestro eje no se deformara fuera del límite permitido.

4.1.1.2. Resultado del análisis de esfuerzos de Von Mises.

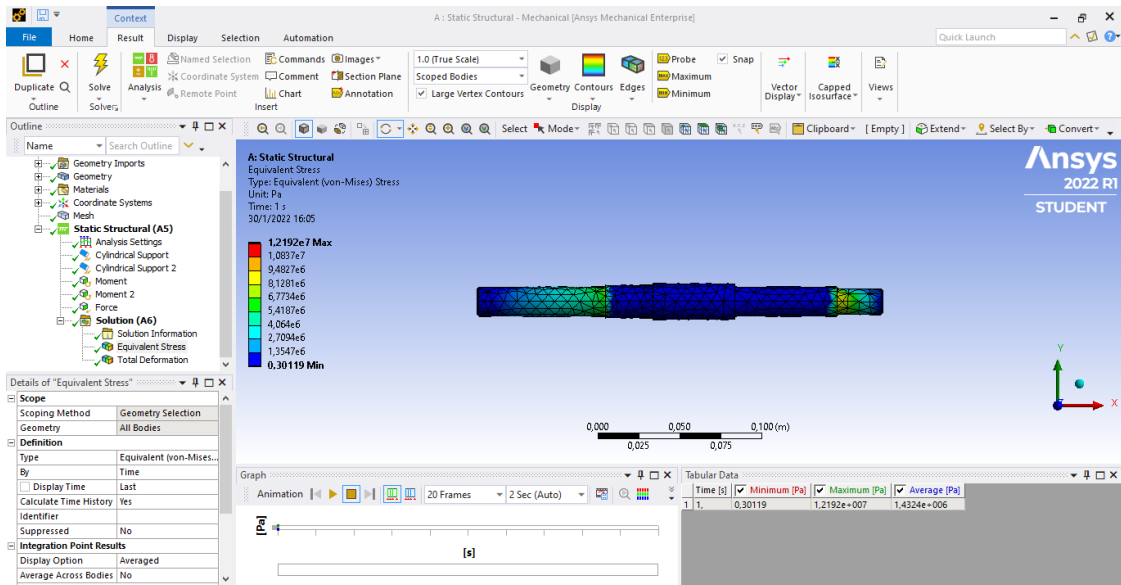


Figura 6-4: Análisis de esfuerzos de Von Mises.

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

El esfuerzo máximo producido en nuestro eje es de 12,19 MPa, y el esfuerzo admisible del acero 1020 es de 295 MPa, entonces nuestro eje es capaz de resistir las cargas a las que está sometido.

4.1.2. Rotor.

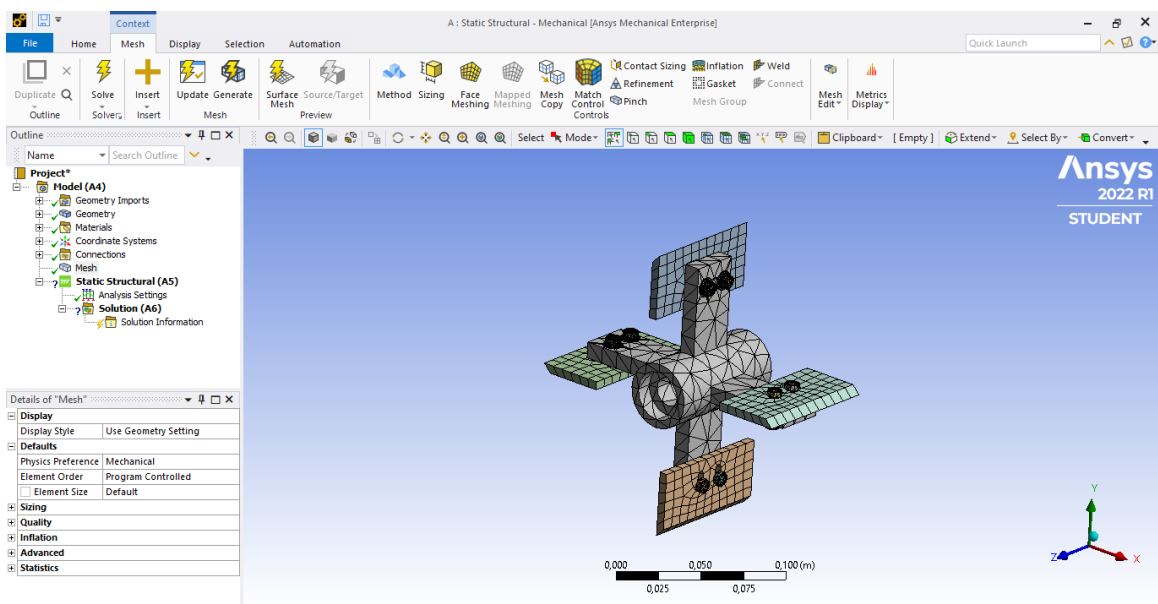


Figura 7-4: Importación de la geometría y mallado del rotor y cuchillas en el programa.

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

Procuraremos que el mallado del elemento en estudio sea uniforme, para proceder con el análisis.

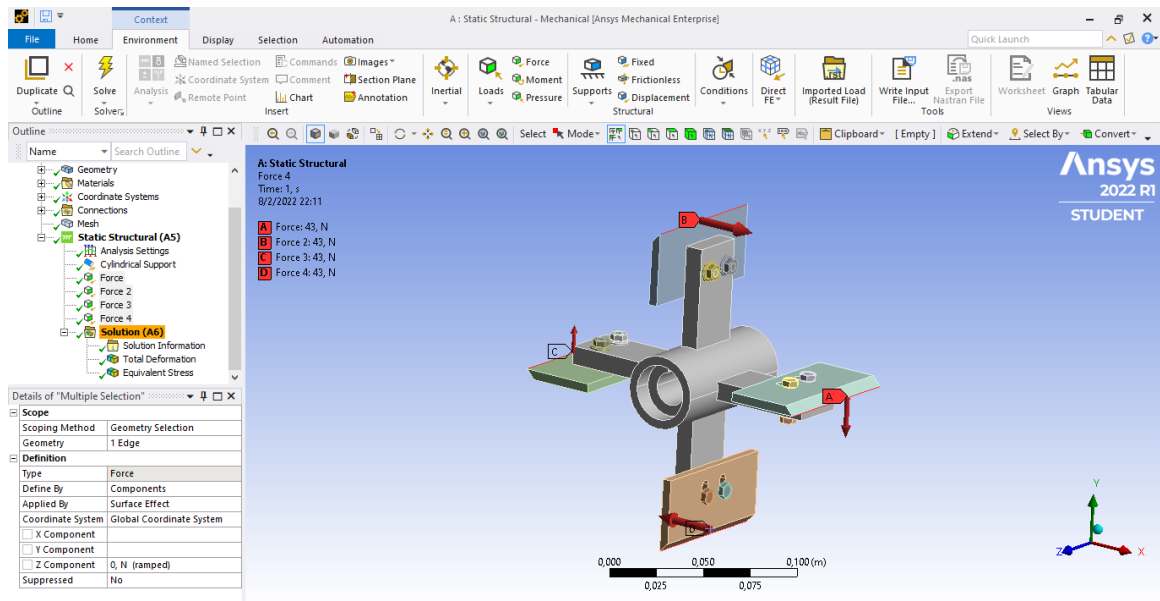


Figura 8-4: Representación de la fuerza de corte en la cuchilla.

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

4.1.2.1. Resultado de las deformaciones en las cuchillas móviles.

La fuerza de corte a la que está sometida la cuchilla es de 43N esta se encuentra localizada en el filo de la cuchilla como se representa en la figura 8-4.

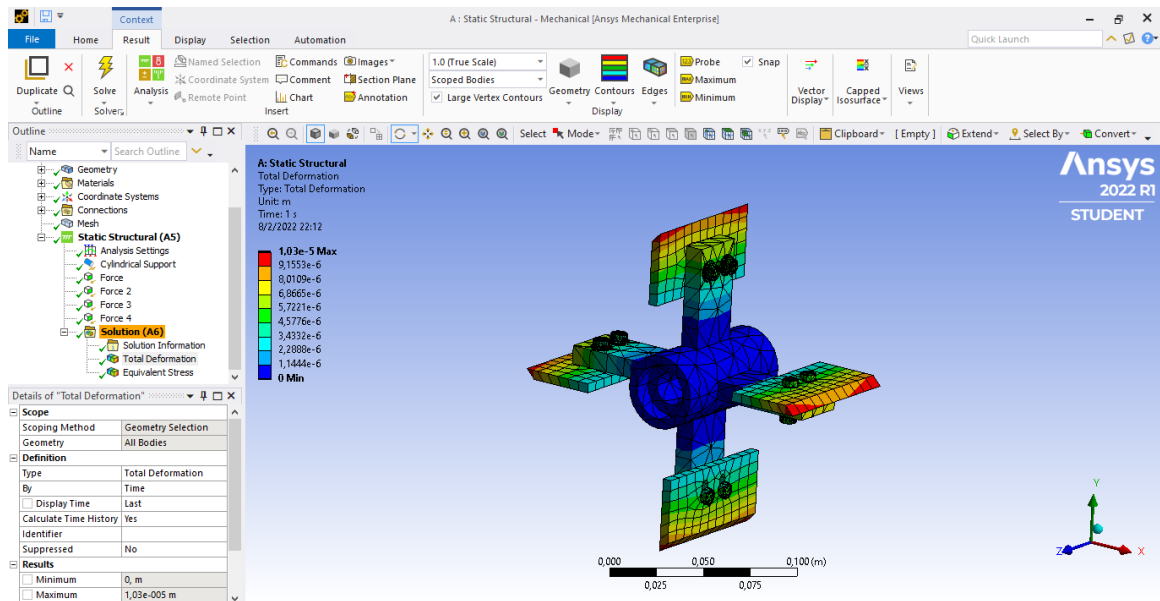


Figura 9-4: Análisis de deformación en las cuchillas.

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

La deformación máxima en las cuchillas se produce en el borde de las mismas y su valor es de 0.01 mm que es menor a la permisible de 0.27 mm (L/300).

4.1.2.2. Resultado del análisis de esfuerzos de Von Mises.

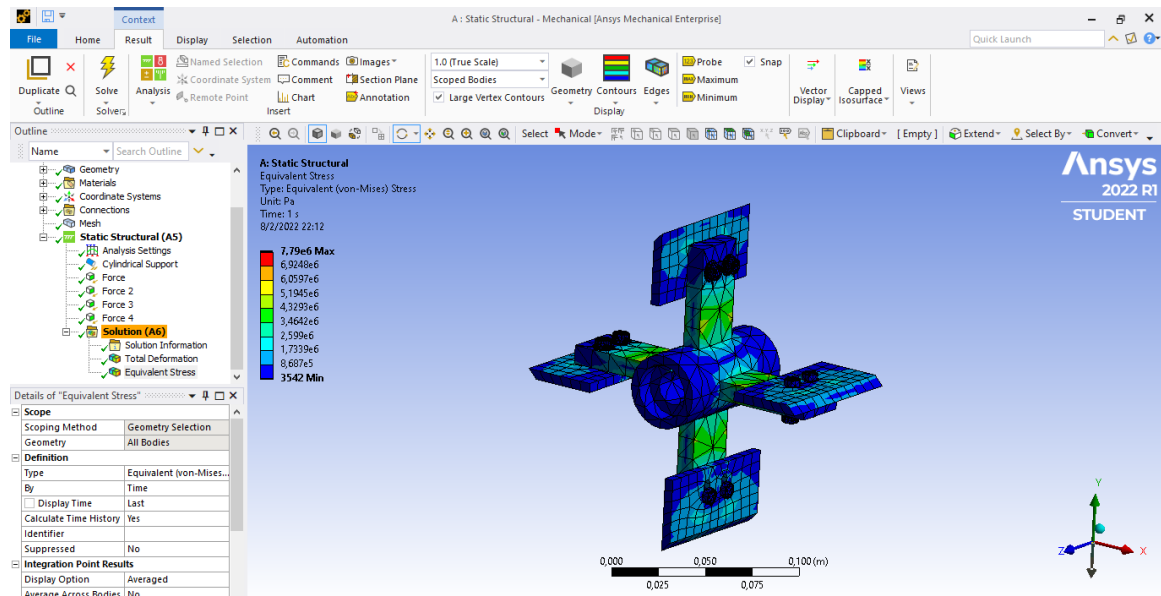


Figura 10-4: Análisis de esfuerzos de Von Mises

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

El máximo esfuerzo de Von Mises en la figura 4.10 producido en la unión de la cuchilla con el porta cuchilla del rotor es de 5 MPa valor que es menor al esfuerzo máximo admisible del acero inoxidable que es de 585 MPa para las cuchillas y de 295 MPa para el acero 1020 del cuerpo del rotor, por lo tanto, nuestro rotor resistirá las fuerzas a las que está sometido durante el proceso de pulverización.

Como referencia para las cuchillas de corte se consideró los parámetros geométricos para el corte de la caña de azúcar, se analizó el límite de fluencia al corte y el esfuerzo cortante máximo seleccionando un espesor de 5 mm este espesor es utilizado tanto para las cuchillas fijas y cuchillas móviles, este tipo de cuchilla es recomendado para materia prima flexible, el sistema que se observa en la figura 10-4 permite realizar impacto, rebote y cizalladura dentro de la carcasa del molino pulverizador.

En la parte izquierda se muestra una barra de colores indicando de color rojo los puntos o zonas que están al máximo esfuerzo de tensión posible y de color azul los puntos o zonas de mínimo esfuerzo de tensión, para la cuchilla se trabajó con un factor de seguridad de 10, recomendado para maquinaria, se podría considerar que el rotor está sobredimensionado pero de esta manera se garantiza la seguridad de la máquina previniendo una rotura dentro del molino, ocasionando un accidente grave que afectaría al operador de la máquina.

4.1.3. Cuchillas fijas

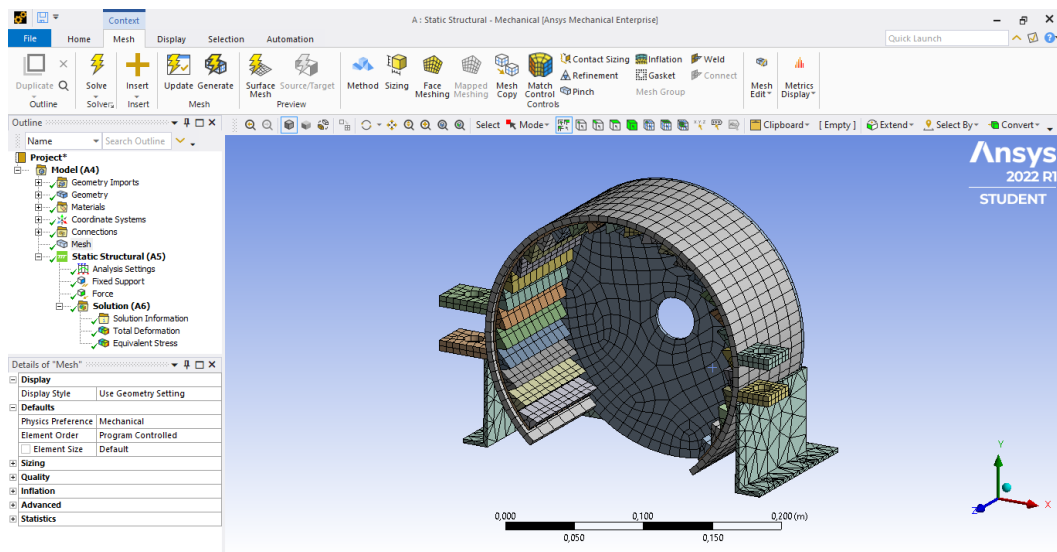


Figura 11-4: Importación de la geometría y mallado de la carcasa y cuchillas fijas.

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

Las cuchillas fijas se encuentran acopladas dentro de la carcasa del molino pulverizador, por lo que analizaremos ambos elementos en conjunto.

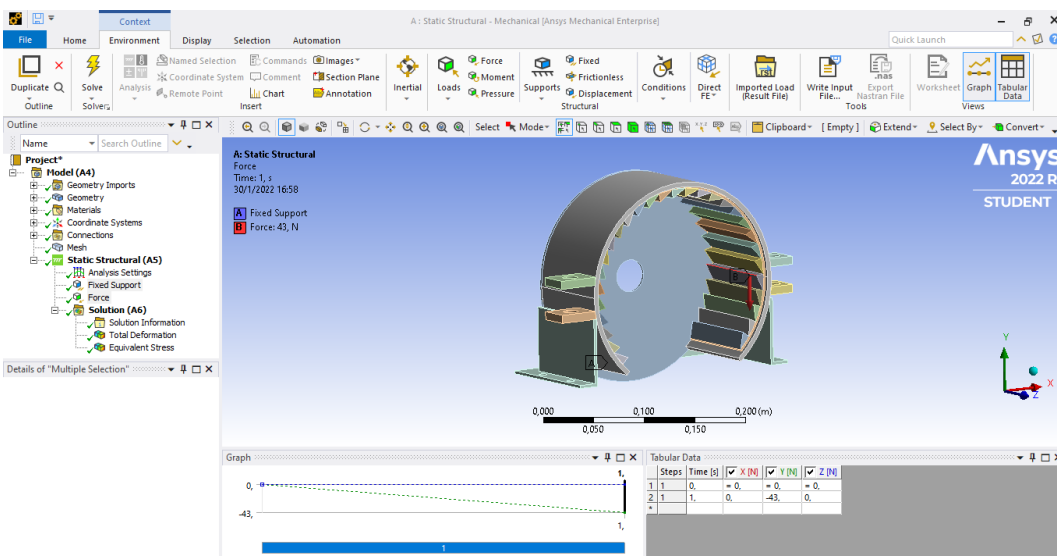


Figura 12-4: Representación de la fuerza de corte en la cuchilla fija del molino.

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

El proceso de corte se va realizando entre cada una de las cuchillas fijas con las cuchillas móviles por lo que, representaremos en el análisis la fuerza de corte entre una cuchilla fija y una móvil en un momento dado.

4.1.3.1. Resultado del análisis de deformaciones en las cuchillas fijas

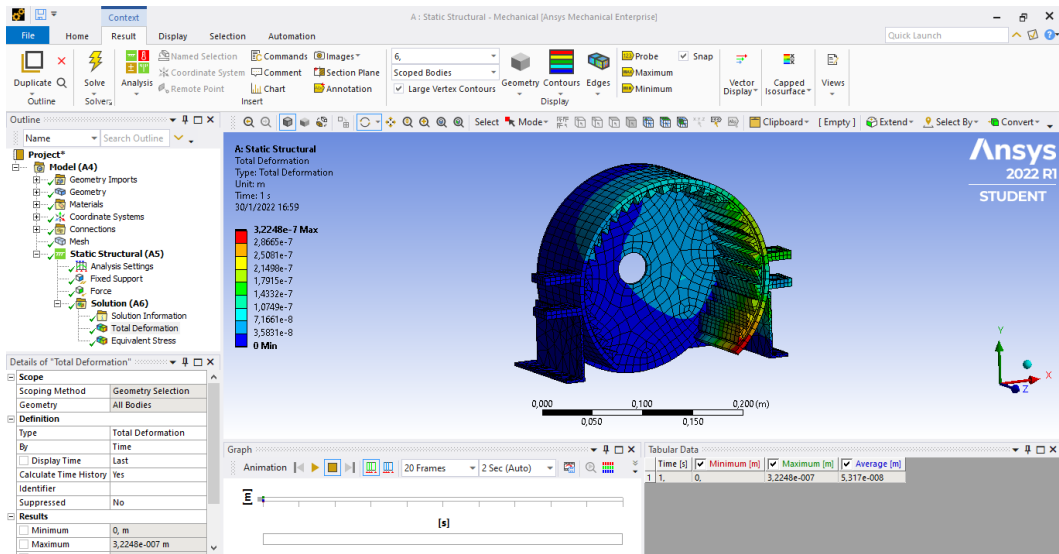


Figura 13-4: Análisis de deformaciones en las cuchillas fijas.

Realizado por: Guaspacha, D. 2022.

Al igual que las cuchillas móviles la deformación en la cuchilla fija es muy pequeña, teniendo como resultado un valor de 0.000322 mm como se observa en la figura 13-4.

4.1.3.2. Resultado del análisis de esfuerzos de Von Mises.

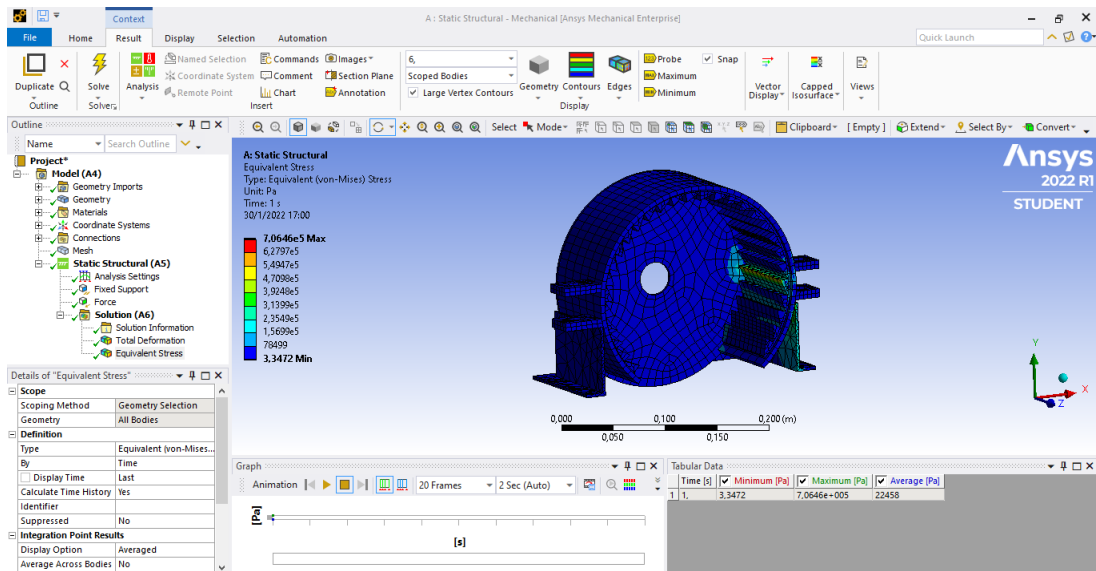


Figura 14-4: Análisis de esfuerzos de Von Mises en las cuchillas fijas

Realizado por: Guaspacha, D. 2022

El esfuerzo máximo producido en la cuchilla fija es de 0.7 MPa que es un valor menor a 585 MPa, mostrado en la figura 14-4 que es el esfuerzo máximo permisible para el acero inoxidable, asegurando que las cuchillas fijas van a resistir el esfuerzo al que se encuentran sometidas.

4.2. Construcción del prototipo.

En el presente trabajo se utilizó la impresión 3D por FDM debido a que no requiere un pos procesado, en la impresión 3D por Resina se debe dejar secar al sol o en rayos UV por 24 h aproximadamente, mientras que en la FDM no es necesario ya que la pieza sale lista para su uso, además, las resinas suelen tener un olor fuerte y conviene utilizarlas en espacios ventilados, mientras que, los filamentos como el PLA o PETG son menos nocivos para el usuario.

Las resinas estándar son las resinas más utilizadas para crear prototipos que se imprimen de forma rápida en impresoras 3D de resina. Son resinas muy genéricas, ya que suelen ser utilizadas por diversos usuarios para comenzar en el mundo de la impresión 3D de resina.

4.2.1. Prototipado rápido.

El realizar el prototipo de una maquina mediante la impresión 3D viene siendo muy beneficioso porque permite identificar si la dimensión y diseño de las piezas se encuentran correctamente realizadas y que no interfieran con otras ya sea chocándose u obstruyendo el movimiento. Además, al ser la impresión 3D económica y fácil de realizar, es muy viable para la verificación de prototipos.

4.2.2. Consideraciones tomadas al imprimir en 3D.

La primera consideración y más importante es identificar correctamente el sentido en el cual debe ser ubicada la pieza con la finalidad de que al finalizar la impresión sea resistente a los esfuerzos sometidos. A continuación, se muestra una imagen donde se observa el sentido de impresión y en qué caso es más o menos resistente al aplicar una fuerza externa.

4.2.3. Dificultades en la impresión 3D FDM.

Al momento de imprimir las piezas del prototipo se notaron algunos inconvenientes, los mismos que se detallan a continuación:

Se pudo notar que la nivelación de la cama caliente estaba errónea ya que no se adhiere correctamente la primera capa de impresión a la misma, esto se corrigió solamente nivelando la cama nuevamente, reduciendo la velocidad de impresión en la primera capa y aumentando su temperatura a 65°C.



Figura 15-4: regulación de temperatura

Realizado por: Guaspacha, D. 2022

Al imprimir varios elementos por varias horas se notó que en algunas piezas la impresión salía incompleta, esto fue ocasionado por un atasco en el extrusor.

También se vio en la necesidad de modificar la velocidad y distancia de retracción del material para lograr una pieza impresa mucho más limpia y evitar el stringing (pelitos en la pieza impresa).

También se pudo notar que no se adhería completamente las capas exteriores con el relleno, se vio en la necesidad de aumentar la superposición de material a un 30% para evitar este problema.

4.2.4. *Material de impresión.*

Existen varios tipos de materiales en los cuales se puede realizar la impresión 3D FDM, pero entre los más comunes está el PLA, PETG y el ABS.

El PLA es un material que posee una buena resistencia mecánica y tiene alta precisión dimensional, sin embargo, posee baja resistencia al calor, su temperatura de impresión esta entre 190 – 210 °C.

El PETG es un material que tiene alta flexibilidad, alta resistencia a la tracción y posee una mayor resistencia al calor que el PLA, su temperatura de impresión esta entre 210 – 250 °C.

Debido a que se pretende imprimir un prototipo funcional, en el cual sus partes sean resistentes, con buena precisión y buen acabado superficial, se trabajó con PLA aprovechando su baja temperatura de impresión (entre 190 – 210 °C) y su elevada precisión dimensional, que, en este caso, al necesitar elementos impresos móviles, influencia mucho.

4.2.5. *Resultado del proceso de construcción de la impresión en 3D.*

En si la construcción del prototipo después de obtener todas las piezas impresas no es nada complejo, siempre y cuando se hayan tomado en cuenta todas las tolerancias y escalas adecuadas entre cada pieza para evitar obstrucciones.

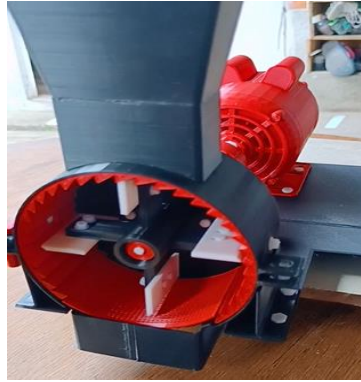


Figura 16-4: Prototipo terminado

Realizado por: Guaspacha, D. 2022

4.3. Análisis de costos

A continuación, se describe detalladamente los costos directos e indirectos para la construcción y fabricación del presente trabajo de titulación.

4.3.1. Costos directos

Los costos directos están vinculados desde la etapa de diseño hasta la obtención de la máquina o producto terminado. Estos costos abarcan todo en lo que respecta a la materia prima, su procesado, mano de obra y transporte del producto terminado.

4.3.1.1. Costo de fabricación

Tabla 1-4: Costo de fabricación

COSTO DE FABRICACION			
No. HORAS	ACTIVIDAD	COSTO/HORA	COSTO TOTAL \$
3/2	Corte Láser de Plancha de Acero Inoxidable	34,16	51,24
1/2	Corte de ángulos y tubo cuadrado	1,50	0,75
3/4	Rolado de Planchas de Acero Inoxidable	40,00	30,00
14	Soldado de Tolvas, base y Estructura	10,00	140,00
2	Mecanizado y frezado de eje	7,00	14,00
4	Pintura de estructura y carcasa	5,00	20,00
COSTO TOTAL DE FABRICACION			251,99

Realizado por: Guaspacha, D. 2022

4.3.1.2. *Costo de mano de obra*

Tabla 2-4: Costo de mano de obra

ACTIVIDAD	COSTO (\$)
Maestro Mecánico	190,00
Maestro Pintor	15,00
COSTO TOTAL DE MANO DE OBRA	205,00

Realizado por: Guaspacha, D. 2022

4.3.1.3. *Costo de Materiales*

Tabla 3-4: Costo de materiales.

COSTO MATERIA PRIMA			
DESCRIPCION	DIMENSION	UNIDAD	COSTO (\$)
SISTEMA MECÁNICO			
Plancha de Acero Inoxidable - A304	610x610x2	mm	30,00
Plancha de Acero Inoxidable - A304	1220x1220x3	mm	94,00
Plancha de Acero Inoxidable - A304	305x305x4,5	mm	35,00
Plancha de Acero Inoxidable - A304	305x305x5	mm	48,00
Chumaceras	$\varnothing \frac{3}{4}; \varnothing \frac{7}{8}$	in	21,00
Acople tipo brida	$\frac{7}{8} \times \frac{3}{4}$	in	20,00
Eje A36	$\varnothing 1$	in	2,50
Pletina 60x30x10	4	-	5,00
Pletina 80x40x5	4	-	4,85
Pernos M5x0,8x16	8	-	0,88
Pernos M8x1,25x12	6	-	0,90
Pernos M8x1,25x35	6	-	1,02
Pernos M8x1,25x40	4	-	0,88
Pernos M10x1,5x20	2	-	0,32
Pernos M12x1,75x25	2	-	0,34
Pernos M14x2,00x60	1	-	0,25
COSTO SISTEMA MECÁNICO			264,94
SISTEMA ELECTRONICO			
Gabinete eléctrico	30x30x20	mm	35,00

Kit de armado de Gabinete	25x25	mm	8,00
Pulsadores	22	mm	7,50
Cables Flexible (16,18,12 AWG)	29	m	12,50
Fuente de poder			18,00
Motor monofásico	1	HP	169,00
Breaker Riel EBAS			5,26
Accesorios extras			35,00
COSTO SISTEMA ELECTRONICO			290,26
ESTRUCTURA DE LA MÁQUINA			
Tubo cuadrado A36	25x1,5	mm	45,00
Ángulos	20x20x3	mm	3,50
Electrodos	E6011	-	8,40
Fondo y Pintura en esmalte	1	L	10,00
Thinner	1	Ga	7,00
Accesorios Extras			37,00
COSTO ESTRUCTURA			110,9
COSTO TOTAL - MATERIA PRIMA			666,1

Realizado por: Guaspacha, D. 2022

4.3.1.4. Costo directo total

Tabla 4-1: Costo directo total.

DESCRIPCION	COSTO (USD)
Costo Material	666,1
Costo de Fabricación	251,99
Costo de Mano de obra	205,00
COSTO DIRECTO TOTAL	1123,09

Realizado por: Guaspacha, D. 2022

4.3.2. Costos indirectos

Los costos indirectos no se encuentran relacionados de una forma directa con el proceso de obtención del producto terminado, este influye en el costo final ya que tiende a modificar la inversión inicial. Estos costos relacionan todo lo que corresponde a diseño, investigación, transporte e insumos adicionales utilizados En el proceso de fabricación.

4.3.2.1. Costos de ingeniería

Los costos de ingeniería consideran todas las etapas que se lleva a cabo en el proceso de planeación, investigación y diseño de la máquina. Estas duraron un total de 60 horas. Se conoce también que cada hora de trabajo ingenieril cuesta \$10 dólares; por ende, el costo de ingeniería invertido en este proyecto es de \$600,00 dólares.

4.3.2.2. Costo indirecto total

Tabla 5-4: Costo indirecto total.

DESCRIPCION	COSTO (USD)
Costo de Ingeniería	600
Costo de Transporte	30
Costo de Insumos	40
Costo de Experimentación	100
COSTO INDIRECTO TOTAL	770

Realizado por: Guaspacha, D. 2022

4.3.3. Costo total del molino pulverizador

Una vez que se realizó el análisis de los costos directos e indirectos, se llega a la conclusión que el costo total de construcción de un molino pulverizador es:

Tabla 6-4: Costo total.

COSTO TOTAL	
DESCRIPCION	COSTO (USD)
Costo Directo	1123,09
Costo Indirecto	770
COSTO TOTAL	1.893,09

Realizado por: Guaspacha, D. 2022

4.4. Plan de mantenimiento.

Un plan de mantenimiento se utiliza para proteger los componentes del molino pulverizador, asegurando su buen funcionamiento, el usuario debe realizar estas actividades de mantenimiento preventivo para evitar daños en la máquina que conlleven gastos innecesarios.

4.4.1. Plan de mantenimiento mensual.

Tabla 7-4: Plan de mantenimiento mensual.

PLAN DE MANTENIMIENTO MENSUAL												
ACTIVIDA D	EN E	FE B	M A	AB R	MA Y	JU N	JU L	AG O	SE P	OC T	NO V	DI C
Limpieza del molino pulverizador.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Engrase de chumaceras y partes móviles del molino.			X			X			X			X
Revisión del estado de desgaste de las cuchillas.				X				X				X
Revisión y reapriete de pernos y tuercas del molino pulverizador.			X			X			X			X
Inspección del motor eléctrico			X			X			X			X

Realizado por: Guaspacha, D. 2022

CONCLUSIONES

- Podemos concluir que se establecieron los requerimientos funcionales y parámetros de diseño proporcionando a los clientes y diseñadores las especificaciones de lo que debe realizar la máquina pulverizadora, la máquina ofrece una producción de 0,025 T/h con una granulometría final $<100\ \mu\text{m}$ y un costo total de 1893,09 dólares.
- El sistema de pulverización seleccionado para moler la *Uncaria Tomentosa* es un molino de impacto de paletas con conexión directa entre el motor y rotor, la pulverización de la uña de gato facilita su industrialización y manipulación para ser consumido o utilizado para diferentes tipos de productos elaborados a partir de la corteza pulverizada.
- El sistema de pulverización diseñado para este prototipo se realizó en base a los requerimientos funcionales, se obtuvo una fuerza de corte de 43N la cual logra reducir la corteza en pequeñas partículas de polvo, es necesario un motor eléctrico de 1HP monofásico a 1730 RPM que permite el ingreso constante de corteza de hasta 40mm de largo, logrando homogenizar el tamaño de grano, facilitando su manipulación y aprovechando el espacio para ser almacenado.
- Este trabajo se complementa con el diseño de los elementos que constituyen la máquina pulverizadora apoyándonos mediante un modelado 3D con la utilización del software SolidWorks, lo cual permite respaldar los cálculos de diseño obtenidos.
- El material seleccionado mediante software Ces Edupack es el acero inoxidable A304, con una densidad de $8000\ \text{Kg}/\text{m}^3$ adecuado para la industria alimenticia por sus propiedades anticorrosivas, es un material de fácil adquisición en el mercado ecuatoriano.
- La verificación mediante software CAE permite comprobar que los cálculos realizados para cada uno de los elementos de la máquina en la parte de diseño son acertados a través de los resultados obtenidos para el análisis estático y dinámico, máquinas similares que ejecutan la función de este prototipo de pulverizar cortezas se encuentran en el mercado, pero con un costo sumamente elevado y muy pocas se fabrican en el país.
- La construcción del prototipo permite tener una idea del tamaño de la máquina pulverizadora y sus elementos orientados de acuerdo con la producción de una microempresa a la cual va direccionado este proyecto de titulación y podrá ser construida en proyectos futuros, este trabajo se desarrolla como propuesta para el proyecto de investigación que se realiza en la ESPOCH sede morona Santiago, que incentiva a microempresarios y residentes del oriente ecuatoriano para invertir en este tipo de máquina otorgando un valor agregado al producto que se comercializa como corteza que en muchos de los casos es únicamente materia prima que se utiliza para una infinidad de productos.

RECOMENDACIONES

- Es importante que el estudiante aprenda el uso de la tecnología mediante software CAD y CAE para validar sus diseños, permitiendo visualizar el producto al que se planea llegar verificando su funcionalidad y mediante impresión 3D de la máquina realizada en el software CAD permite una visualización tangible para el cliente.
- Para la construcción de la máquina pulverizadora en proyectos futuros se debe tener en cuenta las especificaciones técnicas y los planos realizados en este proyecto para maximizar la productividad y los beneficios al construirla proporcionando una maquinaria de alta calidad y rendimiento.
- Es importante conocer que elementos deben ser diseñados y que componentes pueden ser seleccionados de catálogo para luego ser adquiridos directamente de proveedores, eso ayuda a reducir costos al momento de construir una máquina.
- Para evitar que los componentes móviles y fijos de la máquina tengan problemas por acumulación de corteza pulverizada es recomendable tener un plan de mantenimiento que alargue la vida útil del equipo, se puede realizar la limpieza con agua a presión.

GLOSARIO

CAD: Diseño y dibujo asistido por computadora (CAD) es una tecnología para el diseño y la documentación técnica, que descarta el dibujo manual por un proceso automatizado. (Vasconez, 2020 pág. 22)

CES EduPack: Es un software educativo basado en materiales para ciencias, ingeniería, fabricación de máquinas y diseño, generando un entorno de aprendizaje muy didáctico para los estudiantes. (García, 2016 pág. 8)

Pulverizar: Reducir a polvo o a partículas muy pequeñas una cosa sólida. (Guayllas, 2012 págs. 18-20)

Trifásico: Indica un sistema combinado de 3 circuitos de corriente alterna (para un sistema de producción, distribución y consumo de electricidad) que tienen la misma frecuencia. (Ortega, 2005 pág. 67)

Triturar: Desmenuzar o moler una materia sólida en trozos pequeños sin llegar a convertirla en polvo. (Leslie, 2021 pág. 15)

BIBLIOGRAFÍA

AQUINO, R. “Plant metabolites. New compounds and anti-inflammatory activity of *Uncaria tomentosa*”. *Journal of Natural Products* [en línea], (Italia) 2008, Vol. 41, pp. 453-459. [Consulta: 31 de octubre 2021]. Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/np50074a016>

CUADRADO MONCAYO, Iván & RUEDA CASTILLO, José. Diseño y construcción de un molino de martillos [En línea] (Trabajo de Titulación). (Pregrado), Universidad San Francisco de Quito, Quito, Ecuador. 2009, pp. 21-28 [Consulta: 31 octubre 2021]. Disponible en: <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/1126/1/91259.pdf>

DUEÑAS REYES, Jesús David. & GONZALEZ BALLESTEROS, Vladimir Elías. Diseño y construcción de un molino de bolas para la pulverización de arcillas en el laboratorio de materiales y catálisis de la Universidad de Córdoba [En línea] (Trabajo de Titulación). (Pregrado), Universidad de Córdoba, Montería, Colombia, 2016, pp. 24-26 [Consulta: 27 octubre 2021]. Disponible en: <https://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstream/handle/ucordoba/672/TRABAJO%20DE%20GRADO%20FINAL%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

GARCÍA SAN EMETERIO, Alejandro. Diseño de máquina trituradora de áridos de impacto. Universidad de Cantabria. [En línea] (Trabajo de Titulación). (Pregrado), Santander, España, 2016, [Consulta: 27 octubre 2021]. Disponible en: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/9207/387057.pdf?sequence=1>

GOMEZ ÁLVAREZ, Marjorie Valentina. & REYES LUCERO, Gustavo Adolfo. Implementación del molino de palas modelo SK 100 en el laboratorio metalúrgico [En línea] (Trabajo de Titulación). (Pregrado) Universidad Técnica Federico Santa María Sede Viña Del Mar – José Miguel Carrera, Chile, 2016, pp. 20-60. [Consulta: 02 noviembre 2021]. Disponible en: <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/43736/3560901063967UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

GUAYLLAS POMA, Luis Eduardo. & MONTERO VARGAS, José Vicente. Diseño y Construcción de un Molino de Martillos con Tamiz Intercambiable para Pulverizar Yeso Crudo [en línea], (Trabajo de Titulación). (Pregrado), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, Ecuador, 2012, pp. 15-45. [Consulta: 02 enero 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2029>

INDURA. *Manual de Acero Inoxidable*. Santiago de Chile – Chile. 2017, p. 31.

INTECWELD. Curso de Soldadura en Proceso GTAW-ARGON [blog]. [Consulta: 21 noviembre de 2021]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/320107683/Manual-de-SoldaduraGTAW-pdf>, 2013

KEPLINGER, K. “Uncaria tomentosa (Willd.) DC.—ethnomedicinal use and new pharmacological, toxicological and botanical results”. *Journal of Ethnopharmacology* [en línea], (Sudáfrica), 2008, Vol. 294, pp. 23-34. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378874198000968>

LARBURU, N. *Máquinas prontuario. Técnicas, máquinas, herramientas*. Paraninfo, 1989, pp. 105-122.

LAUS, G. & BRÖSSNER, D. “Alkaloids of peruvian Uncaria tomentosa”. *Phytochemistry* [en línea], (Francia), 2007, Vol. 45, pp. 855-860 Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(97\)00061-7](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(97)00061-7)

LESLIE, J. “Análisis mediante el método de elementos finitos de un molino de paletas para triturar granos”. *Revista Cubana de Ingeniería* [en línea] (Cuba), 2008, Vol.12, pp. 15-27. Disponible en: <https://rci.cujae.edu.cu/index.php/rci/article/view/765/467>

LÓPEZ, M. “Ámbito Farmacéutico Fitoterapia”. *Revista Española de ciencias* [en línea] (España), 2006, Vol.25, pp. 104-108. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-pdf-13095508>

MILLER WELDS. Guidelines for Shielded Metal Arc Welding (SMAW) [en línea]. Illinois-EE. UU, 2018. [Consulta: 20 noviembre 2021]. Disponible en: https://www.millerwelds.com/-/media/miller-electric/files/pdf/resources/guidelines_smaw.pdf

ORTEGA, Eduardo. Diseño y construcción de una trituradora de mandíbulas de excéntrica elevada. (Trabajo de Titulación). (Pregrado). Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia, 2012.

PROMESA. *Catálogo de herramientas y material eléctrico.* [blog]. 2021. [Consulta: 02 enero 2021]. Disponible en: <https://www.promesa.com.ec/wp-content/uploads/2020/06/Material-Elctrico-1.pdf>

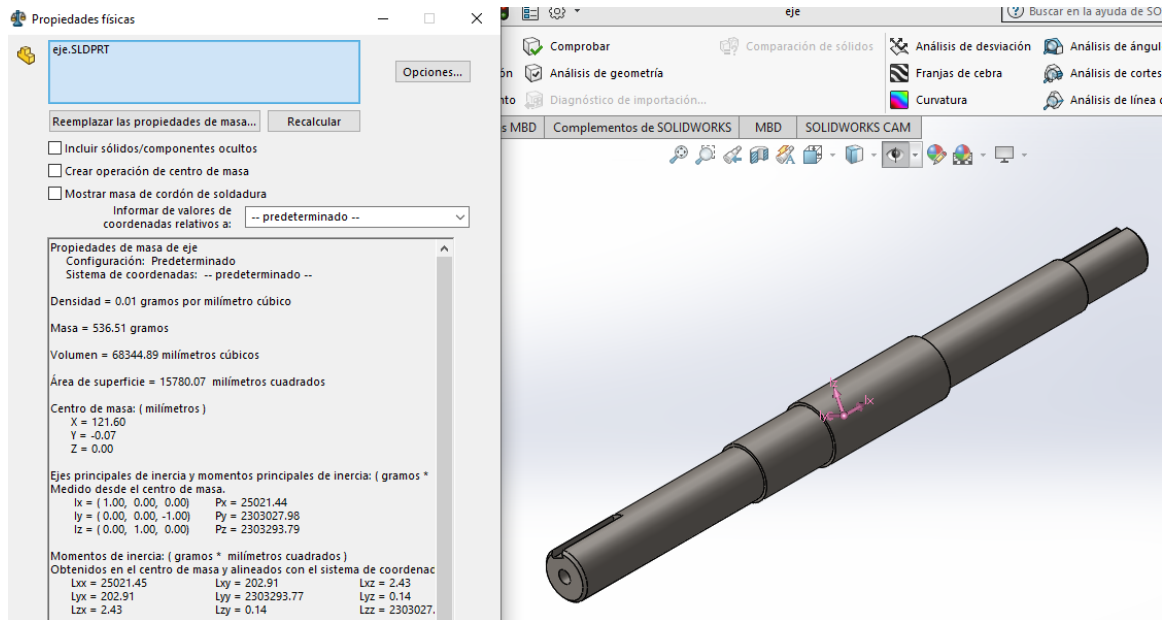
SANDOVAL, M. “Anti-inflammatory and antioxidant activities of cat's claw (*Uncaria tomentosa* and *Uncaria guianensis*) are independent of their alkaloid content”. *Phytomedicine*, [en línea] (Estados Unidos), 2002, Vol.9, pp. 325-337. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S094471130470121X>

SHIGLEY, J. *Diseño en Ingeniería Mecánica.* 8ª Ed. México, McgrawHill/Interamericana Editores, S.A. De C.V. 2008.

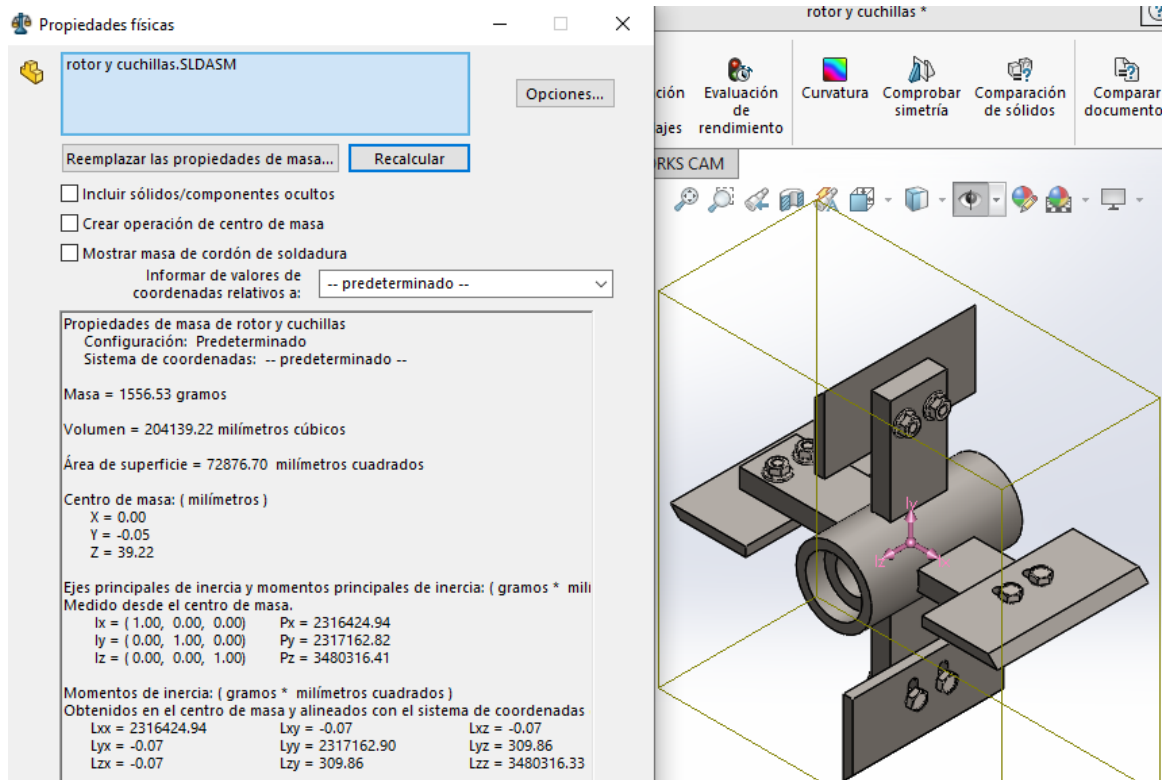
VÁSCONEZ JARAMILLO, Ana Virginia. Diseño de una máquina trituradora para la obtención de partículas de caucho a partir de neumáticos pre-cortados [en línea], (Trabajo de Titulación). (Pregrado). Universidad Técnica del Norte. Ibarra, Ecuador. [Consulta: 22 diciembre del 2021]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10800>

ANEXOS

ANEXO A: PESO DEL EJE CALCULADO MEDIANTE EL SOFTWARE SOLIDWORKS



ANEXO B: PESO DEL ROTOR CALCULADO MEDIANTE EL SOFTWARE SOLIDWORKS



ANEXO C: PLATINAS DE ACERO INOXIDABLE.



PLATINAS

ACERO INOXIDABLE

Especificaciones Generales:

Calidad:	AISI 304
Largo normal:	6,00 m
Espesores:	De 3mm a 6mm



Pig.	DIMENSIONES		PROPIEDADES
	ANCHO (a) mm	ESPESOR (e) mm	PESO Kg/mts
1"	25,4	3	
1 1/2"	38,1	3	0,955
1 1/2"	38,1	4	1,195
1 1/2"	38,1	6	1,920
2"	50,8	3	1,1860
2"	50,8	4	1,560
2"	50,8	6	2,386

*Otros largos previa consulta

ANEXO D: PROPIEDADES MECÁNICAS DEL TUBO ESTRUCTURAL UTILIZADO EN LA BANCADA DEL MOLINO PULVERIZADOR.

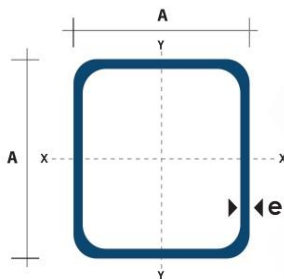
TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO

Especificaciones Generales:

Norma:	NTE INEN 2415
Calidad:	SAE J 403 1008
Acabado:	Acero negro o Galvanizado
Largo Normal:	6.00m y medidas especiales
Dimensiones:	Desde 20mm a 100mm
Espesores:	Desde 1,20mm a 5,00mm



TUBERÍA

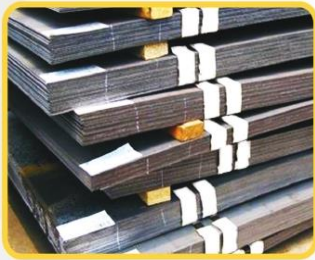


Dimensiones			Área	Ejes X-Xe Y-Y		
A mm	Espesor mm (e)	Peso Kg/m	Área cm ²	I cm ⁴	W cm ³	i cm ³
20	1.2	0.72	0.90	0.53	0.53	0.77
20	1.5	0.88	1.05	0.58	0.58	0.74
20	2.0	1.15	1.34	0.69	0.69	0.72
25	1.2	0.90	1.14	1.08	0.87	0.97
25	1.5	1.12	1.35	1.21	0.97	0.95
25	2.0	1.47	1.74	1.48	1.18	0.92
30	1.2	1.09	1.38	1.91	1.28	1.18
30	1.5	1.35	1.65	2.19	1.46	1.15
30	2.0	1.78	2.14	2.71	1.81	1.13
40	1.2	1.47	1.80	4.38	2.19	1.25
40	1.5	1.82	2.25	5.48	2.74	1.56
40	2.0	2.41	2.94	6.93	3.46	1.54
40	3.0	3.54	4.44	10.20	5.10	1.52
50	1.5	2.29	2.85	11.06	4.42	1.97
50	2.0	3.03	3.74	14.13	5.65	1.94
50	3.0	4.48	5.61	21.20	4.48	1.91
60	2.0	3.66	3.74	21.26	7.09	2.39
60	3.0	5.42	6.61	35.06	11.69	2.34
75	2.0	4.52	5.74	50.47	13.46	2.97
75	3.0	6.71	8.41	71.54	19.08	2.92
75	4.0	8.59	10.95	89.98	24.00	2.87
100	2.0	6.17	7.74	122.99	24.60	3.99
100	3.0	9.17	11.41	176.95	35.39	3.94
100	4.0	12.13	14.95	226.09	45.22	3.89
100	5.0	14.40	18.36	270.57	54.11	3.84

www.dipacmanta.com

ANEXO E: ESPESOR COMERCIAL EN PLANCHAS DE ACERO.

PLANCHAS



MÉTODO PRÁCTICO PARA CALCULAR PESO DE LAS PLANCHAS DE ACERO

NOMENCLATURA

L = Largo (mm)
 A = Ancho (mm)
 E = Espesor (mm)
 Peso = Kgs.

$$\text{Peso} = \frac{L \times A \times E \times 7,85}{1,000.00}$$

Ejemplo: $(L = 1220\text{mm} \times A = 2440 \text{ mm} \times E = 1,0\text{mm}) \times 7,85 = 23.368 \text{ Kg}$
 1,000.00

Reducción de Fracciones de Pulgadas a milímetros		
Pulgadas = Milímetros	Pulgadas = Milímetros	Pulgadas = Milímetros
1/128 = 0.20	25/64 = 9.92	27/32 = 21.43
1/64 = 0.40	13/32 = 10.32	55/64 = 21.83
3/128 = 0.60	27/64 = 10.72	7/8 = 22.23
1/40 = 0.64	7/16 = 11.11	57/64 = 22.62
1/32 = 0.79	29/64 = 11.51	29/32 = 23.02
1/25 = 1.02	15/32 = 11.91	59/64 = 23.42
3/64 = 1.19	31/64 = 12.30	15/16 = 23.81
1/20 = 1.27	1/2 = 12.70	61/64 = 24.21
1/16 = 1.59	33/64 = 13.10	61/32 = 24.61
5/64 = 1.98	17/32 = 13.49	63/64 = 25.00
3/32 = 2.38	35/64 = 13.89	1 = 25.40
7/64 = 2.78	9/16 = 14.29	11/10 = 27.00
1/8 = 3.18	37/64 = 14.68	11/8 = 28.60
9/64 = 3.57	19/32 = 15.08	18/16 = 30.20
5/32 = 3.97	39/64 = 15.48	11/4 = 31.70
11/64 = 4.37	5/8 = 15.88	15/16 = 33.30
3/16 = 4.76	41/64 = 16.27	13/8 = 34.90
13/64 = 5.16	21/32 = 16.67	17/16 = 36.50
7/32 = 5.56	46/64 = 17.07	11/2 = 38.10
15/64 = 5.95	11/16 = 17.46	19/10 = 39.70
1/4 = 6.35	45/64 = 17.86	15/8 = 41.30
17/64 = 6.75	23/32 = 18.26	111/16 = 42.90
9/32 = 7.14	47/64 = 18.65	13/4 = 44.40
19/64 = 7.54	3/4 = 19.05	113/16 = 46.00
5/16 = 7.94	49/64 = 19.45	17/8 = 47.60
21/64 = 8.33	25/32 = 19.84	115/16 = 49.20
11/32 = 8.73	51/64 = 20.24	2 = 50.80
23/64 = 9.13	13/16 = 20.64	
3/8 = 9.53	53/64 = 21.03	

Dimensiones en (mm)			Pesos
Ancho	Largo	Espesor	Kg
1220	2440	2	46.74
1220	2440	3	70.10
1220	2440	4	93.47
1500	2440	4	114.92
1220	2440	5	116.84
1500	2440	5	143.66
1220	2440	6	140.21
1500	2440	6	172.39
1220	2440	8	186.94
1500	2440	8	229.85
1220	2440	10	233.68
1500	2440	10	287.31
1220	6000	12	689.54

PLANCHAS

**ANEXO F: COMBINACIÓN DE CARGAS PARA EL ANÁLISIS DE UNA ESTRUCTURA
BAJO LA NORMA NEC-SE-CG.**

3.4.3. Combinación para el diseño por última resistencia

a. Combinaciones básicas

Cuando sea apropiado, se deberá investigar cada estado límite de resistencia. Los efectos más desfavorables, tanto de viento como de sismo, no necesitan ser considerados simultáneamente.

Las estructuras, componentes y cimentaciones, deberán ser diseñadas de tal manera que la resistencia de diseño iguale o exceda los efectos de las cargas incrementadas, de acuerdo a las siguientes combinaciones:

Combinación 1

$1.4 D$

Combinación 2

$1.2 D + 1.6 L + 0.5 \max[L_r ; S ; R]$

Combinación 3*

$1.2 D + 1.6 \max[L_r ; S ; R] + \max[L ; 0.5W]$
--

Combinación 4*

$1.2 D + 1.0 W + L + 0.5 \max[L_r ; S ; R]$

Combinación 5*

$1.2 D + 1.0 E + L + 0.2 S$

Combinación 6

$0.9 D + 1.0 W$

Combinación 7

$0.9 D + 1.0 E$
