

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**DISEÑO DE UNA MÁQUINA PARA LA OBTENCIÓN DE
HARINA DE ARROZ ENFOCADO A LA MICRO Y PEQUEÑA
EMPRESA (MyPE) EN EL SALVADOR**

PRESENTADO POR:

**ROBERTO CARLOS BERNAL CARDOZA
JOSE ROBERTO MARÍN PEREZ
RAÚL ERNESTO RUIZ ALVARADO**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, ABRIL 2024

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

MSc. JUAN ROSA QUINTANILLA

SECRETARIA GENERAL :

Lic. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

Ing. LUIS SALVADOR BARRERA MANCÍA

SECRETARIO :

Arq. RAÚL ALEXANDER FABIÁN ORELLANA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

DIRECTOR INTERINO :

M.Sc. e Ing. GUSTAVO SALOMÓN TORRES RÍOS LAZO

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO MECÁNICO

Título :

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA PARA LA OBTENCIÓN DE
HARINA DE ARROZ ENFOCADO A LA MICRO Y PEQUEÑA
EMPRESA (MyPE) EN EL SALVADOR**

Presentado por :

**ROBERTO CARLOS BERNAL CARDOZA
JOSE ROBERTO MARÍN PEREZ
RAÚL ERNESTO RUIZ ALVARADO**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

Ing. RICARDO JOSÉ NAVARRETE NAVARRO

San Salvador, abril de 2024

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

Ing. RICARDO JOSÉ NAVARRETE NAVARRO

AGRADECIMIENTOS

A Dios, quien es el que hace posible este logro, gracias por darme las fuerzas para continuar y no rendirme, por cuidarme a lo largo del camino y no abandonarme en ningún momento.

Infinitas gracias a mi Madre Reina de Jesús Cardoza de Bernal quien fue uno de los pilares más importantes en el camino a este logro, por la ayuda incondicional, su amor inigualable y todo su esfuerzo en los momentos más difíciles.

A mi padre Víctor Orlando Bernal quien lastimosamente ya no se encuentra con nosotros, sin embargo, sigue presente en cada paso importante en mi vida, muchas gracias por el esfuerzo, por guiarme por el camino correcto y decirme una y otra vez que no me rinda, gracias papá.

A mi hermano Víctor Orlando Cardoza quien siempre estuvo presente para apoyarme en cada momento que fuese necesario. En general al resto de mi familia quien de una u otra forma estuvieron para ayudarme en los momentos que lo necesite es por ello que les dedico este logro.

A quien llego a mi vida durante este largo camino, Ingrid Rosibel González quien estuvo a mi lado ayudándome y motivándome a salir adelante juntos, a quien me apoya y motiva a cumplir cada una de mis metas, por eso y más muchas gracias.

Por último y no menos importante a mis compañeros con quienes superamos las dificultades que se fueron presentando, gracias por la ayuda brindada a lo largo de este camino el cual hoy ve sus frutos.

Roberto Bernal

AGRADECIMIENTOS

Agradecido con Dios, fue quien me dio la paz en medio de las tormentas. Quien me hizo comprender que no hay nada ni nadie más grande que Él en medio de los momentos más difíciles.

Mis padres, Dina Mabeth Alvarado de Ruiz y Alirio Ernesto Ruiz Mena, quienes me han dado todo su apoyo incondicional a lo largo de esta aventura, los pilares que han hecho posible este triunfo.

Mi hermana, Roxana Beatriz Ruiz Alvarado, quien siempre tuvo un consejo y palabras de ánimo en los momentos difíciles, por quien regresaba con bien a casa cuando me quedaba hasta noche en clases.

Mi hermanito Kaleb Alfredo Ruiz, que siempre me ha preguntado ¿Cómo te fue en clases?, gracias por hacerme ver la vida desde otra perspectiva.

Mi compañera de aventuras desde los doce años, mi novia, Jacqueline Gabriela Martínez González. Con quien deseo compartir todo lo que nos depare el futuro. Siempre he contado con su comprensión, sus palabras de aliento, consejos y todo su apoyo hasta cuando me desaparecía por días y en ocasiones hasta semanas.

Mis compañeros y grupo de amigos, con quienes hemos vivido desvelos, maratones de estudio y, sobre todo, con quienes las risas nunca han faltado.

Y todos aquellos familiares y personas cercanas a mí, algunos quienes ya no están con nosotros, que considero como mi familia que de una u otra manera también han sido parte de esta travesía.

Raúl Alvarado

AGRADECIMIENTOS

Por cada momento de inspiración, de genuina imaginación y comprensión de los conceptos e ideas en los cursos de la universidad y de la vida misma, quiero agradecer a mi Dios. Sin él, nada en este nutrido proceso de la vida académica habría sido posible de absorber.

Quiero agradecer a mi más fiel compañera, que sin importar las circunstancias ni las dificultades que implicaba, seguía dándome lo mejor que podía ofrecerme, educación. Mi madre REINA DEL CARMEN PÉREZ, solo tú sabes cuantos almuerzos te negaste a ti misma, cuantas preocupaciones silenciosas viviste, cuantas veces rogaste a nuestro Dios por una bendición. Para que mi persona lograra salir adelante. La única forma en la que puedo agradecerte es siendo un profesional competente, digno de tu valentía. Infinitamente agradecido.

A mi padre, ESTEBAN ORTIZ CRUZ, por aportarme fortaleza. Por enseñarme que la única forma de crecer es amando el saber. Si amamos lo que hacemos, jamás vamos a trabajar. Por ayudarme a cargar las dificultades de la vida adulta y permitirme crecer de forma progresiva. Infinitamente agradecido.

A mis compañeros, colegas y sinceros amigos de la universidad. Roberto Bernal, Luis Guevara, Marlon Borja, Raúl Ruiz. Por su aporte durante el estudio y en las prácticas para convertirme en un profesional. Por las tardes de estudio y la alegría que le dieron a la etapa universitaria.

A mis hermanos, Ivania Marín, Francisco Marín y Carlos Marín. Por tener fe en mis capacidades, por darme ánimos y mostrarse orgullosos y felices con mi

progreso. Sus gestos de alegría por mi formación fueron combustible esencial para seguir siempre hacia adelante. Infinitamente agradecido.

Pero en especial, quiero dedicar un par de palabras a mi persona favorita, BRENDA YAMILETH VÁSQUEZ GÓMEZ. Quien pronto será DE MARÍN. Por acompañarme en mis noches de desvelo, por consolarme cuando me sentía frustrado. Hasta por los abrazos en los momentos de estrés. Desde mi corazón, te digo: te estoy infinitamente agradecido, mi futura esposa.

Roberto Marín

INDICE:

1.

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS	xx
INTRODUCCION	1
1. GENERALIDADES	3
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1.1 PAPEL DE LAS MyPE EN RESPUESTA AL DESEMPLEO Y CRECIMIENTO POBLACIONAL	4
1.1.2 PAPEL DE LAS MyPE EN RESPUESTA A LA PANDEMIA DEL COVID-19	6
1.2 OBJETIVOS	7
1.2.1 OBJETIVO GENERAL	7
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
1.3 JUSTIFICACIÓN	8
1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES	10
1.4.1 ALCANCES	10
1.4.2 LIMITACIONES	10
2. MARCO TEÓRICO	12
2.1 GENERALIDADES DE LA PRODUCCIÓN DE HARINA	12
2.1.1 HISTORIA	12
2.1.2 TIPOS	15
2.1.3 ALMACENAMIENTO	19

2.2	GENERALIDADES DE LAS MÁQUINAS PRODUCTORAS DE HARINA	22
2.2.1	DEFINICIÓN	22
2.2.2	ANTECEDENTES DE LAS MÁQUINAS PULVERIZADORAS.....	22
2.2.3	CLASIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS MOLINOS	25
2.3	CARACTERÍSTICAS DEL ARROZ.....	31
2.3.1	DEFINICIÓN	31
2.3.2	CLASIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE ARROZ.....	32
2.3.3	PROPIEDADES.....	36
2.3.4	ELABORACIÓN DE HARINA	37
2.3.5	FUERZA DE RUPTURA.....	38
2.4	ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS	41
2.4.1	DEFINICIÓN	41
2.4.2	MÉTODO.....	42
2.4.3	CARACTERÍSTICAS.....	45
2.4.4	APLICACIONES PARA EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS	47
2.5	SOFTWARE PARA SIMULACION EN CARGA ESTÁTICA Y ESTUDIO DEL MOVIMIENTO.....	48
2.5.1	ESTRUCTURA Y FUNCIONES DE UN SOFTWARE DE ELEMENTOS FINITOS	48

2.5.2 SOFTWARE DE SIMULACION PARA CARGA ESTATICA

49

3.	SELECCIÓN DEL PROTOTIPO.....	50
3.1	CARACTERISTICAS SEGÚN CLASIFICACIÓN.....	50
3.1.1	EFICIENCIA DE MOLIENDA.....	50
3.1.2	HIGIENE DEL PRODUCTO FINAL.....	50
3.1.3	MANTENIMIENTO.....	54
3.2.2	DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO.....	60
3.2.3	LIMITACIONES.....	62
4.	ANÁLISIS DE DISEÑO DEL MECANISMO.....	63
4.1	DEFINICIÓN DE VARIABLES DE DISEÑO.....	63
4.2	DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL MECANISMO.....	63
4.2.1	CÁLCULO DEL NÚMERO DE MARTILLOS.....	64
4.2.2	DISEÑO DE MARTILLOS.....	65
4.2.3	CÁLCULO DE VELOCIDADES TANGENCIALES DEL MARTILLO.	66
4.2.4	DIMENSIONAMIENTO DEL MARTILLO.....	73
4.2.5	FUERZAS QUE ACTÚAN EN EL MARTILLO.....	76
4.2.6	CÁLCULO DE LA FUERZA DE IMPACTO.....	78
4.2.7	CÁLCULO DE LA FUERZA DE CORTE.....	80
4.2.8	ESFUERZOS QUE ACTÚAN EN EL MARTILLO.....	81

4.2.9	DISEÑO DEL DISCO PORTA-MARTILLOS.....	84
4.2.10	SELECCIÓN DEL SEPARADOR DE MARTILLOS	88
4.2.11	SELECCIÓN DEL SEPARADOR DE DISCOS.....	89
4.2.12	DISEÑO DE PERNOS.....	90
4.2.13	DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN.....	98
4.2.14	DISEÑO DEL EJE.....	109
4.2.15	SELECCIÓN DE COJINETES.....	123
4.2.16	DISEÑO Y ANÁLISIS DE SOLDADURA DE LA MÉNSULA DE LAS CHUMACERAS.....	129
4.2.17	SELECCIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO.....	134
4.2.18	SELECCIÓN DE POLEAS.....	138
4.2.19	CÁLCULO DE VOLANTE DE INERCIA.....	138
5.	VALIDACIÓN DEL DISEÑO MECÁNICO.....	140
5.1	SELECCIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE A UTILIZAR 140	
5.2	SIMULACIÓN DE COMPONENTES DE LA MÁQUINA POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS.....	142
5.2.1	SELECCIÓN DE COMPONENTES A SIMULAR.	142
5.2.2	DETERMINACIÓN DE LA FUERZA SOBRE CADA COMPONENTE.....	143
5.2.3	SIMULACIÓN DE COMPONENTES EN SOLIDWORKS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	144

6.	ANÁLISIS DE COSTOS.	157
6.1	DETALLE DE COSTOS Y COMPONENTES DE PIEZAS A FABRICAR.	157
6.2	ANÁLISIS DE RETORNO DE LA INVERSIÓN.	158
6.2.1	CÁLCULO DEL COSTO ELÉCTRICO GENERADO POR EL MOLINO.	158
6.2.2	CÁLCULO DEL TIEMPO DE RETORNO.	159
7.	PROPUESTA DE DISEÑO.	161
7.1	PLANOS DE FABRICACIÓN.	161
	CONCLUSIONES.	173
	BIBLIOGRAFIA	175
	ANEXOS	187

INDICE DE TABLAS:

Tabla 3-1: Parámetros de selección del prototipo de molino. (Méndez Andrade y Orellana Chiriboga, 2018).....	58
Tabla 3-2: Evaluación de los parámetros de los tipos de molino sometidos a comparación. (Méndez Andrade y Orellana Chiriboga, 2018).	59
Tabla 4-1: Coeficiente de fluctuación para máquinas (Salisbury & Kenneth, 1953).....	70
Tabla 4-2: Muestras para espesor promedio de arroz. (Fuente propia)..	74
Tabla 4-3: Propiedades mecánicas del acero AISI 304. (Mundial, 2019).	84
Tabla 4-4: Especificaciones técnicas del separador de martillos. (ISO 7089, 2000).	89
Tabla 4-5: Especificaciones técnicas del separador de discos. (Diseño propio).	90
Tabla 4-6: Factores de corrección, resistencia a la fatiga (Budynas et al., 2012).....	92
Tabla 4-7: Estimación de diámetro mínimo de polea. (Budynas et al., 2012). ...	99
Tabla 4-8: Factores de servicio para banda en V. (Budynas et al., 2012).	104
Tabla 4-9: Factor de corrección K_1 (Budynas et al., 2012).	105

Tabla 4-10: longitud estándar de banda (Budynas et al., 2012).	106
Tabla 4-11: Factor de corrección K_2 (Budynas et al., 2012).	107
Tabla 4-12: potencia nominal de banda en V (Budynas et al., 2012).	108
Tabla 4-13. Selección del tamaño de la cuña dependiendo del diámetro del eje. (Budynas et al., 2012)	122
Tabla 4-14: Selección de dimensiones de la cuña para la polea en función del diámetro del eje.	123
Tabla 4-15: Duración recomendada para rodamientos. (Budynas et al., 2012).	125
Tabla 4-16: capacidad de cargas de las chumaceras. (SKF, 2022).	127
Tabla 4-17: Inercias de los componentes del molino calculados mediante SolidWorks. (Fuente propia).	136
Tabla 4-18: Parámetros de selección de poleas. Fuente propia.	138
Tabla 5-1: Componentes críticos seleccionados para simulación.	143
Tabla 5-2: Fuerzas que actúan sobre componentes críticos.	143
Tabla 5-3: Detalle del mallado para eje conducido. Fuente propia	145
Tabla 5-4: fuerzas aplicadas al eje. Fuente propia.	145
Tabla 5-5: detalle del mallado para el disco. Fuente propia	148
Tabla 5-6: fuerzas aplicadas al disco. Fuente propia.	148
Tabla 5-7: detalles del mallado para martillo. Fuente propia.	151
Tabla 5-8: fuerzas aplicadas al martillo. Fuente propia.	152
Tabla 5-9: Detalles del mallado para ménsula. Fuente propia.	154
Tabla 5-10: fuerzas aplicadas a la ménsula. Fuente propia.	155
Tabla 6-1: Detalle de costos de componentes y elementos a fabricar. Fuente propia.	157

Tabla 6-2: Calculo de costo operacional del molino. Fuente propia.	159
Tabla 6-3: cálculo de ganancia neta. Fuente propia.....	160

INDICE DE FIGURAS:

Figura 1-1: Desarrollo demográfico en El Salvador desde 1960 hasta 2020. (OIT 2020).	4
Figura 1-2: Tasa de desempleo en El Salvador desde 2012 hasta 2020. (OIT 2020).	5
Figura 2-1: Partes de un cereal. . Fuente: Universidad Autónoma de México, 2013.....	13
Figura 2-2: Molino rotativo de piedra. Fuente: pan de calidad, (pan de calidad, 2020).....	23
Figura 2-3: Molino de martillos. (Cuadrado Moncayo, I. R., & Rueda Castillo, J. L, 2009).....	25
Figura 2-4: Molino de viento. Fuente: Cuadrado Moncayo, I. R., & Rueda Castillo, J. L, 2009.....	26
Figura 2-5: Molino de muelas. Fuente: Gómez E, 2020.	26
Figura 2-6: Molino de placas o de cilindros. Fuente: direct industry usa, 2020.....	27
Figura 2-7 Figura 2 7: Molino de rodillos. Fuente: cosmos, 2015.	28
Figura 2-8: Molino de martillos. Fuente: SD Servicios Industriales, 2021.	29

Figura 2-9: Partes y vista interna de un molino de barras. Fuente: Méndez Andrade y Orellana Chiriboga, 2018.	29
Figura 2-10: Vista frontal del funcionamiento del molino de bolas. Fuente: Méndez Andrade y Orellana Chiriboga, 2018.	30
Figura 2-11: Partes y vista interna de un molino de barras. Fuente: Méndez Andrade y Orellana Chiriboga, 2018.	31
Figura 2-13: Arroz blanco. Fuente propia	40
Figura 2-14: Balanza utilizada para medir la masa. Fuente propia.	40
Figura 2-12: Resultado de la prueba. Fuente propia.	41
Figura 2-15: nodos y elementos de la pieza. Fuente: ESSS, Engineering simulation and scientific software, 2006.	41
Figura 3-1: Prototipo de molino de martillos. Fuente propia.	60
Figura 4-1: Imagen derecha: vista isométrica de la distribución de los martillos en el disco. Imagen izquierda: vista frontal de la distribución de los martillos en el disco. Fuente propia.	66
Figura 4-2: Esquema de ubicación de radio de giro en disco porta martillos (Cotas en mm). Fuente propia.	72
Figura 4-3: Geometría del martillo. Fuente propia.	73
Figura 4-4: Pie de rey utilizado para medir el espesor de diez muestras de arroz. Fuente Propia.	74
Figura 4-5: Dimensiones del martillo. (Cotas en mm). Fuente propia.	76
Figura 4-6: Diagrama de cuerpo libre del martillo. Fuente propia	76
Figura 4-7: Esquema de aplicación de fuerza centrífuga. Fuente propia.	77
Figura 4-8: Área de desgarre. Fuente propia.	81
Figura 4-9: Dimensiones del ensamble entre el disco y el martillo.	85

Figura 4-10: Arandelas planas a utilizar para separar los martillos.	88
Figura 4-11: Dimensionamiento completo disco – martillo (Cotas en mm). Fuente propia.	90
Figura 4-12: DCL del perno. Fuente propia.	92
Figura 4-13: Longitud del perno (Cotas en mm). Fuente propia.	93
Figura 4-14: diagrama de fuerza cortante del perno en vacío. Fuente propia. ...	94
Figura 4-15 Diagrama de momento flector del perno en vacío. Fuente propia.	95
Figura 4-16: diagrama de fuerza cortante del perno en funcionamiento Fuente propia.	96
Figura 4-17 Diagrama de momento flector del perno en funcionamiento Fuente propia.	96
Figura 4-18: Configuración del sistema de transmisión. (Budynas et al., 2012).	100
Figura 4-19: Dimensionamiento del eje (Cotas en mm). Fuente propia.	110
Figura 4-20: Fuerzas que actúan en el eje. Fuente propia MDsolids. ...	111
Figura 4-21: Diagrama de fuerza cortante del eje conducido Fuente propia.	114
Figura 4-22: Diagrama de momento flector del eje conducido (Fuente propia).	¡Error! Marcador no definido.
Figura 4-24: Determinación de K_t de curvas de concentradores de esfuerzo para cambio de sección del eje. Fuente: (Budynas et al., 2012).	117
Figura 4-25: Determinación del factor “q” para carga variable. Fuente: (Budynas et al., 2012).	118

Figura 4-26: Determinación de K_t de curvas de concentradores de esfuerzo para muescas del eje. Fuente: (Budynas et al., 2012).	119
Figura 4-27: Determinación del factor "q" para carga variable. Fuente: (Budynas et al., 2012).	120
Figura 4-28: Dibujo isométrico de la ménsula sobre la cual irán montadas las chumaceras. Fuente propia.	129
Figura 4-29: Diseño y geometría de las ménsulas y soldadura. Fuente propia.	129
Figura 4-30: Longitud g de la garganta de soldadura. Fuente: Propia.	130
Figura 4-31: Ubicación del centroide de la soldadura.	132
Figura 5-1: Consideraciones de simulación del eje. Fuente: SolidWorks Simulation.	144
Figura 5-2: malla del eje.	144
Figura 5-3: Diagrama de cuerpo libre del eje. Fuente propia.	145
Figura 5-4: Esquema de ubicación de sujeciones en el eje. Fuente propia.	146
Figura 5-5: Simulación del eje del molino. Fuente: SolidWorks Simulation.	146
Figura 5-6 Consideraciones de simulación del disco. Fuente: SolidWorks Simulation.	147
Figura 5-7: Esquema de mallado del disco. Fuente: SolidWorks Simulation.	147
Figura 5-8: Diagrama de cuerpo libre del disco porta martillos. Fuente: SolidWorks Simulation.	149
Figura 5-9: Esquema de sujeción del disco. Fuente: SolidWorks Simulation.	149

Figura 5-10: Simulación del disco porta martillos del molino. Fuente: SolidWorks Simulation.....	150
Figura 5-12: malla del martillo. Fuente: : SolidWorks Simulation.	151
Figura 5-11: Consideraciones de simulación del martillo. Fuente: SolidWorks Simulation.....	151
Figura 5-13: Diagrama de cuerpo libre del martillo. Fuente: SolidWorks Simulation	152
Figura 5-14: Esquema de sujeción del martillo. Fuente: SolidWorks Simulation.	152
Figura 5-15: Simulación del martillo. Fuente: SolidWorks Simulation. ..	153
Figura 5-17: malla de la ménsula. Fuente: SolidWorks Simulation.	154
Figura 5-16: Consideraciones de simulación de la ménsula. Fuente: SolidWorks Simulation.....	154
Figura 5-18: Diagrama de cuerpo libre de la ménsula. Fuente propia. .	155
Figura 5-19: esquema de sujeción de la ménsula. Fuente: SolidWorks Simulation.	155
Figura 5-20: : Simulación de la ménsula. Fuente: SolidWorks Simulation.	156

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

MyPE: Micro y pequeña empresa.

PIB: Producto Interno Bruto.

FMI: Fondo Monetario Internacional.

CEPAL: Comisión Económica Para América Latina y El Caribe.

n_{op} : Tamaño de muestra.

Z : Nivel de confianza.

p : Probabilidad de éxito.

q : Probabilidad de fracaso.

E : Error de estimación.

E_{rup} : Energía de ruptura.

m : Masa.

h : Altura.

g : Aceleración de la gravedad.

rpm : Revoluciones por minuto.

E_c : Energía cinética.

m_g : Masa del grano de arroz.

V_m : Velocidad del martillo.

V_t : Velocidad tangencial.

V_v : Velocidad en vacío.

V_c : Velocidad con carga.

C_f : Coeficiente de fluctuación.

ω_f : Velocidad angular final.

ω_i : Velocidad angular inicial.

ω_m : Velocidad angular media.

r_g : Radio de giro.

ω : Velocidad angular del motor eléctrico.

ω_c : Velocidad angular corregida.

α : Aceleración angular.

θ : Ángulo recorrido por los martillos.

L : Longitud de los martillos.

e : Espesor del martillo.

d : Diámetro de agujero del martillo.

d_s : Distancia del centro del agujero del martillo al extremo.

F_i : Fuerza de impacto de los granos de arroz con el martillo.

F_{cf} : Fuerza centrífuga.

m_m : Masa del martillo.

ρ : Densidad del martillo.

v_m : Volumen del martillo.

$F_{i-pulverizado}$: Fuerza de impacto necesaria para la ruptura.

F_c : Fuerza de corte.

A_d : Área de desgarre.

τ : Esfuerzo cortante.

n : Factor de seguridad.

S_y : Esfuerzo de fluencia.

S : Distancia del centro del disco al centro del agujero del martillo.

D_d : Diámetro del disco.

D_e : Diámetro del eje.

S_d : Distancia desde el extremo del disco hasta la superficie del agujero.

e_{disco} : Espesor del disco.

σ_m : Esfuerzo medio.

σ_a : Esfuerzo alterno.

S_u : Esfuerzo último en tensión.

S_n : Limite de resistencia a la fatiga.

L_p : Longitud del perno.

σ_{min} : Esfuerzo de flexión mínimo.

I : Momento de inercia.

P_n : Potencia nominal.

T_n : Torque nominal.

F_t : Fuerza tangencial aplicada al eje.

Pot_d : Potencia de diseño.

K_s : factor de seguridad o servicio.

Pot_n : Potencia efectiva en la polea conductora.

L : Longitud de la banda.

R_1 : Radio de la polea del motor.

Pot_c : Potencia corregida.

Pot_b : Potencia que transmite una banda.

N : Número de bandas.

W_{polea} : Peso de la polea.

γ : Peso específico

W : Peso del eje

V_e : Volumen del eje

l : Longitud del eje

w : Peso por unidad de longitud

σ_{ea} : Esfuerzo equivalente alternativo.

σ_{em} : Esfuerzo equivalente medio.

τ_m : Esfuerzo cortante medio.

k_f : Factor de concentración de tensiones por fatiga.

q : Sensibilidad a la muesca.

k_t : Factor de concentración de esfuerzo.

F_e : Fuerza equivalente.

R_A : Reacción en el cojinete.

V : Factor de rotación.

C : Carga dinámica en el cojinete.

k : Factor de vida del cojinete.

L_d : Vida útil de diseño.

τ' : Componente de esfuerzo cortante directo.

A_g : Área de la garganta.

Pot_m : Potencia del motor eléctrico.

Pot_{tr} : Potencia de triturado.

Pot_j : Potencia de inercia.

T_a : Torque de arranque.

$T_{Inercia}$: Torque de inercia.

I_{motor} : Inercia del motor eléctrico.

Δt : Tiempo necesario para el arranque de la máquina.

I_{eje} : Inercia en el eje.

η : Eficiencia de transmisión entre eje

INTRODUCCION

El presente trabajo de investigación surge con la finalidad de realizar el diseño de una máquina eficiente, para que sea utilizada directamente en la MyPE de El Salvador, de esta manera, brindar la oportunidad de aumentar las utilidades de este sector.

Este trabajo de investigación se debe a que la harina de arroz es un producto muy utilizado en muchas MyPE salvadoreñas dedicadas al sector alimenticio, una de las aplicaciones más relevantes es la preparación de comidas típicas. La producción de arroz en el país es muy elevada por lo que la obtención de quintales de arroz es accesible para los salvadoreños. Existen diversas clases de arroz debido a la calidad de éste y dependiendo la aplicación así puede adquirirse a diversos precios y calidades, el arroz se obtiene mayormente a través de importación. En el 2023 inicio con mayor impacto desde Estados Unidos.

Actualmente se fabrican molinos industriales donde la labor es simple y la producción es elevada, pero el costo de esto no es viable económicamente para una micro y pequeña empresa, solo para empresas que lo realicen en grandes producciones.

El proyecto pretende elaborar el diseño de un prototipo de molino para la trituration de granos de arroz con el objetivo de obtener harina, donde la taza de producción, consumo de energía, tamaño de la máquina y costos de fabricación se puedan adecuar a la micro y pequeña empresa de El Salvador.

Se presentará una investigación sobre los principales granos agrícolas de los cuales se puede obtener harina y de los tipos de molienda que existen en la actualidad para este fin. Esto con el objetivo de realizar la selección del prototipo que se considere como la mejor alternativa bajo el contexto de este proyecto. Dentro de estos parámetros se ha considerado el costo de fabricación de la máquina, facilidad de fabricación y ensamblaje de los componentes, accesibilidad a las partes cuando se tenga programado un mantenimiento, entre otros aspectos que se detallan más adelante.

Por otra parte, se realizará el diseño teórico de los principales componentes que hacen funcionar al molino; donde se detallan las consideraciones de ingeniería pertinentes para cada uno de los componentes, se agregarán los planos de fabricación y ensamblaje de todos estos componentes.

Posteriormente, se validará con la simulación mediante un software de diseño especializado en ingeniería para garantizar el buen funcionamiento de los componentes más críticos. Finalmente, se llevan a cabo los cálculos de costos de fabricación del molino para proyectar un estimado de la inversión a realizar al ejecutar el diseño.

1. GENERALIDADES

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Salvador se caracteriza por tener un alto consumo de productos elaborados a base de harina de arroz, entre ellos platillos típicos, panes, galletas, entre otros. Debido al alto consumo de estos productos a nivel nacional, existen y surgen, con regularidad, muchas MyPE en El Salvador que utilizan como materia prima la harina de arroz. Entre las cuales se tienen:

- Panaderías: utilizan harina de arroz para la elaboración de panes dulces, como, por ejemplo: salpores de arroz, quesadillas, marquesote, galletas de arroz, entre otros productos que contienen una mezcla entre harina de arroz y harina de trigo.
- Pupuserías: tal y como se conoce, las pupuserías usan la harina de arroz como materia prima para la elaboración de pupusas y en algunos casos para proporcionar consistencia a la salsa de tomate. También, en muchos casos elaboran tortillas de arroz a partir de la masa sobrante.
- Ventas de platillos típicos: este tipo de negocios utilizan harina de arroz para la elaboración de distintos atoles, como la poleada, atol de piña y el chilate, entre otros.

En la gran mayoría de estas MyPE descritas anteriormente, se opta por comprar la harina de arroz a terceros, lo cual incrementa el costo del producto final, por este motivo el objetivo del proyecto es proporcionarles una propuesta de diseño de una máquina para eliminar al intermediario y así obtener mayores utilidades.

Ahora que se tiene el contexto de la importancia de la producción de harina de arroz para la elaboración de productos de consumo diario de los salvadoreños,

es de vital importancia destacar la importancia de las MyPE y el papel que han jugado con factores tales como: la pandemia del COVID-19, la problemática del desempleo que se ha agudizado durante este periodo de pandemia, un crecimiento poblacional inevitable y el aumento en el costo de las materias primas.

1.1.1 PAPEL DE LAS MyPE EN RESPUESTA AL DESEMPLEO Y CRECIMIENTO POBLACIONAL

Con el paso de los años, el crecimiento de la población en el país (figura 1-1) combinado con la problemática de oportunidades de empleo (figura 1-2) ha forzado a que muchas familias opten a que su principal fuente de ingresos sea el emprendimiento de un negocio (MyPE) enfocado en elaborar productos alimenticios a base de harina de arroz de los cuales se han mencionado y descrito anteriormente (Organización Internacional del Trabajo OIT 2020).

(Cifras en millones de habitantes)

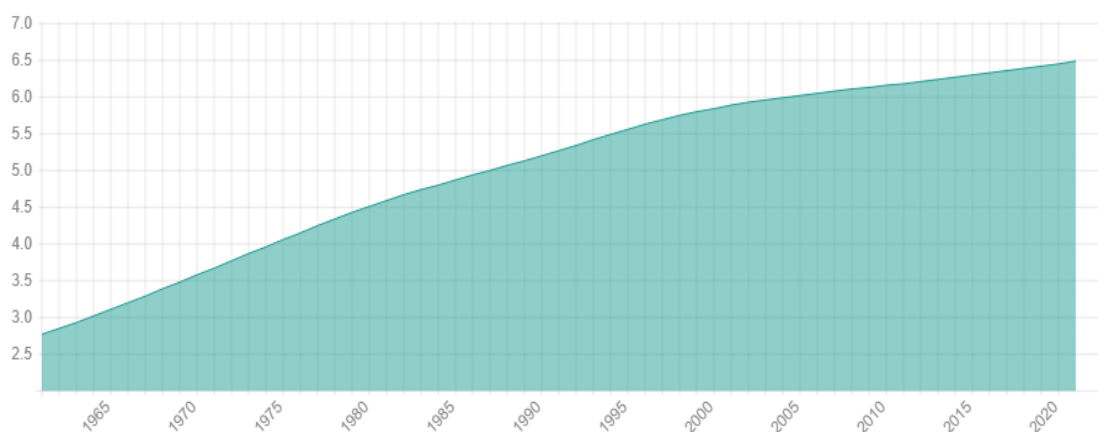


Figura 1-1: Desarrollo demográfico en El Salvador desde 1960 hasta 2020. (OIT 2020).

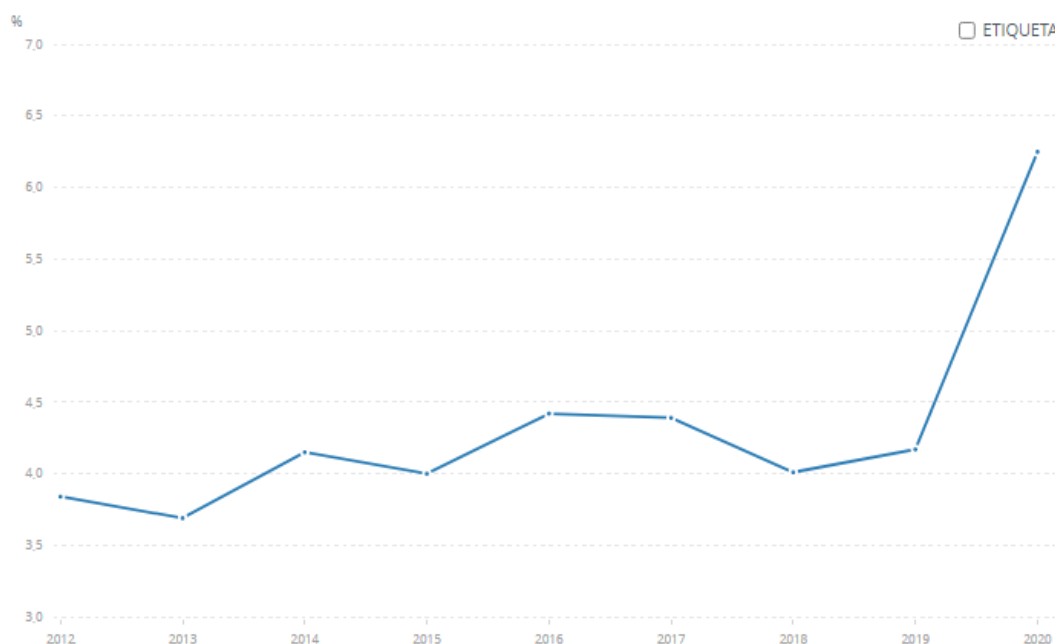


Figura 1-2: Tasa de desempleo en El Salvador desde 2012 hasta 2020. (OIT 2020).

Además, actualmente se han visto aumentos significativos en los precios de las materias primas para la elaboración de estos productos como es el caso de la harina de arroz, una solución para disminuir los efectos de este aumento en los precios sería que las MyPE puedan procesar su propia harina de arroz utilizando su propia máquina procesadora de harina, pero esto en la actualidad resulta difícil de realizar, debido a que las máquinas procesadoras de harina que se encuentran en el mercado están pensadas principalmente para las grandes industrias que producen grandes volúmenes de harina de arroz para su posterior comercialización. Ahora, se tratará la relación entre la pandemia del COVID-19 y el desempleo (Organización Internacional del Trabajo OIT 2020).

1.1.2 PAPEL DE LAS MyPE EN RESPUESTA A LA PANDEMIA DEL COVID-19

El Salvador recibe la pandemia del COVID-19 en un contexto económico frágil. En los últimos 20 años, el país se ha caracterizado por registrar bajos niveles de crecimiento económico (el promedio observado entre 2002 y 2011 fue de 1.9% y entre 2012 y 2019 de 2.3% del PIB). El país cerró 2019 con un crecimiento económico del 2.3%. Proyecciones de CEPAL, Banco Mundial y el FMI, estiman variaciones negativas en el orden del -8.6%, -5.4% y -5.4% del PIB en 2020 respectivamente (Organización Internacional del Trabajo OIT 2020).

Como era de esperarse, el impacto económico como consecuencia de la pandemia del COVID-19 en el corto plazo, se sintió con mayor fuerza en el sector terciario (prestaciones de servicio y comercio), siendo este sector el que más aporta al PIB y en el que se concentra la mayor parte de las MyPE (Organización Internacional del Trabajo OIT 2020).

Dados las problemáticas actuales que se han abordado en este punto, por ello se ha considerado necesario brindar como una posible solución el diseño de un prototipo de máquina procesadora de harina de arroz para aliviar los costos de producción de los productos de aquellas MyPE dedicadas a este rubro. A su vez, el sector agrícola se vio afectado durante el periodo de cuarentena en el año 2020, debido al déficit ocasionado en la producción y venta de los productos agrícolas, principalmente por la dificultad para transportar los productos a los diferentes puntos de venta o distribución, o en algunos casos por una disminución en la demanda. Otro gran problema fue la dificultad para obtener los insumos necesarios para la producción como semillas, fertilizantes, insecticidas, entre otros. Donde se observa que estos problemas se originan por las restricciones en movilidad (BID, junio 2020).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

- Diseñar una máquina pulverizadora para la obtención de harina de arroz, enfocado a la micro y pequeña empresa en El Salvador.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una investigación sobre los principales tipos de molinos procesadores de arroz, que permita la correcta selección de un prototipo.
- Diseñar y seleccionar los componentes de una máquina para pulverizar arroz, realizando la correcta selección de materiales, así como una transmisión eficiente para accionamiento tipo eléctrico.
- Validar los diseños de los elementos, a través del método de elementos finitos con un software especializado de ingeniería.
- Efectuar un análisis de costos de fabricación de la máquina.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Se llevó a cabo una investigación de campo en la cual se realizó una encuesta a una muestra de 62 pupuserías entre negocios micro (pupusería de la comunidad) y negocios pequeños (locales en antiguo Cuscatlán y Planes de Renderos). El tamaño de la muestra se obtuvo utilizando la ecuación estadística que permite calcular el tamaño de una muestra cuando se desconoce la población total. La cual se escribe de la siguiente manera, de acuerdo con (Repositorio Institucional UCC, 2018):

$$n_{op} = \frac{Z^2 * p * q}{E^2} \quad (1-1)$$

Donde:

Z : Nivel de confianza. Tomando un valor común igual a 1.96

p : Probabilidad de éxito de 0.8

q : Probabilidad de fracaso de 0.2

E : Error de estimación máximo aceptado de 0.1

$$n_{op} = \frac{(1.96)^2 * 0.8 * 0.2}{(0.1)^2} = 61.5$$

$$n_{op} = 62$$

El objetivo principal de la encuesta es estimar cual es el consumo de harina de arroz de dichos establecimientos, así como también conocer cuánto pagan por ésta. En los resultados obtenidos se observa que estas MYPES pueden llegar a consumir más de dos arrobas de harina de arroz en días de alta demanda, y hasta media arroba en días de menor demanda, siendo una arroba equivalente a 25 libras. Por lo tanto, se estima que mensualmente se puede llegar a consumir hasta 34 arrobas de harina de arroz, las cuales tendrán un costo total de \$408.00

(\$12.00 por arroba. Información obtenida a través de las encuestas realizadas. Ver Anexo B). Por el otro lado, si se compran 8 quintales de miga de arroz se tendrá un costo de \$136 (Antonio Miranda 14 octubre 2021); considerando una pérdida del 4% (Salazar Torres, N. A, 1999); en el proceso de trituración del arroz para formar la harina, se tendría un costo total de \$141.44. Es decir, si se compra el arroz y se procesa para obtener harina se adquiere un ahorro de \$266.56 mensuales (En esta estimación no se ha considerado factores externos al proceso de convertir la miga de arroz en harina, como el consumo de energía eléctrica de la máquina y mantenimiento).

Sin embargo, la compra de un molino de arroz industrial tiene un costo elevado, por lo cual se determina que para pequeños emprendimientos es más viable comprar las bolsas de harina de arroz que comprar la máquina, ya que el tiempo de recuperación de la inversión se extendería demasiado, además muchos negocios no manejan el capital necesario para la inversión. El presente trabajo de graduación surge con la finalidad de elaborar una propuesta de diseño de una máquina eficiente y de fácil fabricación para que sea utilizada directamente en la MyPE de El Salvador, de esta manera, brindar una oportunidad para aumentar las utilidades en las mismas.

La idea del diseño de prototipo nace como una posible solución para disminuir los costos de producción de los productos elaborados a base de harina de arroz de las MyPE, costos que se han visto aumentados últimamente por una gran variedad de razones planteadas anteriormente, que han tenido como efecto un impacto negativo en la economía de los sectores más vulnerables.

1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.4.1 ALCANCES

- Disponer de un marco teórico referencial sobre clasificación y diseño de molinos trituradores de harina.
- Presentar una propuesta de diseño de una máquina pulverizadora de harina de arroz que se caracterice por su desempeño eficiente y de simple fabricación para que sea accesible económicamente a la micro y pequeña empresa de El Salvador.
- Validar cada elemento diseñado, utilizando el método de elementos finitos utilizando un software especializado de ingeniería.
- Elaborar un análisis de costo de fabricación de la máquina, para garantizar que sea viable para la micro y pequeña empresa.
- Elaborar planos técnicos para facilitar una posible fabricación de la máquina.

1.4.2 LIMITACIONES

El proyecto se limitará solo al diseño del molino no a su fabricación, esto se debe a que el inicio del proyecto se remonta al tiempo de pandemia de COVID 19, cuando los protocolos de la universidad cambiaron y todo se realizaba solo en modalidad en línea, por lo que se limitó el acceso al taller mecánico de la Universidad y no se mandó a fabricar por limitaciones económicas de los miembros del equipo de tesis. Así pues, se decidió validar los cálculos mediante la simulación de componentes en un software especializado en diseño.

El análisis de costos será solamente para tener una estimación de la inversión a realizar para la fabricación del molino, y se intentará reducir en la medida de lo posible dicho coste. No obstante, realizar el análisis de viabilidad económica (saber si realmente le traerá más ganancias o no) le corresponderá a

la micro o pequeña empresa que se encuentre interesada, esto se debe a que los ingresos de cada mype no son los mismos y solo ellos podrán contemplar si la inversión a realizar les será posible. Además, el costo de fabricación quedará sujeto a los precios actuales que tienen los componentes del molino y no contemplará la inflación de estos precios.

El volumen de producción de harina de arroz será especificado desde el diseño, siendo así, no se garantiza una mayor producción a la establecida.

El diseño será realizado específicamente para triturar arroz y no otro producto agrícola, posiblemente sea capaz de moler otros granos que posean una fuerza de trituración menor a la del arroz, pero no se analizará para ellos.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 GENERALIDADES DE LA PRODUCCIÓN DE HARINA

2.1.1 HISTORIA

Definición: Polvo fino que se obtiene del cereal molido y de otros alimentos ricos en almidón.

La harina se puede obtener de diferentes cereales, sin embargo, la harina más habitual es la de trigo (cereal proveniente de Mesopotamia, Félix Ramos, 2013) el cual es un elemento muy usado en la elaboración de pan, también se hace harina de centeno, cebada, avena, maíz y arroz. (Universidad para Mayores, María Dolores, 2019). El denominador común de las harinas vegetales es el almidón el cual es un carbohidrato complejo (Yeni Osorio, 2018).

Los cereales constituyen la fuente de nutrientes más importantes de la humanidad, históricamente están asociados al origen de la civilización y cultura de todos los pueblos. El hombre pudo pasar de nómada a sedentario cuando aprendió a cultivar cereales y obtener de ellos una parte importante de sustento (Universidad para mayores, María Dolores, 2019).

Se pueden diferenciar 3 partes de un cereal: pericarpio, germen y endospermo, mostradas en la figura 2-1

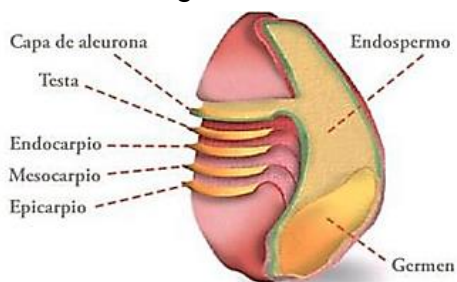


Figura 2-1: Partes de un cereal. . Fuente: Universidad Autónoma de México, 2013

Pericarpio: Es la parte que protege al grano de insectos y de las condiciones ambientales adversas el cual consta de dos partes:

Parte externa: Está constituida por tres capas:

- Epicarpio: capa constituida por una pared de células rectangulares, delgadas y largas.
- Mesocarpio: está constituida por células alargadas en el sentido transversal al grano.
- Endocarpio: constituida por células de paredes delgadas.

Parte interna: está formada por dos tipos de células:

- Células cruzadas: están agrupadas en capas de dos a cuatro, son de paredes delgadas, su función es proteger el grano de la humedad.
- Células tubulares: constituida por células largas y paralelas no ramificadas su función es distribuir el agua absorbida a través del embrión durante el proceso de germinación. (Universidad autónoma de México, 2013)

Endospermo: Depósito de alimento para una nueva planta. Está compuesto por carbohidratos y proteínas en menor proporción. Está conformado por:

- Capa de aleurona: compuesta por una sola capa de células, a excepción de la cebada, avena y el arroz
- Endospermo corneo: está constituido por proteínas y gránulos de almidón.
- Endospermo vitreo: compuesto por gránulos de almidón, paredes celulares y proteínas. (Universidad autónoma de México, 2013).

Germen: es responsable de generar una nueva planta cuando germina la semilla, contiene alto contenido de nutrientes, entre ellos grasas, vitaminas, proteínas, minerales y azúcares. Esta parte es muy susceptible al ataque de microorganismos e insectos que afectan la calidad del producto. (Universidad autónoma de México, 2013)

La harina es un producto muy antiguo, su origen data de mucho antes del año 6000 A.C en oriente medio (Yolanda, 2020). Existen datos muy antiguos que revelan el uso de la harina en Asia, Europa, América y demás continentes, lo que varía entre cada continente es el cereal o cereales que se utilizaban para hacer la harina, por ejemplo, en el continente americano se hacía uso del maíz para su preparación y en Asia el trigo.

Se tienen evidencias de que en la antigüedad varios pueblos de América consumían la harina de forma integral, es decir haciendo uso de todo el grano de trigo, los cuales eran molidos haciendo uso de piedras (Arfemec industrial). Fueron los romanos en el siglo I A.C quienes perfeccionaron la técnica de molienda, utilizando molinos hidráulicos. También para este trabajo se

empleaban a los esclavos y privados de libertad, más tarde también aplicaron a algunos animales para esta tarea (Universidad para mayores, María Dolores. 2019).

2.1.2 TIPOS

La harina se clasifica de acuerdo con la cantidad de gluten o proteínas que esta posee, por lo que podemos encontrar los siguientes tipos (José Emeterio, 2018):

- **Harina de fuerza:** Se caracteriza por tener un alto porcentaje de proteínas sobre un 13% por cada 100 g. Se obtiene a partir de trigo duro y se utiliza fundamentalmente para la elaboración de panes y masas de panaderías fermentadas. Este tipo de harina absorben mucha agua y producen masas consistentes y elásticas.
- **Harina de media fuerza:** El porcentaje de proteína se encuentra entre un 10 y un 12 % por cada 100 g, y se utiliza para la elaboración de pan.
- **Harina floja o de repostería:** Tiene un porcentaje de proteína entre el 7 y el 9%. Se usan para la elaboración de repostería y galletas, y no es apta para la elaboración de pan porque no mantienen su estructura firme.

La clasificación anterior es muy utilizada en Europa, sin embargo, en América se clasifica basándose en la numeración por ceros, en la que la cantidad de ceros determina el grado de pureza de la harina, por lo que se tiene harina de un cero `0`, dos ceros `00`, tres ceros `000` y cuatro ceros `0000`.

Las harinas **0** son las más bastas, con más impurezas y posibles restos de grano. Son menos refinadas, y se utilizan para elaboraciones más espesas.

Las harinas **00** y **000** se utilizan para la elaboración de panes, por su alto contenido de proteínas, especialmente el gluten que posibilita dar forma a las masas y se consigue un buen leudado sin que las piezas pierdan su forma.

La harina **0000** es más refinada y blanca, al tener escasa formación de gluten no es un buen contenedor de gas y los panes no mantiene la forma. Se utiliza en pastelería, repostería, hojaldres, etc. y masas que tengan que ser ligeras.

También se puede encontrar las harinas en denominaciones o preparaciones comerciales como:

- **Harina para todo uso:** Es una harina blanca, la que comúnmente se encuentra en los supermercados como harina de trigo, es una harina débil y la podemos usar en cualquier aplicación mientras no se indique lo contrario.
- **Harina de repostería:** Es una harina muy blanca, y de gran calidad, es ideal para la elaboración de repostería.
- **Harina leudante o de repostería:** Es un tipo de harina a la que se le añade un producto leudante, como la levadura en polvo, que sirve para aumentar el volumen de productos que van a ser horneados. El inconveniente que se tiene con este tipo de harina es que el tiempo de caducidad es corto.
- **Harina integral:** Son harinas muy nutritivas y fuertes de sabor, ya que no se le quita la piel al grano.
- **Harina de fuerza:** Harina con mayor contenido de proteínas, se utiliza para hacer masas fermentadas, ideal para hacer pan. (José Emeterio, 2018)

Otra clasificación muy usual es la siguiente: harinas con gluten, sin gluten y de origen animal. (Nahúm Rubio, 2019)

- **Harinas con gluten:** El gluten es un conjunto de proteínas que se encuentran en muchos cereales, gracias a este elemento la masa para la realización del pan adquiere elasticidad, sin embargo, muchas personas no toleran el gluten por lo que optan por harinas sin gluten. A continuación, se muestra las principales harinas con gluten:
 - **Trigo:** Es el cereal más utilizado para la elaboración de harina, este cereal es rico en nutrientes, siendo una fuente de minerales como calcio, hierro, magnesio, potasio, selenio y zinc, además de vitaminas A, B y E. Tiene un porcentaje de proteínas aproximadamente de 13%. La harina de trigo es ideal para elaboración de pan.
 - **Centeno:** La harina de centeno posee cierto toque de amargor, por lo que no es muy usada en repostería. Sin embargo, es utilizada para la preparación de diferentes tipos de panes y galletas. La harina integral de centeno posee muchos nutrientes, entre ellos: sodio, calcio, yodo, zinc, selenio, fósforo, fibra y vitaminas E y B.
 - **Cebada:** Comúnmente es utilizada como espesante y para la elaboración de panes poco esponjosos. Es muy rica en minerales como: potasio, cobre, fósforo, zinc, calcio, magnesio, carbohidratos, fibra y vitaminas A, B y C.
 - **Espelta:** Su contenido en gluten es bajo, por lo que es la más fácil de digerir, es utilizada para la elaboración de panes bajos en gluten y compactos. Es una fuente de Omega 3 y 6, además de aportar vitaminas del grupo E.
 - **Avena:** Su textura es muy fina y suave de sabor, suele utilizarse en repostería, para postres como crepes y galletas. Es un cereal muy nutritivo, ya que aparte de ofrecer minerales compartidos con otros cereales, esta contiene ácidos grasos esenciales.

- **Harinas sin gluten:** Por fortuna para las personas que no toleran el gluten, existen variedades de harinas que no lo poseen, o lo contienen en pocas cantidades. Generalmente estas harinas son hechas con legumbres, aunque también existen elaboradas a partir de tubérculos y de pseudocereales.
- **Maíz:** La harina de maíz es reconocida mundialmente por ser el ingrediente estrella en la elaboración de tortillas y empanadillas mexicanas, además se utiliza para espesar salsas, guisos y sopas. Es fuente de magnesio, sodio y calcio.
- **Arroz:** Esta harina es muy utilizada en Asia, es el ingrediente principal para la elaboración de tempura (frituras japonesas), además de elaborar fideos y preparar rebozados. Tiene una baja cantidad de fibra muy baja, contiene minerales como potasio, fosforo, selenio, magnesio y yodo.
- **Guisantes:** Suele dar un color verdoso a los platillos, y se utiliza para espesar purés hacer crepes, galletas saladas, pizza etc.
- **Sarraceno:** El sarraceno es un pseudocereal, se puede utilizar para la elaboración de panes compactos, aporta ácidos esenciales, Omega 3 y 6, vitaminas del grupo B y aporta 9 aminoácidos esenciales.
- **Garbanzos:** Ofrece muchas vitaminas de los grupos B, C, E y K, sin embargo, resulta difícil enmascarar el sabor a esta legumbre.
- **Patata;** Es un tubérculo muy consumido, al igual que la harina de maíz se utiliza para espesar salsas, guisos y purés, su aroma es suave por lo que se puede usar en la repostería.
- **Almendras:** Se utiliza en recetas dulces, además es ideal para preparar rellenos. Las almendras son muy saludables, ya que proporcionan antioxidantes.

- **Leudante:** Es la harina común para repostería, pero con un contenido de levaduras.
- **Yuca:** Es muy recurrida para espesar, además de preparar tartas saladas para darle cuerpo a su relleno.
- **Harinas de origen animal:** Las harinas no son todas de origen vegetal, algunas partes de los animales se pueden utilizar para transformarlas en harinas, para elaborar diferentes productos, aunque no para el consumo humano. Son productos utilizados para elaborar abonos y piensos.
 - **Huesos:** Básicamente son huesos triturados, no se utilizan para alimento humano, pero si para nutrir los piensos de los animales con minerales como el calcio.
 - **Pescado:** Se trituran las espinas de pescado, estas tienen un importante contenido de calcio.
 - **Sangre:** Consiste en desecar sangre animal, y se utiliza el residuo para elaborar piensos y abonos.
 - **Cuernos y otros elementos:** No solo cuernos, también pezuñas, plumas de aves de corral. Son utilizados mayormente en la elaboración de abonos (Nahúm Rubio, 2019).

2.1.3 ALMACENAMIENTO

La harina es un producto higroscópico y por tanto tiene la capacidad de perder o ganar humedad, por lo que es de gran importancia su lugar de almacenamiento (aseconsa, 2010).

La reglamentación técnico-sanitaria de la harina dice: “Conservar en un lugar fresco, seco y aislado del suelo”. Se puede describir un lugar seco como un sitio con una humedad relativa inferior al 80%, y un lugar fresco no puede superar

los 20 °C (mejor si es <18 °C para que la calidad de la harina no disminuya)” (Felip Coletas, 2018, gerente de Farinera Albareda).

Los principales problemas que se pueden encontrar para conservar la harina en buenas condiciones son el enranciamiento y la insectación, la harina blanca tiene aproximadamente un 1,5 % de grasa, cantidad que aumenta en las harinas integrales debido a la presencia del germen. Durante el almacenamiento, al contacto con el aire, se produce una oxidación de la grasa. En estos casos, a nivel doméstico, la conservación en un recipiente hermético es recomendable, ya que se evita que la harina absorba humedad, evitamos el contacto con el aire y también se impide que absorba olores ya que la harina posee una gran capacidad para absorber olores.

La insectación de la harina es otro de los problemas habituales durante el almacenamiento. El insecto que más prolifera durante al almacenamiento prolongado de la harina es el '*Tribolium Castaneum*'. A una temperatura de 30 °C tiene un ciclo de vida de 30 días aproximadamente; a temperaturas de 20 °C el ciclo de vida es de unos 3 meses y medio. Cuanto más alta es la temperatura más se reduce el ciclo de vida. Igualmente necesitan de un mínimo de humedad para reproducirse; por lo tanto, las humedades elevadas también favorecen la proliferación de insectos. A temperaturas inferiores a 18 °C difícilmente proliferan.

Los mejores métodos para conservar la harina son aquellos que no permiten que la humedad relativa del ambiente pueda pasar dentro. Es decir, se tiene que controlar la humedad del producto para evitar la proliferación de hongos filamentosos. Se ha concluido que lo importante en el almacenaje son las condiciones externas de humedad relativa y temperatura (Felip Coletas 2018, gerente de Farinera Albareda).

Para garantizar la higiene y calidad de la harina se debe tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Colocar la harina en un lugar limpio, seco y ventilado.
- Poner cedazos en las ventanas para impedir el acceso de roedores e insectos.
- Colocar la harina sobre polines, nunca directamente sobre el piso, ya que absorbe humedad. Si la harina se humedece se forman grumos (pelotas) que facilitan la formación de hongos (moho).
- Colocar los sacos de harina a 1 metro de distancia de las paredes para facilitar la limpieza diaria y el control de plagas.
- Controlar la rotación de la harina, de tal forma que la que se compra primero se venda (o use) primero. Cuando la harina no tiene la rotación adecuada está propensa al ataque de gorgojos y otros insectos.
- Hacer limpieza diaria de la bodega y sus alrededores. No se deben usar productos de limpieza o desinfección cuyos aromas puedan contaminar la harina. Se recomienda cloro para esta labor.
- No se debe almacenar en la bodega donde está la harina químicos, insecticidas, detergentes, etc. Tampoco deben almacenarse productos alimenticios u otros que tengan fuertes olores y contaminen la harina. Se pueden almacenar ingredientes como levadura, polvo de hornear, pero en polines separados.
- Retirar de la bodega donde está la harina objetos que estén en desuso, como sacos vacíos, muebles, llantas, etc.
- Colocar los recipientes para basura fuera de la bodega donde está la harina y mantenerlos tapados.

- Mantener un programa de fumigación de la bodega donde está la harina y de los polines. Se debe de realizar esta tarea al menos dos veces al mes, con el objetivo de romper el ciclo de vida del gorgojo y otros insectos.
- Para almacenamiento doméstico almacenar las harinas en un recipiente hermético o sellado, para asegurár de que la humedad, el aire y los insectos no entren en las harinas. (Monisa, 2017)

2.2 GENERALIDADES DE LAS MÁQUINAS PRODUCTORAS DE HARINA

2.2.1 DEFINICIÓN

Según la definición del diccionario de la Real Academia de la Lengua, un molino es: una máquina para moler, compuesta de una muela, una solera y los mecanismos necesarios para transmitir y regularizar el movimiento producido por una fuerza motriz, como el agua, el viento, el vapor u otro agente mecánico. Entre sus utilidades está no solo la de molienda de granos, si no la de mover agua y producir electricidad, entre las más importantes. El molino de harina es tanto el espacio físico en el que se muele el grano de cereal, como la herramienta que permite molerlo. (RAE, 2001)

2.2.2 ANTECEDENTES DE LAS MÁQUINAS PULVERIZADORAS

Hace unos 100 000 años, nuestros antepasados elaboraron la primera harina moliendo el grano con una piedra más o menos como se hace ahora con el mortero.

En el Neolítico empezaron a moler el grano en molinos de mano: se colocaba el grano en una piedra cóncava y se frotaba con otra redondeada. La harina era gruesa y hacía falta mucho esfuerzo para tener suficiente grano para comer cada día.

La molienda no solo consistía en triturar el grano, sino en tamizarlo con cedazos de seda, papiro o junco. El proceso era laborioso y se desperdiciaba gran parte del producto, así que la harina blanca era privilegio de los ricos; los pobres se conformaban con la harina marrón con salvado (pan de calidad, 2020).

Después del molino de mano apareció el molino de piedra giratorio (figura 2-2), en que una piedra gira sobre otra fija. Con el tiempo, se fueron volviendo más grandes, primero accionados por personas y animales, y luego por viento, agua o vapor. En el siglo I D.C un molino podía moler suficiente grano para alimentar a toda una comunidad no solo a unos pocos (pan de calidad, 2020).



Figura 2-2: Molino rotativo de piedra. Fuente: pan de calidad, (pan de calidad, 2020).

Aún con el aumento de tamaño de los molinos, seguía siendo muy laborioso moler el grano. A finales del siglo XVIII, un inventor estadounidense llamado Oliver Evans cambio el rumbo de la molienda. Desarrollo una máquina que desplazaba el grano entre las muelas de forma automática y continua, sin intervención humana. Aunque tardó varias décadas en abrirse camino, cuando lo hizo, la línea de producción continua de Oliver Evans transformo totalmente el proceso. Además, la idea sirvió también para otros sectores como la línea de producción automovilística de Henry Ford (pan de calidad, 2020).

2.2.2.1 EL MOLINO A LO LARGO DE LA HISTORIA

Hace miles de años, la harina se molía frotando o golpeando piedras. Luego aparecieron las pequeñas ruedas de molino que crecieron con los años.

En la actualidad, los productores suelen moler el grano comprimiéndolo entre dos rodillos de acero y separando el salvado para hacer harina blanca.

Sin embargo, los molinos de piedra no eran más que eso, piedras. Una de ellas, la corredera, giraba sobre la otra (la solera), estas muelas estaban talladas, formando muescas llamadas rayones que conformaban un filo y conducían el grano molido hacia fuera. Las piedras molían el grano de modo que las tres partes del mismo (salvado, germen y endospermo) se trituraban por igual. Esto dificultaba la criba (limpieza del grano) de las partes que no querían los consumidores (el salvado) y las que solían revenirse (el germen) (pan de calidad, 2020).

A comienzos del siglo XIX, los productores de harina en Budapest desarrollaron una idea completamente nueva: en lugar de piedras, utilizar rodillo y, en lugar de pasar el grano una sola vez por muela, hacerlo varias veces. En un molino de rodillos, el grano pasa entre dos cilindros de acero giratorios. En lugar de aplastarlo con una piedra plana, el grano se comprime de una pasada entre dos rodillos colocados muy juntos. Con la primera pasada, separan el salvado del endospermo. Luego, el grano aplastado pasa por los tamices y se repite el proceso. El resultado final es la harina blanca (pan de calidad, 2020).



Figura 2-3: Molino de martillos. (Cuadrado Moncayo, I. R., & Rueda Castillo, J. L., 2009).

Generalmente, el salvado y el germen se desechan o se utilizan como forraje, aunque se pueden volver a añadir la harina después de procesarlos por separado para obtener harina integral. El germen, que tiende a ponerse rancio, suele ser tratado para prolongar su vida útil (pan de calidad, 2020).

2.2.3 CLASIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS MOLINOS

Actualmente se dispone de una gran variedad de máquinas o mecanismos que tiene por fin triturar los granos de cereales o algún otro alimento y convertirlo en harina ya sea para consumo humano o animal. Entre este tipo de máquinas también llamadas molinos o pulverizadoras, se clasifican:

- **MOLINO DE VIENTO**

Los molinos de viento utilizan la energía cinética proveniente del viento como un motor para su funcionamiento, su principio básico radica en convertir el viento en energía aprovechable transformándola en energía mecánica por medio de aspas oblicuas unidas a un eje en común que son impulsadas por el viento que pasa a través de ellas (figura 2-4). El eje común se conecta a cierto sistema de engranajes y estos a su vez a unas piedras que son los encargados de triturar los diferentes granos (Cuadrado Moncayo, I. R., & Rueda Castillo, J. L., 2009).

La molienda de granos fue el primer uso para el molino de viento; originalmente se utilizaba para el descascarillado de cebolla y del arroz; el molido de malta, cacao, mostaza, pimienta y tabaco; la extracción de aceites mediante el prensado de aceituna y semillas de linaza; y la extracción de aceite de semillas de colza y cáñamo para hornos y lámparas (about español, para que sirve un molino de viento).



Figura 2-4: Molino de viento. Fuente: Cuadrado Moncayo, I. R., & Rueda Castillo, J. L, 2009.

- **MOLINO DE MUELAS**

Consiste en dos discos de piedra o muelas (figura 2-5), una de las cuales gira sobre la otra. El grano pasa entre las dos y es machacado, saliendo por un



Figura 2-5: Molino de muelas. Fuente: Gómez E, 2020.

orificio dispuesto en los bordes externos (la volandera). Este tipo de molino se puede encontrar eléctrico o mecánico. Muelen muy bien la harina, y dependiendo del tiempo de molienda es el tamaño de grano de harina obtenido. Este molino es muy usado para moler café. (mgter. Emilce Zubreski, Scribd, proceso fabricación de harina).

- **MOLINO DE PLACAS O DE CILINDROS**

Una placa de acero con estrías gira sobre otra placa plana y fija. En un paso, el proceso de pulido gradual produce las harinas que son casi equivalentes a la harina producida en el comercio en términos de contenido de ceniza, producción y calidad de hornada. (mgter. Emilce Zubreski, Scribd, proceso fabricación de harina).



Figura 2-6: Molino de placas o de cilindros. Fuente: direct industry usa, 2020.

En este tipo de molinos las partículas sólidas son captadas y trituradas entre uno o más medios rodantes, los cuales presionan con gran fuerza al material hasta convertirlo en harina (figura 2-6). En la industria existen distintos tipos de molinos de rodillos, ya sea por diferencias significativas en el diseño o ligeras variaciones en los acabados, los más utilizados son:

- Molinos de un rodillo
- Molinos de dos rodillos

A su vez, los rodillos de estos molinos pueden ser lisos, estriados o dentados en función de los materiales a procesar (figura 2-7). Así, mientras que los molinos con rodillos dentados son mucho más versátiles, están limitados para molturar sólidos muy duros. (cosmos, molino de rodillos)



Figura 2-7 Figura 2 7: Molino de rodillos. Fuente: cosmos, 2015.

- **MOLINO DE MARTILLOS**

Muele, tritura y destroza toda clase de productos por medio de una serie de martillos rotativos que impactan repetidamente el producto en su interior, reduciendo su tamaño hasta hacerlo pasar a través de una criba perforada. Misma que es intercambiable fácilmente para variar el tamaño de las partículas.

(sd servicios industriales sac, molino de martillos). Además, se destaca por ser un molino compacto y de fácil operación (figura 2-8).



Figura 2-8: Molino de martillos. Fuente: SD Servicios Industriales, 2021.

- **MOLINO DE BOLAS**

El molino de esferas (bolas) gira sobre un eje horizontal y en su interior contiene bolas generalmente de acero (forjado, fundido o hierro colado). La disminución del tamaño se realiza mediante el impacto de la caída de la herramienta sobre la materia. La alimentación y descarga del material se realiza a través de muñones huecos en los extremos del molino, como se observa en la figura 2-9.

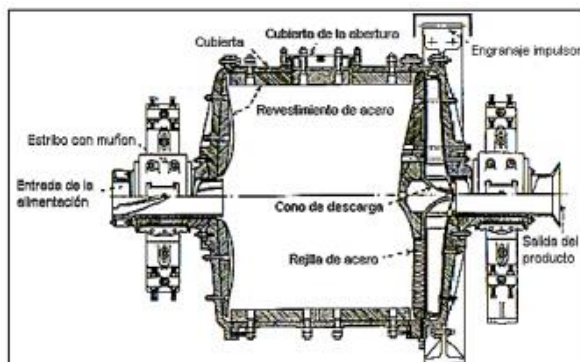


Figura 2-9: Partes y vista interna de un molino de barras. Fuente: Méndez Andrade y Orellana Chiriboga, 2018.

Este tipo de molino funciona por el giro del cilindro con bolas de acero. La rotación suele ser de 4 a 20 rpm, lo más lento será la rotación. Este tipo de molino se utiliza generalmente para triturar material de $\frac{1}{4}$ in incluso más fino. Para realizar este efecto la maquina debe funcionar en un sistema cerrado.

Como se muestra en la figura 2-10, el armazón tubular gira sobre su propio eje, donde se encuentran las bolas entre 35 a 45% de nivel de llenado y

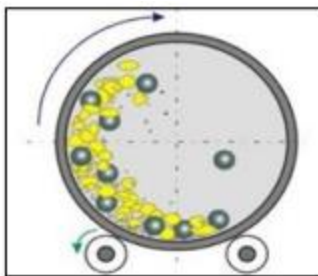


Figura 2-10: Vista frontal del funcionamiento del molino de bolas. Fuente: Méndez Andrade y Orellana Chiriboga, 2018.

generalmente opera en circuito cerrado con un clasificador (Méndez Andrade y Orellana Chiriboga, 2018).

El molino de bolas es un equipo utilizado en los campos de la industria minera, construcción, abono, cerámica, vidrio, entre otros. Tiene dos procesos para molienda: el seco y el húmedo. El trabajo mediante esta máquina supone un ahorro energético (Méndez Andrade y Orellana Chiriboga, 2018).

- **MOLINO DE BARRAS**

Este tipo de molino utiliza las barras para la trituración, las cuales muelen el material a través del giro en el interior del mecanismo. Son cilindros horizontales largos con rotación axial, que contienen barras de acero de longitud igual a la del molino, como se muestra en la figura 2.11 (Méndez Andrade y Orellana Chiriboga, 2018).

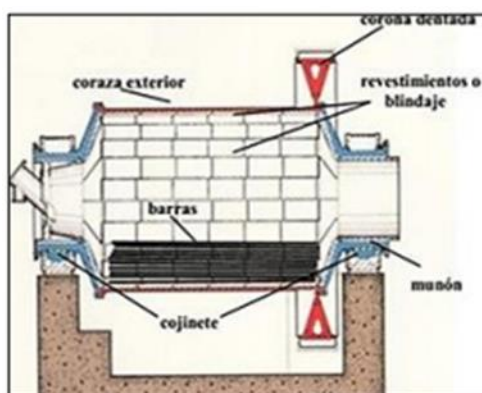


Figura 2-11: Partes y vista interna de un molino de barras. Fuente: Méndez Andrade y Orellana Chiriboga, 2018.

El material se va moliendo por la acción del movimiento de las barras que se encuentran libres hasta alcanzar la granulometría requerida. Luego el material molido continúa con su proceso natural. El molino de barras es utilizado en minas de metal, industrias de vidrio, materiales de construcción y molienda de diversos minerales, rocas y arena artificial (Méndez Andrade y Orellana Chiriboga, 2018).

2.3 CARACTERÍSTICAS DEL ARROZ

2.3.1 DEFINICIÓN

El arroz es un cultivo que realiza el hombre desde hace mucho tiempo, aproximadamente 10 000 años, este grano proporciona un aporte mayor de calorías por hectárea que cualquier otro cereal cultivado. El arroz es la base de la alimentación en los países asiáticos. Este grano constituye uno de los

principales alimentos para más de la mitad de la población mundial, es el segundo cereal en producción y uso de alimentación después del trigo (María P. Nora R. Maite S. 2015).

Se puede cultivar en diferentes altitudes, tanto a 3000 m de altitud, como a nivel del mar, y en un rango de latitudes de 53°N en China, hasta los 35°S en Australia (María P. Nora R. Maite S. 2015)

El principal valor económico del arroz a diferencia de otros granos se encuentra en el grano entero para el consumo humano, sin otra elaboración más que molerlo. (María P. Nora R. Maite S. 2015).

2.3.2 CLASIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE ARROZ

El arroz es una planta muy resistente ya que tolera diversas condiciones ambientales, resiste al calor, la humedad, inundaciones, aridez, frío, suelos salinos etc. Existen 20 variedades, sin embargo, se cultivan solamente dos: *Oriza glaberrima* procedente del África occidental y *Oriza sativa* procedente del África occidental (Concha Bernad, 2015).

El arroz se puede clasificar por diferentes criterios entre ellos tenemos:

- Proceso industrial.
- Variedad.
- Tipo de grano.
- Color.

2.3.2.1 PROCESO INDUSTRIAL

- **Con cáscara:** también llamado arroz paddy, el arroz sigue cubierto con una cáscara que lo envuelve finamente después de la trilla

- **Descascarillado:** o arroz cargo/ arroz pardo, se elimina la cáscara, se muele para separarla, pero no se pule, por lo que se conserva la capa de salvado y el germen, este tipo de arroz tiene un sabor a frutos secos y requiere una cocción de larga duración.
- **Semiblanqueado o blanqueado:** también llamado arroz blanco, es despojado de la cascara, las partes externas del pericarpio y parte del germen, este tipo de arroz se pule pasándolo por conos de blanquear o máquinas de cepillado.
- **Glaseado:** se cubren los granos de arroz ya sea con glucosa o con aceite.
- **Precocido:** es cocido previamente, casi al punto para disminuir el tiempo de cocción.
- **Escaldado o vaporizado:** con cáscara es introducido en agua o vapor y luego es secado.
- **Partido:** también llamado miga de arroz, es el que se rompe durante el proceso de transformación, tiene menos nutrientes y una textura baja en fibra, este arroz es de calidad inferior y se utiliza para la elaboración de harina, piensos para mascotas, vino de arroz etc.

2.3.2.2 VARIEDAD

- **Japónico:** es el más común y el que más se cultiva en el mundo, tiene alto contenido de almidón lo que lo hace muy absorbente, necesita un tiempo mayor de cocción.
- **Indico:** cultivado en los trópicos, el grano es largo y resistente, permanece suelto después de la cocción, es procedente de Asia y posee menos almidón que el Japonico.

2.3.2.3 TIPO DE GRANO

- **Arroz de grano largo:** el grano del arroz es tres veces más largo que ancho, contiene un 22% de amilosa por lo que es necesario mayor cantidad de agua para el proceso de cocción, el grano suele permanecer suelto y elástico durante largo tiempo, es del tipo de arroz más utilizado en Asia.
- **Arroz de grano medio:** tiene facilidad de absorber sabores, después de la cocción duplican o triplican su volumen, son perfectos para arroces caldosos o secos, tienen menos amilosa, es más corto y grueso, tiene una textura suave tras la cocción.
- **Arroz de grano corto:** este tipo de arroz necesita menos agua para su cocción, el almidón está formado mayormente por amilopectina, sin contener apenas amilosa. Es conocido como arroz pegajoso o glutinoso y es muy utilizado en Asia.

2.3.2.4 COLOR

El color del arroz depende de que cantidad posea de antocianina, un pigmento presente en la capa exterior del grano, los colores varían desde el blanco, al rojo traslúcido, púrpura hasta negro.

- **Arroz negro:** su origen es en China, cuenta con grandes propiedades nutricionales, un aroma excelente y un buen sabor, por lo que su consumo se ha ido expandiendo en diferentes países. Es cuatro veces más largo que su ancho y contiene un 22% de amilosa, por lo que se necesita mucha agua para su cocción, como resultado da un grano elástico, firme y suelto.
- **Arroz rojo:** su nombre es debido a la cáscara que lo rodea que es de color rojo y no ha sido eliminada, es una variedad del arroz integral, por lo que

es muy rico en fibra y minerales. Tiene un tiempo de cocción de aproximadamente 35 minutos, sin embargo, es necesario dejarlo en remojo por un tiempo. (Concha Bernad, 2015).

Las variedades de arroz que se consumen en El Salvador son arroz blanco y arroz precocido (Actualización del estudio sobre la caracterización de la agroindustria arrocera y sus condiciones de competencia en El Salvador, julio 2012). Dichas variedades ya se han descrito, sin embargo, por ser de nuestro interés es necesario ampliar sus propiedades.

- **Arroz blanco:** 1 taza proporciona 410 cal, 2 mg de sodio, 4 g. de proteínas, 1 g de fibra dietética y aproximadamente 5% de magnesio. Este alimento tiene muchos beneficios para la salud entre ellos se destaca:
- Las proteínas encontradas en el arroz blanco contribuyen en la formación y reparación de los tejidos musculares, por lo que mantiene en buen estado la piel, cabello y uñas.
- Gracias a la fibra ayuda a regular el sistema digestivo.
- Cuenta con propiedades antiinflamatorias
- Mejora la salud del sistema nervioso y del corazón.
- Ayuda a controlar la presión arterial elevada.
- Fortalece los huesos (oksalud, 2017).

Arroz precocido: este tipo de arroz es más nutritivo que el arroz blanco, ya que se somete el arroz con cáscara a un remojo a 60 °C y luego a una fuerte presión de vapor, logrando de esta manera conservar, más vitaminas y minerales. Por lo mencionado anteriormente el arroz precocido requiere un menor tiempo de cocción (Marta Fernández, 2021),

Tanto el arroz precocido como el arroz blanco se puede obtener fácilmente en nuestro país ya sea por distribuidoras, supermercados o tiendas.

2.3.3 PROPIEDADES

El arroz es uno de los alimentos más consumidos en todo el mundo, sobre todo en Asia, y Latinoamérica. Constituye un alimento básico que cuenta con muchas propiedades nutritivas (Lorena García, 2022)

- **Rico en energía:** El arroz aporta gran cantidad de energía, ya que es rico en carbohidratos y proteínas. Su consumo aumenta la actividad metabólica gracias a las vitaminas, minerales y los componentes orgánicos que lo componen.
- **Rico en fibra:** Especialmente el arroz integral incluye mucha fibra que es un nutriente beneficioso para nuestros procesos digestivos.
Este nutriente favorece la absorción de nutrientes en el intestino y previene la aparición de estreñimiento. Su alto contenido en fibra provoca que sea un alimento que sacia por lo que evita comer en exceso.
- **Bajo en grasas:** Es un cereal con baja presencia de grasa. El colesterol y el sodio no forman parte de este nutriente por lo que es un alimento ideal para una dieta equilibrada.
- **Protege el sistema cardiovascular:** La presencia de potasio y su bajo contenido en sodio favorecen la estabilidad de la presión arterial y el control de la frecuencia cardíaca, además como se menciona antes su bajo contenido en grasas y altos niveles de fibra impacta de manera positiva, ya que absorbe la abundancia de lípidos y los elimina a través del intestino. Su contenido de magnesio aporta en la protección de las arterias.

- **Previene enfermedades como cáncer y Alzheimer:** El arroz es capaz de prevenir estas enfermedades gracias a los elementos que lo componen, por ejemplo, la presencia de fibra favorece el funcionamiento correcto del sistema digestivo lo que elimina el impacto de sustancias cancerígenas en el intestino. De igual forma el arroz en especial el integral se compone de nutrientes que favorecen la parición y actividad de neurotransmisores, esta característica lo convierte en un ingrediente de mucho valor para prevenir enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer (Lorena García, 2022).

2.3.4 ELABORACIÓN DE HARINA

El arroz es un cereal con mayor resistencia a la rotura que el trigo, y en el proceso de molienda tras descascarillar el grano, se elimina el salvado y el germen mediante abrasión. El grano de arroz sin salvado ni germen se denomina arroz blanco, este tipo de arroz se comercializa tal cual, sin embargo, en el proceso de obtención, algunos granos se quiebran y deben separarse. Debido a que los granos quebrados es un factor de baja calidad, a estos granos se les conoce como miga de arroz (Innograin, 2021).

Los granos quebrados son tradicionalmente la materia prima para la obtención de harina de arroz, ya que constituyen un subproducto de las fábricas procesadoras de arroz, por lo que resulta más económico que el grano entero. Sin embargo, por el alto consumo de harina de arroz, especialmente para productos que no poseen gluten, resulta frecuente recurrir a la compra de granos enteros (arroz blanco) debido a la falta de granos quebrados (Innograin, 2021).

Los granos quebrados o partidos pueden ser molidos y obtener harina por tres métodos diferentes: molienda humedad, semiseca y seca.

- **Molienda humedad:** consiste en mojar los granos en agua, luego se escurren, son molidos en presencia de agua esto con el objetivo de reducir la cantidad de almidón dañado.
- **Molienda semiseca:** este método consiste en remojar los granos de arroz, con la diferencia que la molienda se hace en ausencia de agua.
- **Molienda seca:** consiste en la trituración y reducción del tamaño de los granos quebrados; La harina resultante se usa en alimentos infantiles, extruidos y diversos productos de panificación (María P. Nora R. Maite S. 2015).

Existen muchos sistemas para realizar la molienda del arroz, los más utilizados son los molinos de martillos y los molinos de cilindro. Como se mencionó anteriormente el arroz es más duro que el trigo, por lo que para obtener una harina fina es necesario un mayor esfuerzo energético y dañar una mayor cantidad de almidón (Innograin, 2021).

La molienda en un molino de martillos consiste en una serie de impactos y fricción continuada hasta que se forman partículas con un tamaño inferior al tamiz colocado, momento en que salen las partículas de arroz del molino. La molienda realizada con rodillos es más progresiva, por lo que se daña una menor cantidad de almidón y permite obtener fracciones con características diferenciadas (Innograin, 2021).

2.3.5 FUERZA DE RUPTURA

Para conocer la fuerza que se necesita para producir la ruptura de la materia a transformar en harina se tuvo a bien realizar un experimento que consiste en dejar caer un peso sobre el material, la altura a la que el peso será soltado en caída libre se variará hasta conseguir que la energía potencial

generada cause el rompimiento de material. En nuestro caso la materia a transformar en harina es el arroz.

2.3.5.1 ENERGIA NECESARIA PARA LA RUPTURA DE UN GRANO DE ARROZ

Con respecto al tamaño de grano de la harina deseado este varía según la aplicación que tendrá la harina, en molinos de bolas o de martillos se utilizan mallas que van desde 4 a 12 mm en la pre-molienda que normalmente es utilizada para rebajar el tamaño de granos grandes como el maíz, pero para granos pequeños como lo es el arroz se tiene mallas de 0.8 a 3 mm, este tamaño puede reducirse aún más según las especificaciones del producto a obtener llegando algunas veces hasta los 0.05 mm. Ya que en este apartado únicamente se necesita conocer la energía mínima para que el grano se rompa no será necesaria la medición de la granulometría a obtener en la ruptura (Pavón Céspedes, J. A. 2013).

Para la prueba se empleó una masa de 0.075 kg (figura 2-13) y tras una serie de ensayos se determinó que a la altura de 5 cm (ver anexo H) el grano de arroz blanco (figura 2-12) llegó al punto de ruptura (figura 2-14, con estos datos se calculó la energía de triturado con la siguiente ecuación (Pavón Céspedes, J. A. 2013):

$$E_{ruptura} = mgh \quad (2-1)$$

Dónde:

m : masa que se dejó caer sobre los granos de arroz

h : altura desde donde se soltó la masa

g : aceleración de la gravedad

$$\therefore E_{ruptura} = 0.075 * 0.05 * 9.81$$

$$E_{ruptura} = 0.037 \text{ Nm}$$



Figura 2-12: Arroz blanco. Fuente propia



Figura 2-13: Balanza utilizada para medir la masa. Fuente propia.



Figura 2-14: Resultado de la prueba. Fuente propia.

2.4 ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS

2.4.1 DEFINICIÓN

La simulación computacional se utiliza ampliamente en las empresas para hacer análisis y mejorar la calidad de los productos y proyectos. La mayoría de estos análisis se llevan a cabo mediante uso de softwares que utilizan el Método de Elementos Finitos, lo cual permite obtener respuestas para numerosos problemas de ingeniería. (Moisés Garza, L. F. 2007).

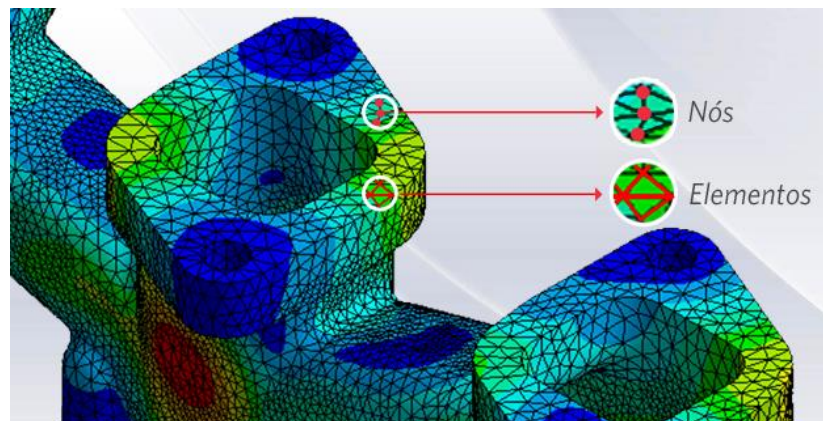


Figura 2-15: Ejemplo de nodos y elementos de una pieza. Fuente: ESSS, Engineering simulation and scientific software, 2006.

El método consiste en que La geometría de la pieza, sometida a cargas y restricciones, se subdivide en partes más pequeñas, conocidas como “elementos”, que representan el dominio continuo del problema (ver figura 2-15) La división de la geometría en pequeños elementos resuelve un problema complejo, al subdividirlo en problemas más simples, lo que permite a la computadora hacer las tareas con eficiencia. (Moisés Garza, L. F. 2007).

El método propone que un número infinito de variables desconocidas, sean sustituidas por un número limitado de elementos de comportamiento bien definido. Esas divisiones pueden tener diferentes formas, tales como triangular, cuadrangular, entre otros, dependiendo del tipo y tamaño del problema. Como el número de elementos es limitado, son llamados de “elementos finitos”. (Moisés Garza, L. F. 2007).

Los elementos finitos están conectados entre sí por puntos, que se llaman nodos o puntos nodales. Al conjunto de todos estos ítems, elementos y nodo, se lo denomina malla. Debido a las subdivisiones de la geometría, las ecuaciones matemáticas que rigen el comportamiento físico no se resolverán de una manera exacta.

La precisión del Método de Elementos Finitos depende de la cantidad de nodos y elementos, del tamaño y de los tipos de elementos de la malla. Por lo tanto, cuanto menor sea el tamaño y mayor el número de elementos en una malla, más precisos serán los resultados del análisis. (Moisés Garza, L. F. 2007).

2.4.2 MÉTODO

El método de elementos finitos es casi indispensable debido a que, en algunas disciplinas, que utilizan con mayor frecuencia este tipo de metodología

como la física, matemáticas o ingeniería, no les es posible obtener soluciones analíticas a partir de expresiones matemáticas. (Moisés Garza, L. F. 2007).

Una solución analítica es aquella expresión matemática que arroja resultados con determinadas incógnitas que requieren la solución de ecuaciones diferenciales, las cuales debido a su complejidad son imposibles de resolver. Sin embargo, gracias a este tipo de metodologías se permite que el problema sea planteado como una serie de ecuaciones algebraicas simultaneas, en lugar de utilizar una resolución a partir de ecuaciones diferenciales complejas. (Moisés Garza, L. F. 2007).

Actualmente al momento de analizar un elemento mecánico el proceso se puede llevar a cabo mediante la forma clásica o mediante la utilización de un método computarizado de elementos finitos. (Moisés Garza, L. F. 2007).

La diferencia principal entre el método clásico y el de elementos finitos, es la forma en que éstos perciben la estructura durante el procedimiento para llegar a la solución. Los métodos clásicos consideran la estructura como un continuo, cuyo comportamiento está gobernado por ecuaciones diferenciales ordinarias. El método de los elementos finitos considera a la estructura como un ensamble de pequeñas partículas de tamaño finito (elementos finitos). El comportamiento de las partículas y de la estructura global es obtenido formulando un sistema de ecuaciones algebraicas que pueden ser rápidamente resueltas con un computador. (Moisés Garza, L. F. 2007).

El método de elementos finitos es un método numérico generalmente utilizado para la solución de problemas con alto grado de dificultad, ya que involucran geometrías complejas, determinación de propiedades de

materiales y cargas no distribuidas. El análisis por elementos finitos es un método computarizado para predecir como un objeto real reaccionará a fuerzas, calor, vibración, flujo de fluidos, fenómenos eléctricos y magnéticos, entre otros. En términos generales se refiere a si éste se romperá, fallará o trabajará como fue diseñado. (Moisés Garza, L. F. 2007).

En el análisis de elementos finitos no se intenta resolver el problema como si fuese una sola pieza, sino por el contrario se subdivide el elemento en un número finito de elementos que a su vez arrojan resultados individuales que como conclusión se fusionan para generar una sola solución. (Moisés Garza, L. F. 2007).

Dentro de la ingeniería mecánica, las aplicaciones prácticas en la mecánica de sólidos pueden agruparse en dos grandes familias: la de los problemas asociados con sistemas discretos y la de los problemas asociados a sistemas continuos. En los primeros sistemas lo que se analiza está dividido de forma natural, es decir en elementos claramente definidos (como las armaduras). En el segundo caso el sistema no puede ser dividido en forma natural, en unidades simples, por lo que su análisis resulta mucho más complejo, por esta razón es necesario utilizar el método de elemento finito. (Moisés Garza, L. F. 2007).

El comportamiento mecánico de cada parte o elemento, en los que se subdivide el elemento analizado, queda definido por un número finito de parámetros llamados grados de libertad, asociados al o los nodos que conectan los elementos. Para definir el comportamiento en el interior de cada elemento se supone que, dentro del mismo, todo queda perfectamente definido a partir de lo

que sucede en los nodos a través de una adecuada función de interpolación. (Moisés Garza, L. F. 2007).

Como puede apreciarse, en el método de elementos finitos es casi esencial el concepto de discretización (Proceso transformar la naturaleza continua de funciones, modelos, variables y ecuaciones a contrapartes discretas aproximadas y de interpolación). Por lo tanto, este es un método aproximado desde múltiples perspectivas. (Moisés Garza, L. F. 2007).

Esta presentación aproximada de la realidad en forma de un modelo numérico permite la resolución del problema. Los diversos coeficientes del modelo son automáticamente calculados por el ordenador a partir de la geometría y propiedades físicas de cada elemento. (Moisés Garza, L. F. 2007).

Sin embargo, queda en manos del usuario decir hasta qué punto la discretización utilizada en el modelo representa adecuadamente el modelo de la estructura. La discretización correcta depende de diversos factores como son el tipo de información que se desea extraer del modelo o tipo de solicitud aplicada. Actualmente el método de los elementos finitos ha sido generalizado hasta constituir un potente método de cálculo numérico. (Moisés Garza, L. F. 2007).

2.4.3 CARACTERÍSTICAS.

Las características que se describirán sobre el método tendrán relación con problemas de ingeniería, pero únicamente de análisis estructural, solo para dar una idea de la manera de analizar de este método. (Moisés Garza, L. F. 2007).

Una de las metodologías más comunes utilizadas por los ingenieros para el análisis de un problema estructural es la determinación tanto de los esfuerzos como los desplazamientos de la estructura. Estas estructuras se encuentran en equilibrio ya que son sometidas a cargas determinadas. (Moisés Garza, L. F. 2007).

En gran parte de los análisis estructurales no es sencillo poder determinar la distribución de deformaciones siguiendo métodos tradicionales, por lo que el método de elementos finitos es una excelente opción para considerar. Existen dos aspectos generales relacionados al entendimiento y aplicación de este método. (Moisés Garza, L. F. 2007).

El primero se denomina método de fuerza o flexibilidad, el cual se basa en el uso de fuerzas internas tales como las incógnitas del problema. Para poder obtener las ecuaciones gobernantes anteriormente se tienen que resolver las ecuaciones de equilibrio. Es importante aclarar que las ecuaciones gobernantes son expresadas en términos de desplazamientos nodales usando las ecuaciones de equilibrio en cada nodo, para que se aplique la relación de fuerza y desplazamiento. A continuación, es necesario introducir ecuaciones adicionales generadas por las ecuaciones de compatibilidad. (Moisés Garza, L. F. 2007).

Con todo esto se obtendrá el resultado surgido de la unión de todas de las ecuaciones algebraicas y se podrán determinar las fuerzas internas desconocidas. (Moisés Garza, L. F. 2007).

El segundo aspecto de método de elemento finito es conocido como el método de desplazamiento o método de rigidez. Su característica principal es que las incógnitas del problema son asumidas a partir del desplazamiento de nodos. También se necesita que los elementos estudiados se interconecten por

nodos comunes entre sí, a lo largo de un eje o Superficie común, de tal manera que aun después de que se presente la deformación, los nodos permanecerán conectados al nodo común. (Moisés Garza, L. F. 2007).

A cada elemento se le asocia a cada una función de desplazamiento. De esta manera, cada elemento interconectado se liga entre sí, ya sea de manera directa o indirecta a través de interfaces comunes como bordes, nodos y superficies. (Moisés Garza, L. F. 2007).

Cuando se tienen incógnitas de propiedades de materiales en una estructura en la cual se estudian tanto el esfuerzo como la deformación, es posible determinar el comportamiento de un nodo específico en relación a las propiedades de cualquier otro elemento en la estructura. (Moisés Garza, L. F. 2007).

Finalmente, al momento de generar el arreglo total de las ecuaciones, es posible describir el comportamiento de cada uno de los nodos en una serie de ecuaciones algebraicas. (Moisés Garza, L. F. 2007).

Para poder tener una mejor comprensión de todo el proceso, las ecuaciones son expresadas en notación matricial lo que ocasiona que su solución se vuelva mucho más sencilla. (Moisés Garza, L. F. 2007).

2.4.4 APLICACIONES PARA EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

El método puede ser aplicado en la resolución y diagnóstico de problemas de análisis estructural para la obtención de desplazamientos, deformaciones y tensiones, también permite representar diferentes escenarios y evaluar el rendimiento de productos con aplicación de criterios de resistencia, rigidez o fatiga. También las variaciones del método de los elementos finitos

permiten hacer análisis térmico, acústico, dinámico, electromagnético y de flujos de los casos más simples de comportamiento lineal al no lineal, como cuando se tienen grandes desplazamientos o contacto entre las partes de un conjunto. (Mirlisenna, G., 2016-01-22).

Es posible con las tecnologías actuales hacer integraciones con los softwares utilizados en el desarrollo de representación geométrica – conocidos como CAD (Computer-Aided Design) – con los sistemas basados en el Método de Elementos Finitos – llamados de CAE (Computer-Aided Engineering). Esa integración permite lograr los mejores resultados con un análisis más eficiente y ágil. (Mirlisenna, G., 2016-01-22).

2.5 SOFTWARE PARA SIMULACION EN CARGA ESTÁTICA Y ESTUDIO DEL MOVIMIENTO

2.5.1 ESTRUCTURA Y FUNCIONES DE UN SOFTWARE DE ELEMENTOS FINITOS

En un software para el análisis de elementos finitos interactúan numerosas operaciones. Por este motivo suelen estar divididos en segmentos, de los cuales cada uno efectúa una operación determinada. Sin embargo, el programa no solamente se limita al cálculo de algoritmos. La generación de los datos y el análisis de los resultados numéricos, que aparecen como producto del cálculo son esenciales para concluir el análisis satisfactoriamente (Robles, E. 2016).

Así pues, un paquete de cálculo de elementos finitos consta de un post procesador, un procesador en el cual se incluye la preparación de datos y se generan los archivos de resultado, y finalmente está el post procesador que facilita el análisis e interpretación de los resultados, generalmente en forma de

gráfica mediante el trazado de curvas, gráficos tridimensionales, tablas, entre otros (Robles, E. 2016).

Uno de los análisis más utilizados es el estático, que permite la determinación de los componentes de los nodos por efecto de una solicitación estática y en una segunda fase, la determinación del estado en ciertos puntos característicos de cada elemento. Este tipo análisis permite acotar la deformación del componente de estudio y localizar zonas altamente solicitadas o zonas de solicitación baja (Robles, E. 2016).

2.5.2 SOFTWARE DE SIMULACION PARA CARGA ESTATICA

2.5.2.1 SOLIDWORKS SIMULATION PROFESSIONAL

Este software proporciona capacidades potentes y fáciles de usar, que permiten realizar simulaciones multifacéticas secuenciales. Las distribuciones de temperatura de un análisis térmico transitorio o estático se pueden incluir en un análisis estático lineal, de modo que los efectos de la expansión térmica del material se pueden incluir en los cálculos de tensión.

Se pueden realizar una gran variedad de análisis hipotéticos modificando los parámetros del modelo, los materiales, las cargas y las restricciones para decidir cuál es el diseño más óptimo o resistente (SolidServicios. 2019, 30 mayo).

Solidworks Simulation permite recrear de manera virtual las condiciones a las que se enfrenta un sólido durante su ciclo de vida y ayuda a identificar métodos para lograr alargarla. Es posible predecir con exactitud como interactuarán los componentes, el modo en que las cargas repetidas afectaran al rendimiento debido a la fatiga, y como un diseño se comportará en una prueba de caídas (SolidServicios. 2019, 30 mayo).

3. SELECCIÓN DEL PROTOTIPO

3.1 CARACTERÍSTICAS SEGÚN CLASIFICACIÓN

3.1.1 EFICIENCIA DE MOLIENDA

Este es uno de los aspectos más importantes a considerar dentro del proyecto, pues se requiere que exista la menor pérdida de materia prima posible, ya que esto se traduce en pérdidas económicas. También es importante garantizar que todo el producto que entre por la tolva del molino sea perfectamente pulverizado, y no se acumule en el molino.

3.1.2 HIGIENE DEL PRODUCTO FINAL

3.1.2.1 DISPOSICIONES DE LA NORMATIVA SALVADOREÑA SOBRE BUENAS PRÁCTICAS EN LA PRODUCCIÓN DE HARINAS

De acuerdo con la Norma Salvadoreña NSO 67.03.01:01 establecida por Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) como norma general, se recomienda que el producto final esté regulado por las disposiciones en conformidad con el Código Internacional de Prácticas Recomendado – Principios Generales de Higiene de los Alimentos (CAC/RCP 1- 1969, Rev. 2 1985, Codex Alimentarius Vol. 1B), y otros códigos de prácticas recomendadas por la comisión del Codex Alimentarius (CONACYT, 2010).

En la medida de lo posible, con arreglo de las buenas prácticas de fabricación, el producto estará exento de materiales objetables (CONACYT, 2010).

Cuando se analice mediante métodos apropiados de muestreo y análisis, el producto (CONACYT, 2010):

- Deberá estar exento de microorganismos en cantidades que puedan representar peligro para la salud.
- Deberá estar exento de parásitos que puedan representar un peligro para la salud.
- No deberá contener ninguna sustancia procedente de microorganismos en cantidades que puedan representar un peligro para la salud.

3.1.2.2 ACEROS ESPECIALES PARA APLICACIONES ALIMENTICIAS

Existe una gran variedad de aceros inoxidable utilizados en la industria alimentaria. Con el paso de los años, fabricantes y desarrolladores han logrado implementar diversas aleaciones en relación con cada área de los alimentos, con el fin de cubrir todas las necesidades del sector (Lara, F. 2021).

El acero inoxidable se caracteriza por ser resistente a la corrosión debido a su contenido de níquel, cromo y manganeso en los porcentajes adecuados. El hecho que tenga una resistencia muy alta a la oxidación lo vuelve un material sumamente higiénico e ideal para la conservación, contención y almacenamiento de productos alimenticios de todo tipo. Además, el acabado superficial que posee este tipo de aceros lo vuelve fácil de limpiar, pues no necesita métodos de desinfección costosos ni complicados, manteniéndose limpio y brillante con aseos sencillos (Lara, F. 2021).

3.1.2.2.1 PRINCIPALES TIPOS DE ACEROS INOXIDABLES

Debido a las propiedades inalterables del acero inoxidable, éste se posiciona como uno de los metales obligatorios para los fabricantes. Hay cientos de composiciones y variaciones para toda clase de áreas como la construcción y gastronomía; sin embargo, actualmente se clasifican en tres grupos principales: los martensíticos, los ferríticos y los austeníticos. Por otro lado, existen otros dos

que derivaron de la necesidad de tener mayor resistencia a la corrosión y a las presiones mecánicas: el acero dúplex y los endurecibles por precipitación. Los tres primeros son el punto de partida y objeto de interés para el caso de estudio que se está presentado, además de ser los que poseen una amplia gama de variaciones de aceros que se ofrecen en el mercado. Lo que marca la diferencia entre todo es la resistencia a las temperaturas, químicos y sustancias diversas, ya que cada uno tiene diferentes grados de cromo, carbono y níquel (Lara, F. 2021).

- **ACEROS INOXIDABLES MARTENSÍTICOS:** Compuestos fundamentalmente de carbono y cromo. Son las conocidas series “400” y tiene propiedades magnéticas, no soporta soldaduras, tiene baja resistencia a la corrosión y es bastante duro, por lo que las presiones mecánicas no son un problema. Se usan principalmente en el área de la mecánica (Lara, F. 2021).
- **ACEROS INOXIDABLES FERRÍTICOS:** Tienen gran importancia en el área de los equipos comerciales como cubiertos, tornillos, instrumentos dentales, tuberías de gas y hasta piezas deportivas. Son medianamente resistentes a la corrosión porque cuentan con carbono hasta el 18% y cromo en un máximo de 2%. Además, poseen propiedades magnéticas (Lara, F. 2021).
- **ACEROS INOXIDABLES AUSTENÍTICOS:** Sus propiedades proporcionan una gran variedad de posibles aplicaciones y figura como los ideales para la industria alimentaria. Cuentan con unas amplias presentaciones de aleaciones y todas son altamente resistentes a los extremos térmicos, no son magnéticos, soportan la presión mecánica, no se oxidan y su composición permite que se puedan modelar con facilidad (Lara, F. 2021).

3.1.2.2.2 TIPOS DE ACEROS INOXIDABLES UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA

Los tipos de aceros inoxidable utilizados en la industria alimenticia son las aleaciones AISI 316, AISI 430 y AISI 304. Son ideales para entrar en contacto con alimentos y conservarlos por largos periodos de tiempo. Además de soportar un amplio rango de temperaturas y pueden ser desinfectados con facilidad sin importar el tipo de sustancia con la que entraron en contacto (Lara, F. 2021).

- **ACERO INOXIDABLE AISI 316:** Se encuentra dentro del grupo de los aceros austeníticos. Es uno de los principales utilizados en la industria de los alimentos porque soporta la exposición a sustancias corrosivas como químicos, sal, vinagre, limón y cualquier otro compuesto ácido-cítrico que podría dejar marcas y daños en otros aceros con menores cantidades de cromo y níquel (Lara, F. 2021).
- **ACERO INOXIDABLE AISI 430:** Pertenece a los aceros ferríticos y esto lo hace magnético. Es igualmente resistente a la corrosión como el 316, pero la diferencia es que contiene menos porcentaje de níquel; es decir, tiene costos menores siendo más accesible para toda clase de fabricantes e industrias (Lara, F. 2021).

Debido a que se consume con clases específicas de ácidos de las comidas, es usado en situaciones concretas y mayormente se busca para remates de adornos y elementos de construcción (Lara, F. 2021).

- **ACERO INOXIDABLE AISI 304:** Es el acero austenítico más común. Su contenido en níquel suele oscilar entre el 8 y el 10,5% de su peso y su contenido en cromo suele situarse entre el 18 y el 20% de su peso. Se trata de proporciones elevadas que dan al acero inoxidable 304 una gran

resistencia a la corrosión. Además, también contiene elementos de aleación importantes como el manganeso, silicio y carbono, igual que el inoxidable 316. El resto de la composición química es básicamente hierro (Ferros Planes, 2018).

Para muebles de exterior como rieles y bolardos, el acero inoxidable es un material ideal resistente a la corrosión, pero solo resistirá la exposición a largo plazo si la calidad es adecuada para su entorno. 304 es una opción económica y práctica para la mayoría de los entornos, pero no tiene la resistencia al cloruro de 316. Otros ejemplos de aplicaciones son: fregaderos y salpicaderos, cacerolas, cubiertos, vajilla, paneles arquitectónicos, sanitarios y abrevaderos, tubería, arandelas, tuercas, tornillos, equipos de cervecería, equipos de producción alimentaria y farmacéutica (Ferros Planes, 2018).

3.1.3 MANTENIMIENTO

El mantenimiento se define como el conjunto de tareas y técnicas que están destinadas a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible y con un máximo rendimiento, además esto involucra una disponibilidad elevada (S.G Garrido, 2010).

Cualquier equipo, máquina con piezas móviles o piezas giratorias requieren de mantenimiento, esto con el fin de garantizar que la maquina se encuentre en capacidad óptima (Schutte, 2016).

Los molinos al igual que cualquier equipo necesitan mantenimiento, sin embargo, de acuerdo al tipo de molino y los componentes que estos posean se aplican las técnicas de mantenimiento.

- **Molino de viento:** un molino de viento está sometido a diferentes condiciones ambientales, ya que gran parte de él se encuentra expuesto. Los metales son muy sensibles al ataque de las sales que se encuentran en el aire, como consecuencia se produce oxidación o corrosión inicialmente en la superficie. Por lo que, para proteger las partes metálicas de la oxidación y corrosión, se usan recubrimientos superficiales como pinturas anticorrosivas, este recubrimiento aísla el metal del contacto con el aire.

Los molinos de vientos tienen muchas piezas móviles, por lo que al entrar en contacto entre si dichas piezas se produce desgaste superficial, esto reduce el rendimiento del molino. Para evitar el desgaste se deben lubricar estas piezas móviles, de esta manera se logra una mayor vida útil del molino (Miguel Vega, Mauricio Gonzales, Fernando Molina, Universidad Nacional de Colombia).

- **Molino de muelas:** generalmente en estos molinos la potencia necesaria para realizar la moliente la suministra un motor eléctrico y la relación de transmisión es 1:1 directamente acoplado al eje del molino. En este tipo de molinos no se realizan mayores actividades de mantenimiento, generalmente los rodamientos vienen sellados y engrasados de por vida, sin embargo, pueden existir modelos que no sea así y estos requieran actividades de lubricación o incluso un reemplazo tras ciertas horas de funcionamiento.

Las muelas son elementos que están sometidas a desgaste, por lo que es necesario reemplazarlas tras un cierto número de horas de funcionamiento, sin embargo, para alargar su vida útil es necesario realizarles una limpieza tras el uso del molino (SANTOS, 2021).

- **Molino de rodillos:** el mantenimiento de este tipo de molinos se centra en la limpieza de los rodillos, durante la trituración de los granos, puede haber material pulverulento adherido a la superficie de los rodillos, por lo que si no se limpia a tiempo esto afectará en la molienda. Para la limpieza un rodillo adopta un cepillo limpiador y el otro rodillo adopta un dispositivo llamado raspador para limpiar. Es importante tener en cuenta el ajuste entre los dispositivos de limpieza ya que un ajuste excesivo provocará abrasión el cual es perjudicial para la máquina, si no está correctamente ajustado la limpieza será deficiente. Por ser una máquina con piezas de rotación, cuenta con rodamientos el cual se deben lubricar en caso de no ser sellados, si son sellados se deben reemplazar cada cierto número de horas de funcionamiento. Si el molino cuenta con más piezas móviles es necesario la correcta lubricación para prevenir el desgaste por fricción (Henan, 2017).
- **Molino de martillos:** este tipo de molinos tiene muchas piezas móviles por lo que el reemplazo e inspección periódica resulta esencial para los componentes que están sujetos a desgaste. Para evitar tiempos de inactividad se recomienda tener un juego de los siguientes componentes:
 - **Martillos:** los martillos pueden ser reversibles, es decir se pueden sujetar de ambos extremos. Cuando ambos bordes cortantes estén bien redondeados y la máquina no está en su eficiencia óptima los martillos deben reemplazarse.
 - **Barras de martillo:** Una buena práctica es inspeccionar las barras de martillos cada vez que se giren los martillos o se reemplacen. Cambiar las barras de martillo una vez se observen canales en ellas.

Criba: es un factor clave en el tamaño final de las partículas, se deben reemplazar cuando las perforaciones se convierten en alargadas o bordes redondeados.

Rodamientos: son los elementos que llevan la carga del rotor, estos elementos se desgastan con el tiempo. Se deben reemplazar cuando emiten un calor excesivo, el rodamiento emite sonidos inusuales, existen vibraciones o el anillo externo comienza a girar (Schutte, 2016).

3.2 SELECCIÓN DEL PROTOTIPO

3.2.1 JUSTIFICACIÓN

La selección del prototipo se hará de acuerdo con una comparación de las características de cada tipo de molino, de acuerdo a parámetros que se establecerán entre los molinos de martillos, de barras y bolas (tabla 3-1) debido a que estos son los más comúnmente utilizados en la molienda (Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires, 2012), esto con el fin de seleccionar la mejor alternativa para la obtención de harina de arroz en una MYPE.

3.2.1.1 PARÁMETROS DE SELECCIÓN

Parámetros	Calificación
Capacidad de la maquina	5 Alta 3 Media 1 baja
Costo de fabricación	1 Elevado 3 Accesible 5 Económico

Seguridad de uso	1 Alto riesgo 3 Riesgo moderado 5 Seguro
Factibilidad de materiales	1 Complejo 3 Complejidad media 5 Fácil
Facilidad de operación	1 Complejo 3 Complejidad media 5 Fácil
Mantenimiento	1 Costoso 3 Accesible 5 Económico
Vida útil	1 Entre 1 a 3 años 3 Entre 4 a 7 años 5 Entre 8 a 10 años

Tabla 3-1: Parámetros de selección del prototipo de molino. (Méndez Andrade y Orellana Chiriboga, 2018).

3.2.1.2 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA

En la tabla 3-2 mediante la suma de las calificaciones a cada parámetro según el tipo de molino se determinará la mejor alternativa.

Parámetros	Molino de bolas	Molino de barras	Molino de martillos
Capacidad de la máquina	1	1	3
Costo de fabricación	3	1	5

Seguridad de uso	5	5	5
Factibilidad de materiales	3	3	5
Facilidad de operación	5	5	5
Mantenimiento	3	3	5
Vida útil	5	5	5
Total	25	23	33

Tabla 3-2: Evaluación de los parámetros de los tipos de molino sometidos a comparación.
(Méndez Andrade y Orellana Chiriboga, 2018).

Una vez se ha realizado la comparación de las alternativas, se observa una clara ventaja del molino de martillos sobre el molino de bolas y el molino de barras en la calificación final de los parámetros evaluados, por lo tanto, se selecciona finalmente el prototipo de molino de martillos.

3.2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO

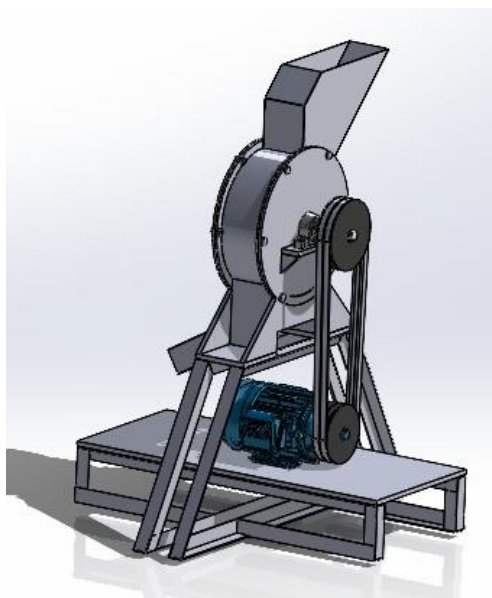


Figura 3-1: Prototipo de molino de martillos. Fuente propia.

Los principales componentes de la maquina son: el bastidor, tolva, tamices, martillos, motor eléctrico, transmisión y estructura de soporte, como se muestra en la figura 3-1.

- **BASTIDOR:** es el cuerpo del molino o la carcasa, sirve de soporte a otras partes que constituyen el molino, además de ayudar con la trituración de la materia prima. Generalmente, son fabricados en chapa de acero soldadas. La sección superior es desmontable para permitir el montaje del eje y la limpieza interior del rotor. En su interior pueden ser revestidas con platinas de acero, con el fin de disminuir el desgaste y protegerlas de golpes (Uribe Pérez y Lozano Ramírez, 2014).
- **TOLVA:** aquí es donde se depositarán los granos de arroz listos para ser molidos. Este elemento se debe mantener limpio para mayor higiene del producto final (Solano, 2020).

- **TAMICES:** su función en el proceso, es separar los granos finos de los granos gruesos de acuerdo al tamaño requerido del producto final, la clasificación de los granos se lleva a cabo dependiendo del tamaño del agujero que tenga el tamiz, estos agujeros pueden ser de forma circular, cuadrada, ovalada o rómbica. El tamiz puede ser intercambiado en la máquina de acuerdo al tamaño de grano requerido (Uribe Pérez y Lozano Ramírez, 2014).
- **MARTILLOS:** son los componentes encargados de moler la materia prima. Normalmente van acoplados a la periferia de un volante que les proporciona la velocidad angular necesaria para desintegrar el material con la fuerza de impacto desarrollada. El material, las dimensiones y forma de los martillos trituradores, se seleccionan de acuerdo a las propiedades físicas del material a triturar (Uribe Pérez y Lozano Ramírez, 2014).
- **MOTOR ELÉCTRICO:** es una máquina capaz de convertir la energía eléctrica en energía mecánica debido a la acción de los campos magnéticos que generan las bobinas que se encuentran dentro del motor. Esto con el fin de poner en marcha la transmisión haciendo girar el eje en el cual se encuentran ensamblados los martillos, dando paso a la trituración del arroz para la obtención de la harina (TRANSELEC, 2022).
- **TRANSMISIÓN:** es el mecanismo formado por varios elementos mecánicos, que se encarga de transmitir la potencia desde el motor eléctrico hasta los martillos para realizar la molienda de la materia prima.
- **ESTRUCTURA DE SOPORTE:** se encarga de soportar la carga de todos los componentes del molino tanto en estado de reposo como en estado de operación, debe ser capaz de soportar cargas estáticas y dinámicas, así como de proporcionar comodidad al operador del molino durante todo el proceso de molienda de la materia prima.

3.2.3 LIMITACIONES

- Debido a la naturaleza constructiva de la máquina, se puede tener dificultades para sustituir los discos y los martillos acoplados al eje del rotor cuando alguno de estos resulte dañado, pues no se contará con los repuestos necesarios.
- La puesta en operación del molino de martillos demandará que las instalaciones cuenten con conexión a 220 voltios.
- Alto costo de fabricación de los componentes debido a que deben ser de acero de grado alimenticio.
- El diseño solamente contempla la molienda de arroz, por lo cual no se garantiza que pueda triturar otro tipo de producto con mayor resistencia que necesite de un mayor suministro de energía para ser pulverizado.

4. ANÁLISIS DE DISEÑO DEL MECANISMO.

4.1 DEFINICIÓN DE VARIABLES DE DISEÑO.

Las variables más relevantes a la hora de realizar el diseño del molino son:

- Flujo másico de granos a introducir al molino.
- Rapidez angular de los martillos.
- Torque en el eje.
- Longitud del eje.
- Material de los discos, martillos, carcasa y eje.
- Material de las poleas.
- Material de la banda de transmisión de potencia.
- Tipo de banda y poleas.
- Diámetro de poleas.
- Distancia entre centros de poleas.
- Potencia en el motor eléctrico.
- Radio de giro de los martillos.
- Número de martillos.

4.2 DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL MECANISMO.

En este capítulo se define, analiza y diseña todas las partes que conformarán el molino de martillos, así como su geometría y materiales de construcción, esto en base a las condiciones de producción requerida, velocidad del rotor, energía de ruptura del arroz y número de martillos. Igualmente se hará el análisis de fallas que pueden ocurrir en determinados componentes del molino para así poder establecer un factor de seguridad adecuado.

Los componentes por diseñar serán los siguientes:

- Martillos.
- Disco porta martillos.
- Eje conducido.
- Diseño de sistema de transmisión: selección de bandas y poleas.
- Selección del motor.
- Selección de criba.
- Tolva.
- Separadores de martillos.

Tras el diseño se definirán los componentes que deberán ser fabricados y los que podrán ser seleccionados de catálogos gracias a su disponibilidad.

4.2.1 CÁLCULO DEL NÚMERO DE MARTILLOS.

El diseño del molino de martillo empieza con seleccionar la capacidad del molino en Kg/h. Se pretende producir 34 kg/h, de acuerdo con los resultados obtenidos en la investigación de campo (Ver anexo B).

Las revoluciones del rotor del molino se establecen en un rango de 2,500 a 3,500 revoluciones por minuto (rpm), de acuerdo con las recomendaciones de fabricantes que se dedican a la construcción de molinos para diferentes granos, específicamente en molinos de martillos MMV (Veyco, 2017). Esto se debe a que, si se disminuye demasiado las revoluciones, la potencia requerida del motor para obtener la energía de rotura será considerablemente grande, ya que el radio de giro se incrementa lo que provoca mayor inercia, esto se traduce en un mayor torque nominal y de arranque., esto se demuestra en el anexo I. Además, si aumenta el radio de giro se incrementas las dimensiones en general del molino lo que resulta en un mayor costo la máquina. Si los rpm son superiores pueden

aparecer elevadas fuerzas centrífugas de inercia, ocasionadas por las masas metálicas en rotación y generar daños en la estructura de la máquina. En este análisis se selecciona 3000 rpm para un promedio en las condiciones de funcionamiento.

Se parte de una conversión de unidades, para realizar el cálculo de cuantos granos se deben triturar en un minuto, de acuerdo con la capacidad productiva del molino. Se ha determinado que un grano de arroz equivale a 0.0268g (revista ADL, 2021), por lo que podemos hacer lo siguiente:

$$34 \frac{kg}{h} * \frac{1000g}{1kg} * \frac{1grano}{0.0268} * \frac{1h}{60 min} = 21144.27 \frac{granos}{min}$$

El molino debe triturar 21,145 granos por minuto. Ahora, con la velocidad de 3,000 rpm, se obtienen los granos por revolución que se triturarán:

$$\frac{21,145 \text{ granos}/min}{3,000 \text{ rev}/min} = 7.05 \frac{\text{granos}}{\text{revolución}}$$

El molino tritura un aproximado de 7 granos por cada revolución del rotor. Realizando el diseño para el caso crítico en que cada martillo golpea únicamente a un grano, se determina que el número de martillos necesarios es de 7 para obtener una producción de 34 kg/h.

4.2.2 DISEÑO DE MARTILLOS.

Anteriormente se obtuvo que para producir 34 Kg/h de harina se necesitan 7 martillos. La distribución de los martillos se realizará con discos para tener un rotor balanceado y así evitar vibraciones.

Los martillos se instalarán en una cara del disco, colocando 4 martillos por disco, con una separación de 90° entre ellos. Necesitando un total de 2 discos. Por lo tanto, se instalarán un total de 8 martillos, esto para cumplir dos objetivos; el primero es mantener un rotor balanceado (y así reducir las vibraciones) y el segundo es disminuir el tiempo entre impactos (para no tener altas fluctuaciones de velocidad). Se obtiene una distribución como se muestra en la figura 4-1.

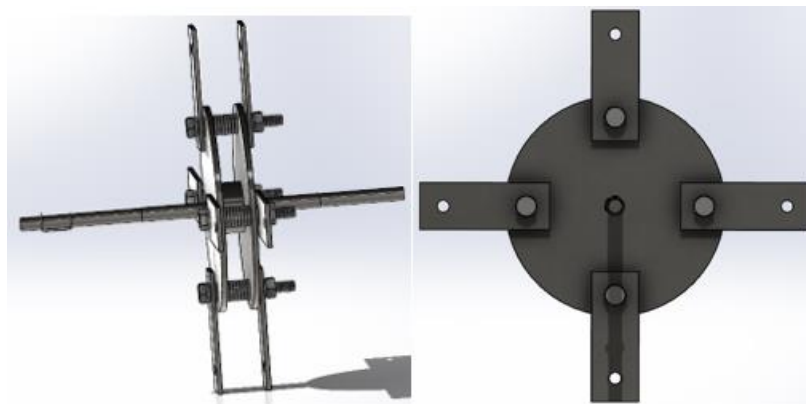


Figura 4-1: Imagen derecha: vista isométrica de la distribución de los martillos en el disco. Imagen izquierda: vista frontal de la distribución de los martillos en el disco. Fuente propia.

4.2.3 CÁLCULO DE VELOCIDADES TANGENCIALES DEL MARTILLO.

El contacto entre los granos de arroz y los martillos serán impactos causados por las diferentes direcciones de velocidad que cada uno de ellos posee. Estos impactos deben tener la capacidad de romper el grano de arroz a fin de convertirlo en harina, anteriormente se calculó la energía necesaria para romper los granos de arroz, esta energía debe ser igual a la energía del martillo cuando está en rotación y choca con el grano, por lo tanto, la energía cinética que debe generarse para romper el grano de arroz es la siguiente (Sears, 2022):

$$E_c = \frac{1}{2} m_g * V_m^2 \quad (4-1)$$

Donde:

- E_c = Energía cinética
- m_g = Masa del grano
- V_m = velocidad del martillo

Para obtener la velocidad tangencial de martillo se iguala la ecuación 2-1 con la ecuación 4-1

$$\frac{1}{2} m_g * V_m^2 = m * g * h$$

Despejando la velocidad, la siguiente expresión que se convierte en la ecuación 4-2.

$$V_t = \sqrt{\frac{m * g * h}{m_g} * 2} \quad (4-2)$$

Sustituyendo valores:

$$V_t = \sqrt{\frac{75 * 9.81 * 0.05}{0.0268} * 2}$$

$$V_t = 52.40 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

La velocidad anterior es la velocidad tangencial que van a tener los martillos cuando estén sin carga, es decir cuando no existan granos en el molino, denominada velocidad en vacío V_v .

Cuando el molino está en operaciones se produce una reducción en la velocidad de rotación de los martillos debido a los choques de estos con los granos, se le denomina velocidad con carga V_c .

Para calcular V_c se considera todo el rotor del molino como un solo cuerpo que se asemeja a un volante de inercia y que se rige por la ecuación correspondiente al coeficiente de fluctuación (Budynas et al., 2012):

$$C_f = \frac{\omega_f - \omega_i}{\omega_m} \quad (4-3)$$

Donde:

- C_f : coeficiente de fluctuación
- ω_f : velocidad angular final
- ω_i : velocidad angular inicial
- ω_m : velocidad angular media

$$\omega_m = \frac{\omega_f + \omega_i}{2} \quad (4-4)$$

Sustituyendo ecuación 4-4 en ecuación 4-3 y reduciendo:

$$C_f = \frac{\omega_f - \omega_i}{\frac{\omega_f + \omega_i}{2}}$$

$$C_f = \frac{2(\omega_f - \omega_i)}{\omega_f + \omega_i}$$

Transformando la ecuación:

$$\frac{C_f(\omega_f + \omega_i)}{2} = \omega_f - \omega_i$$

$$\begin{aligned} \frac{C_f \omega_f}{2} + \frac{C_f \omega_i}{2} - \omega_f + \omega_i &= 0 \\ \left(\frac{1}{2}C_f - 1\right) \omega_f + \left(\frac{1}{2}C_f + 1\right) \omega_i &= 0 \\ \left(\frac{1}{2}C_f - 1\right) \omega_f &= -\left(\frac{1}{2}C_f + 1\right) \omega_i \\ \frac{\left(\frac{1}{2}C_f - 1\right) \omega_f}{-\left(\frac{1}{2}C_f + 1\right) \omega_i} &= 1 \end{aligned}$$

De acuerdo con (Budynas et al., 2012) se sabe por definición que la velocidad tangencial es:

$$V = \omega r \quad (4-5)$$

Por tanto, sustituyendo para la rapidez angular:

$$\frac{2\left(\frac{1}{2}C_f - 1\right) \left(\frac{V_v}{r}\right)}{2\left(-\frac{1}{2}C_f - 1\right) \left(\frac{V_c}{r}\right)} = 1$$

Simplificando:

$$\frac{C_f - 2}{C_f + 2} \left(\frac{V_v}{V_c}\right) = -1$$

Resolviendo para V_c :

$$V_c = -V_v \frac{C_f - 2}{C_f + 2} \quad (4-6)$$

Donde:

- V_c : Velocidad tangencial del molino con carga
- V_v : Velocidad tangencial del molino sin carga
- C_f : Coeficiente de fluctuación.

Se obtiene el valor de C_f de la tabla 4-1, para molino de harina se tiene $C_f = 0.02$. cabe mencionar que también se tiene el coeficiente de fluctuación para martillos con valor de 0.2 sin embargo no se toma este valor debido a que el molino posee cuatro martillos por disco, así pues, la secuencia de impacto no será tan alargada (con mayor fluctuación) como si se tratase del accionamiento de un martillo de impacto (solo un golpe por ciclo). Además, en otros diseños se considera el valor de 0.02 (PÁRRAGA, 2016).

Tipo de maquina	C_F
Trituradoras, estampadoras, martillos	0.200
Prensas, cizalladoras, punzonadoras	0.010-0.100
Máquinas para bombeo. Para corte, bombas, alternativas, compresores.	0.030-0.050
Maquinas herramientas, motores con transmisión por banda.	0.030
Maquina textil, maquinas herramientas para fabricación de papel.	0.025
Reductores de velocidad, transmisiones por engranes, molinos para harina.	0.020
Maquinaria eléctrica, alternadores, generadores.	0.0020-0.0035

Tabla 4-1: Coeficiente de fluctuación para máquinas (Salisbury & Kenneth, 1953).

$$V_c = -52.40 * \frac{0.02 - 2}{0.02 + 2}$$

$$V_c = 51.36 \text{ m/s}$$

Se obtiene una velocidad con carga menor que la velocidad en vacío, es decir que el sistema cede energía, lo que indica que el sistema de giro del molino es desacelerado. Con V_c , se calcula el radio de giro que deben tener los martillos a partir de la velocidad angular.

$$\omega = \frac{V_c * 60}{2 * \pi * r_g} \quad (4-7)$$

Donde:

- r_g : radio de giro
- ω : Velocidad angular del motor

Se despeja el radio de giro:

$$r_g = \frac{V_c * 60}{2 * \pi * \omega}$$

Se sustituyen valores para obtener el siguiente resultado:

$$r_g = \frac{51.36 * 60}{2 * \pi * 3000}$$

$$r_g = 0.165 \text{ m}$$

A partir de la ecuación de radio de giro es posible obtener la velocidad angular final:

$$\omega_c = \frac{V_c}{r_g} \quad (4-8)$$

$$\omega_c = \frac{58.02 \text{ m/s}}{0.163 \text{ m}}$$

$$\omega_c = 355 \text{ rad/s}$$

A continuación, se calcula la aceleración angular de los martillos (Sears, 2022):

$$\omega_v^2 = \omega_c^2 + 2\alpha\theta \quad (4-9)$$

Donde:

- α : aceleración angular
- θ : Angulo recorrido por los martillos

se despeja α de la ecuación 4-9:

$$\alpha = \frac{\omega_v^2 - \omega_c^2}{2 * \theta}$$

Sabiendo que: $\omega_v = 3000 \text{ rpm} = 314.16 \text{ rad/s}$

En este caso cada martillo recorrerá 90° debido a su posición en el disco.

En radianes: $180^\circ = 3.14 \text{ rad}$.

Sustituyendo valores tenemos:

$$\alpha = \frac{314.16^2 - 355^2}{2 * 3.14}$$

$$\alpha = -4349 \text{ rad/s}^2$$

En la siguiente figura 4-2 se presenta un esquema con el valor del radio de giro.

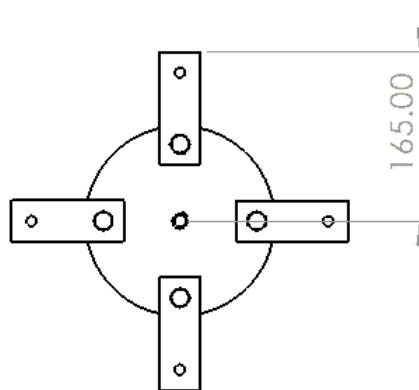


Figura 4-2: Esquema de ubicación de radio de giro en disco porta martillos (Cotas en mm). Fuente propia.

4.2.4 DIMENSIONAMIENTO DEL MARTILLO.

Un correcto dimensionamiento de los martillos contribuirá a una selección de motor de menor capacidad ya que se tendrá un menor peso y por ende menor inercia que deberá proporcionar el motor en su operación, traduciéndose esto en una reducción de costos; igualmente una dimensión apropiada asegurará un contacto eficiente entre las dimensiones de los granos de arroz y el martillo.

Las designaciones de las dimensiones del martillo se visualizan en la Ilustración 4-3 y es así como serán utilizadas en las ecuaciones empleadas para su análisis dimensional.

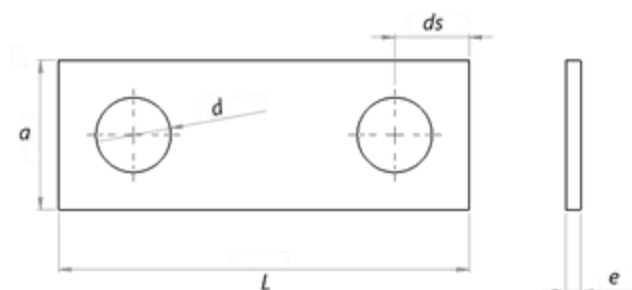


Figura 4-3: Geometría del martillo. Fuente propia.

Para determinar las dimensiones del martillo se empieza asumiendo ciertos valores, siguiendo las recomendaciones de constructores de molinos de martillos.

Se define como criterio propio que la geometría será rectangular y la longitud adecuada de los martillos debe ser una tercera parte del lado de la placa de sujeción (diámetro de giro) lo cual se demostrará si es factible o no, por medio del factor de seguridad que se obtenga. Por lo que, atendiendo esta recomendación, la longitud de los martillos será:

$$L = \frac{1}{3} D_g = \frac{1}{3} (2 * 0.165)$$

$$L = 0.110m$$

En cuanto al espesor del martillo "e" dependerá del espesor promedio de los granos de arroz, para ello se utiliza un calibrador vernier (figura 4-4) y 10 muestras de arroz (a la vez se calcula la longitud del grano de arroz), obteniendo los resultados mostrados en la tabla 4-2:

N° muestra	Espesor (mm)	Longitud (mm)
1	2.1	4.7
2	1.9	4.85
3	2	5.6
4	2.1	5.4
5	2	5.1
6	2.1	4.9
7	1.95	5.05
8	2.1	4.8
9	1.95	4.9
10	2	5.1
Promedio	2.02	5.04

Tabla 4-2: Muestras para espesor promedio de arroz. (Fuente propia).



Figura 4-4: Pie de rey utilizado para medir el espesor de diez muestras de arroz.

Fuente Propia.

Al espesor promedio se le agrega un factor de seguridad que garantice el contacto de todo el grano de arroz con el martillo. Si dicho factor se considera de 2, se estima un espesor de 4.04 mm, aproximadamente 4 mm:

$$e = 0.004 \text{ m}$$

El ancho del martillo se basa en criterios propios, que se pondrán a prueba si son efectivos o no, cuando se evalúe el factor de seguridad del martillo (40 mm):

$$a = 0.04 \text{ m}$$

Para la obtención del diámetro de los agujeros del martillo se vuelve necesario analizar el perno que fijará a todos los martillos con los discos, para dicho análisis se necesitan las fuerzas de corte aplicadas por cada martillo en el perno y dichas fuerzas nuevamente dependen del diámetro de los agujeros de los martillos, por lo que se toma la decisión de asumir un valor de diámetro basado igualmente en molinos previamente construidos (10 mm), este diámetro se corrobora más adelante con el diseño del perno.

$$d = 0.01 \text{ m}$$

En cuanto a la distancia d_s se define como:

$$d_s = 0.02 \text{ m}$$

Los martillos dispondrán de dos agujeros en sus extremos, para cuando se desgaste un extremo se cambie de extremo y puedan seguir operando, la geometría del martillo está definida completamente en la figura 4-5.

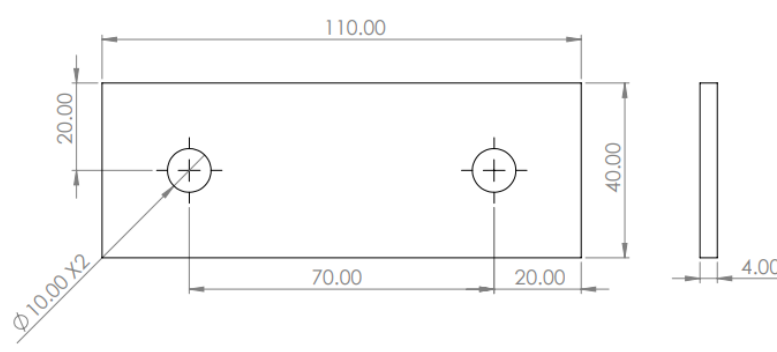


Figura 4-5: Dimensiones del martillo. (Cotas en mm). Fuente propia.

4.2.5 FUERZAS QUE ACTÚAN EN EL MARTILLO.

El cálculo de las fuerzas que se aplican al martillo tras su operación permitirá obtener los esfuerzos a que se somete el martillo, esto servirá para comprobar si el material que se ha seleccionado para su elaboración resiste estas cargas, brindando a la vez cierto factor de seguridad.

Se iniciará analizando las fuerzas trazando el diagrama de cuerpo libre del martillo, como se visualiza en la figura 4.6

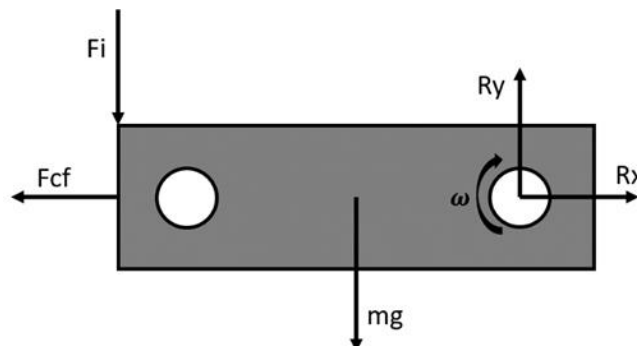


Figura 4-6: Diagrama de cuerpo libre del martillo. Fuente propia

Donde:

- F_i : Fuerza de impacto de los granos de arroz con el martillo
- F_{cf} : Fuerza centrífuga.

Cálculo de la fuerza centrífuga:

$$F_{cf} = \omega_v^2 * m_m * R_g \quad (4-10)$$

Donde:

- m_m : masa del martillo
- R_g : radio de actuación de la fuerza centrífuga

Para comprender la forma en que actúa la fuerza centrífuga sobre el martillo se debe observar la ilustración 4-7, donde se tratará la masa del martillo como una fuerza puntual aplicada en su centro, entonces el radio de aplicación comenzará desde el centro de rotación, es decir desde el eje conducido o centro de los discos hasta el centro del martillo, por tanto, el radio de actuación de la fuerza centrífuga será:

$$R_g = r_g - \frac{L}{2} \quad (4-11)$$

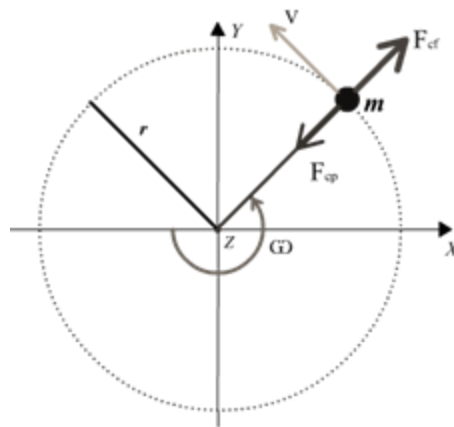


Figura 4-7: Esquema de aplicación de fuerza centrífuga. Fuente propia.

Sustituyendo datos:

$$R_g = 0.165 - \frac{0.110}{2}$$

$$R_g = 0.110$$

A continuación, se procede a calcular la masa del martillo:

$$m_m = \rho * v_m \quad (4-12)$$

$$m_m = (L * e * a * \rho) - 2\left(\frac{\pi}{4} * d^2 * e * \rho\right)$$

$$m_m = (\rho * e) \left[(L * a) - \left(\frac{\pi}{2} * d^2\right) \right]$$

Donde:

- ρ : Densidad del martillo
- v_m : volumen del martillo

Como se mencionó anteriormente, el material de los martillos debe ser de grado alimenticio por lo que se utilizara el peso específico del acero inoxidable AISI 304.

$$\rho = 7900 \text{ Kg/m}^3$$

Sustituyendo valores tenemos

$$m_m = (7900 * 0.004) \left((0.110 * 0.04) - \left(\frac{\pi}{2} * 0.01^2\right) \right)$$

$$m_m = 0.1192 \text{ kg}$$

Sustituyendo los valores de R_g y m_m en la ecuación 2-10

$$F_{cf} = 314.16^2 * 0.1192 * 0.110$$

$$F_{cf} = 1294.11 \text{ N}$$

4.2.6 CÁLCULO DE LA FUERZA DE IMPACTO.

La fuerza de impacto necesaria para la ruptura del arroz cuando entre en contacto con el martillo se calcula con la ecuación 4-13, esta ecuación está

determinada considerando que un cuerpo estático es golpeado por un cuerpo desplazándose a una velocidad constante y sobre el cual actúa una fuerza, siendo el cuerpo estático capaz de absorber la energía cinética que posee el cuerpo en movimiento en el momento del impacto.

Para la determinación de esta fuerza, se basa en la prueba de energía de ruptura realizada anteriormente. El cuerpo que se encuentra en reposo serán los granos de arroz mientras que el cuerpo en movimiento que impacta al arroz será la masa de 75 gramos utilizada en la prueba, por lo tanto, la fuerza de impacto se calcula por medio de la siguiente expresión (Juvinall & Marshek, 2013):

$$F_{i-pulverizado} = mg \left(1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\delta_w}} \right) \quad (4-13)$$

Donde:

- W : fuerza del cuerpo en movimiento
- h : altura de lanzamiento
- δ_w : deformación tras el impacto

La deformación tras el impacto en este caso será el espesor de los granos de arroz ya que estos presentan la rotura tras el impacto a través de toda su sección transversal.

Sustituyendo:

$$F_{i-pulverizado} = (0.075)(9.81) \left(1 + \sqrt{1 + \frac{2(0.05)}{0.002}} \right)$$

$$F_{i-pulverizado} = 5.99 \text{ N}$$

4.2.7 CÁLCULO DE LA FUERZA DE CORTE.

Obtenidas las fuerzas que actúan sobre el martillo se procede a calcular la fuerza resultante la cual se llamará fuerza de corte designada por F_c , esta es la fuerza que en realidad actúa sobre el martillo.

Pero la fuerza de impacto F_i se repetirá dependiendo de cuantos granos de arroz hagan contacto con el martillo. Suponiendo la condición en que toda la sección del martillo se cubre con granos de arroz efectuando la fuerza de impacto en la misma dirección (perpendicular al área), se determina el número de vez que se repite la fuerza.

Se calcula el área del martillo:

$$A_{martillo} = e_{martillo} \cdot (L_{martillo} - d_s)$$

$$A_{martillo} = 4 \cdot (110 - 20)$$

$$A_{martillo} = 360 \text{ mm}^2$$

Luego se calcula el área promedio del grano de arroz:

$$A_{arroz} = e_{arroz} L_{arroz}$$

$$A_{arroz} = 2 \cdot (5)$$

$$A_{arroz} = 10 \text{ mm}^2$$

Se dividen las áreas y así se obtiene el número de veces que la fuerza de impacto se aplica sobre el martillo:

$$n_{rep} = \frac{A_{martillo}}{A_{arroz}} = \frac{360}{10} = 36$$

$$n_{rep} = 36$$

La fuerza de corte será la suma vectorial de la fuerza centrífuga más la fuerza de impacto:

$$F_c = \sqrt{F_{cf}^2 + (n_{rep} F_i)^2} \quad (4-14)$$

$$F_c = \sqrt{1,294.11^2 + (36 \cdot 5.99)^2}$$

$$F_c = 1311.95 \text{ N}$$

4.2.8 ESFUERZOS QUE ACTÚAN EN EL MARTILLO.

4.2.8.1 ANÁLISIS DE FALLA POR CIZALLADURA.

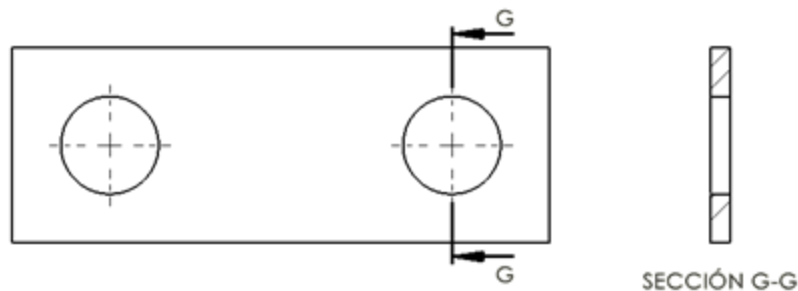


Figura 4-8: Área de desgarre. Fuente propia.

La falla por cizalladura puede generarse en el martillo en el área comprendida entre el extremo del martillo y el agujero (figura 4-8), en este punto la fuerza que actúa es la centrífuga y para determinar si el martillo resiste este tipo de falla se procederá a calcular el área de desgarre, el esfuerzo cortante generado y si el material seleccionado brinda un factor de seguridad adecuado. El área de desgarre se define de la siguiente manera:

$$A_d = ae - ed \quad (4-15)$$

Donde:

- e : espesor del martillo
- a : ancho del martillo
- d : diámetro del agujero del martillo

$$A_d = 0.04 * 0.004 - 0.01 * 0.004$$

$$A_d = 0.00012 \text{ m}^2$$

$$A_d = 120 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

Calculando el esfuerzo cortante en el martillo, de acuerdo con la siguiente expresión (Budynas et al., 2012):

$$\tau = \frac{F_{fcf}}{A_d} \quad (4-16)$$

Ecuación 4-16: Esfuerzo cortante en el martillo

Sustituyendo valores:

$$\tau = \frac{1,311.95}{0.00012}$$

$$\tau = 10.93 \text{ Mpa}$$

Considerando el concentrador de esfuerzo se utiliza la gráfica 4-1 para determinar el factor de esfuerzo.

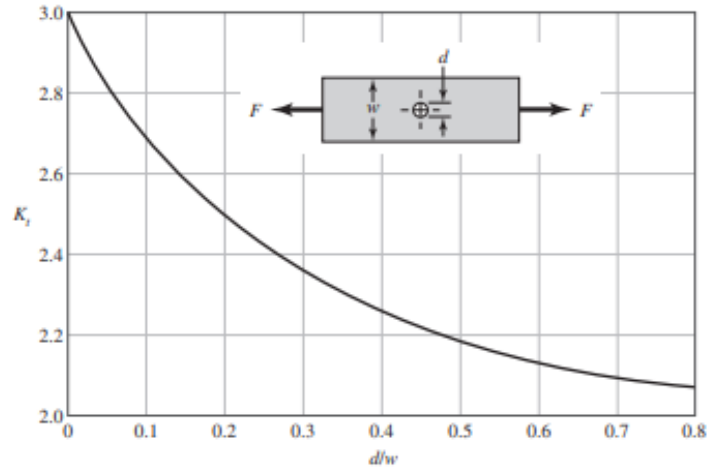


Gráfico 4-1: grafica de factores teóricos de concentración del esfuerzo, K_t (Budynas et al., 2012).

$$\frac{d}{w} = \frac{d}{a} = \frac{10}{40} = 0.25$$

Se obtiene un dato aproximado de 2.42 para K_t .

$$\tau = 10.93(2.42)$$

$$\tau = 26.45 \text{ Mpa}$$

Ahora se puede determinar el factor de seguridad de esfuerzo cortante que prestará el martillo en funcionamiento inicial, (Budynas et al., 2012):

$$n = \frac{S_y}{2\tau} \quad (4-17)$$

S_y es el esfuerzo de fluencia que posee el material, el cual se obtiene de la tabla como se muestra en la tabla 4-3 (Mundial, 2019) :

Inox propiedades mecánicas						
Acero	Resistencia a la tracción (MPa) >	Esfuerzo de fluencia (MPa) >	Elongación en 50 mm (%) >	Reducción de área (%)	Dureza (HBW) <	Condiciones
	585	235	60	70	149	Barra recocida
304	690	415	45		212	Recocido y estirado en frío
	860	655	25		275	Estirado en frío de alta resistencia

Tabla 4-3: Propiedades mecánicas del acero AISI 304. (Mundial, 2019).

Para el acero inoxidable AISI 304 se tiene un $S_y = 235 \text{ MPa}$ (para barra recocida).

Sustituyendo datos:

$$\eta = \frac{235}{26.45 * 2}$$

$$\eta = 4.44$$

El resultado obtenido garantiza que no habrá falla por desgarramiento. Por lo que puede concluirse que el acero AISI 304 es funcional para elaborar los martillos del molino.

4.2.9 DISEÑO DEL DISCO PORTA-MARTILLOS.

Como se ha descrito anteriormente, la forma geométrica del elemento porta martillos es circular porque se puede obtener ciertas ventajas comparado con otras configuraciones geométricas, por ejemplo; cuando el molino está en operación, el disco siempre va a colocar a los martillos en un ángulo de 180° entre sí, por lo que el área de esfuerzos será mayor causando que el esfuerzo por tracción sea menor. Otro beneficio de una geometría circular es que se tendrá un mejor balanceo y por lo tanto una reducción de vibraciones.

El diámetro del disco (D_d), la distancia del centro del disco al centro del agujero del perno (S) y el diámetro del eje (D_e), están definidos por el radio de giro y la geometría ya establecida de los martillos (figura 4-9).

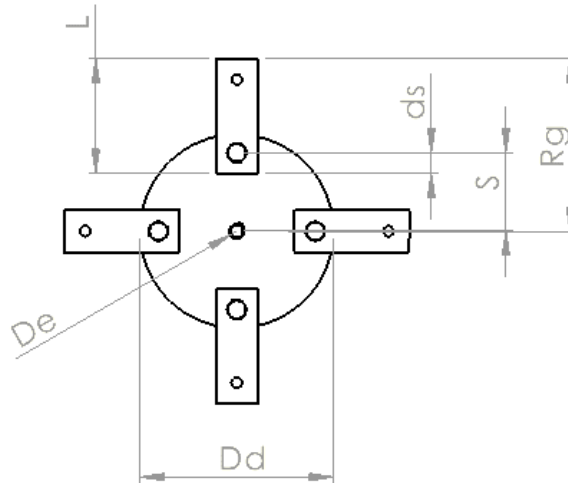


Figura 4-9: Dimensiones del ensamble entre el disco y el martillo.

Para poder establecer la posición de la conexión del martillo en el disco, se define la distancia S que no es más que la distancia del centro del disco al centro del agujero del martillo. La cuál está condicionada por el radio de giro, la distancia d_s y la longitud del martillo:

$$S = R_g - L + d_s \quad (4-18)$$

$$S = 165 - 110 + 20$$

$$S = 75 \text{ mm}$$

Con este dato ya se puede definir el diámetro del disco, donde se debe cumplir con la condición de que el radio del disco sea mayor a la suma de S con el radio del agujero del perno.

$$\frac{D_d}{2} > S + \frac{d}{2} \quad (4-19)$$

$$\frac{D_d}{2} > 75 + \frac{10}{2}$$

$$\frac{D_d}{2} > 80 \text{ mm}$$

$$D_d > 160 \text{ mm}$$

Por lo que se debe seleccionar un diámetro del disco mayor a 160 mm. Se decide seleccionar un diámetro de 185 mm.

$$D_d = 185 \text{ mm}$$

Además, se define el diámetro del eje, donde el radio del eje deberá ser menor a la resta de S y d_s :

$$\frac{D_e}{2} < S - d_s \quad (4-20)$$

$$\frac{D_e}{2} < 75 - 20$$

$$\frac{D_e}{2} < 55$$

$$D_e < 110 \text{ mm}$$

Se decide utilizar un diámetro para eje de ½ pulgada (12.7 mm.), aunque geoméricamente se puede utilizar uno mayor, se consideran factores económicos para la decisión.

$$D_e = 12.7 \text{ mm}$$

Solo resta definir el espesor del disco, el cual se obtiene a partir de las ecuaciones 4-16 y 4-17.

En la ecuación del esfuerzo cortante se descompone el área de desgarre para tener la variable del espesor. Además, se debe considerar que cada agujero en el disco estará sometido a dos veces la fuerza centrífuga ya que en cada lado del disco estará instalado un martillo.

Descomponiendo el área de desgarre en la ecuación del esfuerzo cortante, se tiene:

$$\tau = \frac{2F_{cf}}{2 * e_{disco} * s_d} = \frac{F_{cf}}{e_{disco} * s_d}$$

Donde:

- s_d : Distancia desde el extremo del disco hasta la superficie del agujero.

$$s_d = \frac{D_d}{2} - S - \frac{d}{2} \quad (4-21)$$

$$s_d = \frac{185}{2} - 75 - \frac{10}{2}$$

$$s_d = 7.5 \text{ mm}$$

Lo que resta es sustituir la ecuación 4-16 en la ecuación 4-17 que define el factor de seguridad, quedando de la siguiente manera:

$$\eta = \frac{S_y}{2 \frac{F_{cf}}{e_{disco} * s_d}}$$

Simplificando y despejando, se tiene:

$$e_{disco} = \frac{2 * F_{cf} * \eta}{s_d * S_y}$$

Al factor de seguridad η le daremos un valor igual a 3 el cual garantiza que no fallará el disco. Sustituyendo datos se tiene:

$$e_{disco} = \frac{2 * 1,294.12 * 3}{0.0075 * 235 \times 10^6}$$

$$e_{disco} = 4.4 \text{ mm}$$

$$e_{disco} = 5 \text{ mm}$$

Se obtiene un espesor para el disco de 5 mm.

4.2.10 SELECCIÓN DEL SEPARADOR DE MARTILLOS



Figura 4-10: Arandelas planas a utilizar para separar los martillos. (Sumtallfer, octubre 2020)

Es necesario utilizar arandelas para separar los martillos (figura 4-10), esto con el fin de proteger las superficies de contacto de los martillos contra ralladuras u otros daños producidos por desgaste, así como para obtener un buen ajuste entre martillos evitando que, al rotar, estos se desplacen libremente a través del tornillo que los sujeta.

Las condiciones que se deben tener en cuenta para realizar una adecuada selección es el diámetro interno, diámetro externo, espesor y material de fabricación.

Estos aspectos están contemplados seleccionando arandelas de acuerdo con la norma ISO 7089 (DIN 125), ver tabla 4-4, donde solo se toma como criterio de selección el diámetro interno que debe poseer la arandela, siendo este de 10 mm:

Tamaño nominal	Diámetro del agujero d_1	Diámetro exterior d_2	Espesor	Material	
	Medida nominal (mm)	Medida nominal (mm)	Medida nominal (mm)		
M10	10.5	20	2	Acero inoxidable 316	AISI

Tabla 4-4: Especificaciones técnicas del separador de martillos. (ISO 7089, 2000).

4.2.11 SELECCIÓN DEL SEPARADOR DE DISCOS.

Para separar los discos porta martillos se utilizarán pequeños ejes huecos. Las consideraciones más importantes para su elección es el diámetro interno, diámetro externo y el material del cual van a estar fabricadas.

- Diámetro interno: este está definido por el diámetro del eje principal del molino.
- Diámetro externo: este diámetro está limitado por el tamaño de los martillos y el diámetro del disco porta martillos, este debe ser tal que los martillos en su operación no hagan contacto con el separador ni entre ellos.
- Material: en cuanto a este aspecto, debe ser un material que este apto para estar en contacto con alimentos, por lo cual esto nos limita a utilizar aceros inoxidables de grados alimenticio.

Tomando en consideración todos los criterios anteriores, se establecen en la tabla 4-5 los siguientes aspectos técnicos:

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Material	Acero inoxidable AISI 316
Diámetro interno	12.7 mm
Diámetro externo	45.5 mm
Longitud	23 mm

Tabla 4-5: Especificaciones técnicas del separador de discos. (Diseño propio).

La longitud brindará una holgura entre disco y disco de 0.5 mm.

A continuación, se muestra en la figura 4-11 la configuración entre disco, separador de disco y martillo con sus respectivas cotas.

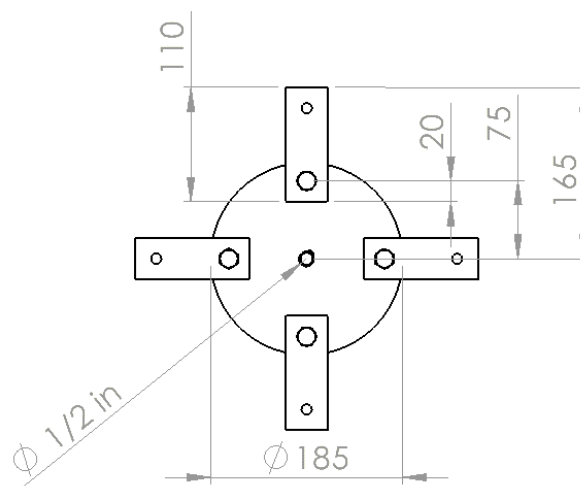


Figura 4-11: Dimensionamiento completo disco – martillo (Cotas en mm). Fuente propia.

4.2.12 DISEÑO DE PERNOS.

Para el diseño de los pernos que sujetarán al martillo con el disco se tomarán los datos anteriormente determinados para el tamaño del agujero del martillo de 10 mm de diámetro. Se considerará un perno de cabeza hexagonal, con tuercas, arandelas planas, arandelas de presión y se usará acero AISI 304.

De acuerdo con la ecuación de resistencia a la fatiga de teoría de falla de Goodman (Budynas et al., 2012):

$$\frac{1}{N} = \frac{\sigma_m}{S_u} + \frac{\sigma_a}{S_n} \quad (4-22)$$

Donde:

- N : factor de seguridad.
- σ_m : esfuerzo medio.
- σ_a : esfuerzo alterno.
- S_u : esfuerzo último a tensión.
- S_n : límite de resistencia a la fatiga.

El límite de resistencia a la fatiga se define de la siguiente forma (Budynas et al., 2012):

$$S_n = S'_n K_a K_b K_c K_d K_e \quad (4-23)$$

Ahora se procede a definir y calcular cada uno de los factores que componen a S_n para obtener su valor.

S'_n Está definido por la siguiente relación (Budynas et al., 2012):

$$S'_n = 0.5S_u \quad (4-24)$$

De la tabla 4-3 se obtiene la resistencia ultima a la tracción del acero AISI 304 recocido con un valor de 585 MPa.

$$S_u = 585 \text{ MPa}$$

Así:

$$S'_n = 0.5S_u = 0.5(585) = 292.5$$

$$S'_n = 292.5 \text{ MPa}$$

Para el límite a la resistencia a la fatiga se obtiene los siguientes factores de la tabla 4-6:

	$k_a = AS_u^b$ maquinado:
Factor de superficie	$A = 1.34, b = 0.085$ en <i>PSI</i> $A = 1.58, b = 0.085$ en <i>MPa</i>
Factor de tamaño	$k_b = 0.97$ torsión
Factor de carga	$k_c = 1$ flexión
Factor de temperatura	$k_d = 1.0$ temperatura ambiente
Factor de confiabilidad	$k_e = 1.0$ condiciones ambientales

Tabla 4-6: Factores de corrección, resistencia a la fatiga (Budynas et al., 2012).

$$k_a = AS_u^b = 1.58(585)^{-0.085}$$

$$k_a = 0.833$$

$$k_b = (1.24d)^{-0.107} = (1.24 * 10)^{-0.107}$$

$$k_b = 0.97$$

Así se obtiene un S_n de:

$$S_n = (292.5)(0.833)(0.97)(1)(1)(1)$$

$$S_n = 228.56 \text{ MPa} = 236.34 \text{ MPa}$$

A continuación, se calculan las fuerzas que actúan sobre el perno considerándolo como un cuerpo en equilibrio (figura 4-12).

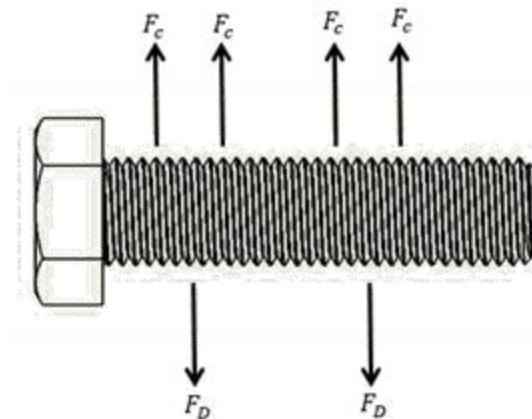


Figura 4-12: DCL del perno. Fuente propia.

Realizando suma de fuerzas en dirección vertical:

$$\sum F_y = 0$$

Ecuación 4-2: Equilibrio de fuerzas en Y.

$$-2F_D + 4F_C = 0$$

$$F_D = \frac{4}{2} F_C$$

$$F_D = 2F_C \quad (4-25)$$

Se obtienen las fuerzas máximas y mínimas para así obtener los esfuerzos máximos y mínimos, con estos se calcularán los esfuerzos alternos y medios. La fuerza mínima es la fuerza centrífuga (cuando el molino trabaja en vacío).

Sustituyendo F_{CF} :

$$F_D = 2(1294.11)$$

$$F_D = 2,588.22 \text{ N}$$

Se calcula la longitud del perno, para ello se suman las distancias en el conjunto como se muestra en la figura 4-13:

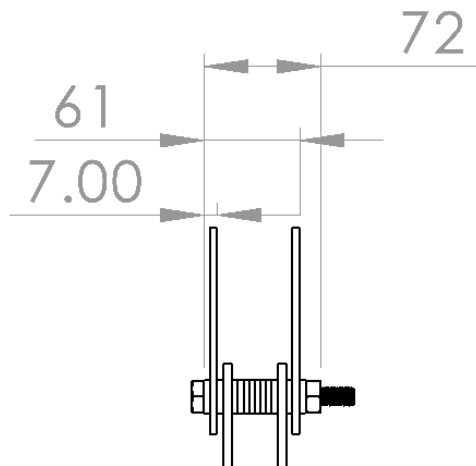


Figura 4-13: Longitud del perno (Cotas en mm). Fuente propia.

Como se observa en la figura 4-13, se considera el espesor de las arandelas (3 mm), el espesor de los discos (5 mm), el espesor de los martillos (4 mm). Cabe mencionar que la medida de 7 mm corresponde una arandela y un disco continuo. Además, se considera el ancho de la tuerca (8 mm) y las arandelas planas y de presión.

$$L_p = 8 + 6 + 4(4) + 3(5) + 5(2) + 9 = 72 \text{ mm}$$

Por lo que se selecciona un perno de longitud de 80 mm.

$$L_p = 80 \text{ mm}$$

Obtenidas las reacciones se determina el punto en el perno que soporta el mayor momento, para ello se trata al perno como una viga simplemente apoyada y se traza su correspondiente diagrama de cortante (figura 4-14) y momento flector (figura 4-15) haciendo uso de Excel 2016.

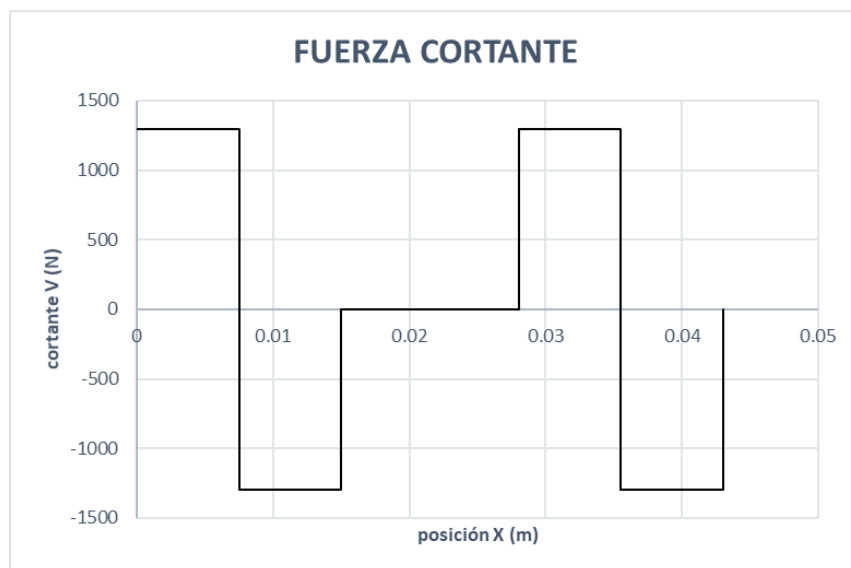


Figura 4-14: diagrama de fuerza cortante del perno en vacío. Fuente propia.

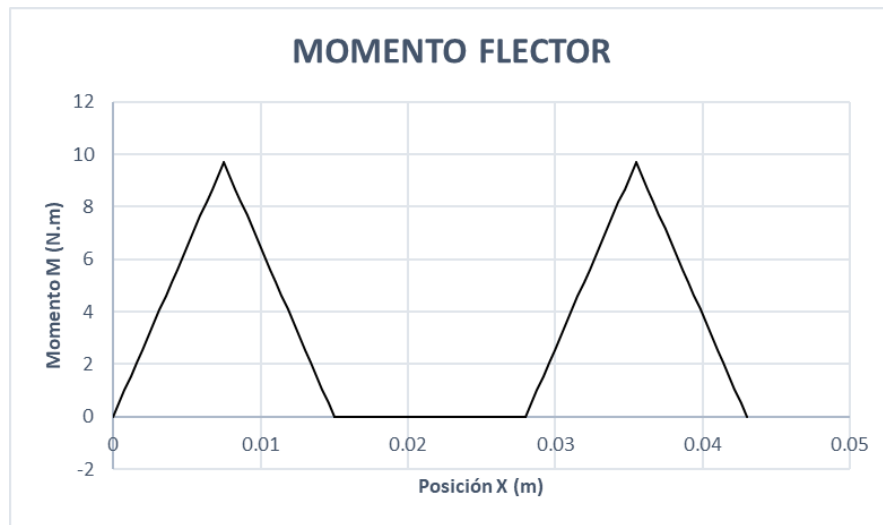


Figura 4-15 Diagrama de momento flector del perno en vacío. Fuente propia.

Se obtiene un momento máximo de 9.71 N-m sobre el perno.

Con este momento, se puede obtener el esfuerzo de flexión mínimo considerando un eje sólido (Budynas et al., 2012):

$$\sigma_{min} = \frac{Mc}{I} = \frac{32M}{\pi d^3} \quad (4-26)$$

$$\sigma_{min} = \frac{32(9.71)}{\pi d^3}$$

$$\sigma_{min} = \frac{310.72}{\pi d^3}$$

Ahora se calcula el esfuerzo máximo, donde se considera al molino trabajando con carga, y la fuerza a involucrar sería F_c .

$$F_D = 2(1294.124)$$

$$F_D = 2,588.25 \text{ N}$$

Se realiza el diagrama de cortante (figura 4-16) y momento (figura 4-17):

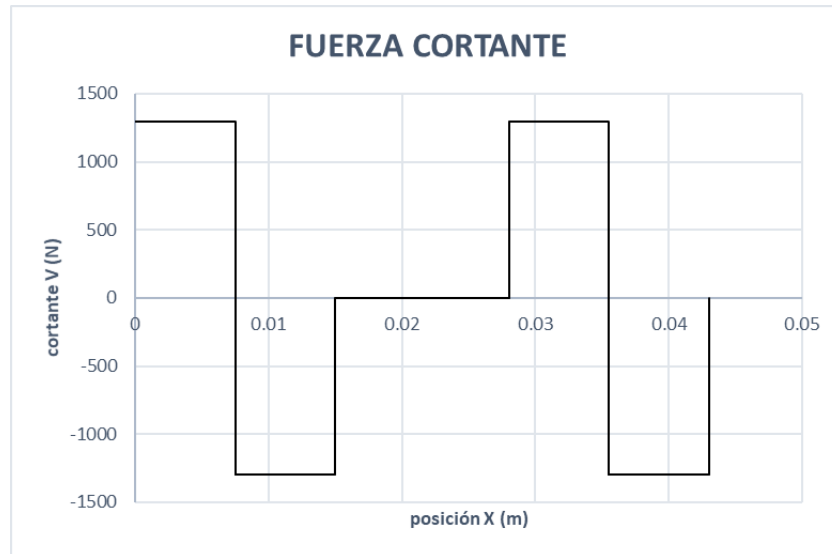


Figura 4-16: diagrama de fuerza cortante del perno en funcionamiento Fuente propia.

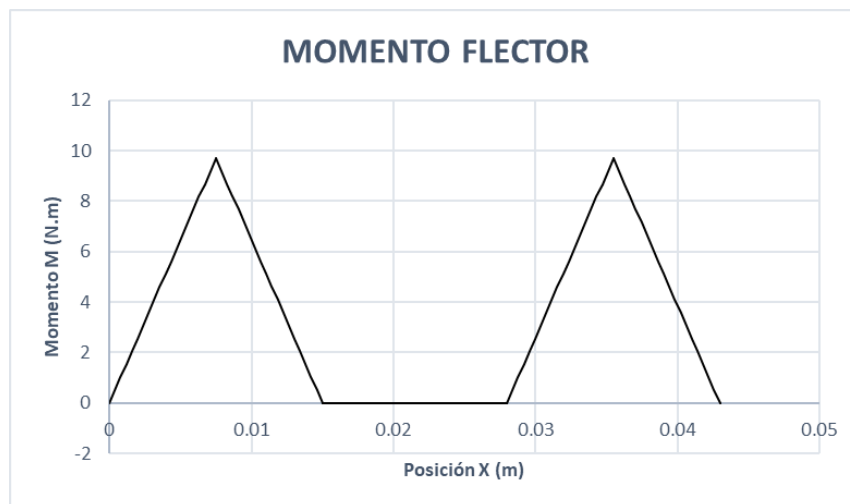


Figura 4-17 Diagrama de momento flector del perno en funcionamiento Fuente propia.

Con este momento, se puede obtener el esfuerzo máximo, con la misma ecuación 4-26:

Se obtiene un momento máximo de 9.71 N-m sobre el perno.

$$\sigma_{max} = \frac{32(9.71)}{\pi d^3}$$

$$\sigma_{max} = \frac{310.72}{\pi d^3}$$

Se calcula el esfuerzo alternativo (Budynas et al., 2012):

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \quad (4-27)$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} = \frac{310.72/(\pi d^3) - 310.72/(\pi d^3)}{2}$$

$$\sigma_a = 0$$

Se calcula el esfuerzo medio (Budynas et al., 2012):

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \quad (4-28)$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} = \frac{310.72/(\pi d^3) + 310.72/(\pi d^3)}{2}$$

$$\sigma_m = \frac{310.72}{\pi d^3}$$

El factor de seguridad deberá ser mayor o igual a 5 (Factor de Seguridad I SafetyCulture, 2024)), y utilizando la ecuación 4-22 con un factor de 5. Se obtiene el diámetro mínimo del perno:

$$\frac{1}{N} = \frac{\sigma_m}{S_u} + \frac{\sigma_a}{S_n}$$

$$\frac{1}{5} = \frac{310.72/(\pi d^3)}{585 \times 10^6} + \frac{0}{236.34 \times 10^6}$$

$$d = 9.46 \text{ mm}$$

El diámetro mínimo que debe tener el perno es de 9.46 mm, con lo que se concluye que el diámetro de 10 mm considerado inicialmente permitirá un funcionamiento seguro de los martillos.

Por lo que el perno quedaría dimensionado como: perno de cabeza hexagonal de 10x80 mm con paso de 2.5 mm, con material de acero AISI 316.

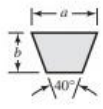
4.2.13 DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN.

4.2.13.1 CONSIDERACIONES DE DISEÑO.

- Sistema de transmisión será por bandas: Se considera este sistema porque permite reducir las vibraciones y sus efectos adversos. Además, proporciona mayor facilidad a la hora de realizar mantenimiento. Otra razón de la selección es el costo de las bandas, las cuales presenta ventaja económica respecto a otros sistemas de transmisión.
- Se selecciona una banda en V porque presenta las siguientes ventajas con respecto a una banda plana:
 - Pueden montarse en paralelas.
 - Las correas trapezoidales son las que han adquirido mayor aplicación en la industria.
 - La capacidad de carga de una correa en V es mayor que la de una plana debido a la acción de cuña en la polea
 - No requieren ajustes frecuentes en la tensión inicial debido a la resistencia al estiramiento de sus cuerdas tensoras internas.

- Velocidad angular del eje conducido de 3000 rpm: el eje conducido es donde se cargarán los discos y martillos, cuya velocidad ya fue definida anteriormente.
- Diámetro de la polea conductora será de 5.8 pulgadas: Se espera que la potencia del motor esté dentro del intervalo de 1 a 25 HP, el menor diámetro permitido es 5.4 pulgadas. Con esto, además, se establecen todas las dimensiones de dicha polea. Como se observa en la tabla 4-7:

Secciones de bandas en V estándar



Sección de la banda	Ancho a , pulg	Espesor b , pulg	Diámetro mínimo de polea, pulg	Intervalo de potencias (hp), una o más bandas
A	$\frac{1}{2}$	$\frac{11}{32}$	3.0	$\frac{1}{4}$ -10
B	$\frac{3}{8}$	$\frac{7}{16}$	5.4	1-25
C	$\frac{7}{8}$	$\frac{17}{32}$	9.0	15-100
D	$1\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	13.0	50-250
E	$1\frac{1}{2}$	1	21.6	100 y mayores

Tabla 4-7: Estimación de diámetro mínimo de polea. (Budynas et al., 2012).

- La velocidad del motor se determinará de 3,505 rpm: en base al tamaño de la máquina parece razonable que el motor tenga potencia entre 1 y 10 hp. Los motores en ese intervalo de potencia poseen velocidades cercanas a 3600 rpm (WEG, 2022).
- La distancia entre centros de poleas se considera de 50 cm: el radio de giro es de 16.5 cm y el radio de la polea conductora se ha considerado cerca de 7 cm, dejando un espacio considerable para facilitar el desmontaje de la banda es que se toma la distancia entre centros de 50 cm (figura 4-18).

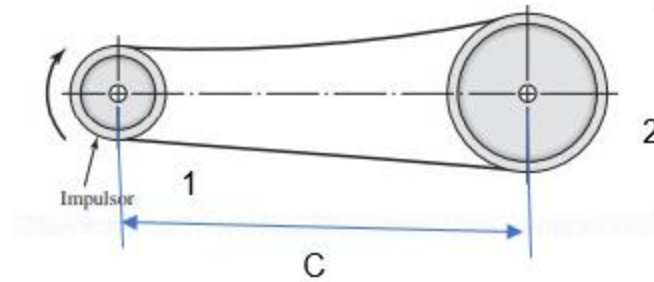


Figura 4-18: Configuración del sistema de transmisión. (Budynas et al., 2012).

4.2.13.2 SELECCIÓN DE BANDA DE TRANSMISIÓN.

Se determina el diámetro de la polea conducida de acuerdo con la siguiente relación de transmisión:

$$D_2 = \frac{D_1 \eta_1}{\eta_2} \quad (4-29)$$

Donde:

- η_1 : rpm del motor
- η_2 : rpm del eje conducido
- D_1 : diámetro de polea conductora (polea motora)
- D_2 : diámetro de polea conducida.

$$D_2 = \frac{(5.8)3500}{3000}$$

$$D_2 = 6.76 \text{ pulg}$$

$$D_2 = 7 \text{ pulg (17.78 cm.)}$$

Para la selección de la banda se necesita conocer la potencia de entrada que recibe la banda del motor, esta sería la potencia nominal de la máquina por lo que se procede a calcularla.

4.2.13.3 POTENCIA NOMINAL.

Para el cálculo de la potencia nominal en el eje del molino se utilizarán las siguientes ecuaciones:

$$P_n = T_n \omega \quad (4-30)$$

Donde:

- P_n : Potencia nominal.
- T_n : Torque nominal.

Ahora, se define el torque nominal en el eje del molino de acuerdo con la siguiente expresión:

$$T_n = F_t r_g \quad (4-31)$$

Donde:

- F_t : Fuerza tangencial aplicada al eje.
- r_g : Radio de giro.

La fuerza tangencial aplicada al eje es la misma fuerza de impacto que se determinó en apartados anteriores, para aplicar esta fuerza en la determinación del torque se toman en cuenta las siguientes consideraciones:

Únicamente una fila de martillos es la que entra en contacto por primera vez con el arroz y es la causante de la rotura de los granos, operación para la cual se necesita la mayor energía.

Las restantes tres filas de martillos son utilizadas para la pulverización simultanea de los granos de arroz ya quebrados que se dispersan por toda la carcasa del molino chocando a su vez con las paredes de este.

La energía requerida en la pulverización de los granos de arroz después de la rotura es inferior a la obtenida en la prueba de rotura por lo que se calcula esta nueva energía a ser aportada por las tres filas restantes de martillos de manera similar a la anterior.

El resultado de la prueba dio un h de 3 cm:

$$h = 3 \text{ cm}$$

Utilizando la ecuación 4-13 se obtiene:

$$F_{i-\text{pulverizado}} = (0.075)(9.81) \left(1 + \sqrt{1 + \frac{2(0.03)}{0.002}} \right)$$

$$F_{i-\text{pulverizado}} = 4.83 \text{ N}$$

El espesor del arroz permanece constante porque la rotura no modifica su sección transversal solo su longitud.

Esta fuerza obtenida debe dividirse en las tres filas restantes de martillos ya que las tres son las encargadas de llegar a la pulverización del cereal.

Se calcula la fuerza total F_t que sería la suma de las fuerzas realizadas por todos los martillos:

$$F_t = 5.99(2) + 4.83(6)$$

$$F_t = 40.96 \text{ N}$$

Sustituyendo esta fuerza y el radio de giro en la ecuación 4-31, se tiene:

$$T_n = 40.96(0.165)$$

$$T_n = 6.76 \text{ Nm}$$

Ahora se sustituye el torque y se transforma los rpm del eje de los discos a radianes para calcular la potencia requerida con la ecuación 4-30:

$$P_n = 6.76(3000) \left(\frac{2\pi}{60} \right)$$

$$P_n = 2,123.72 \text{ W}$$

Pasando esta potencia a HP:

$$P_n = 2,123.72 \left(\frac{1 \text{ hp}}{745.7 \text{ W}} \right)$$

$$P_n = 2.85 \text{ HP.}$$

Se considera la eficiencia del motor para así tener la potencia nominal, con una eficiencia del 95%, valor típico para bandas en V (Budynas et al., 2012):

$$P_n = \frac{2.85}{0.95}$$

$$P_n = 3.0 \text{ HP}$$

Ya que la potencia del motor es 3 HP, se encuentra dentro del intervalo que se estableció en las consideraciones iniciales. Por lo que la banda será la señalada en la tabla 4-7: Banda en V, sección B.

4.2.13.4 CÁLCULO DE LA POTENCIA DE DISEÑO.

Esta potencia es con la cual se elige la banda, y así mismo es la potencia a la entrada de la transmisión en este caso la potencia del motor (polea conductora) (Budynas et al., 2012):

$$Pot_d = K_s Pot_n \quad (4-32)$$

Donde:

- K_s : factor de seguridad o servicio.
- Pot_n : Potencia efectiva en la polea conductora.

El factor K_s se obtiene de la tabla 4-8, donde se espera que las empresas elaboren su harina del día en un tiempo promedio de una hora (Tabla 17-15 de Budynas et al., 2012):

Maquinaria impulsada	Fuente de potencia	
	Características del par de torsión normal	Par de torsión alto o no uniforme
Uniforme	1.0 a 1.2	1.1 a 1.3
Impacto ligero	1.1 a 1.3	1.2 a 1.4
Impacto medio	1.2 a 1.4	1.4 a 1.6
Impacto pesado	1.3 a 1.5	1.5 a 1.8

Tabla 4-8: Factores de servicio para banda en V. (Budynas et al., 2012).

El factor de servicio para el molino de martillos es de 1.2 considerando un impacto medio y un par de torsión normal, así se tiene la potencia de diseño:

$$Pot_d = 1.2(3)$$

$$Pot_d = 3.6 \text{ hp}$$

4.2.13.5 CÁLCULO DE LA POTENCIA CORREGIDA POR BANDA.

Es la potencia que una sola banda en V es capaz de transmitir en la operación y se define por la siguiente expresión (Budynas et al., 2012):

$$Pot_c = K_1 K_2 Pot_b \quad (4-33)$$

Donde:

- K_1 : Factor de corrección por el ángulo de contacto más crítico θ_1 .
- K_2 : es el factor de corrección por longitud de banda.

Para determinar K_1 se necesita el valor calculado de θ_1 que se calcula con la siguiente ecuación (Budynas et al., 2012):

$$\theta_1 = \pi - 2 \left(\frac{R_2 - R_1}{C} \right) \quad (4-34)$$

$$\theta_1 = \pi - 2 \left(\frac{7/2 - 5.8/2}{50/2.54} \right)$$

$$\theta_1 = 3.08 \text{ rad} = 176.5^\circ$$

Ahora con el resultado de θ_1 y utilizando la columna VV (tabla 4-9), se obtiene el valor de K_1 (Tabla 17-13 de Budynas et al., 2012)

$\frac{D-d}{C}$	θ , grados	K1	
		VV	Plana en V
0.00	180	1.00	0.75
0.10	174.3	0.99	0.76
0.20	166.5	0.97	0.78
0.30	162.7	0.96	0.79
0.40	156.9	0.94	0.80
0.50	151.0	0.93	0.81
0.60	145.1	0.91	0.83
0.70	139.0	0.89	0.84
0.80	132.8	0.87	0.85
0.90	126.5	0.85	0.85
1.00	120.0	0.82	0.82
1.10	113.3	0.80	0.80
1.20	106.3	0.77	0.77
1.30	98.9	0.73	0.73
1.40	91.1	0.70	0.70
1.50	82.8	0.65	0.65

Tabla 4-9: Factor de corrección K_1 (Budynas et al., 2012).

Mediante interpolación se obtiene el valor de K_1 , de 0.995.

Para determinar K_2 se determina la longitud de la banda según la siguiente expresión (Budynas et al., 2012):

$$L = 2a + \pi(R_2 + R_1) + \frac{2}{c}(R_2 - R_1)^2 \quad (4-35)$$

Donde el factor "a" se calcula mediante la siguiente expresión (Budynas et al., 2012):

$$a = (C^2 - (R_2 - R_1))^{\frac{1}{2}} \quad (4-36)$$

Calculando a:

$$a = \left(\left(\frac{50}{2.54} \right)^2 - \left(\frac{7}{2} - \frac{5.8}{2} \right) \right)^{1/2}$$

$$a = 19.67 \text{ pulg}$$

Calculando L:

$$L = 2(19.67) + \pi \left(\frac{7}{2} + \frac{5.8}{2} \right) + \frac{2}{50/2.54} \left(\frac{7}{2} - \frac{5.8}{2} \right)^2$$

$$L = 59.48 \text{ pulg}$$

$$L = 60 \text{ pulg}$$

Se debe establecer una longitud de banda que sea comercialmente válida. Por lo que se busca en la tabla 4-10 la longitud correcta (Tabla 17-10 de Budynas et al., 2012):

Sección	Circunferencia, pulg
A	26, 31, 33, 35, 38, 42, 46, 48, 51, 53, 55, 57, 60, 62, 64, 66, 68, 71, 75, 78, 80, 85, 90, 96, 105, 112, 120, 128
B	35, 38, 42, 46, 48, 51, 53, 55, 57, 60, 62, 64, 65, 66, 68, 71, 75, 78, 79, 81, 83, 85, 90, 93, 97, 100, 103, 105, 112, 120, 128, 131, 136, 144, 158, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300
C	51, 60, 68, 75, 81, 85, 90, 96, 105, 112, 120, 128, 136, 144, 158, 162, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420
D	120, 128, 144, 158, 162, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420, 480, 540, 600, 660
E	180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420, 480, 540, 600, 660

Tabla 4-10: longitud estándar de banda (Budynas et al., 2012).

La longitud estándar para 59.48 pulgadas es de 60 pulgadas (152.4 cm) en bandas de sección B, esto para no sobrepasar la distancia entre centros de 50 cm.

Ahora con el valor estándar de la longitud se obtiene de la tabla 4-11 el valor de K_2 (Tabla 17-14 de Budynas et al., 2012):

Factor de longitud	Longitud nominal de la banda, pulg				
	Bandas A	Bandas B	Bandas C	Bandas D	Bandas E
0.85	Hasta 35	Hasta 46	Hasta 75	Hasta 128	
0.90	38-46	48-60	81-96	144-162	Hasta 195
0.95	48-55	62-75	105-120	173-210	210-240
1.00	60-75	78-97	128-158	240	270-300
1.05	78-90	105-120	162-195	270-330	330-390
1.10	96-112	128-144	210-240	360-420	420-480
1.15	120 y mayor	158-180	270-300	480	540-600
1.20		195 y mayor	330 y mayor	540 y mayor	660

Tabla 4-11: Factor de corrección K_2 (Budynas et al., 2012).

Se obtiene K_2 con valor de 0.90, ya que la banda es sección B y posee una longitud entre 48 y 60 pulgadas.

La potencia Pot_b es la potencia que una banda es capaz de transmitir. Se obtiene de la tabla 4-12 (Tabla 17-12 de Budynas et al., 2012):

Sección de la banda	Diámetro de paso de la polea, pulg	Velocidad de la banda, pie/min				
		1 000	2 000	3 000	4 000	5 000
A	2.6	0.47	0.62	0.53	0.15	
	3.0	0.66	1.01	1.12	0.93	0.38
	3.4	0.81	1.31	1.57	1.53	1.12
	3.8	0.93	1.55	1.92	2.00	1.71
	4.2	1.03	1.74	2.20	2.38	2.19
	4.6	1.11	1.89	2.44	2.69	2.58
	5.0 y mayor	1.17	2.03	2.64	2.96	2.89
B	4.2	1.07	1.58	1.68	1.26	0.22
	4.6	1.27	1.99	2.29	2.08	1.24
	5.0	1.44	2.33	2.80	2.76	2.10
	5.4	1.59	2.62	3.24	3.34	2.82
	5.8	1.72	2.87	3.61	3.85	3.45
	6.2	1.82	3.09	3.94	4.28	4.00
	6.6	1.92	3.29	4.23	4.67	4.48
7.0 y mayor	2.01	3.46	4.49	5.01	4.90	
C	6.0	1.84	2.66	2.72	1.87	
	7.0	2.48	3.94	4.64	4.44	3.12
	8.0	2.96	4.90	6.09	6.36	5.52
	9.0	3.34	5.65	7.21	7.86	7.39
	10.0	3.64	6.25	8.11	9.06	8.89
	11.0	3.88	6.74	8.84	10.0	10.1
	12.0 y mayor	4.09	7.15	9.46	10.9	11.1

Tabla 4-12: potencia nominal de banda en V (Budynas et al., 2012).

Para poder obtener la potencia se requiere la velocidad tangencial de la polea del motor (Sears, 2022):

$$V_t = \omega R_1 \quad (4-37)$$

Donde:

- ω : Velocidad angular de la polea
- R_1 : Radio de la polea del motor.

$$\omega = 3600 \text{ rpm} = 366.52 \text{ rad/s} = 21\,991.15 \text{ rad/min}$$

$$R_1 = \frac{\left(\frac{5.8}{12}\right) \text{ pies}}{2} = 0.2417 \text{ pies}$$

$$V_t = (21991.15)(0.2417)$$

$$V_t = 5,315.26 \text{ pie/min}$$

Se tiene una sección B de banda, un diámetro de polea del motor de 5.8 pulgadas y una velocidad tangencial cercana a 5,000. Con lo que se obtiene en la tabla 4-12 el valor de:

$$Pot_b = 3.45 \text{ hp}$$

Con esto se obtiene la potencia corregida de la ecuación 4-33.

$$Pot_c = K_1 K_2 Pot_b$$

$$Pot_c = (0.995)(0.90)(3.45)$$

$$Pot_c = 3.09 \text{ hp}$$

4.2.13.6 CÁLCULO DEL NUMERO DE BANDAS.

El número de bandas es el cociente entre la potencia de diseño y la potencia corregida (Budynas et al., 2012):

$$N = \frac{Pot_d}{Pot_c} \quad (4-38)$$

$$N = \frac{3.6}{3.09}$$

$$N = 1.165$$

$$N = 2 \text{ bandas}$$

Por lo tanto, se tiene un número de bandas igual a 2.

4.2.14 DISEÑO DEL EJE.

En este apartado se verificará que el diámetro del eje seleccionado anteriormente brinda un factor de seguridad confiable para que éste sea capaz de soportar los esfuerzos que se presentan. Los esfuerzos se obtendrán realizando el diagrama de cortante y momento flector en el eje, por lo cual se

debe determinar su longitud considerando las dimensiones de los componentes ya establecidos. Dicho análisis se llevará a cabo utilizando la teoría de falla de Goodman.

4.2.14.1 DEFINICION DE LA GEOMETRIA DEL EJE.

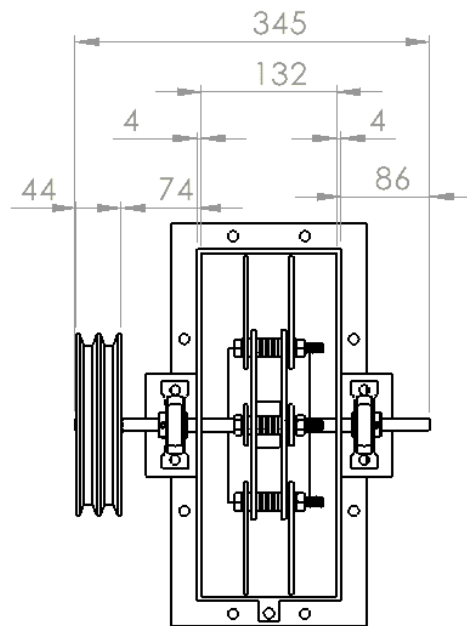


Figura 4-19: Dimensionamiento del eje (Vista de planta, cotas en mm).

Fuente propia.

Geometría del eje:

- Diámetro mayor: 12.7 mm.
- Diámetro menor: 12 mm.
- Longitud: 345 mm.

4.2.14.2 CALCULO DE FUERZAS APLICADAS EN EL EJE.

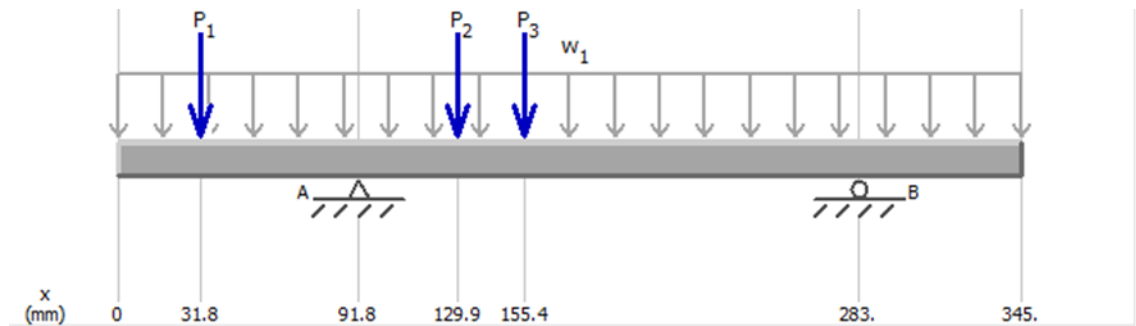


Figura 4-20: Fuerzas que actúan en el eje. (Fuente propia MDSolids).

Donde:

- P_1 : Peso de la polea más la fuerza ejercida por la banda.
- W : Peso del eje
- P_2 : Peso del disco porta martillos
- $P_2 = P_3$
- A y B : Reacciones en los cojinetes.

NOTA: La masa de los discos porta martillos, martillos, pernos y separadores de discos, se han determinado por medio de SolidWorks (presentado en el anexo C), debido a lo cual solo se calculará P_1 .

Determinación de P_1 : Fuerza aplicada por polea conducida:

$$P_1 = W_{polea} + F_t \quad (4-39)$$

Donde:

- W_{polea} : Peso de la polea 11 lb = 48.93 N. (*Poleas - PHP 2-B68TB*, n.d.)

- F_t : Fuerza tangencial de banda.

La fuerza tangencial de banda se define de acuerdo con la siguiente expresión (Budynas et al., 2012):

$$F_t = \frac{T}{r_{polea}} \quad (4-40)$$

Y el torque en el eje del motor está definido por la siguiente expresión (Budynas et al., 2012):

$$T = \frac{P_{motor}}{\omega_{motor}} \quad (4-41)$$

$$T = \frac{3(745.7)}{366.52} = 6.1 \text{ Nm}$$

Calculando la fuerza tangencial:

$$F_t = \frac{6.1}{0.147/2} = 82.99 \text{ N}$$

Calculando P1:

$$P_1 = 48.93 + 82.99 = 129.61 \text{ N}$$

Por tanto, las fuerzas que actúan en el eje son:

- Peso de polea más fuerza de las bandas $P_1 = 129.61 \text{ N}$
- Peso del eje conducido $w = 0.326(9.81) = 3.21 \text{ N}$

Convertir el peso del eje en una carga distribuida:

$$\gamma = \frac{W}{V_e} = \frac{W}{Al}$$

Donde:

- γ : peso específico
- W : peso del eje
- V_e : volumen del eje
- l : longitud del eje
- w : peso por unidad de longitud
- ρ : densidad acero 304
- d : diámetro del eje

$$W = \gamma Al$$

$$\frac{W}{l} = \gamma A$$

$$w = \rho g \frac{\pi}{4} d^2$$

Sustituyendo:

$$w = 8000(9.81) \frac{\pi}{4} (0.5(0.0254))^2$$

$$w = 9.94 \frac{N}{m}$$

- Peso de los discos porta martillos $P_2=P_3 = 1.04(9.81) = 10.20 \text{ N}$

A continuación, se presentan los diagramas de fuerza cortante y momento flector para el eje mediante el uso del software MDSOLID en la figura 4-21.

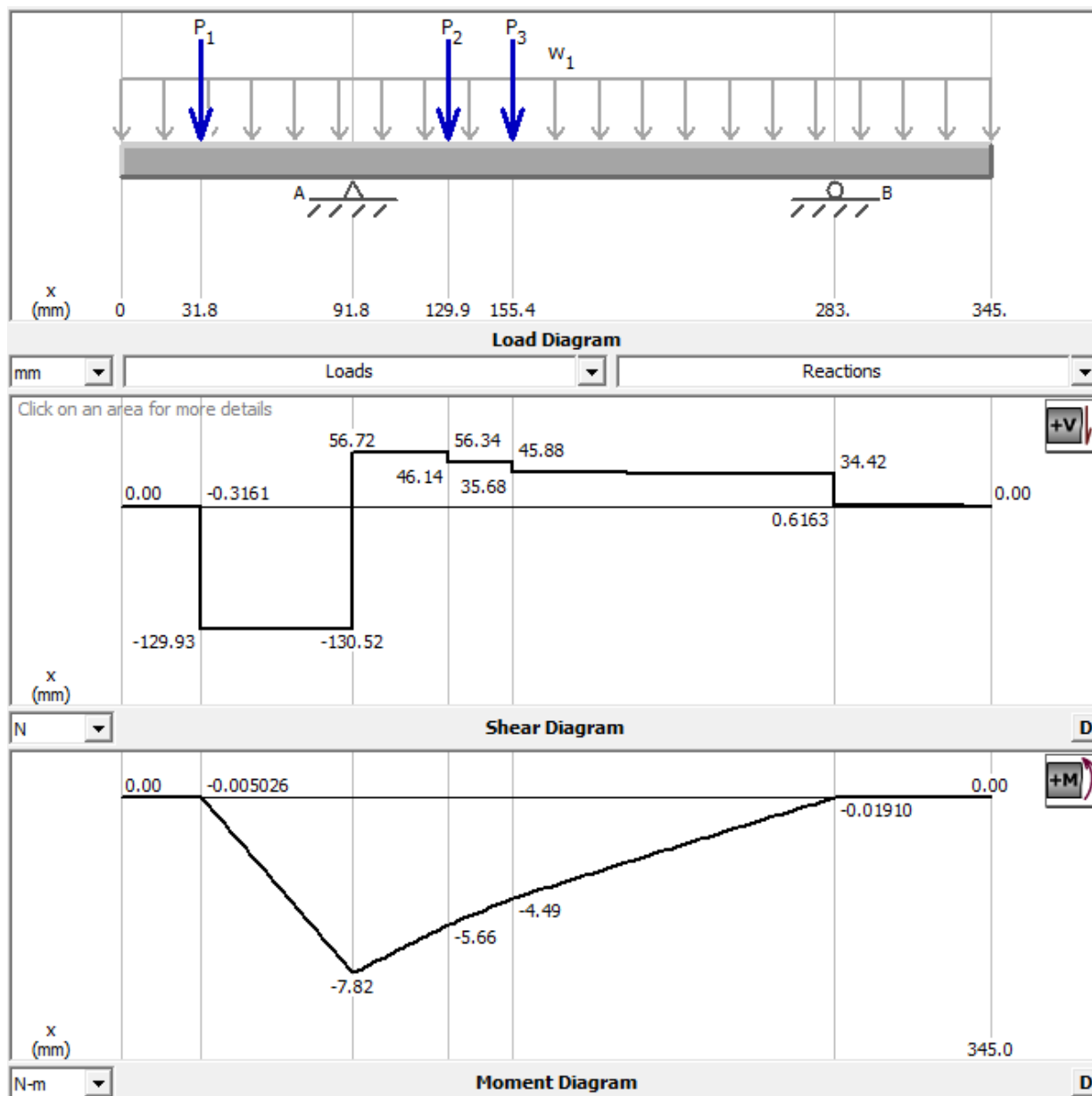


Figura 4-21: Diagrama de fuerza cortante y momento flector del eje conducido (Fuente propia).

Del diagrama de momento de la figura 4-22 se observa que el mayor momento se produce en la reacción debida al cojinete a una distancia de 91.8 mm desde el punto de referencia, y tiene un valor de 7.82 N.m (compresión).

Utilizando esta información se lleva a cabo el análisis de falla con la teoría de Goodman (Budynas et al., 2012):

$$\frac{\sigma_{ea}}{S_n} + \frac{\sigma_{em}}{S_{ut}} = \frac{1}{n} \quad (4-42)$$

Donde:

- σ_{ea} : Esfuerzo equivalente alternativo.
- σ_{em} : Esfuerzo equivalente medio.
- S_n : Limite de resistencia a la fatiga.
- S_{ut} : Esfuerzo último en tensión.
- n : Factor de seguridad.

El esfuerzo equivalente alternativo se define mediante la ecuación 4-43 (Budynas et al., 2012):

$$\sigma_{ea} = \sqrt{\sigma_a^2 + 3\tau_a^2} \quad (4-43)$$

$$\sigma_{ea} = \sigma_a$$

$$\sigma_{ea} = \frac{32M}{\pi d_{eje}^3}$$

$$\sigma_{ea} = \frac{32(7.82)}{\pi(0.012)^3}$$

$$\sigma_{ea} = 46.1 \text{ MPa}$$

El esfuerzo equivalente medio se define mediante la ecuación 4-44 (Budynas et al., 2012):

$$\sigma_{em} = \sqrt{\sigma_m^2 + 3\tau_m^2} \quad (4-44)$$

El esfuerzo cortante medio se define mediante la ecuación (Budynas et al., 2012):

$$\tau_m = \frac{16T}{\pi d_{ej}^3} \quad (4-45)$$

$$\tau_m = \frac{16(6.76)}{\pi(0.012)^3}$$

$$\tau_m = 19.92 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{em} = \sqrt{3(19.92 \times 10^6)^2}$$

$$\sigma_{em} = 34.51 \text{ MPa}$$

Calculando S_n :

$$S_n = S'_n K_a K_b K_c K_d K_e$$

$$S_u = 585 \text{ Mpa}$$

$$S'_n = 0.5 S_u = 0.5(585) = 292.5$$

$$S'_n = 292.5 \text{ MPa}$$

$$k_a = A S_u^b = 1.58(585)^{-0.085} = 0.9193$$

$$k_b = 1.24 d^{-0.107} = 1.24(12)^{-0.107} = 0.9505$$

$$k_c = k_d = k_e = 1$$

$$S_n = (292.5)(0.9193)(0.9505)(1)(1)(1)$$

$$S_n = 255.58 \text{ MPa}$$

Sustituyendo en ecuación 4-42 y resolviendo para n :

$$\frac{46.1}{255.58} + \frac{34.51}{585} = \frac{1}{n}$$

$$n = 4.18$$

Con un factor de seguridad de 4.18 se concluye que el eje diseñado con diámetro de 0.5 pulgada, longitud de 345 mm y fabricado en acero AISI 304 puede operar sin riesgo de falla. Por lo tanto, se procede a realizar el análisis del concentrador de esfuerzo por cambio de sección en el eje (de 12.7 a 12 mm) y en fatiga para terminar de validar el diseño del eje.

Para esto se calcula el esfuerzo en el punto del concentrador de esfuerzo.

$$\sigma_{fatiga} = K_f \frac{32M}{\pi d_{eje}^3}$$

Donde K_f es:

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

Para calcular K_t se utiliza la figura 4-23:

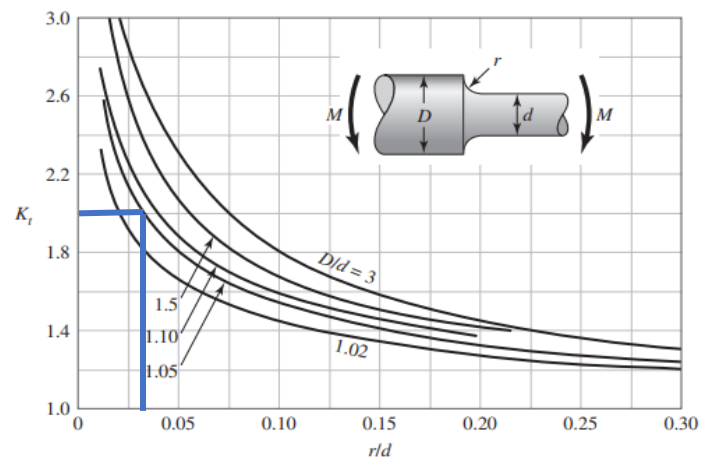


Figura 4-21: Determinación de K_t de curvas de concentradores de esfuerzo para cambio de sección del eje. Fuente: (Budynas et al., 2012).

$$\frac{r}{d} = \frac{0.35}{12} = 0.03$$

$$\frac{D}{d} = \frac{12.7}{12} = 1.06$$

Por lo que el $K_t = 2.0$

Para calcular "q" se utiliza la figura 4-24:

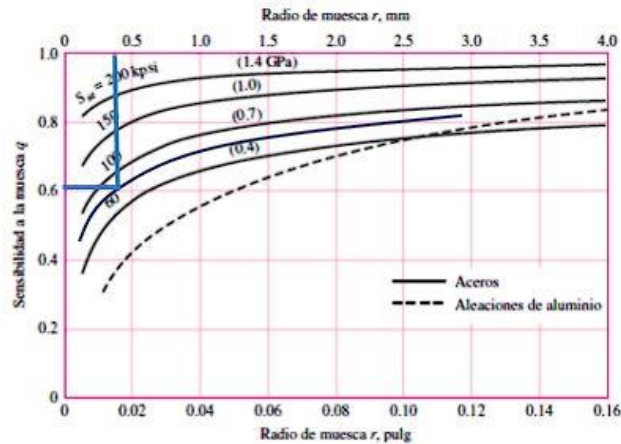


Figura 4-22: Determinación del factor "q" para carga variable. Fuente: (Budynas et al., 2012).

$$S_{ut} = 0.568 \text{ Gpa}$$

$$r = 0.35 \text{ mm}$$

Por lo que el $q = 0.6$.

Así se tiene un valor de K_f de:

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

$$K_f = 1 + 0.6(2 - 1)$$

$$K_f = 1.6$$

El momento que se aplica en el lugar del concentrador de esfuerzo es de -5.66 Nm (calculado en los diagramas de momento flector sobre todo el eje). Y el diámetro a considerar es el menor, es decir 12 mm.

$$\sigma_{fatiga} = K_f \frac{32M}{\pi d_{eje}^3}$$

$$\sigma_{fatiga} = 1.6 \left(\frac{32(5.66)}{\pi(0.012)^3} \right)$$

$$\sigma_{fatiga} = 53.38 \text{ Mpa}$$

Se calcula el factor de seguridad en ese concentrador de esfuerzo, tomando en cuenta que el esfuerzo permitido es el esfuerzo de fluencia del acero:

$$n = \frac{\sigma_{perm}}{\sigma_{fatiga}} = \frac{276}{53.38} = 5.17$$

$$n = 5.17$$

Finalmente se analiza el concentrador de esfuerzo a causa de los anillos de retención (figura 4-25), siguiendo la misma secuencia que con el cambio de diámetro, tenemos:

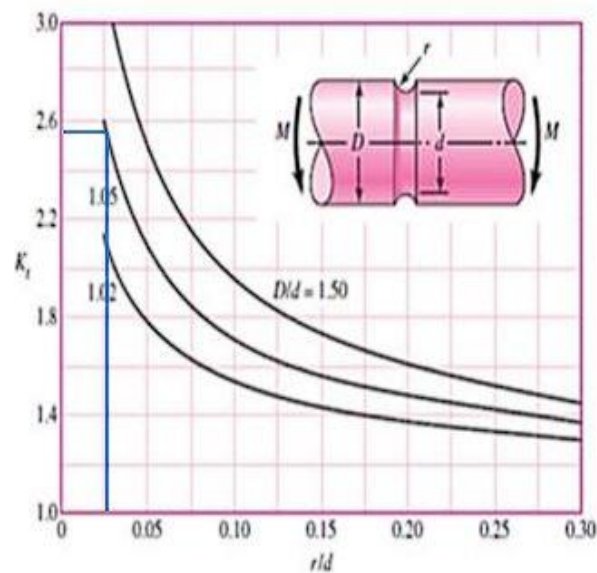


Figura 4-23: Determinación de K_t de curvas de concentradores de esfuerzo para muescas del eje.

Fuente: (Budynas et al., 2012).

El diámetro “d” será igual al diámetro del eje D (12 mm) menos dos veces la profundidad del espacio para el anillo de retención:

$$d = D - 2r = 12 - 2(0.3) = 11.4$$

$$\frac{r}{d} = \frac{0.3}{11.4} = 0.027$$

$$\frac{D}{d} = \frac{12}{11.4} = 1.05$$

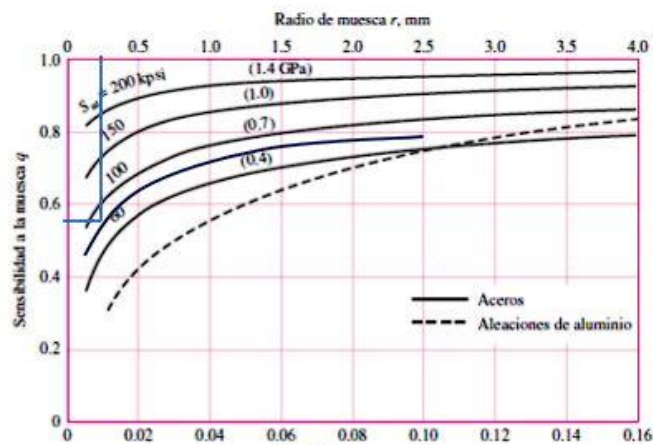


Figura 4-24: Determinación del factor “q” para carga variable. Fuente: (Budynas et al., 2012).

Se obtiene un $K_t = 2.55$ de acuerdo con la figura 4-25

$$S_{ut} = 0.568 \text{ Gpa}$$

$$r = 0.30 \text{ mm}$$

Por lo que $q = 0.55$ de acuerdo con la figura 4-26

Así se tiene un valor de K_f de:

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

$$K_f = 1 + 0.55(2.55 - 1)$$

$$K_f = 1.85$$

El momento que se aplica en el lugar del concentrador de esfuerzo es de -5.28 Nm (calculado en los diagramas de momento flector sobre todo el eje). Y el diámetro a considerar es el menor, es decir 11.4 mm .

$$\sigma_{fatiga} = K_f \frac{32M}{\pi d_{eje}^3}$$

$$\sigma_{fatiga} = 1.85 \left(\frac{32(5.28)}{\pi(0.0114)^3} \right)$$

$$\sigma_{fatiga} = 67.17 \text{ Mpa}$$

Se calcula el factor de seguridad en ese concentrador de esfuerzo, tomando en cuenta que el esfuerzo permitido es el esfuerzo de fluencia del acero:

$$n = \frac{\sigma_{perm}}{\sigma_{fatiga}} = \frac{276}{67.17}$$

$$n = 4.11$$

Con estos cálculos se comprueba que el diseño del eje no presentará fallas durante su operación.

4.2.14.2 DISEÑO DE LA CUÑA.

Para el diseño de la cuña se debe considerar que la sección transversal de la cuña y del cuñero se encuentre normalizados. Dicha sección transversal depende únicamente del diámetro del eje y de la figura geométrica que tendrá la sección.

Se seleccionará una cuña de sección transversal cuadrada para ambos ejes.

4.2.14.2.1 SELECCIÓN DE CUÑA PARA EJE CONDUCIDO.

El diámetro del eje conducido es 0.5 pulgadas (1.27 cm). Se toman dimensiones de acuerdo con la tabla 4-13 :

Diámetro del eje		Tamaño de la cuña		Profundidad del cuñero
Más de	Hasta (inclusive)	w	h	
$\frac{5}{16}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{64}$
$\frac{7}{16}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{64}$
		$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{16}$
$\frac{9}{16}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{16}$
		$\frac{3}{16}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{3}{32}$
$\frac{7}{8}$	$1\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{3}{32}$
		$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$
$1\frac{1}{4}$	$1\frac{3}{8}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$
		$\frac{5}{16}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{5}{32}$
$1\frac{3}{8}$	$1\frac{3}{4}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$
		$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{16}$
$1\frac{3}{4}$	$2\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{16}$
		$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$
$2\frac{1}{4}$	$2\frac{3}{4}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{7}{32}$
		$\frac{5}{8}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{5}{16}$
$2\frac{3}{4}$	$3\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$
		$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{8}$

Tabla 4-13. Selección del tamaño de la cuña

dependiendo del diámetro del eje. (Budynas et al., 2012)

Por tanto, la sección transversal de la cuña será de $\frac{1}{8} \times \frac{3}{32}$ pulgadas (3.18x2.38 mm) de acuerdo con la tabla 4-13.

4.2.14.2.2 SELECCIÓN DE CUÑA PARA EJE DEL MOTOR ELECTRICO.

El diámetro del eje del motor es de 7/8 pulgadas (22.22 mm.). Por lo que la sección transversal será de $\frac{1}{4} \times \frac{3}{16}$ pulgadas (6.35x4.76 mm) de acuerdo con la tabla 4-13.

4.2.14.2.3 SELECCIÓN DE CUÑA PARA POLEA DEL EJE CONDUcido.

La selección de la cuña para la polea del eje conducido se realiza en base al casquillo que une la polea con el eje. Del fabricante (SKF) de la polea, se sabe que el número de casquillo a utilizar es el 1610. Por lo tanto, para obtener las dimensiones de la cuña se hace de acuerdo con la tabla 4-14 :

TIPO A		TIPO B																		
TIPO		1008 A	1108 A	1210 A	1215 A	1310 A	1610 A	1615 A	2012 A	2517 A	2525 A	3020 A	3030 A	3525 B	3535 B	4040 B	4545 B	5050 B		
Peso con Ø D mín.	Kg	0,12	0,16	0,28	0,39	0,32	0,42	0,61	0,75	1,10	2,25	2,61	3,80	3,90	5,25	7,80	12,80	15,30		
D máx.	mm	35,0	38,0	47,5	47,5	50,5	57,0	57,0	70,0	85,5	85,5	108,0	108,0	127,0	127,0	146,0	162,0	177,5		
L	mm	22,3	22,3	25,4	38,1	25,4	25,4	38,1	31,8	44,5	63,5	50,8	76,2	63,5	88,9	101,8	114,3	127,0		
Tornillos de hexágono interior (Allen)		1/4" x 1/2"	1/4" x 1/2"	3/8" x 5/8"	3/8" x 5/8"	3/8" x 5/8"	3/8" x 5/8"	3/8" x 5/8"	7/16" x 7/8"	1/2" x 1"	1/2" x 1"	5/8" x 1 1/4"	5/8" x 1 1/4"	1/2" x 1 1/2"	1/2" x 1 1/2"	5/8" x 1 3/4"	3/4" x 2"	7/8" x 2 1/4"		
Tamaño de la llave hexagonal (Allen)	Nr	3,0	3,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	6,0	6,0	8,0	8,0	10,0	10,0	12,0	14,0	14,0		
Par de apriete	Nm.	5,7	5,7	20	20	20	20	20	31	49	49	92	92	115	115	172	195	275		
Ø D mm	b mm	h mm	*	1008	1108	1210	1215	1310	1610	1615	2012	2517	2525	3020	3030	3525	3535	4040	4545	5050
9	3	1,4																		
10	3	1,4																		
11	4	1,8																		
12	4	1,8																		
14	5	2,3																		
15	5	2,3																		
16	5	2,3																		

Tabla 4-14: Selección de dimensiones de la cuña para la polea en función del diámetro del eje.

De donde se lee, al tener un diámetro del eje de 12 mm, se obtienen unas dimensiones de 4x1.8 mm para la cuña.

4.2.15 SELECCIÓN DE COJINETES.

- **COJINETE A**

Se considera solamente carga radial.

Paso 1: determinar carga equivalente para el cojinete.

$$F_e = VR_A \quad (4-46)$$

Donde:

- V : factor de rotación
- R_A : reacción en el cojinete
- F_e : fuerza equivalente.

$$R_A = 145.08 \text{ N}$$

R_A se obtiene de la ilustración 4-15.

NOTA: $V = 1.0$ si la pista interna gira, $V = 1.2$ si la pista externa gira.
(Budynas et al., 2012).

Seleccionando $V = 1$

Por lo tanto:

$$F_e = (1)(145.08)$$

$$F_e = 145.08 \text{ N}$$

Paso 2: determinar carga dinámica en cada cojinete (Budynas et al., 2012):

$$C = F_e \left(\frac{L_d}{10^6} \right)^{1/k} \quad (4-47)$$

Donde:

- C : Carga dinámica en el cojinete.
- F_e : Carga equivalente en el cojinete.

- k : Factor de vida del cojinete. $k = 3.0$ en cojinetes de bola, $k = \frac{10}{3}$ en cojinete de rodillo cónico.
- L_d : Vida útil de diseño.

L_d se define como (Budynas et al., 2012):

$$L_d = L_{10} * n * 60 \quad (4-48)$$

Donde:

- L_{10} : Vida de diseño del cojinete en horas. (ver tabla 4-13).
- n : Revoluciones por minuto de operación del eje.
- 60: Factor de conversión de minutos a horas.

Determinando L_{10} de tabla 4-15. (Budynas et al., 2012):

Tipo de aplicación	Vida, kh
Instrumentos y aparatos de uso poco frecuente	Hasta 0.5
Motores de aeronaves	0.5-2
Máquinas de operación corta o intermitente, donde la interrupción del servicio resulta de poca importancia	4-8
Máquinas de servicio intermitente donde una operación confiable es de gran importancia	8-14
Máquinas para servicio de 8 h, que no siempre se usan completamente	14-20
Máquinas para servicio de 8 h, que se utilizan plenamente	20-30
Máquinas para servicio continuo las 24 h	50-60
Máquinas para un servicio continuo de 24 h, donde la confiabilidad es de suma importancia	100-200

Tabla 4-15: Duración recomendada para rodamientos. (Budynas et al., 2012).

Se considera un L_{10} de 25,000 tomando un valor medio para el intervalo de máquinas de servicio de 8 h.

Así:

$$L_d = L_{10} * n * 60$$

$$L_d = 25,000 * 3000 * 60$$

$$L_d = 4.5x10^9$$

Considerando $k = 3.0$. Se puede determinar C:

$$C = F_e \left(\frac{L_d}{10^6} \right)^{1/k}$$

$$C = (145.08) \left(\frac{4.5x10^9}{10^6} \right)^{1/3}$$

$$C = 2,395.22 \text{ N}$$

Se convierte a libras para poder determinar el tipo de cojinete en el siguiente paso:

$$C = 538.5 \text{ lb}$$

$$C = 539 \text{ lb}$$

- **COJINETE B**

Siguiendo los mismos pasos se obtiene el cojinete en el segundo apoyo.

Paso 1:

$$F_e = VR_B = (1)(7.7)$$

$$F_e = 7.7 \text{ N}$$

Paso 2:

$$C = F_e \left(\frac{L_d}{10^6} \right)^{1/k}$$

$$C = (7.7) \left(\frac{4.5x10^9}{10^6} \right)^{1/3}$$

$$C = 127.12 \text{ N}$$

$$C = 29 \text{ lb}$$

Dado que la carga dinámica es pequeña se puede seleccionar el mismo cojinete que en A.

En base a los requerimientos de carga y diámetro del eje, se seleccionará la chumacera UCP 201, donde sus características se detallan en la tabla 4-16.



FAG

★ UCP201-08

Soporte de apoyo

Soportes de apoyo UCP, soporte de fundición gris, con base larga, rodamiento insertable con tornillos prisioneros en el anillo interior, obturaciones RSR.

★ Producto preferido

Unidades

Métrico Imperial

Medidas principales y datos de rendimiento

d	12 mm	Diámetro del agujero
L	127 mm	Longitud total
H ₀	62 mm	Altura
m	0,54 kg	Peso

Medidas de montaje

J	95 mm	Distancia agujero de fijación
N	13 mm	Anchura (ranura)
N ₁	15 mm	Longitud (ranura)

PRESTACIONES

C - Capacidad de carga dinámica	12,8 kN
C0 - Capacidad de carga estática	6,65 kN
Temperatura min de funcionamiento	-20 °C
Temperatura max de funcionamiento	200 °C

Tabla 4-16: capacidad de cargas de las chumaceras. (FAG, 2022).

Dado que la ranura que posee esta chumacera es de 13 mm de ancho (medida N en la tabla 4-16), se seleccionan 4 pernos de diámetro 10 mm para su fijación. Y se procede al análisis de esfuerzo a tracción para determinar si soportarán la fuerza aplicada por la chumacera.

Para la chumacera sometida a mayor esfuerzo tenemos una fuerza de $F=129.61$ N. la cual se reparte entre los dos pernos, teniendo: $F_p = 64.8$ N

Se calcula el área transversal del perno:

$$A = \frac{\pi}{4}d^2 = \frac{\pi}{4}(0.010)^2 = 78.54 \times 10^{-6}$$

El esfuerzo sobre el perno es:

$$\sigma_p = \frac{F_p}{A} = \frac{64.8}{78.54 \times 10^{-6}}$$

$$\sigma_p = 0.825 \text{ Mpa}$$

El esfuerzo que soportan los pernos grado 8.8 es de 800 Mpa por lo que se tiene la certeza que los pernos soportarán el esfuerzo al que son sometidos.

4.2.16 DISEÑO Y ANÁLISIS DE SOLDADURA DE LA MÉNSULA DE LAS CHUMACERAS.

Las chumaceras se deben montar sobre dos ménsulas soldadas, por tanto, dichas ménsulas deben soportar las cargas resultantes que son transmitidas hacia las chumaceras por el eje conducido, en las figuras 4-27 y 4-28 se muestra el diseño y geometría correspondientes a las ménsulas y soldadura.

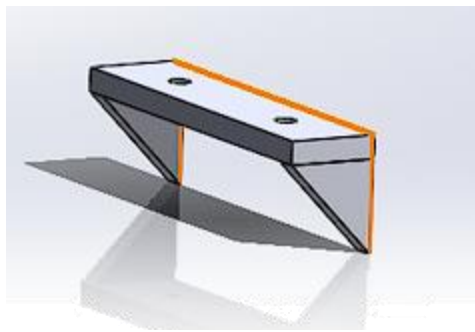


Figura 4-25: Dibujo isométrico de la ménsula sobre la cual irán montadas las chumaceras. Fuente propia.

Como se observa la geometría del cordón de soldadura corresponde a una U invertida, entonces lo primero que se hará es identificar a que cargas se encuentra sometida la soldadura, como se observa, la carga se encuentra aplicada en el centro de la ménsula, lo cual produce una carga a flexión a lo largo de la soldadura.

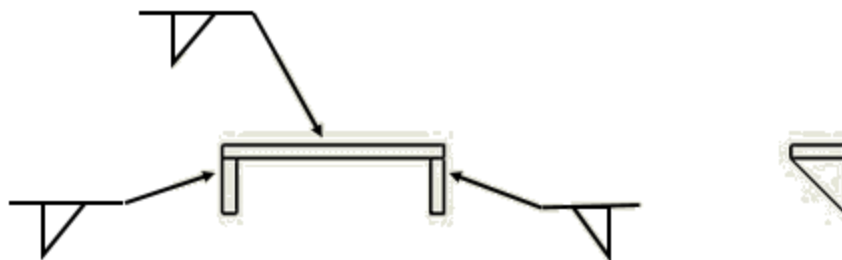


Figura 4-26: Diseño y geometría de las ménsulas y soldadura. Fuente propia.

Por tanto, se tienen dos esfuerzos, el cortante primario o directo y el secundario que es el cortante por flexión. Entonces, calculando el cortante directo τ' (Budynas et al., 2012):

$$\tau' = \frac{V}{A_g} \quad (4-49)$$

Donde:

- τ' : Componente de esfuerzo cortante directo.
- V : Carga cortante que soporta la soldadura.
- A_g : Área de garganta de la soldadura

El área de la garganta se define por la siguiente ecuación (Budynas et al., 2012):

$$A_g = g * L_T \quad (4-50)$$

Donde:

- g : Longitud de garganta.
- L_T : Longitud total de soldadura.

Ahora, para determinar la longitud de la garganta se analiza la geometría de la sección del cordón de soldadura figura 4-29, así:

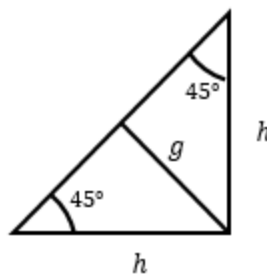


Figura 4-27: Longitud g de la garganta de soldadura. Fuente: Propia.

Por lo tanto, g queda de la siguiente manera:

$$g = h \operatorname{sen}(45^\circ)$$

Entonces, A_g :

$$A_g = h \operatorname{sen}(45^\circ) * 0.34$$

$$A_g = 0.2404h \text{ m}^2$$

Entonces, τ' :

$$\tau' = \frac{145.08}{0.2404h}$$

$$\tau' = \frac{603.5}{h} \text{ Pa}$$

Cortante por flexión τ'' :

La expresión general que se utilizará para calcular el cortante por flexión es la siguiente (Budynas et al., 2012):

$$\tau'' = \frac{M * c}{I} \quad (4-51)$$

El momento M que actúa sobre el punto de análisis será el siguiente:

$$M = 145.08 * 0.07 = 10.2 \text{ N.m}$$

La distancia c es la siguiente:

$$c = 70 - 14.41$$

$$c = 55.59 \text{ mm} = 0.05559 \text{ m}$$

Ahora, para obtener el momento de inercia se debe analizar la geometría de la soldadura que se ha diseñado (figura 4-30) para conocer su centroide, de la siguiente manera:

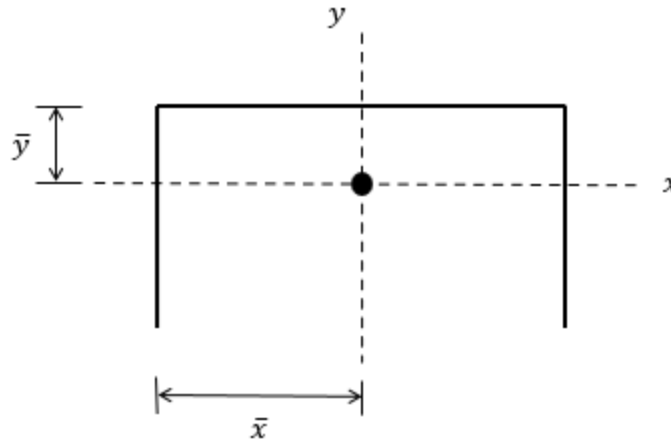


Figura 4-28: Ubicación del centroide de la soldadura.

Como se sabe, la geometría de soldadura que se ha diseñado pertenece a geometrías conocidas, por lo cual, por medio de tablas se puede obtener expresiones que permitan conocer el centroide de la soldadura para poder determinar el momento de inercia unitario I_u . (Budynas et al., 2012):

$$\bar{y} = \frac{d^2}{b + 2d} \quad (4-52)$$

$$\bar{y} = \frac{0.07^2}{0.2 + 2(0.07)} = 0.0144 \text{ m}$$

I_u se define de la siguiente manera:

$$I_u = \frac{2d^3}{3} - 2d^2\bar{y} + (b + 2d)\bar{y}^2$$

$$I_u = \frac{2(0.07)^3}{3} - 2(0.07)^2(0.0144) + (0.2 + 2(0.07))(0.0144)^2$$

$$I_u = 0.000158049 m^3$$

Ahora ya se puede calcular el momento de inercia:

$$I = h \operatorname{sen}(45^\circ) * I_u$$

$$I = h \operatorname{sen}(45^\circ) (0.000158049)$$

$$I = 0.000111757h m^4$$

Calculando el esfuerzo τ'' :

$$\tau'' = \frac{(10.2)(0.05559)}{0.000111757h}$$

$$\tau'' = \frac{5073.67}{h} Pa$$

Como se sabe, el esfuerzo τ' y τ'' son componentes de un esfuerzo resultante τ , por lo tanto, el esfuerzo τ se determina así:

$$\tau = \sqrt{(\tau')^2 + (\tau'')^2}$$

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{603.5}{h}\right)^2 + \left(\frac{5073.67}{h}\right)^2}$$

$$\tau = \frac{5109.34}{h} Pa$$

A partir de esta expresión, se observa que el esfuerzo resultante queda en términos de la altura del cordón de soldadura, que es de interés para conocer la altura de cordón de soldadura que se requiere para soportar el esfuerzo que recibirá por parte de las chumaceras. Entonces, de las propiedades mecánicas del electrodo E308L-16 (Ver anexo J) se conoce que tiene un esfuerzo de fluencia

de 320 MPa. Además, se tendrá en consideración un factor de seguridad $n = 5$ para asegurar que la soldadura no falle al momento de operación de la máquina.

$$n = \frac{\tau_{max}}{\tau}$$

$$5 = \frac{320 \times 10^6}{\frac{5109.34}{h}}$$

Despejando para h :

$$h = 0.1 \text{ mm}$$

Por lo tanto, con este resultado se comprueba que realizar el procedimiento de soldadura con un electrodo E308L-16 es más que suficiente para soportar el esfuerzo que transmiten las chumaceras sobre las ménsulas, pues asignando un factor de seguridad de 5 solo se necesitan 0.1 mm de altura de cordón de soldadura.

4.2.17 SELECCIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO.

Para obtener la potencia necesaria para realizar la molienda se debe tener en cuenta la potencia de triturado, así como la potencia de inercia que es la que se requiera para el arranque de la máquina. Por tanto, la potencia total del motor se define de la siguiente manera (Budynas et al., 2012):

$$Pot_m = Pot_{tr} + Pot_I \quad (4-53)$$

Donde:

- Pot_m : Potencia del motor
- Pot_{tr} : Potencia de triturado
- Pot_I : Potencia de inercia

Hay dos torques que se necesitan en la operación de la máquina, el torque nominal y el torque de arranque. El torque de arranque es el necesario para vencer la inercia y poner la máquina en movimiento, este no es más que la sumatoria del torque nominal más el torque de inercia.

El torque de arranque se define por la siguiente expresión (Budynas et al., 2012):

$$T_a = T_n + T_{inercia} \quad (4-54)$$

Donde:

- T_a : Torque de arranque
- T_n : Torque normal
- $T_{inercia}$: Torque de inercia

El torque de inercia viene dado por la ecuación (Budynas et al., 2012):

$$T_{inercia} = I_{motor} * \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad (4-55)$$

Donde:

- I_{motor} : Inercia total en el eje del motor. (Tomada de solidworks)
- Δt : Tiempo necesario para el arranque de la máquina.

Para obtener la inercia en el eje del motor es necesario trasladar las inercias del eje conducido, al eje del motor, para ello se utiliza la siguiente expresión:

$$I_{MOTOR} = I_M + \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \left(\frac{1}{\eta}\right) I_{EJE} \quad (4-56)$$

Donde:

- I_M : Inercia de componentes en eje del motor.
- I_{EJE} : Inercia de componentes en el eje conducido.
- n_2 : rpm en eje conducido.
- n_1 : rpm en eje del motor.
- η : Eficiencia de transmisión entre los ejes.

La eficiencia en un sistema de transmisión por banda es aproximadamente 95% (Budynas et al., 2012).

A continuación, se procede a calcular las inercias de cada componente en el eje conducido:

$$I_{EJE} = I_{martillos} + I_{SeparadorMartillo} + I_{pernos} + I_{discos} + I_{SeparadorDiscos} + I_{eje} + I_{polea2} \quad (457)$$

Las inercias de los componentes se han calculado mediante el software SolidWorks y se presentan en la tabla 4-17:

COMPONENTES	INERCIA (gr*mm ²)	INERCIA (kg*m ²)
Martillos	$I = (135111.27 + 120.69(110)^2) * 8 = 12763682.16$	$I = 0.012764$
Separador de martillos	$I = (4353.42 + 19.24(75)^2) * 20 = 2251568.4$	$I = 0.002252$
Pernos	$I = (210901.11 + 244.82(75)^2) * 2 = 3176027.22$	$I = 0.003176$
Disco	$I = (4457136.66) * 2 = 8914273.32$	$I = 0.008914$
Separador de disco.	$I = 69024.93$	$I = 0.000069$
eje	$I = 6207.52$	$I = 0.0000062$
Polea eje	$I = 11214647.75$	$I = 0.011215$
Polea motor	$I = 5381343.66$	$I = 0.005381$

Tabla 4-17: Inercias de los componentes del molino calculados mediante SolidWorks. (Fuente propia).

Sumando las inercias de la tabla anterior se obtiene la inercia del eje.

$$I_{EJE} = 0.0437772 \text{ kg.m}^2$$

Ahora se calcula la inercia total a vencer por el motor:

$$I_{MOTOR} = I_M + \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \left(\frac{1}{\eta}\right) I_{EJE} \quad (458)$$

$$I_{MOTOR} = 0.005381 + \left(\frac{3000}{3500}\right)^2 \left(\frac{1}{0.95}\right) (0.0437772)$$

$$I_{MOTOR} = 0.039237 \text{ kg.m}^2$$

Así se calcula el torque de inercia:

$$T_{inercia} = I_{motor} * \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

$$T_{inercia} = (0.039237) * \frac{366.52}{3}$$

$$T_{inercia} = 4.79 \text{ N.m}$$

Ahora se puede obtener el torque de arranque:

$$T_a = T_n + T_{inercia}$$

$$T_a = 6.76 + 4.79$$

$$T_a = 11.55 \text{ N.m}$$

$$T_a = 11.55 \text{ N.m}$$

Seleccionando de acuerdo con catálogo de motores eléctricos comerciales:

Se selecciona un motor SIEMENS 4 HP con número de referencia de 1LE0141-0EA86-4AA4 (Ver ANEXO D).

4.2.18 SELECCIÓN DE POLEAS

Las poleas que se van a seleccionar están normalizadas de acuerdo con el catálogo de SKF, para lo cual se necesita conocer los siguientes parámetros de la tabla 4-18:

Diámetro del eje conducido	1/2 in
Diámetro del eje del motor	7/8 in
Numero de bandas	2
Diámetro externo de polea eje conducido	7 in (7.2 in) primitivo
Diámetro externo polea eje motor	5.8 in
Sección transversal	V, Tipo B

Tabla 4-18: Parámetros de selección de poleas. Fuente propia.

Para la polea del eje conducido del catálogo del fabricante SKF se selecciona la polea con designación: PHP 2-B68TB (Ver catalogo en ANEXO E).

Y para la polea del eje del motor se selecciona la polea con designación: PHP 2SPB140TB (Ver catalogo en ANEXO E).

4.2.19 CÁLCULO DE VOLANTE DE INERCIA

En este apartado que verifica si los discos y la polea pueden funcionar como volante de inercia para el sistema con el objeto de disminuir los efectos generados por fluctuación.

Para ello se utiliza la ecuación 4-59

$$I_{volante} = \frac{E_c n_{rep}}{C_f \omega_m^2} \quad (4-59)$$

$$I_{volante} = \frac{(0.037)(36)}{(0.02)(314.425)^2}$$

$$I_{volante} = 0.00067366 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Si se compara el valor que debe tener el volante con el valor de la inercia de los discos y de la polea, que es respectivamente: $I_D = 0.008914 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ y $I_{polea} = 0.011215 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ (tabla 4-17). Se concluye que los discos funcionarán perfectamente como volantes para el rotor del eje.

5. VALIDACIÓN DEL DISEÑO MECÁNICO

5.1 SELECCIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE A UTILIZAR

El software de simulación que se utilizara es SolidWorks, este software presenta muchas herramientas que permiten en un solo software realizar diversas tareas, como la elaboración en 3D de los componentes de la máquina, la obtención inmediata de los momentos de inercia de los componentes, elaborar el dibujo de conjunto de la máquina, los planos de los componentes a fabricar en el sistema ISO y ahora contribuirá a validar el diseño de maquina con la herramienta SolidWorks simulation.

SOLIDWORKS Simulation se abre paso como una tendencia y avance tecnológico usado en el diseño industrial, su fin es garantizar la efectividad y éxito de un producto. SolidWorks simulation presenta varios tipos de análisis, entre ellos se tiene:

1. Estudios de frecuencia

En el momento en que se modifica la posición de descanso de un sólido, tiende a comenzar a vibrar a ciertas frecuencias, las cuales pueden ser naturales o resonantes. Entonces, este tipo de análisis, lo que hace es efectuar un cálculo de las frecuencias naturales, así como las formas asociadas al vibrar a esa frecuencia (Tech, N. & Tech, N, 2021).

Mientras que, la resonancia se da cuando un sólido está sujeto a una carga dinámica que está funcionando en una frecuencia mucho más natural (Tech, N. & Tech, N, 2021).

Sin embargo, por momentos se produce una respuesta que es excesiva. Este estudio también permite evitar fallas por tensiones excesivas como

consecuencia de la resonancia y ofrecerá posibles soluciones a problemas relacionados con la respuesta dinámica (Tech, N. & Tech, N, 2021).

2. Estudio de pandeo

Este se define como un desplazamiento tan repentino como amplio que se produce por cargas axiales (Tech, N. & Tech, N, 2021).

3. Estudios térmicos

Este calcula la distribución de la temperatura, gradientes de temperatura, así como el flujo de calor en un cuerpo, cuando son generados por mecanismos de conducción, radiación y convección (Tech, N. & Tech, N, 2021).

4. Estudios de caída

Los estudios de caída que se hacen a través de la herramienta de SOLIDWORKS Simulation evalúan los efectos al dejar caer una pieza sobre un suelo que puede ser rígido o flexible. Con el fin de medir el impacto que tendría se deja caer un objeto hasta que este golpee contra el piso y SOLIDWORKS Simulation efectúa el cálculo de manera automática, tanto el impacto como las cargas de gravedad (Tech, N. & Tech, N, 2021).

5. Estudios de fatiga

Las cargas y descargas repetidas hacen más débiles los objetos a lo largo del tiempo, y esto se produce inclusive cuando las tensiones inducidas son más inferiores a los límites de tensión permitidos. Justo a esta situación se le conoce como fatiga (Tech, N. & Tech, N, 2021).

Lo sorprendente es que la fatiga es la causa principal por la cual ocurren errores en la producción de muchos objetos, especialmente en materiales como

el metal. Para realizar este estudio, los cálculos se pueden basar en la intensidad de la tensión, así como en las tensiones alternas principales máximas (Tech, N. & Tech, N, 2021).

6. Estudios no lineales

En ocasiones, la solución lineal puede generar resultados que son incorrectos debido a que se infringen las suposiciones sobre las cuales están basados. Entonces, el estudio no lineal puede ser empleado con la finalidad de resolver problemas relacionados con comportamientos de material llamado elastómero, inmensos desplazamientos y condiciones de contacto (Tech, N. & Tech, N, 2021).

Este tiene la capacidad de definir tanto estudios estáticos como estudios dinámicos.

7. Estudios estáticos

Este tipo de análisis de SOLIDWORKS Simulation puede establecer cálculos de desplazamientos, deformaciones unitarias, fuerza de reacción, distribución del factor de seguridad y tensiones (Tech, N. & Tech, N, 2021).

En este caso, el material tiende a fallar en lugares donde la tensión sobrepasa cierto nivel; así, los cálculos que tienen que ver con el elemento de seguridad están basados en el criterio de fallos (Tech, N. & Tech, N, 2021).

5.2 SIMULACIÓN DE COMPONENTES DE LA MÁQUINA POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS.

5.2.1 SELECCIÓN DE COMPONENTES A SIMULAR.

De los elementos que conforman el molino, existen elementos críticos, que en caso de falla paran la máquina como los incluidos en la tabla 5-1.

ITEM	COMPONENTE	JUSTIFICACION
1	Martillo	Componente encargado de realizar la trituración del arroz, por lo que se encuentra sometido a un esfuerzo, debido a la rotación del molino y a un esfuerzo de impacto durante toda la operación.
2	Disco porta martillo	Componente encargado de unir los martillos con el eje conducido. Se encuentra sometido a esfuerzos debido a la rotación de sí mismo y de los martillos
3	Eje conducido	Elemento encargado de transmitir el movimiento giratorio al conjunto disco porta martillos. Es un componente crítico debido al peso y la transmisión de los esfuerzos del disco-martillos, así como el esfuerzo que produce la polea conducida (torque de arranque).
4	Base chumacera	Es el elemento encargado de sostener un extremo del rotor del molino. Se somete a un esfuerzo debido al peso del rotor del molino.

Tabla 5-1: Componentes críticos seleccionados para simulación.

5.2.2 DETERMINACIÓN DE LA FUERZA SOBRE CADA COMPONENTE.

La fuerza a la que se somete cada componente anteriormente mencionado se calculó a lo largo del capítulo 4, a modo de resumen se presenta la tabla 5-2 con el nombre del componente y su respectiva fuerza.

ITEM	COMPONENTE	FUERZA
1	Martillo	$F_c = 1294.12 \text{ N}$
2	Disco porta martillo	$F_d = 2588.25 \text{ N}$
3	Eje conducido	$P_1 = 129.61 \text{ N}, P_2 = P_3 = 10.20 \text{ N},$ $W = 9.94 \text{ N/m},$ $R_A = 145.08 \text{ N}, R_B = 7.7 \text{ N} \downarrow$
4	Base chumacera	$R_A + W_{chumacera} = 145.08 + 1.33 = 146.41 \text{ N}$

Tabla 5-2: Fuerzas que actúan sobre componentes críticos.

5.2.3 SIMULACIÓN DE COMPONENTES EN SOLIDWORKS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.2.3.1 SIMULACIÓN DEL EJE DEL ROTOR.

5.2.3.1.1 CONSIDERACIONES PARA LA SIMULACIÓN.

Se consideró el tipo de sujeción inamovible (sin traslación) debido a que es el que mejor se adapta a la condición del eje ya que el eje está montado sobre el rodamiento y por tanto el eje no se traslada, solamente rota. Se han considerado todas las cargas externas que actúan sobre el eje y el peso (figuras 5-1 y 5-2).

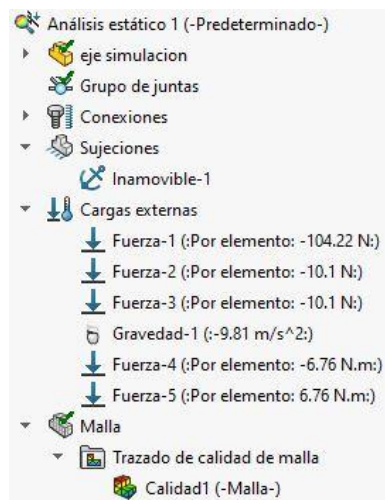


Figura 5-1: Consideraciones de simulación del eje. Fuente: SolidWorks Simulation.

La malla del eje se muestra en la figura 5-2:

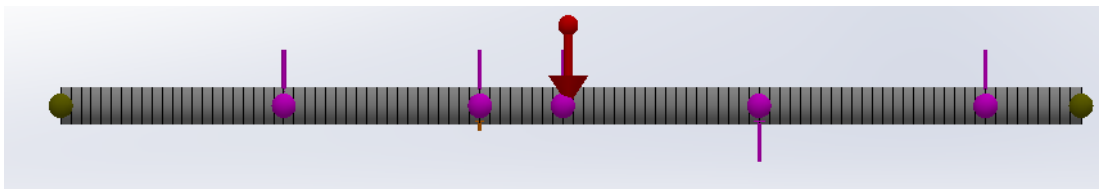


Figura 5-2: malla del eje.

Los detalles de la malla se presentan en la tabla 5-3:

Malla Detalles	
Nombre de estudio	Análisis estático 1 (-Predeterminado-)
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla estándar
Transición automática	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla	Desactivar
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 puntos
Tamaño de elemento	3.08818 mm
Tolerancia	0.154409 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	15560
Número total de elementos	8930
Cociente máximo de aspecto	3.6993
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto < 3	99.9
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto > 10	0
Porcentaje de elementos distorsionados	0
Número de elementos distorsionados	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:01
Nombre de computadora	

Tabla 5-3: Detalle del mallado para eje conducido. Fuente propia

Las fuerzas aplicadas sobre el eje se detallan en la tabla 5-4:

FUERZA	MAGNITUD	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
Fuerza 1	129.61	N	Peso de la polea más fuerza ejercida por las bandas.
Fuerza 2	145.08	N	Fuerza ejercida por la chumacera 1.
Fuerza 3	10.20	N	Peso de disco porta martillos 1.
Fuerza 4	10.2	N	Peso de disco porta martillos 2.
Fuerza 5	7.7	N	Fuerza ejercida por la chumacera 2.
Fuerza 6	9.94	N/m	Peso por unidad de metro del eje.
Torque 1	6.76	N.m	Torque aplicado al eje por el motor.
Torque 2	6.76	N.m	Torque de reacción.

Tabla 5-4: fuerzas aplicadas al eje. Fuente propia.

Así, el diagrama de cuerpo libre del eje se muestra en la figura 5-3:

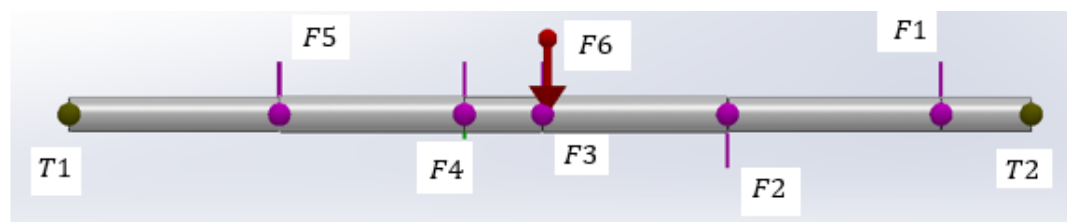


Figura 5-3: Diagrama de cuerpo libre del eje. Fuente propia.

Las sujeciones del eje se ubican de acuerdo con la figura 5-4:

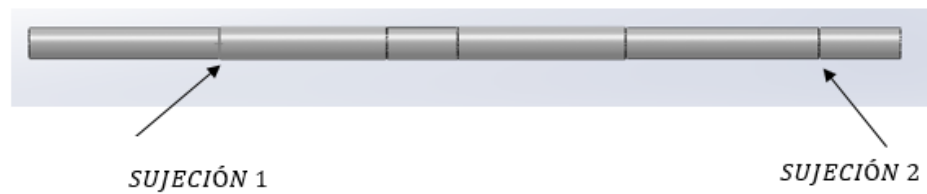


Figura 5-4: Esquema de ubicación de sujeciones en el eje. Fuente propia.

5.2.3.1.2 Conclusiones

La simulación presenta un grado de exageración en la deformación del 111.64 % como puede verse en la figura 5-5, este con fines ilustrativos y comparativos entre los distintos puntos del eje. Dados los resultados de la simulación el punto más crítico tiene un esfuerzo de 58.68 MPa que al compararlo con el esfuerzo de fluencia del material (206.87 MPa). Se obtiene un factor de seguridad de 3.5, el cual es aún mayor al factor de seguridad de 2.34 calculado en el apartado 4.2.14.1, confirmando el correcto funcionamiento del componente.

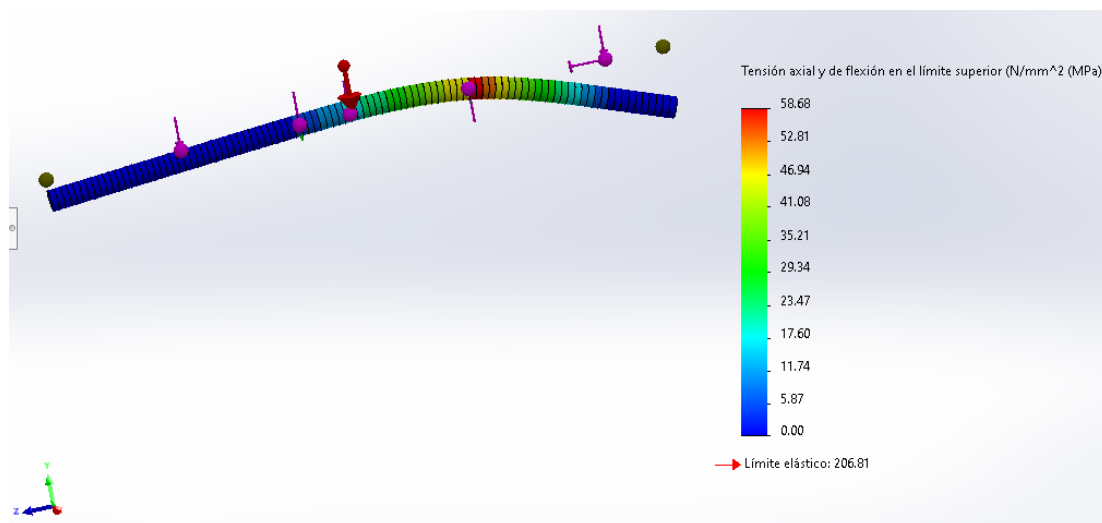


Figura 5-5: Simulación del eje del molino. Fuente: SolidWorks Simulation.

5.2.3.2 SIMULACIÓN DEL DISCO PORTA MARTILLOS

5.2.3.2.1 CONSIDERACIONES PARA LA SIMULACIÓN

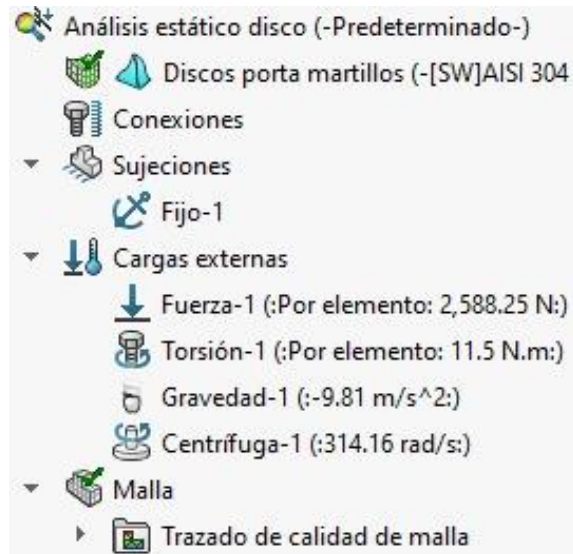


Figura 5-6 Consideraciones de simulación del disco. Fuente: SolidWorks Simulation.

Se consideró el tipo de sujeción geometría fija (sin traslación) debido a que no existe movimiento relativo entre el eje y el disco. Se ha considerado la reacción que ejerce el perno porta martillos, la fuerza centrífuga, torsión y el peso del disco, como se muestra en la figura 5-6.

La malla del disco se muestra en la figura 5-7:

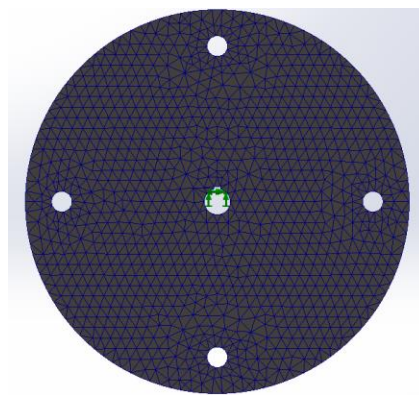


Figura 5-7: Esquema de mallado del disco. Fuente: SolidWorks Simulation.

Los detalles de la malla se presentan en la tabla 5-5:

Malla Detalles	
Nombre de estudio	Análisis estático 1 (-Predeterminado-)
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla estándar
Transición automática	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla	Desactivar
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 puntos
Tamaño de elemento	5.10555 mm
Tolerancia	0.255277 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	16583
Número total de elementos	9029
Cociente máximo de aspecto	4.9408
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto < 3	99.7
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto > 10	0
Porcentaje de elementos distorsionados	0
Número de elementos distorsionados	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:02
Nombre de computadora	

Tabla 5-5: detalle del mallado para el disco. Fuente propia

Las fuerzas aplicadas sobre el disco se detallan en la tabla 5-6:

FUERZA	MAGNITUD	UNIDAD	DESCRIPCION
Fuerza 1	2,588.25	N	Reacción para soportar peso de los martillos y la fuerza de impacto del arroz.
Fuerza 2	10.43	N	Peso del disco.
Torque 1	11.5	N.m	Torque aplicado por el eje al disco.

Tabla 5-6: fuerzas aplicadas al disco. Fuente propia.

Así el diagrama de cuerpo libre del disco se observa en la figura 5-8:

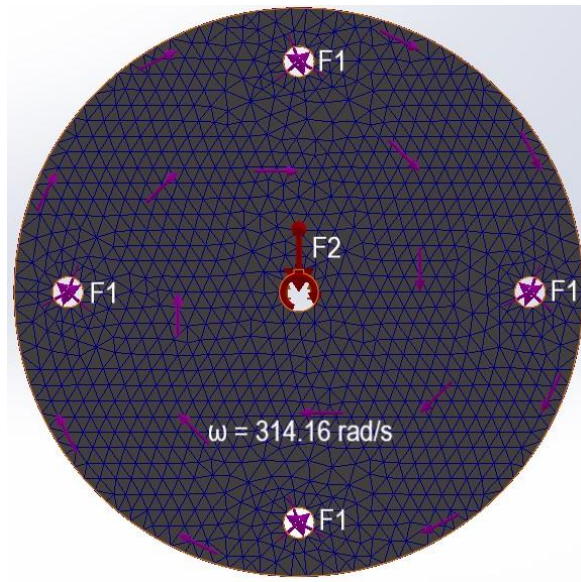


Figura 5-9: Diagrama de cuerpo libre del disco porta martillos. Fuente: SolidWorks Simulation.

La figura 5-9 muestra la sujeción del disco que se realiza mediante cuñero y cuña en el eje.

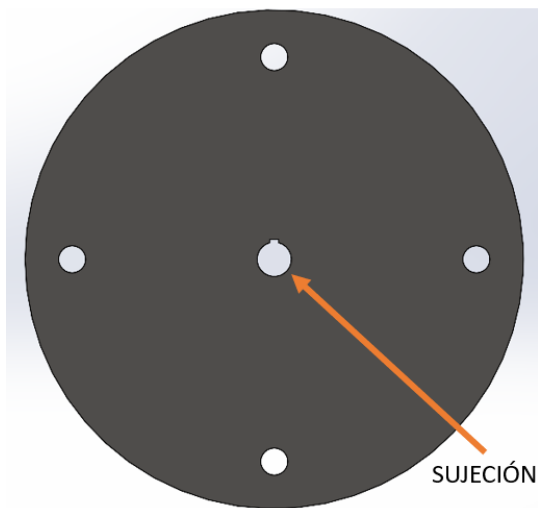


Figura 5-8: Esquema de sujeción del disco. Fuente: SolidWorks Simulation

5.2.3.2.2 Conclusiones

Dados los resultados de la simulación el punto más crítico tiene un esfuerzo de 33.96 MPa que al compararlo con el esfuerzo de fluencia del material (206.807 MPa).

Se obtiene un factor de seguridad de 6.0, por lo que se comprueba que el disco funcionará sin presentar fallas. En el capítulo 4 se considera un factor de seguridad de 3, por lo que la simulación demuestra la validez de la suposición realizada.

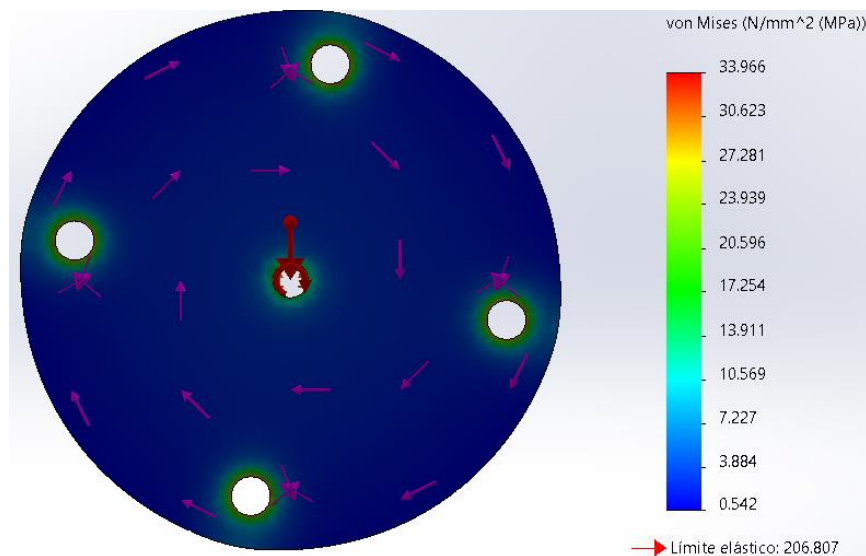


Figura 5-10: Simulación del disco porta martillos del molino. Fuente: SolidWorks Simulation.

5.2.3.3 SIMULACIÓN DEL MARTILLO.

5.2.3.3.1 CONSIDERACIONES PARA LA SIMULACIÓN.

Se consideró el tipo de sujeción “sobre caras cilíndricas” debido a que este tipo de sujeción restringe el movimiento axial, radial y rotacional. Se ha considerado el peso, la fuerza centrífuga y la fuerza de corte del arroz como se muestra en la figura 5-12.

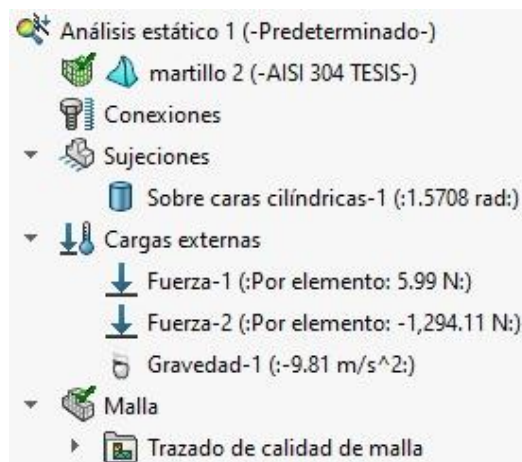


Figura 5-12: Consideraciones de simulación del martillo. Fuente: SolidWorks Simulation.

La malla del disco se muestra en la figura 5-11:

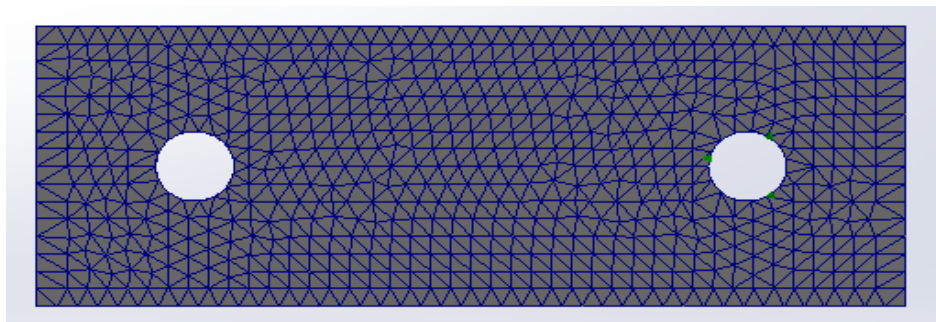


Figura 5-11: malla del martillo. Fuente: SolidWorks Simulation.

Los detalles de la malla se presentan en la tabla 5-7:

Malla Detalles	
Nombre de estudio	Análisis estático 1 (-Predeterminado-)
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla estándar
Transición automática	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla	Desactivar
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 puntos
Tamaño de elemento	2.57079 mm
Tolerancia	0.12854 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	14123
Número total de elementos	8108
Cociente máximo de aspecto	4.2473
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto < 3	99,5
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto > 10	0
Porcentaje de elementos distorsionados	0
Número de elementos distorsionados	0

Tabla 5-7: detalles del mallado para martillo. Fuente propia.

Las fuerzas aplicadas en el martillo se detallan en la tabla 5-8:

FUERZA	MAGNITUD	UNIDAD	DESCRIPCION
Fuerza 1	5.99	N	Fuerza de impacto, que producen los granos de arroz contra el martillo.
Fuerza 2	1,294.11	N	Fuerza centrípeta, generada por la rotación del martillo.
Fuerza 3	1.33	N	Fuerza debido al peso del martillo.

Tabla 5-8: fuerzas aplicadas al martillo. Fuente propia.

En la figura 5-13 el diagrama de cuerpo libre del martillo queda de la siguiente manera:

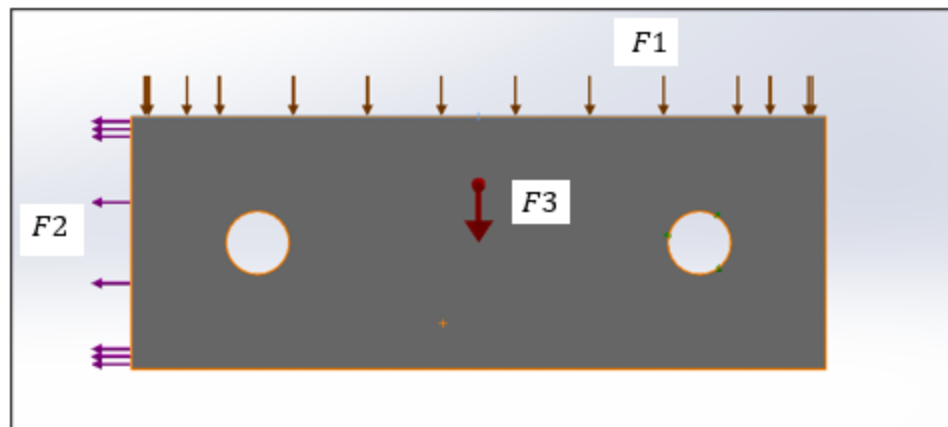


Figura 5-13: Diagrama de cuerpo libre del martillo. Fuente: SolidWorks Simulation

Como se muestra en la figura 5-14 el martillo se sujeta al disco mediante un perno y tuerca que pasa por cualquiera de los dos agujeros que este posee.



Figura 5-14: Esquema de sujeción del martillo. Fuente: SolidWorks Simulation.

5.2.3.3.2 CONCLUSIONES

Dados los resultados de la simulación mostrados en la figura 5-15 el punto más crítico tiene un esfuerzo de 38.806 MPa que al compararlo con el esfuerzo de fluencia del material (206.87 MPa). Se obtiene un factor de seguridad de 5.3, por lo que se comprueba que el martillo funcionará sin presentar fallas. El factor de seguridad calculado en el capítulo 4.2.8 fue de 3.32, por lo que la simulación nos da un resultado todavía más favorable.

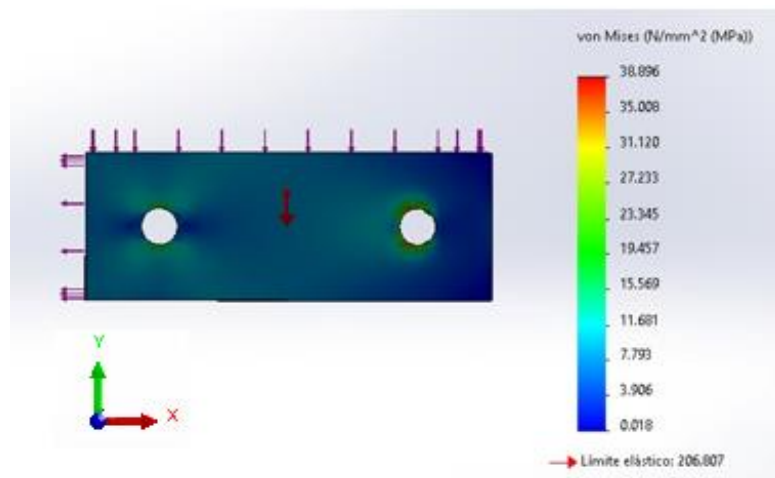


Figura 5-15: Simulación del martillo. Fuente: SolidWorks Simulation.

5.2.3.4 SIMULACIÓN DE LA MÉNSULA.

5.2.3.4.1 CONSIDERACIONES PARA LA SIMULACIÓN.

Se consideró el tipo de sujeción “geometría fija” debido a que este tipo de sujeción restringe el movimiento de la ménsula pues, no tiene ningún tipo de movimiento con respecto a la carcasa del molino. Se ha considerado el peso y la reacción en la chumacera como se muestra en la figura 5-17.

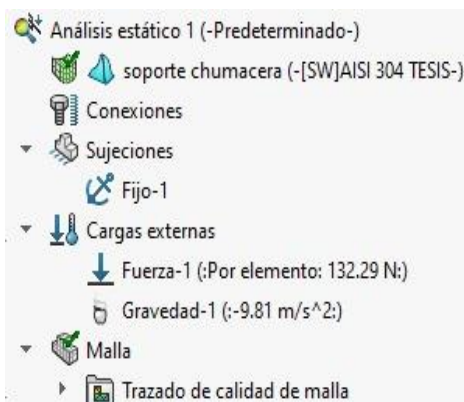


Figura 5-17: Consideraciones de simulación de la ménsula. Fuente: SolidWorks Simulation.

La malla de la ménsula se muestra en la figura 5-16:

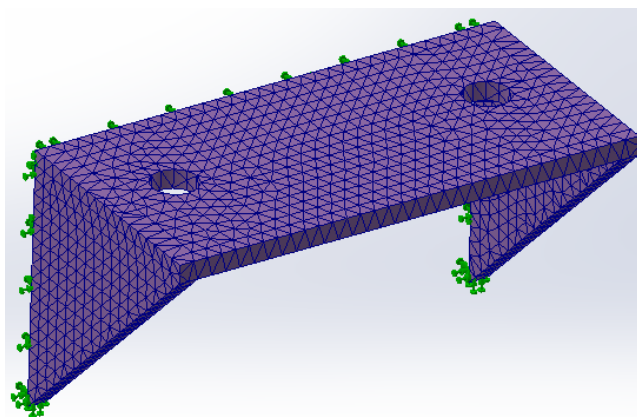


Figura 5-16: malla de la ménsula. Fuente: SolidWorks Simulation.

Los detalles de la malla se presentan en la tabla 5-9:

Malla Detalles	
Nombre de estudio	Análisis estático 1 (-Predeterminado-)
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla estándar
Transición automática	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla	Desactivar
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 puntos
Tamaño de elemento	3.08818 mm
Tolerancia	0.154409 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	15560
Número total de elementos	8930
Cociente máximo de aspecto	3.6993
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto < 3	99.9
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto > 10	0
Porcentaje de elementos distorsionados	0
Número de elementos distorsionados	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:01
Nombre de computadora	

Tabla 5-9: Detalles del mallado para ménsula. Fuente propia.

Las fuerzas aplicadas en la ménsula se detallan en la tabla 5-10:

FUERZA	MAGNITUD	UNIDAD	DESCRIPCION
Fuerza 1	145.08	N	Fuerza aplicada por la chumacera a la ménsula
Fuerza 2	1.33	N	Fuerza debido al peso de la ménsula
Fuerza 3	No conocido	N	Fuerza de reacción, por la soldadura.

Tabla 5-10: fuerzas aplicadas a la ménsula. Fuente propia.

En la figura 5-18 se muestra el DCL de la ménsula:

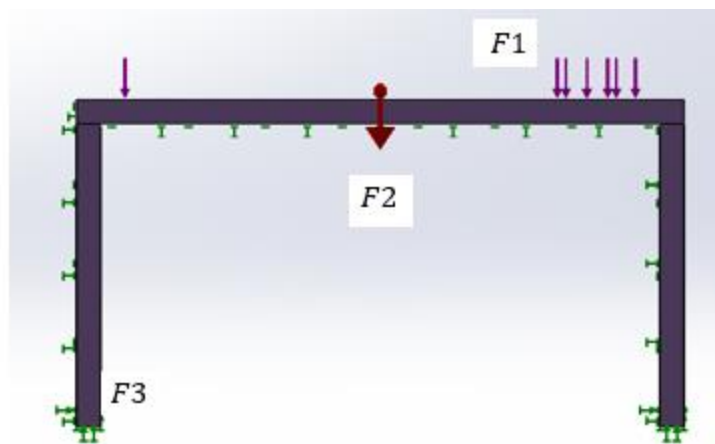


Figura 5-18: Diagrama de cuerpo libre de la ménsula. Fuente propia.

La ménsula se sujeta a la carcasa del molino mediante cordones de soldadura, por lo que su geometría es fija (no hay desplazamientos considerables, ni rotación). En la figura 5-19 la región soldada se presenta en color rojo:

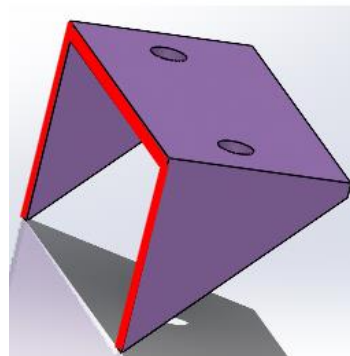


Figura 5-19: esquema de sujeción de la ménsula. Fuente: SolidWorks Simulation.

5.2.3.4.2 CONCLUSIONES.

Dados los resultados de la simulación el punto más crítico tiene un esfuerzo de 5.39 MPa que ocurre al centro de la ménsula (figura 5-20) que al compararlo con el esfuerzo de fluencia del material (206.87 MPa). Se obtiene un factor de seguridad de 94, por lo que se comprueba que la ménsula funcionará sin presentar fallas. La resistencia de la soldadura es de 320 Mpa (superior, respecto a la ménsula) por lo que tampoco sufrirá rotura la unión soldada.

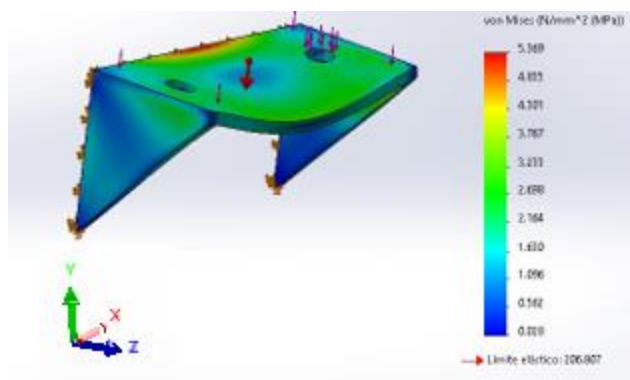


Figura 5-20: Simulación de la ménsula. Fuente: SolidWorks Simulation.

6. ANALISIS DE COSTOS.

En la tabla 6-1 se detallan los componentes a fabricar, así como los elementos a comprar por catálogo de partes, además se muestra el costo del material por lo que podemos calcular el precio de mano de obra.

6.1 DETALLE DE COSTOS Y COMPONENTES DE PIEZAS A FABRICAR.

N°	PIEZA	MATERIAL	CANTIDAD	P/MATERIAL	P/U	PT.
1	Seguro para eje 12 mm.	Acero	4	-	\$ 0.22	\$ 0.88
2	Chumacera P 12 TF	-	2	-	\$18.37	\$36.74
3	Martillo	AISI 304 lamina 4mm.	8	\$1.56	\$45	\$360
4	Arandela plana 10 mm.	AISI 304 Zincadas	22	-	\$0.07	\$0.77
5	Disco porta martillos	AISI 304	2	\$12.24	\$45	\$90
6	Separador de discos	AISI 304	1	\$3.17	\$45	\$45
7	Eje de rotor	AISI 304	1	\$3.77	\$65	\$65
8	Tuerca hexagonal 10 mm	Acero AISI 304	11 2	-	\$0.22	\$2.42
9	Perno hexagonal 10x80 mm	AISI 304	2	-	\$1.60	\$3.20
10	Motor eléctrico 5 hp.	-	1	-	\$323	\$323
11	Tolva de entrada	AISI 304	1	\$90.76	\$375	\$375
12	Carcasa de molino	AISI 304	1	\$96.43	\$275	\$275
13	Estructura molino	ASTM A36	1	\$29.15	\$375	\$375
14	Perno hexagonal 10x20 mm	Acero	15	-	\$0.31	\$4.65
15	Polea de rotor PHP 2-B68TB	Hierro fundido	1	-	\$67.80	\$67.80
16	Faja B-60	Caucho	2	-	\$7.85	\$15.70
17	Perno hexagonal 8x16 mm	Acero	4	-	\$0.13	\$0.52
18	Polea de motor PHP 2SPB140TB	Hierro fundido	1	-	\$47.55	\$47.65
19	Tolva de salida	AISI 304	1	\$31.61	\$475	\$475
TOTAL						\$2563.33

Tabla 6-1: Detalle de costos de componentes y elementos a fabricar. Fuente propia.

En la tabla anterior se presentan todos los materiales que se requieren para la fabricación del molino de martillos, la cantidad de cada uno, su respectivo material. El material a utilizar en la mayoría de elementos es lamina de acero inoxidable AISI 304 con un espesor de 4 mm.

Además, se calcula el precio por material de cada componente, para ello se calcula el volumen de material en bruto (por ejemplo, el volumen de la lámina de acero inoxidable) y se divide el volumen del componente (por ejemplo, el volumen de un martillo), el cual se obtiene de la tabla de propiedades proporcionada por SolidWorks (anexo C). Finalmente se multiplica por el precio de la lámina y así se obtiene el precio del material para elaborar un martillo.

El precio unitario que se detalla en la tabla es el precio cotizado del componente incluyendo material y mano de obra. Si se quiere conocer el precio solo de mano de obra, a este precio unitario deberá restarse el precio del material.

El precio de fabricación del molino cotizado en el área metropolitana de San Salvador se estima de \$2,563.33.

6.2 ANÁLISIS DE RETORNO DE LA INVERSIÓN.

Para determinar con precisión el tiempo de retorno de la inversión se deberá obtener la ganancia neta que se generaría al dejar de comprar la harina de arroz y optar por comprar los sacos de arroz. Además del costo adicional en el consumo eléctrico que se tendría.

6.2.1 CÁLCULO DEL COSTO ELÉCTRICO GENERADO POR EL MOLINO.

Para determinar el costo en energía eléctrica que representará la utilización del molino se requieren ciertos parámetros:

Tarifa eléctrica en El Salvador: $T_e = \frac{\$0.143297}{kwh}$ (del pliego tarifario dado por SIGET).

Potencia del motor seleccionado: $P_{motor} = 5 \text{ HP} = 3.73 \text{ KW}$.

Capacidad de producción del molino: $\dot{m} = 34 \text{ kg/h}$.

Consumo diario de harina: $m = 1 \text{ arroba} = 11.34 \text{ kg}$

Con estos datos se puede calcular el costo en energía eléctrica como se muestra en la tabla 6-2:

variable	símbolo	Formula	Valor
Tiempo de utilización diaria	t_d	$t_u = m/\dot{m}$	0.33 h
Costo de operación diaria	C_d	$C_d = P_{motor} * T_e * t_d$	\$0.176
Costo de operación en el mes	C_m	$C_m = C_d * 30$	\$5.28

Tabla 6-2: Calculo de costo operacional del molino. Fuente propia.

Por lo que, el costo mensual en energía eléctrica que genera la utilización del molino será de \$5.28.

6.2.2 CÁLCULO DEL TIEMPO DE RETORNO.

Según los resultados de la encuesta se estima que en días de alta demanda se consumen hasta 2 arrobas de harina de arroz y en días de poca demanda, tan solo media arroba (Anexo A). Si se considera que solo se consume 1 arroba de arroz al día, considerando 30 días al mes. Tenemos un consumo de harina de arroz de: 30 arrobas/mes.

En el caso de comprar el arroz, los 8 quintales de arroz cuestan \$136 (Antonio Miranda 14 octubre 2021) en términos de arroba serían:

$$\frac{\$136}{8 \text{ quintal}} = \frac{\$17}{\text{quintal}} * \left(\frac{1 \text{ quintal}}{4 \text{ arrobas}} \right) = \frac{\$4.25}{\text{arroba}}$$

Por lo consiguiente se puede presentar la comparativa entre harina de arroz y miga para procesar la harina tabla 6-3.

Descripción	Comprar harina de arroz	Comprar arroz
Costo de arroba	\$12	\$4.25
Consumo de arrobas mensuales	30	30
Costo de arroz mensual	\$360	\$127.50
Ganancia de producir harina al mes		\$232.50
Costo energía eléctrica		\$ 5.28
Ganancia Neta		\$ 227.22

Tabla 6-3: cálculo de ganancia neta. Fuente propia.

El costo de producir el molino, calculado en el apartado anterior, se estima de \$2,563.33

Por lo que el tiempo para recuperar la inversión, sería de:

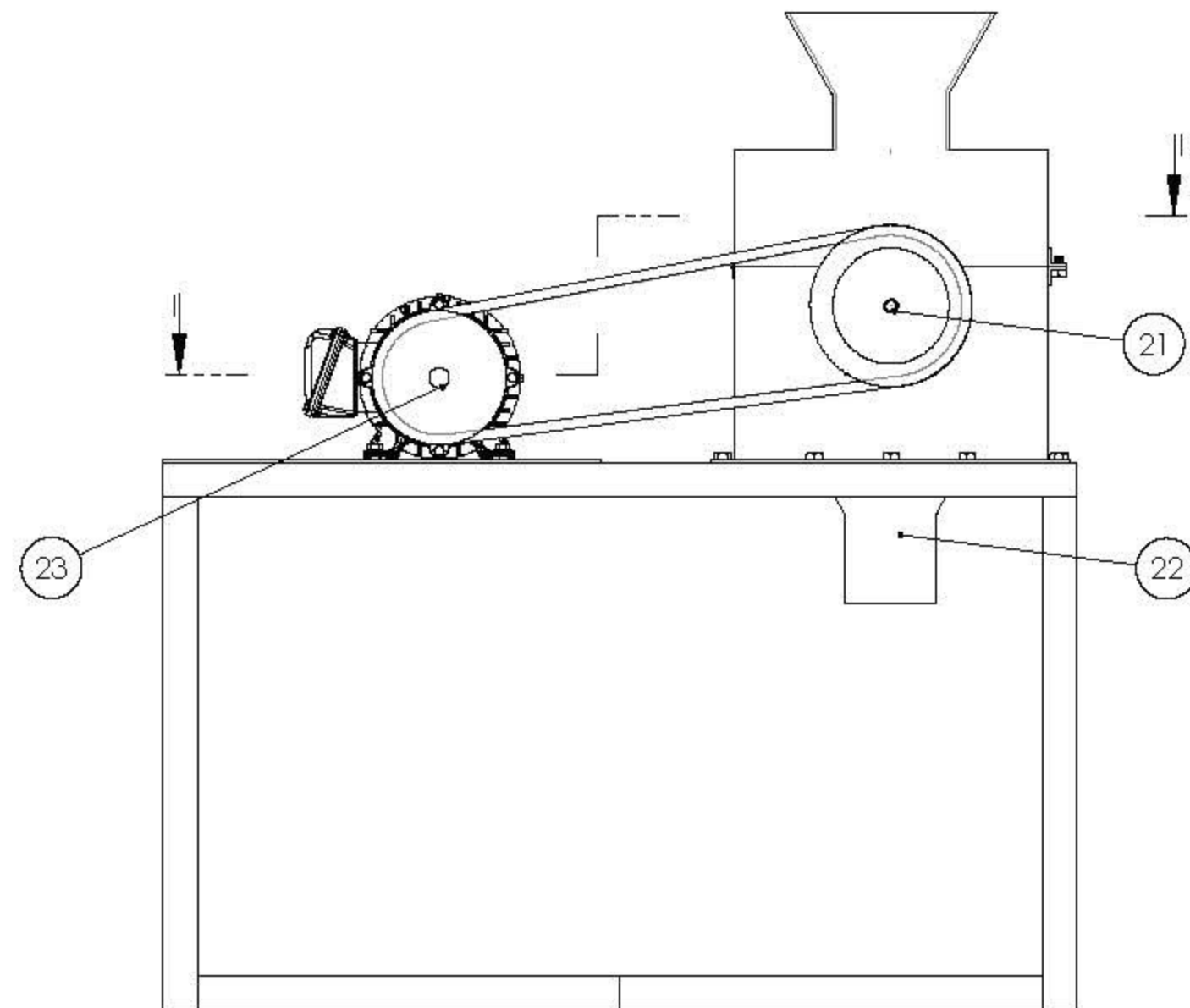
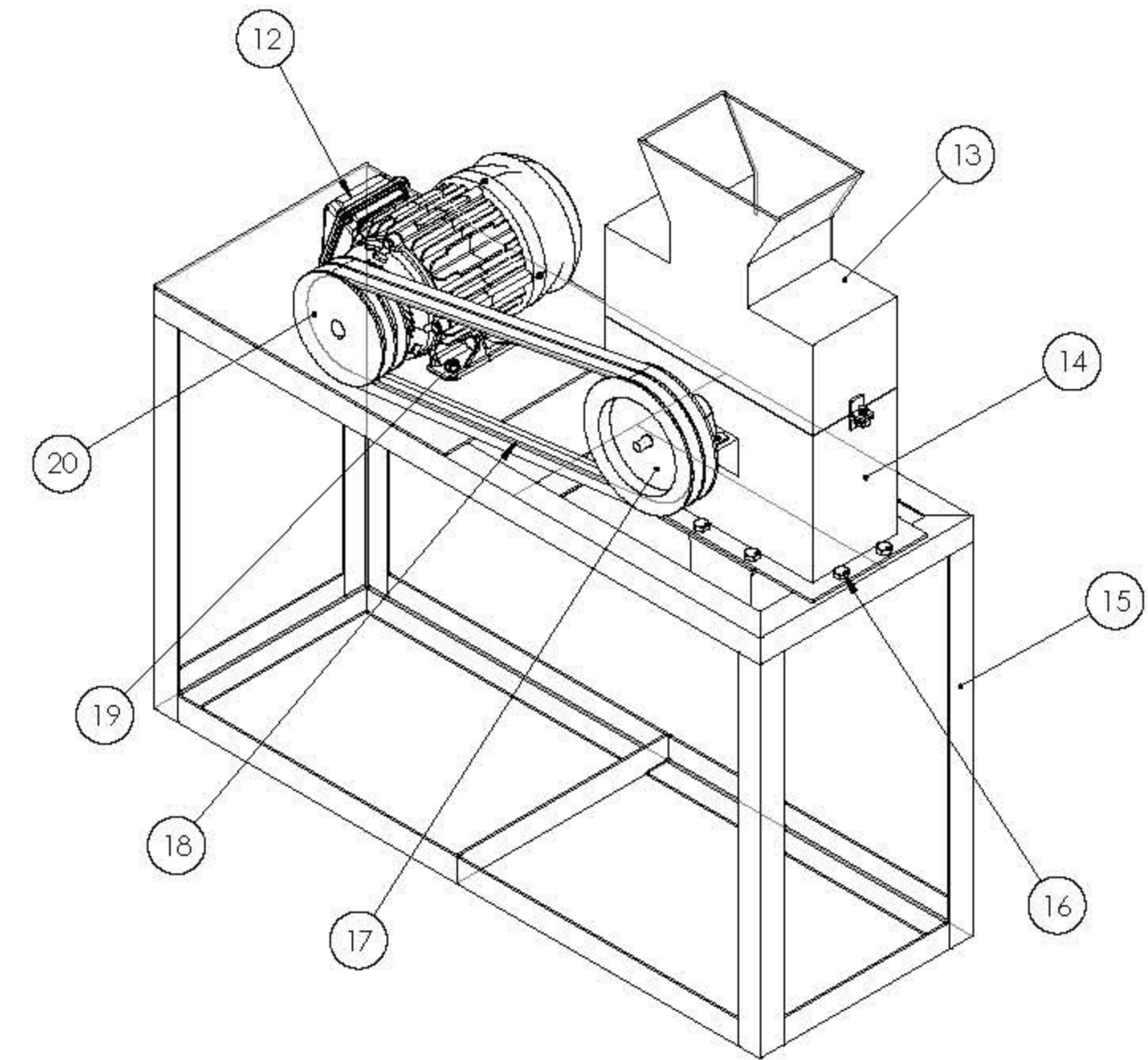
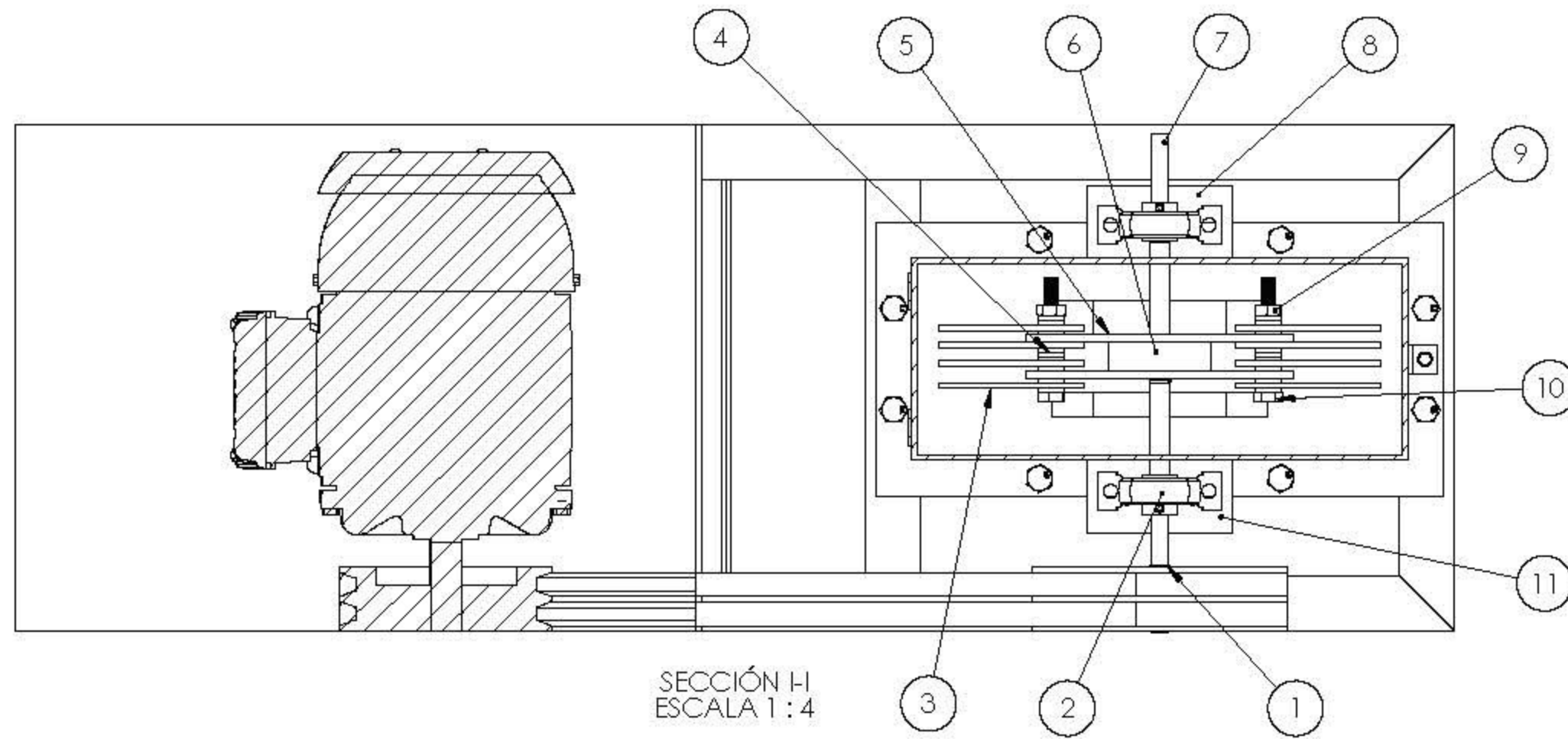
$$t_{\text{retorno}} = \frac{\text{costo molino}}{\text{ganancia de producir harina}} = \frac{\$2563.33}{\$227.22} = 11.3$$

$$t_{\text{retorno}} = 11.3 \text{ meses}$$

Conclusión: El costo de fabricar el molino se recuperaría en menos de un año, a partir de los 11.3 meses, se tendría una ganancia mensual de \$227.22 los cuales podrían utilizarse para otros fines. Además, que se ahorraría en tiempo y costo de traslado de las arrobas de harina.

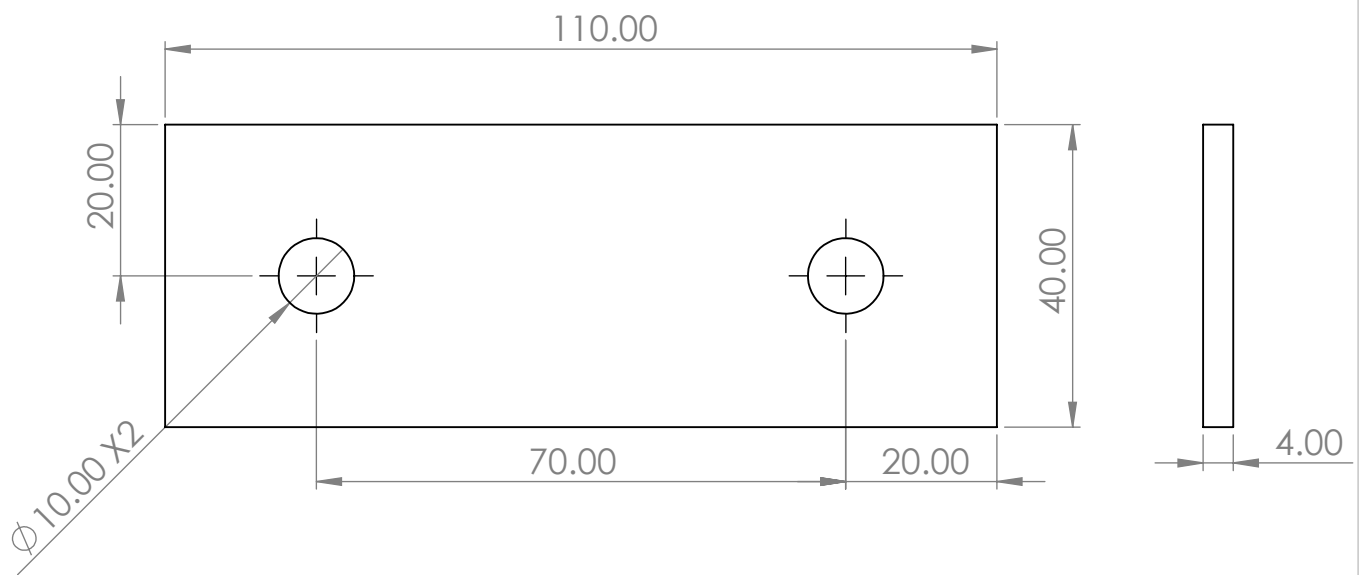
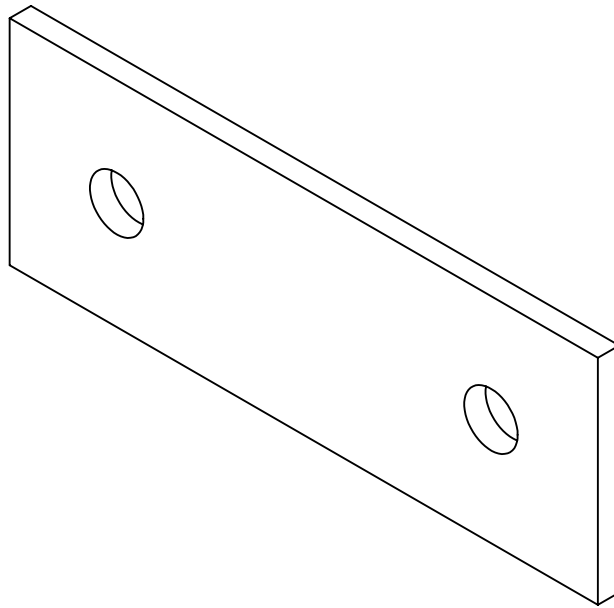
7. PROPUESTA DE DISEÑO.

7.1 PLANOS DE FABRICACIÓN.

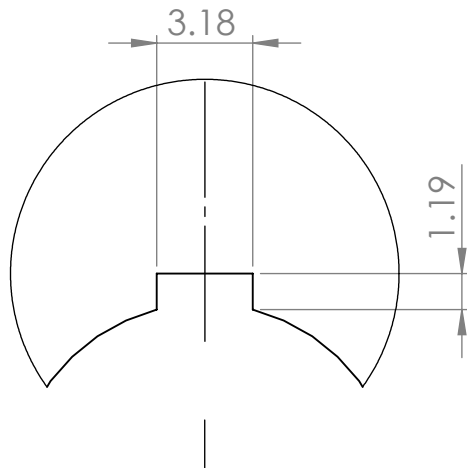


Nº pieza	Nombre de pieza	Material	cantidad	Nº de plano
1	Seguro exterior para eje de 12 mm	AISI 304	4	N/A
2	Chumacera SKF P 12 TF	-	2	N/A
3	Martillo	AISI 304	8	2
4	Arandela plana M10X1.5 mm	AISI 304	31	N/A
5	Disco porta martillos	AISI 304	2	3
6	Separador de discos	AISI 304	1	4
7	Eje del rotor	AISI 304	1	5
8	Soposte chumacera	AISI 304	1	6
9	Tuerca hexagonal de M10X1.5 mm	AISI 304	13	N/A
10	Perno hexagonal de M10x1.5x80 mm grado 8.8	AISI 304	2	N/A
11	Soposte chumacera lado polea	AISI 304	1	7
12	Motor monofásico 5 HP	-	1	N/A
13	Tolva de entrada	AISI 304	1	8
14	Cuerpo de molino	AISI 304	1	9
15	Estructura molino	ASTM A36	1	10
16	Perno hexagonal de M10x1.50x16 mm	ACERO SAE 1045	15	N/A
17	Polea de rotor PHP 2-B68TB	HIERRO FUNDIDO	1	N/A
18	Faja B-60	CAUCHO	2	N/A
19	Perno hexagonal M8x1.25x16mm grado 8.8	ACERO SAE 1045	4	N/A
20	Polea de motor PHP 2SPB140TB	HIERRO FUNDIDO	1	N/A
21	Cuña rotor 1/8"x3/32"x24.4 mm	ACERO 1020	1	N/A
22	Tolva de salida	AISI 304	1	11
23	Cuña motor 1/4"x3/16"x50 mm	ACERO 1020	1	N/A

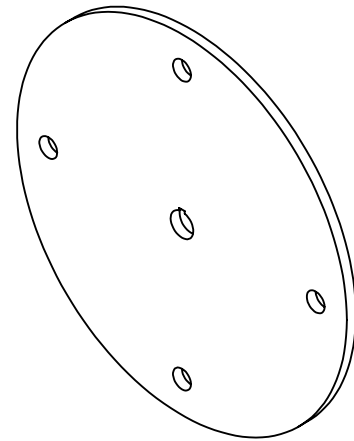
DISEÑADO Y DIBUJADO	NOMBRE	FECHA	 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
	José Marín	09/10/2023	
	Raúl Ruiz	09/10/2023	
REVISADO Y APROBADO	Carlos Bernal	09/10/2023	TRABAJO DE GRADUACION: "DISEÑO DE UNA MAQUINA PARA LA OBTENCIÓN DE HARINA DE ARROZ ENFOCADO A LA MICRO Y PEQUEÑA EMPRESA (MyPE) DE EL SALVADOR"
	Ing. Navarrete	01/12/2023	
ESCALA 1:7	NOMBRE DEL ELEMENTO O PIEZA:		MATERIAL
	MOLINO DE MARTILLOS		FORMATO A2
	SI NO SE ESPECIFICA LO CONTRARIO LAS COTAS ESTAN EN MM		Nº DE PIEZA
			PLANO Nº 1 DE 11



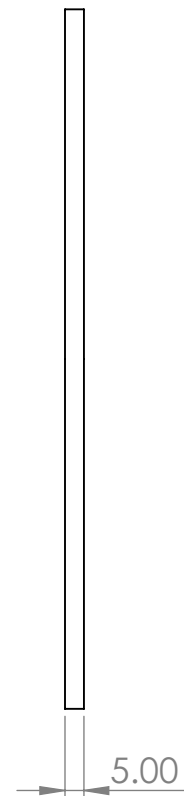
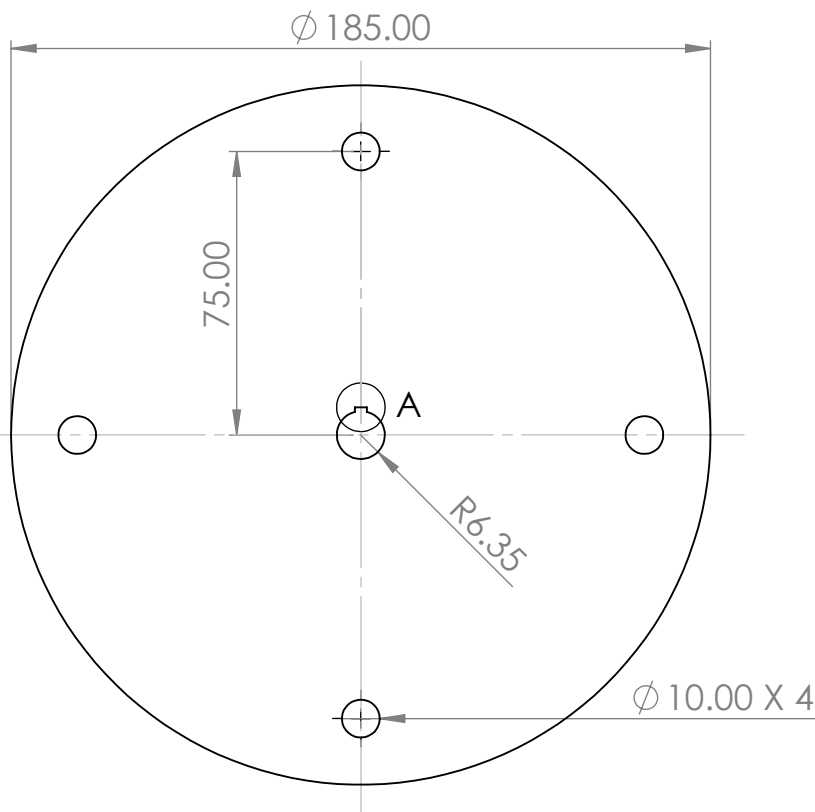
DISEÑADO Y DIBUJADO	NOMBRE:	FECHA:	 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
	Jose Marin	5/07/2023	
	Raul Ruiz	5/07/2023	
	Carlos Bernal	5/07/2023	TRABAJO DE GRADUACION: "DISEÑO DE UNA MAQUINA PARA LA OBTENCION DE HARINA DE ARROZ ENFOCADO A LA MICRO Y PEQUEÑA EMPRESA (MyPE) EN EL SALVADOR"
REVISADO Y APROBADO	Ing. Navarrete	25/09/2023	
ESCALA 1:1	NOMBRE DEL ELEMENTO O PIEZA MARTILLO		MATERIAL Acero AISI 304
	Si no se indica lo contrario las cotas se expresan en milímetros		FORMATO A4
			Nº DE PIEZA 3
			PLANO Nº 2 DE 11



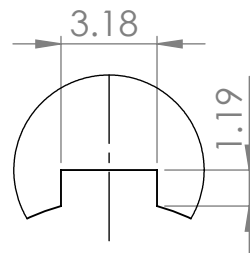
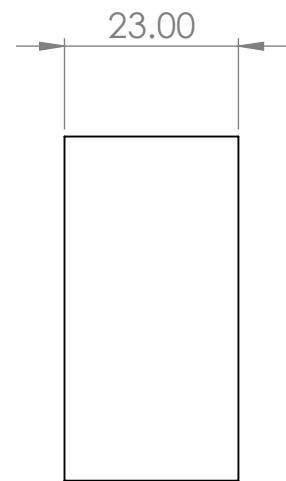
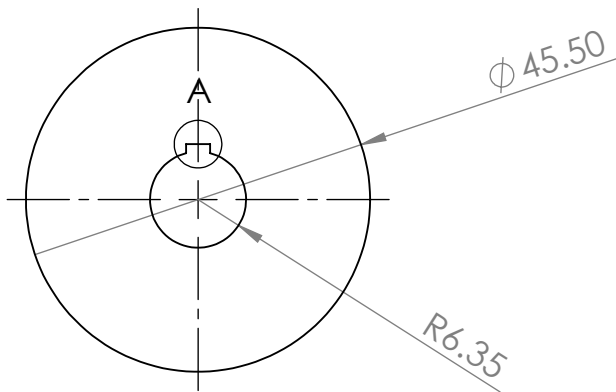
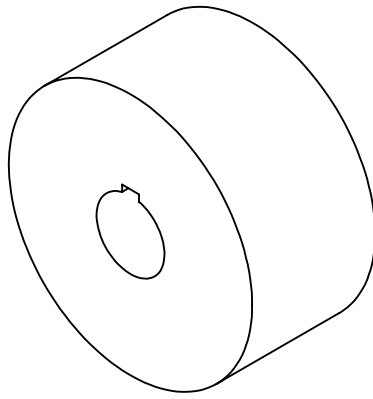
DETALLE A
ESCALA 4 : 1



ESCALA 1 : 3

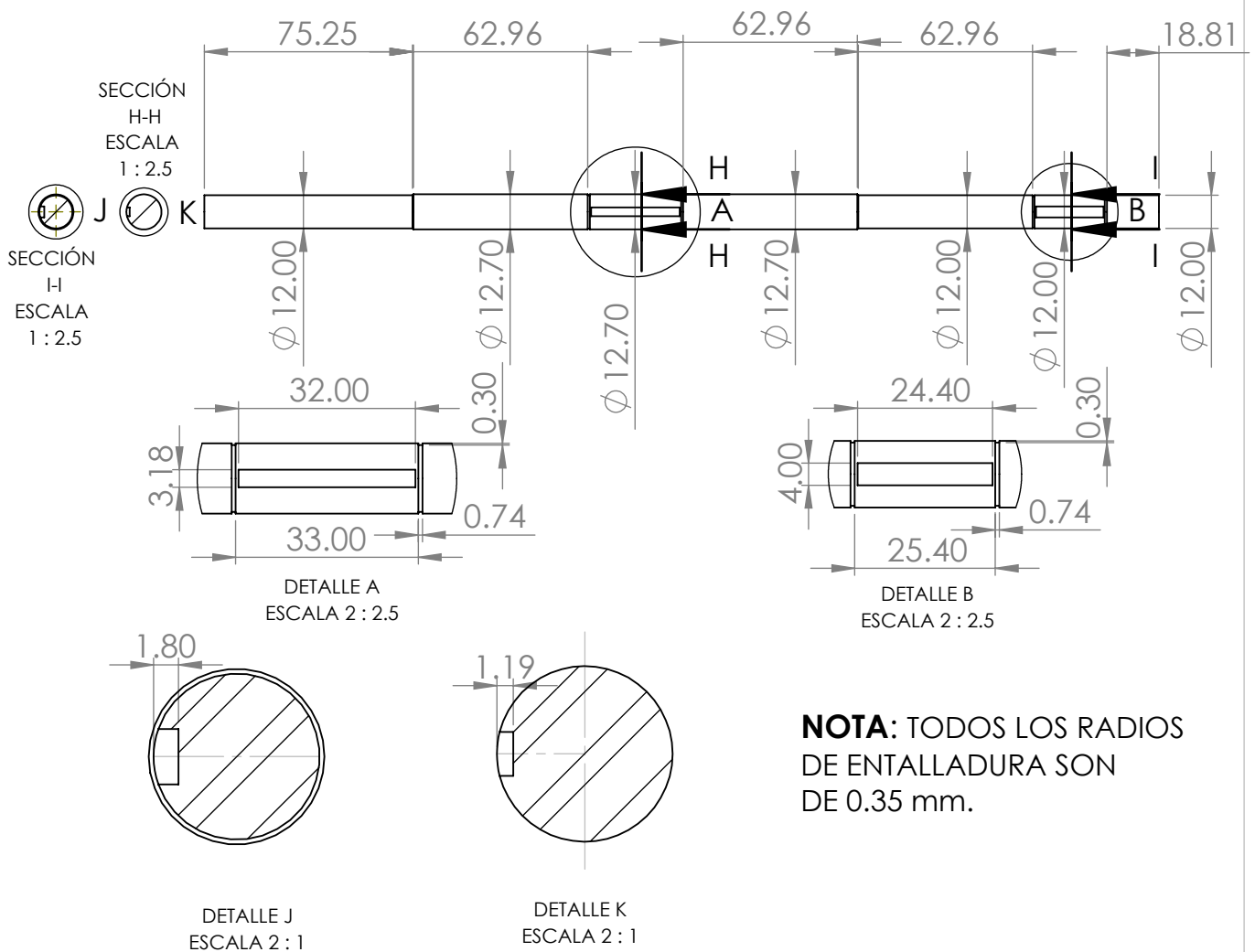
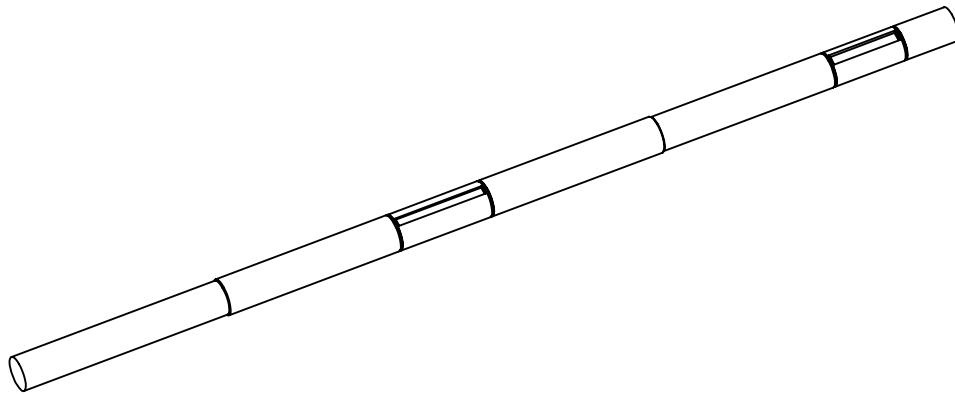


DISEÑADO Y DIBUJADO	NOMBRE:	FECHA:	 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	
	Jose Marin	5/07/2023		
	Raul Ruiz	5/07/2023		
	Carlos Bernal	5/07/2023		
REVISADO Y APROBADO	Ing. Navarrete	6/09/2023	TRABAJO DE GRADUACION: "DISEÑO DE UNA MAQUINA PARA LA OBTENCION DE HARINA DE ARROZ ENFOCADO A LA MICRO Y PEQUEÑA EMPRESA (MyPE) EN EL SALVADOR"	
ESCALA 1:2	NOMBRE DEL ELEMENTO O PIEZA		MATERIAL	Acero AISI 1020
	DISCO PORTAMARTILLOS		FORMATO	A4
	Si no se indica lo contrario las cotas se expresan en milímetros		Nº DE PIEZA	1
			PLANO Nº	1 DE 20



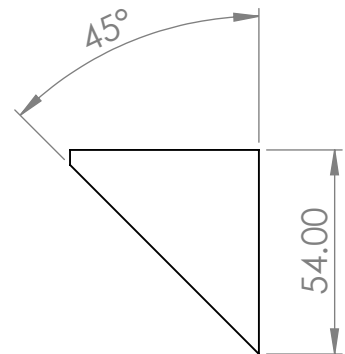
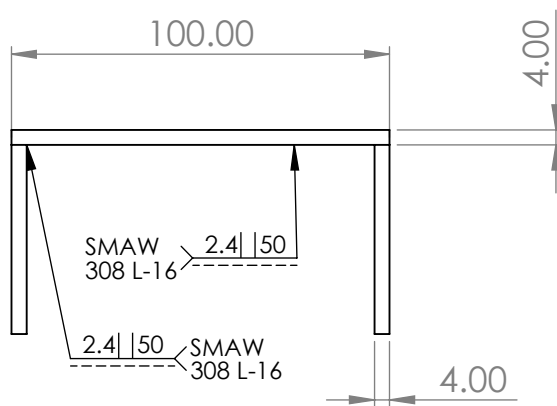
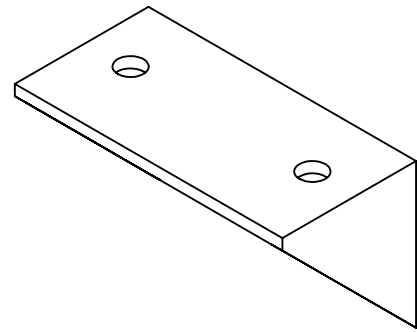
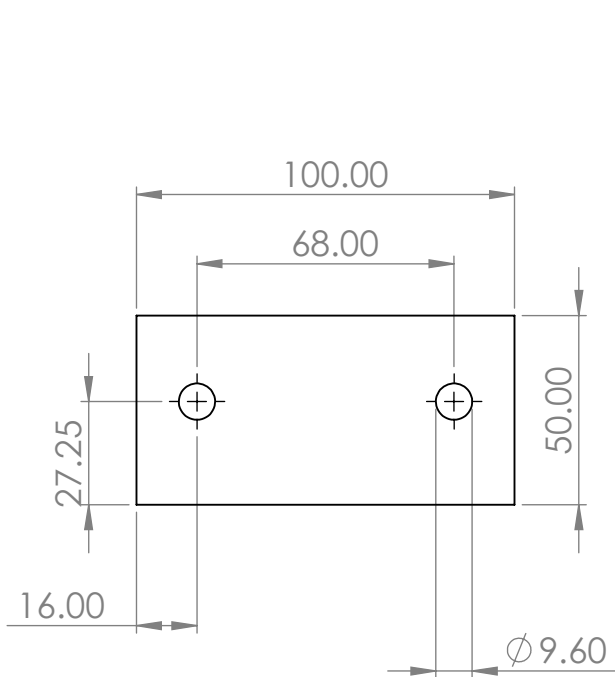
DETALLE A
ESCALA 4 : 1


DISEÑADO Y DIBUJADO	NOMBRE:	FECHA:	 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	
	Jose Marin	5/07/2023		
	Raul Ruiz	5/07/2023		
REVISADO Y APROBADO	Carlos Bernal	5/07/2023	TRABAJO DE GRADUACION: "DISEÑO DE UNA MAQUINA PARA LA OBTENCION DE HARINA DE ARROZ ENFOCADO A LA MICRO Y PEQUEÑA EMPRESA (MyPE) EN EL SALVADOR"	
	Ing. Navarrete	25/09/2023		
ESCALA 1:1	NOMBRE DEL ELEMENTO O PIEZA		MATERIAL	Acero AISI 304
	SEPARADOR DE DISCOS		FORMATO	A4
			Nº DE PIEZA	6
	Si no se indica lo contrario las cotas se expresan en milímetros		PLANO Nº	4 DE 11

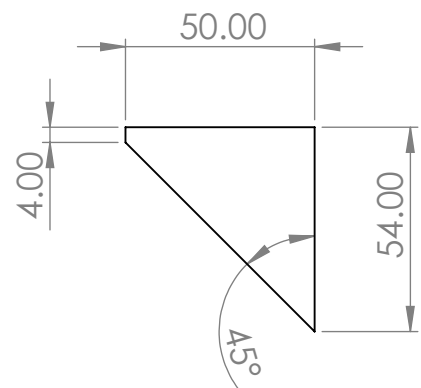
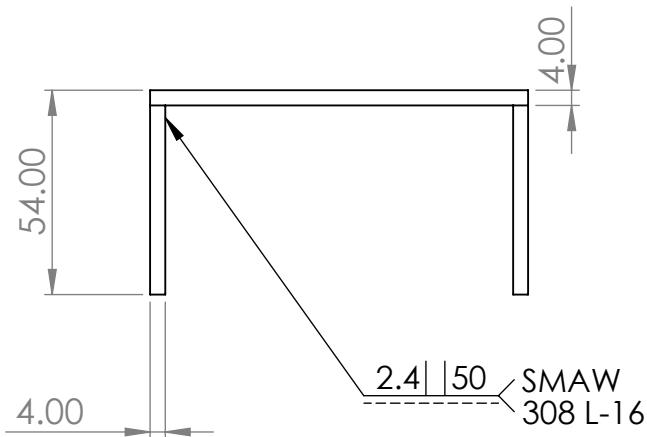
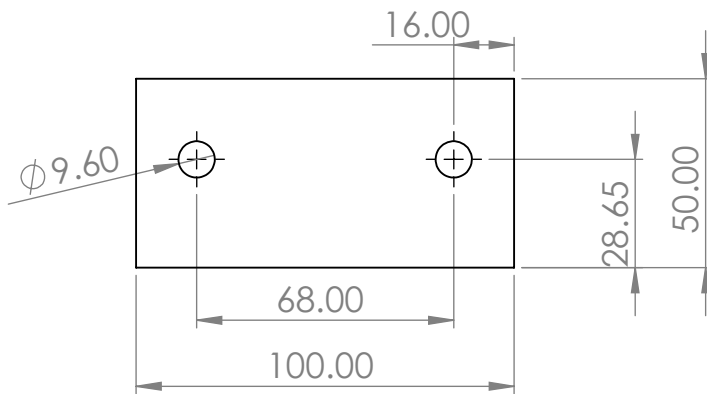
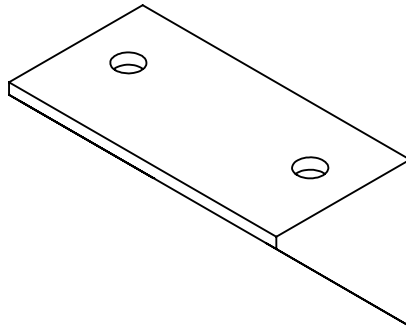



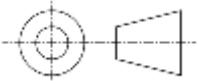
NOTA: TODOS LOS RADIOS DE ENTALLADURA SON DE 0.35 mm.

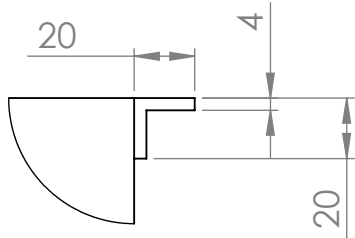
DISEÑADO Y DIBUJADO	NOMBRE:	FECHA:	 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
	Jose Marin	19/06/2023	
	Raul Ruiz	19/06/2023	
	Carlos Bernal	19/06/2023	
REVISADO Y APROBADO	Ing. Navarrete	25/09/2023	TRABAJO DE GRADUACION: "DISEÑO DE UNA MAQUINA PARA LA OBTENCION DE HARINA DE ARROZ ENFOCADO A LA MICRO Y PEQUEÑA EMPRESA (MyPE) EN EL SALVADOR"
ESCALA 1:2.5	NOMBRE DEL ELEMENTO O PIEZA		MATERIAL Acero AISI 304
	EJE DEL ROTOR		FORMATO A4
	Si no se indica lo contrario las cotas se expresan en milímetros		Nº DE PIEZA 7
			PLANO Nº 5 DE 11



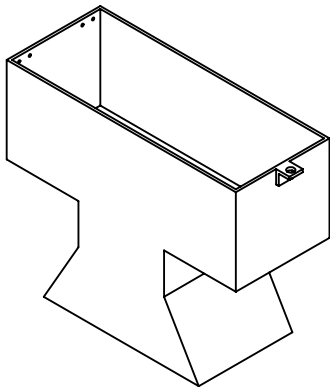
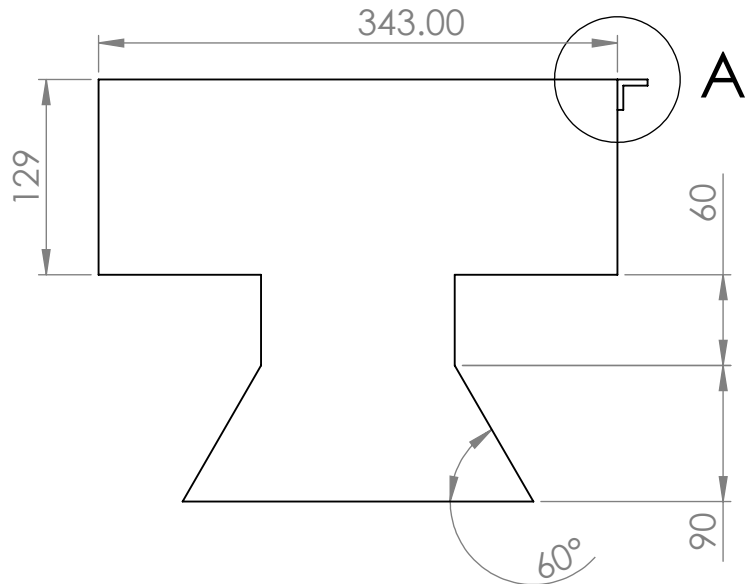
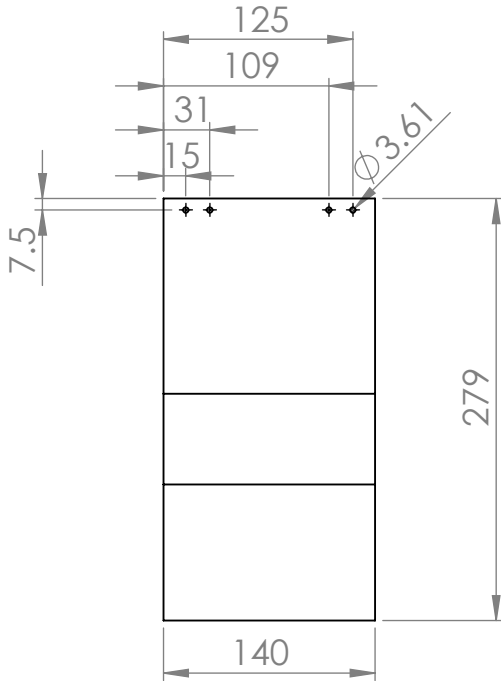
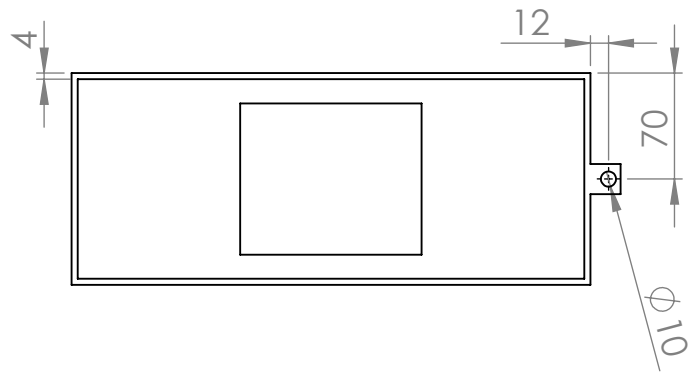
DISEÑADO Y DIBUJADO	NOMBRE:	FECHA:	 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
	Jose Marin	10/08/2023	
	Raul Ruiz	10/08/2023	
	Carlos Bernal	10/08/2023	
REVISADO Y APROBADO	Ing. Navarrete	01/12/2023	TRABAJO DE GRADUACION: "DISEÑO DE UNA MAQUINA PARA LA OBTENCION DE HARINA DE ARROZ ENFOCADO A LA MICRO Y PEQUEÑA EMPRESA (MyPE) EN EL SALVADOR"
ESCALA 1:1	NOMBRE DEL ELEMENTO O PIEZA SOPORTE CHUMACERA		MATERIAL AISI 306
			FORMATO A4
			N° DE PIEZA 8
	Si no se indica lo contrario las cotas se expresan en milímetros		PLANO N° 6 DE 11



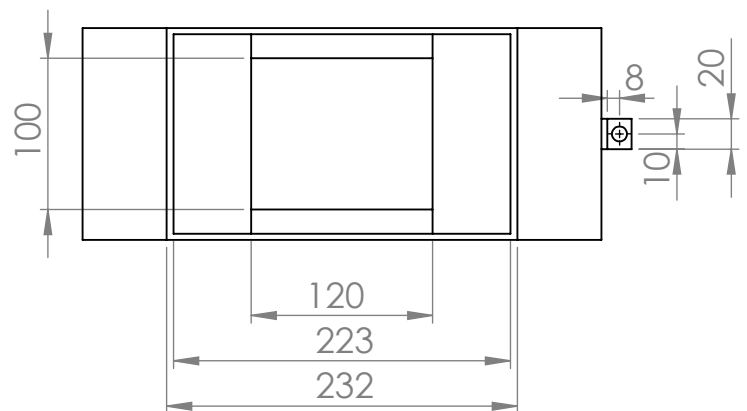
DISEÑADO Y DIBUJADO	NOMBRE:	FECHA:	 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
	Jose Marin	10/08/2023	
	Raul Ruiz	10/08/2023	
	Carlos Bernal	10/08/2023	
REVISADO Y APROBADO	Ing. Navarrete	01/12/2023	TRABAJO DE GRADUACION: "DISEÑO DE UNA MAQUINA PARA LA OBTENCION DE HARINA DE ARROZ ENFOCADO A LA MICRO Y PEQUEÑA EMPRESA (MyPE) EN EL SALVADOR"
ESCALA 1:2	NOMBRE DEL ELEMENTO O PIEZA Soporte chumacera lado polea		MATERIAL Acero AISI 304
			FORMATO A4
			N° DE PIEZA 11
	Si no se indica lo contrario las cotas se expresan en milímetros		PLANO N° 7 DE 11



ESCALA 2:5 DETALLE A

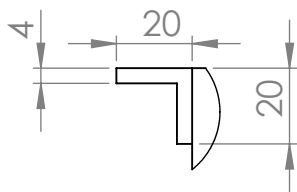
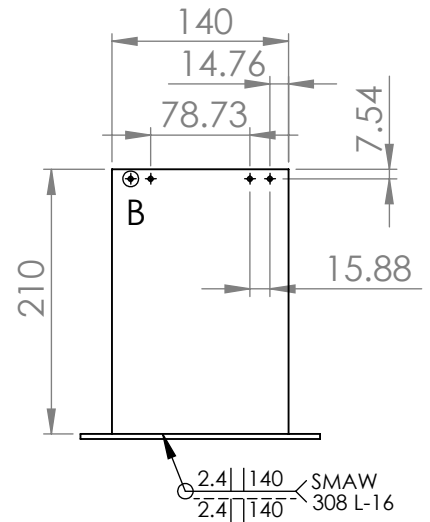
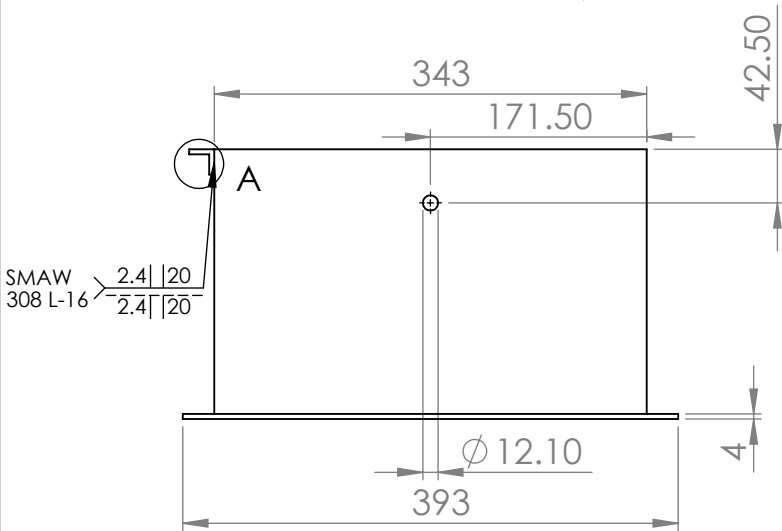
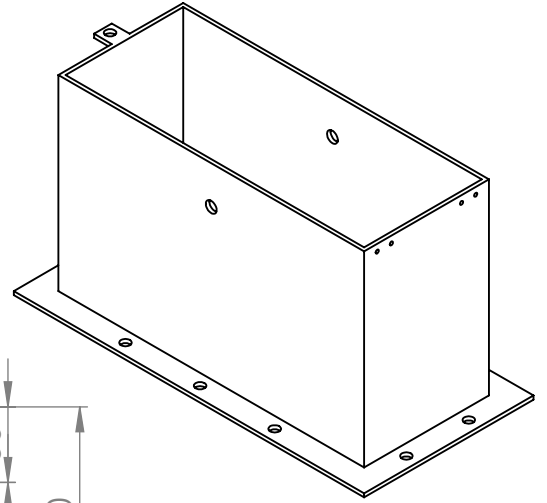
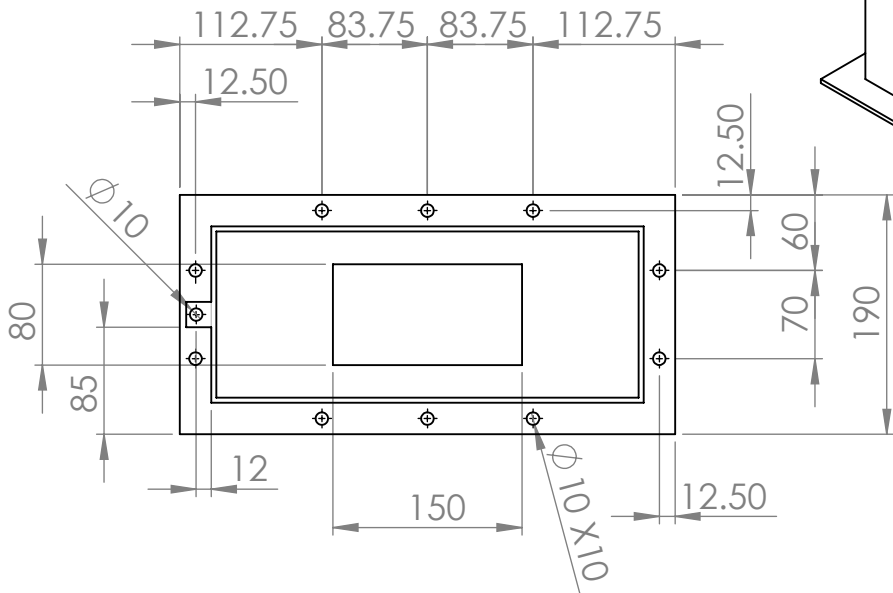


ESCALA 1:8



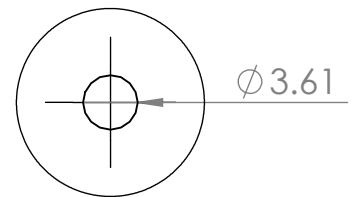
NOTA: En todo se usa lámina de 4 mm

DISEÑADO Y DIBUJADO	NOMBRE:	FECHA:	 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	
	Jose Marin	10/08/2023		
	Raul Ruiz	10/08/2023		
	Carlos Bernal	10/08/2023		
REVISADO Y APROBADO	Ing. Navarrete	01/12/2023	TRABAJO DE GRADUACION: "DISEÑO DE UNA MAQUINA PARA LA OBTENCION DE HARINA DE ARROZ ENFOCADO A LA MICRO Y PEQUEÑA EMPRESA (MyPE) EN EL SALVADOR"	
ESCALA	NOMBRE DEL ELEMENTO O PIEZA		MATERIAL	ACERO AISI 304
1:5	TOLVA DE ENTRADA		FORMATO	A4
	Si no se indica lo contrario las cotas se expresan en milímetros		Nº DE PIEZA	13
			PLANO Nº	8 DE 11



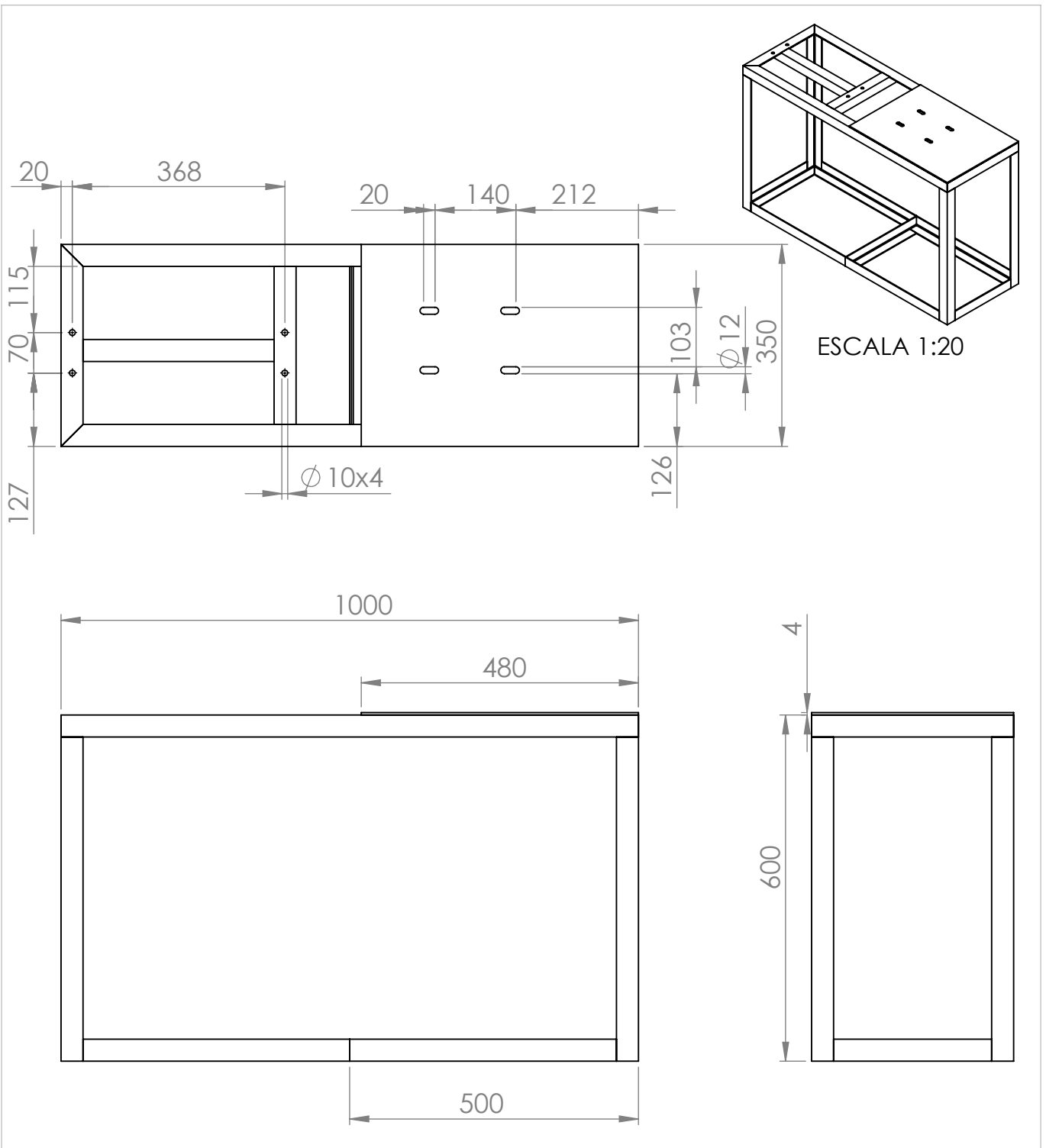
DETALLE A
ESCALA 1 : 2

NOTA: Utilizar lámina de 4mm de espesor.


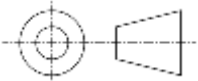


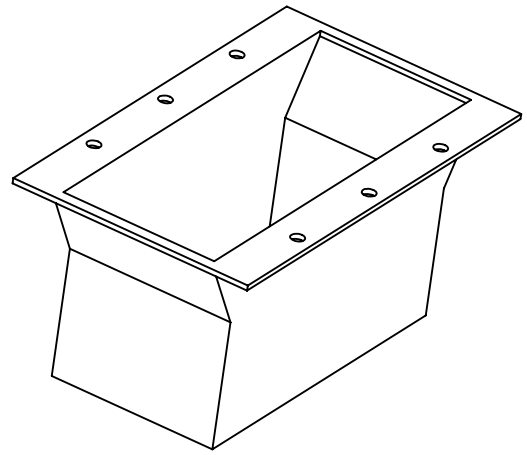
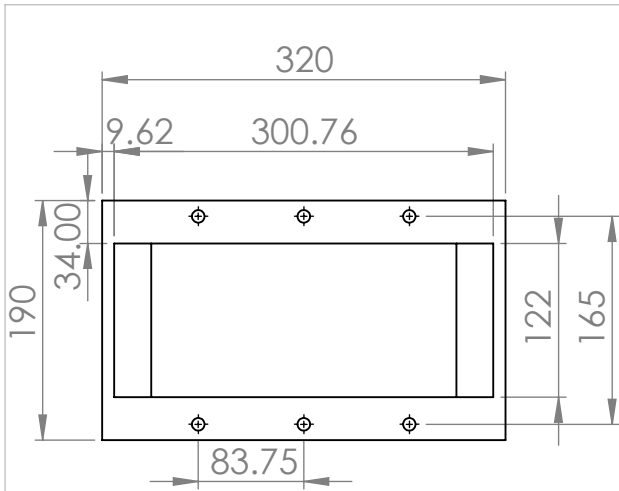
DETALLE B
ESCALA 2 : 1

DISEÑADO Y DIBUJADO	NOMBRE:	FECHA:	 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	
	Jose Marin	5/08/2023		
	Raul Ruiz	5/08/2023		
	Carlos Bernal	5/08/2023		
REVISADO Y APROBADO	Ing. Navarrete	01/12/2023	TRABAJO DE GRADUACION: "DISEÑO DE UNA MAQUINA PARA LA OBTENCION DE HARINA DE ARROZ ENFOCADO A LA MICRO Y PEQUEÑA EMPRESA (MyPE) EN EL SALVADOR"	
ESCALA 1:6	NOMBRE DEL ELEMENTO O PIEZA		MATERIAL	ACERO AISI 304
	CUERPO DE MOLINO		FORMATO	A4
	Si no se indica lo contrario las cotas se expresan en milímetros		Nº DE PIEZA	14
			PLANO Nº	9 DE 11

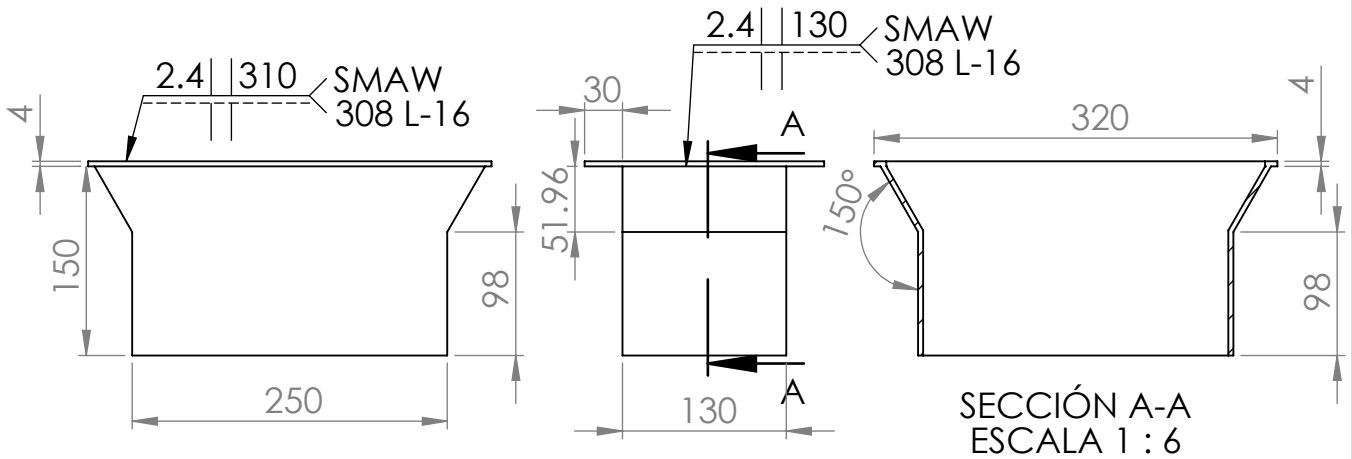


NOTA: todos los ángulos son de 1 1/2"x1/8"

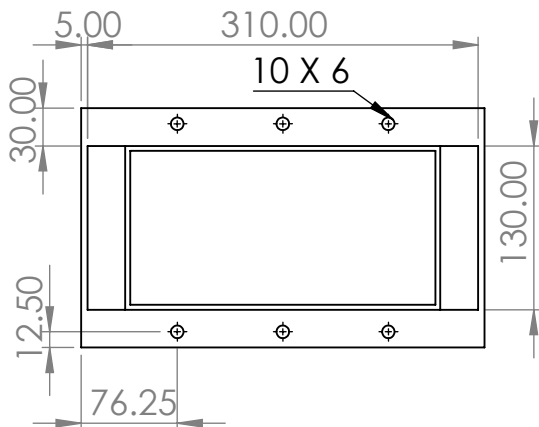
DISEÑADO Y DIBUJADO	NOMBRE:	FECHA:	 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	
	Jose Marin	10/08/2023		
	Raul Ruiz	10/08/2023		
	Carlos Bernal	10/08/2023		
REVISADO Y APROBADO	Ing. Navarrete	01/12/2023	TRABAJO DE GRADUACION: "DISEÑO DE UNA MAQUINA PARA LA OBTENCION DE HARINA DE ARROZ ENFOCADO A LA MICRO Y PEQUEÑA EMPRESA (MyPE) EN EL SALVADOR"	
ESCALA 1:10	NOMBRE DEL ELEMENTO O PIEZA		MATERIAL	Acero A36
	ESTRUCTURA MOLINO		FORMATO	A4
	Si no se indica lo contrario las cotas se expresan en milímetros		Nº DE PIEZA	15
			PLANO Nº	10 DE 11



ESCALA 1:5



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 6



NOTA: Utilizar lámina de 4 mm

DISEÑADO Y DIBUJADO	NOMBRE:	FECHA:	 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
	Jose Marin	10/08/2023	
	Raul Ruiz	10/08/2023	
REVISADO Y APROBADO	Carlos Bernal	10/08/2023	TRABAJO DE GRADUACION: "DISEÑO DE UNA MAQUINA PARA LA OBTENCION DE HARINA DE ARROZ ENFOCADO A LA MICRO Y PEQUEÑA EMPRESA (MyPE) EN EL SALVADOR"
	Ing. Navarrete	01/12/2023	
ESCALA 1:6	NOMBRE DEL ELEMENTO O PIEZA	MATERIAL	Acero AISI 1020
		TOLVA DE SALIDA	FORMATO
Si no se indica lo contrario las cotas se expresan en milímetros		Nº DE PIEZA	22
		PLANO Nº	11 DE 11

CONCLUSIONES

El molino de martillos es el tipo de molino más apropiado para la pulverización de granos de arroz, ya que comparado con los demás molinos es el que posee mayor capacidad de molienda a un menor costo de fabricación, además sus mantenimientos son relativamente prácticos y económicos.

Se diseñaron y seleccionaron los componentes del molino de martillo, con enfoque a la producción de harina de arroz que sea apta para el consumo humano. Por lo que para los componentes que estén en contacto directo con la miga de arroz se ha seleccionado como material acero inoxidable AISI 304, grado alimenticio. Mientras el resto de los componentes, por cuestión económica, se han seleccionado materiales diferentes y más comerciales pero que cumplen con la aplicación requerida.

Para una producción de harina de arroz de 34 kg/h, utilizando una configuración de trituración mediante 8 martillos y una transmisión por medio de dos bandas, se requiere un motor de 5 hp. Además, la velocidad del rotor se establece en 3 000 rpm ya que si se toman valores menores (como 2 000 rpm) para obtener la energía necesaria para la rotura se deberá aumentar considerablemente la potencia del motor, lo cual es desfavorable en los costos de fabricación.

Por medio del método de elementos finitos y con la ayuda del software de diseño SolidWorks se validaron los elementos mecánicos más críticos del molino, obteniendo resultados satisfactorios y similares con los obtenidos analíticamente en el capítulo 4.

Para fabricar el molino se estima un presupuesto de \$ 2563.33 desglosados de la siguiente manera:

- Materiales a utilizar para la fabricación de los elementos del molino se tiene un costo de \$ 291.85.
- Mano de obra de fabricación de los elementos del molino tiene un costo de: \$ 1768.15.
- Componentes comerciales se tiene un costo de: \$ 503.33.

La variación de los materiales para fabricar las piezas del molino y de los elementos a comprar, solo dependerá del lugar donde se adquieran y la inflación de precios. El costo que puede presentar mayores variantes es la mano de obra, ya que dependerá de la zona y en particular del taller donde se realice la fabricación de los elementos del molino.

El tiempo de retorno de la inversión se ha calculado en aproximadamente un año, sin embargo, considerando los siguientes factores: mayor demanda de harina en la MyPE y mejor oferta de mano de obra de fabricación, el tiempo de retorno de la inversión disminuirá considerablemente y las ganancias generadas serán mayores.

BIBLIOGRAFIA

- (1) ADL Editors. (2021, 31 agosto). ¿Cuánto pesa 1 grano de arroz? - Revista ADL →. ADL Magazine →. Recuperado 19 de julio de 2022, de <https://adlmag.net/es/how-much-does-1-grain-rice-weigh/>
- (2) Aseconsa.es. 2010. ALMACENAMIENTO DE HARINAS: Medidas de control -Aseconsa. [online] Available at: <[https://aseconsa.es/noticias/almacenamiento-de-harinas#:~:text=Almacenamiento%20en%20lugar%20seco.,la%20harina%20C%20mejor%20calidad\).>](https://aseconsa.es/noticias/almacenamiento-de-harinas#:~:text=Almacenamiento%20en%20lugar%20seco.,la%20harina%20C%20mejor%20calidad).>) [Accessed 1 May 2022].
- (3) Autodesk Latinoamérica. (2022, 12 mayo). Software Inventor | Consulta los precios y compra Inventor 2023 oficial. Autodesk. Recuperado 20 de mayo de 2022, de <https://latinoamerica.autodesk.com/products/inventor/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>
- (4) Bernad, C. (2015, 23 febrero). El arroz variedad y clasificación. Cocina y aficiones. Recuperado 17 de mayo de 2022, de <https://www.cocinayaficiones.com/conociendo-el-arroz-2-clasificacion-apuntes/>
- (5) BID (2020, 26 junio). ¿Cómo está afectando la pandemia del Covid-19 a nuestros campesinos? Sostenibilidad. <https://blogs.iadb.org/sostenibilidad/es/como-esta-afectando-la-pandemia-del-covid-19-a-nuestros-campesinos/>
- (6) Budynas, R. G., Nisbett, J. K. & Murrieta, J. E. M. (2012b). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, novena edición. McGraw-Hill Education.

- (7) Buffalo, S. (2016, 27 octubre). Routine Hammer Mill Maintenance. Molino de martillos de Schutte. Recuperado 13 de junio de 2022, de <https://www.hammermills.com/es/replacing-hammer-mill-wear-parts/>
- (8) Chen, J. J., Lu, S., y Lii, C. Y. (1999). Effects of milling on the physicochemical characteristics of waxy rice in Taiwan. *Cereal Chemistry*, 76 (5), 796-799.
- (9) COMITE NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGIA (CONACYT). (2010). NORMA SALVADOREÑA NSO 67.03.01:01. <https://defensoria.gob.sv/images/stories/varios/NORMAS/HARINA/nso67.03.01.01%20HARINA%20DE%20TRIGO.pdf>
- (10) Crecimiento demográfico en El Salvador. (s. f.). DatosMundial.com. Recuperado 5 de mayo de 2022, de <https://www.datosmundial.com/america/el-salvador/crecimiento-poblacional.php>
- (11) CSI Spain. (2020). CSI Spain | SAP2000. IGENMAI. Recuperado 20 de mayo de 2022, de <https://www.csiespana.com/software/2/sap2000#:~:text=El%20SAP2000%20es%20un%20programa,problemas%20de%20ingenier%C3%ADa%20de%20estructuras.>
- (12) Cuadrado Moncayo, I. R., & Rueda Castillo, J. L. (2009, mayo). Diseño y construcción de un molino de martillos. <https://pdfcoffee.com/diseo-y-construccion-de-un-molino-de-martillos-3-pdf-free.html>
- (13) Dolores, M., Amparo, D. and Tosca, P., 2019. [online] *Bibliotecavirtualesenior.es*. Available at: <<https://bibliotecavirtualesenior.es/wp-content/uploads/2019/06/LA-HARINA.pdf>> [Accessed 1 May 2022].
- (14) Emeterio, J. (2018, 8 junio). Tipos y clasificación de las harinas. Recetas en la mochila. Recuperado 19 de mayo de 2022, de

<https://www.recetasenlamochila.com/consejos-trucos-cocina/tipos-de-harinas/>

- (15) Enago Academy. (2021, 13 octubre). ¿Cómo elegir la mejor metodología de investigación para su estudio? enago.com. Recuperado 13 de marzo de 2022, de <https://www.enago.com/es/academy/choose-best-research-methodology/>
- (16) Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires. (2012). Industrias I (72.02). http://materias.fi.uba.ar/7202/MaterialAlumnos/Antiguo/2013-1C/06_Apunte%20Molienda.pdf
- (17) Fernández, I., n.d. Todo lo que debes saber sobre las harinas - Cooperativa Simbiosis. [online] Cooperativa Simbiosis. Available at: <<https://www.cooperativasimbiosis.com/harinas/>> [Accessed 1 May 2022].
- (18) Fernandez, M. (2021, 4 enero). Que arroz necesitas según el plato que cocines. Sabervivir. Recuperado 10 de junio de 2022, de https://www.saberviirtv.com/nutricion/propiedades-tipos-arroz-para-cocinar_1918
- (19) Ferros Planes. (2018, 24 noviembre). Inox 304 vs Inox 316: las diferencias entre los dos tipos de acero. Recuperado 21 de julio de 2022, de <https://ferrosplanes.com/inox-304-vs-inox-316-diferencias/>
- (20) Galicia, Y. C. O., & Navarro, h. j. s. alimentación alternativa en alevines de especies nativas y promisorias de Colombia. http://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/13795/1/2018_Alimentaci%C3%B3n%20alternativa%20en%20alevines-%20Yeni%20Osorio.pdf
- (21) García, L. (2022, 14 mayo). Beneficios y propiedades del arroz. ConSalud.es. Recuperado 15 de mayo de 2022, de

https://www.consalud.es/estilo-vida/beneficios-propiedades-arroz_107171_102.html

- (22) Garrido, S. G. (2010). Organización y gestión integral de mantenimiento. Ediciones Díaz de santos.
- (23) Gómez, E. (2020, 29 octubre). ¿Cómo saber cuándo se agotan las muelas? - Página 2 -. forocafe. Recuperado 21 de junio de 2022, de <https://forocafe.es/foro/viewtopic.php?t=2587&start=10>
- (24) H. (2017, 11 agosto). Mecanismo de limpieza del rodillo de molienda del molino de maíz. Recuperado 6 de junio de 2022, de <https://medium.com/@hnlmachinery/mecanismo-de-limpieza-del-rodillo-de-molienda-del-molino-de-ma%C3%ADz-8cfa213098c0>
- (25) Harinas La Fuensanta/Harinas Convencionales y Ecológicas. 2020. Como almacenar las harinas - Harinas La Fuensanta/Harinas Convencionales y Ecológicas. [online] Available at: <<https://harinaslafuensanta.com/como-almacenar-las-harinas/#:~:text=Almacena%20las%20harinas%20en%20un,hogar%2C%20as%C3%AD%20como%20en%20l%C3%ADnea.>> [Accessed 1 May 2022].
- (26) Juvinall, R. C. & Marshek, K. M. (2013). Diseño de elementos de máquinas. Wiley.
- (27) Organización internacional de Normalización ISO (2000). Arandelas planas (ISO 7089).
- (28) Kim, M. H. (2013). Review on Rice Flour Manufacturing and Utilization. Journal of Biosystems Engineering, 38 (2), 103-112.
- (29) Lara, F. (2021, 16 julio). Tipos de acero inoxidable usados en la industria alimentaria. Fibracim. Recuperado 21 de julio de 2022, de <https://fibracim.com/blog/tipos-de-acero-inoxidable/>

- (30) Maquinas Gastronómicas. 2015. Arfemec Industrial | Harina, origen y evolución. [online] Available at: <<https://www.arfemec.com.ar/blog/harina-origen-evolucion>> [Accessed 1 May 2022].
- (31) Méndez Andrade, J. V., & Orellana Chiriboga, A. E. (2018, agosto). Diseño y construcción de un molino de martillos triturador de 15 qq/h de mineral pétreo para producir biofertilizantes. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15963/1/UPS-ST003724.pdf>
- (32) Miranda, A. (2021, 14 octubre). evisos. Recuperado 27 de marzo de 2022, de <https://san-salvador.evisos.com.sv/yo-vendo-la-mejor-miga-de-arroz-para-popusas-id-62070>
- (33) Mirlisenna, G. (2016, 22 enero). Método de los elementos finitos: ¿Qué es? BLOG ESSS. Recuperado 3 de junio de 2022, de <https://www.esss.co/es/blog/metodo-de-los-elementos-finitos-que-es/>
- (34) Monisa.com. 2017. Almacenaje de la Harina - Molinos de Nicaragua, S.A.. [online] Available at: <http://monisa.com/2016/index.php?option=com_content&view=article&id=11&Itemid=115> [Accessed 1 May 2022].
- (35) Motores electricos para la industria - SIMOTICS. (2022). Siemens España. Recuperado 12 de diciembre de 2022, de <https://new.siemens.com/es/es/productos/accionamientos/motores-electricos.html>
- (36) Mundial, M. (2019, 30 noviembre). Acero Inoxidable AISI 304 Ficha Técnica, Propiedades, Densidad, Dureza. Material Mundial Grados. <https://www.materialmundial.com/acero-inoxidable-ss-astm-sae-aisi-304-ficha-tecnica/>

- (37) Organización Internacional del Trabajo OIT. (2020). COVID – 19 y el Mundo del Trabajo: Punto de partida, respuesta y desafíos en El Salvador. https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---americas/---ro-lima/---sro-san_jose/documents/publication/wcms_755521.pdf
- (38) Organización Internacional del Trabajo OIT. (s. f.). Desempleo, total (% de la población activa total) (estimación modelado OIT) - El Salvador | Data. Banco Mundial Datos. Recuperado 5 de mayo de 2022, de <https://datos.bancomundial.org/indicador/SL.UEM.TOTL.ZS?end=2020&locations=SV&start=2012&view=chart>
- (39) O. (2017b, enero 18). ¿Conoces los nutrientes del arroz blanco? oksalud. Recuperado 10 de junio de 2022, de <https://okdiario.com/salud/arroz-blanco-propiedades-2793071>
- (40) pandecalidad. (2020, 6 febrero). Evolución de la molienda. Recuperado 26 de marzo de 2022, de <https://pandecalidad.com/evolucion-de-la-molienda>
- (41) PÁRRAGA, J. H. P. (2016). DISEÑO DEL SISTEMA MOTRIZ DE UN MOLINO DE MARTILLOS CON CAPACIDAD DE PROCESAMIENTO DE 4 TON/H DE CAL HIDRATADA [PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ]. https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/7023/PARRAGA_JHONNATAN_SISTEMA_MOTRIZ_MOLINO_MARTILLOS_PROCESAMIENTO.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- (42) Pavón Céspedes, J. A. (2013). Diseño y construcción de un molino artesanal para la molienda de granos secos de capacidad 250 kg/h (Ingeniero mecánico). Escuela Politécnica Nacional. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/6940/1/CD-5195.pdf>

- (43) Pincirolí, I. A. M. M., R. Ponzi, I. A. M. N., & Salsamendi, L. M. (2015). El arroz alimento de millones (Primera edición ed.). Universidad Nacional del centro de la provincia de buenos aires.
- (44) *Poleas - PHP 2-B68TB*. (n.d.).
<https://www.skfptp.com/CategoryDetails?productId=355737&languageId=11>
- (45) Ramos Gamiño, F. (2013). Maíz, trigo y arroz: los cereales que alimentan al mundo (No. 5). Universidad Autónoma de Nuevo León.
<http://eprints.uanl.mx/3649/>
- (46) Repositorio Institucional UCC: Invalid Identifier. (2018).
<https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/1825/1/C%C3%A1culo+del+tama%C3%B1o+%C3%B3ptimo+de+una+muestra.pdf>
- (47) Robles, E. (2016). Capítulo V Método de análisis por elementos finitos y descripción del software Algor. 5.1 Historia del Método de Elementos Finitos. DOCPLAYER. Recuperado 20 de mayo de 2022, de <https://docplayer.es/8941439-Capitulo-v-metodo-de-analisis-por-elementos-finitos-y-descripcion-del-software-algor.html>
- (48) Salazar Torres, N. A. (1999). diseño de una planta procesadora de harina arroz para el sector de la micro y pequeña empresa de el salvador orientado al beneficiado de arroz.
http://rd.udb.edu.sv:8080/jspui/bitstream/11715/1722/1/3108_tesis.pdf
- (49) Salisbury, & Kenneth, J. (1953). Kent's Mechanical Engineers' Handbook (12.a ed.). <https://www.amazon.com/Kents-Mechanical-Engineers-Handbook-Power/dp/B0054XSSYS>
- (50) SANTOS. (2021, septiembre). Manual de utilización y de mantenimiento. Recuperado 6 de junio de 2022, de https://www.santos.fr/media/ftp/Users_manuals/SP_Spanish/SANTOS_06-40-manu-ES-last.pdf

- (51) Sears, F. W. (2022). Física universitaria 1 (12.a ed.). Pearson educación de México.
- (52) SKF. (2011). Productos SKF de Transmisión de Potencia. En SKF. Recuperado 20 de febrero de 2023, de <https://www.skfptp.com/Publications/DownloadFile?document=Downloads%2FCatalogues%2FProductos%20SKF%20de%20Transmisi%C3%B3n%20de%20Potencia.pdf>
- (53) SKF. (2022). Recuperado 23 de enero de 2023, de <https://www.skf.com/es/products/rolling-bearings>
- (54) Solano, F. (2020, 1 junio). El molino: sus partes y características. Soy Barista. Recuperado 23 de junio de 2022, de <https://www.soybarista.com/el-molino-partes-y-caracteristicas>
- (55) SolidServicios. (2019, 30 mayo). SOLIDWORKS Simulation Professional | SolidServicios. SolidServicios | Distribuidor autorizado de SolidWorks en México. Recuperado 20 de mayo de 2022, de <https://solidservicios.com/productos/soluciones-de-simulacion/solidworks-simulacion-profesional/>
- (56) Superintendencia de competencia. (2012, julio). Actualización del estudio sobre la caracterización de la agroindustria arrocera y sus condiciones de competencia en El Salvador, a julio 2012. https://www.sc.gob.sv/wp-content/uploads/estudios_IE/estudios_PDF/Estudio_Arroz_2013.pdf
- (57) Sumtallfer (octubre, 2020). Arandela plana DIN 125 en acero inoxidable. <https://www.sumtallfer.com/arandela-plana-din-125-en-acero-inoxidable-b1d5/>

- (58) Tech, N., & Tech, N. (2021, 8 septiembre). ¡Todo lo que necesitas saber sobre SOLIDWORKS Simulation! - NC Tech. NC Tech. <https://nctech.com.mx/blog/ingenieria-digital/solidworks-simulation/>
- (59) TRANSELEC. (2022, 5 mayo). Qué es un motor eléctrico y cómo funciona. TRANSELEC. <https://www.transelec.com.ar/soporte/18450/que-es-un-motor-electrico-y-como-funciona/>
- (60) Universidad de El Salvador. (2015, 15 junio). "industria de harinas de arroz, maíz y trigo en El Salvador." scribd. recuperado 22 de marzo de 2022, de <https://es.scribd.com/document/275982708/industria-de-harinas-de-arroz-maiz-y-trigo-en-el-salvador>
- (61) U.M. (2013, 13 febrero). Estructura y morfología de los cereales. Universidad nacional autónoma de México. Recuperado 13 de mayo de 2022, de http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/semillas/index.php?option=com_content&view=article&id=14&Itemid=18
- (62) Uribe Pérez, J. J., & Lozano Ramírez, E. Y. (2014). Desarrollo, construcción y pruebas de funcionamiento de un prototipo de molino de martillos para la trituración en estado seco de cáscara de cacao y similares. <https://fdocumento.com/document/desarrollo-construccion-y-pruebas-de-construccion-y-pruebas-de-funcionamiento.html?page=1>
- (63) Vega, M., González, M., & Molina, F. (1989). Funcionamiento y mantenimiento de molinas de viento. Sistema de bibliotecas (SENA). Recuperado 6 de junio de 2022, de <https://repositorio.sena.edu.co/handle/11404/4962>.

- (64) VEYCO (Molinos y Mezcladoras). (2017, 2 noviembre). Molinos de martillo. Recuperado 19 de julio de 2022, de <https://molinosymezcladoras.com.mx/molinos-de-martillo.html>
- (65) Vidal, A., 2015. ¿Cómo se conserva mejor la harina? - TecnoSA. [online] TecnoSA. Available at: <<https://tecnosa.es/como-se-conserva-mejor-la-harina/>> [Accessed 1 May 2022].
- (66) Yeh, A. I. (2004). Preparation and applications of rice flour. En E. T. Champagne (Ed.), Rice: chemistry and Technology (pp. 495-539). St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists.
- (67) Yolanda. 2020. ¿Sabes cuál es el origen de la harina? | Yolanda. [online] Available at: <<https://www.yolanda.es/blog/sabes-cual-es-el-origen-de-la-harina/#:~:text=La%20harina%20es%20un%20producto,debieron%20quedarse%20cuando%20lo%20descubrieron>> [Accessed 1 May 2022].
- (68) Vidal, A., 2015. ¿Cómo se conserva mejor la harina? - TecnoSA. [online] TecnoSA. Available at: <<https://tecnosa.es/como-se-conserva-mejor-la-harina/>> [Accessed 1 May 2022].
- (69) WEG. (2022). WEG. www.weg.net. Recuperado 25 de julio de 2022, de <https://www.weg.net/catalog/weg/BR/es/Motores-EI%C3%A9ctricos/Monof%C3%A1sico/Uso-General/W22-%28IP55%29/W22-5-HP-2P-112M-1F-220-440-V-50-Hz-IC411---TEFC---B3R%28E%29/p/13887785>
- (70) Yeh, A. I. (2004). Preparation and applications of rice flour. En E. T. Champagne (Ed.), Rice: chemistry and Technology (pp. 495-539). St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists.
- (71) Yolanda. 2020. ¿Sabes cuál es el origen de la harina? | Yolanda. [online] Available at: <<https://www.yolanda.es/blog/sabes-cual-es-el-origen-de-la-harina/>>

harina/#:-:text=La%20harina%20es%20un%20producto,debieron%20quedarse%20cuando%20lo%20descubrieron> [Accessed 1 May 2022].

ANEXOS

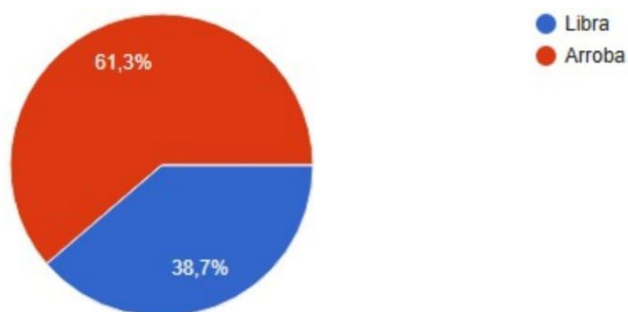
ANEXO A.

Encuesta realizada a los diferentes establecimientos (MYPES) ubicados en zonas de alta demanda de productos elaborados en base a harina de arroz en Planes de Renderos y Antiguo Cuscatlán en San Salvador.

- 1) Nombre del establecimiento:
- 2) ¿En qué peso adquiere la harina de arroz?
 - a) Arroba
 - b) Libra
- 3) Si su respuesta es libras ¿Cuál es su consumo de harina de arroz diario?
 - a) (5-10) lb
 - b) (10-20) lb
 - c) (20-30) lb
 - d) más de 30 lb
- 4) Si su respuesta es arroba ¿Cuál es su consumo de harina de arroz diario?
 - Hasta media arroba
 - b) De media arroba a 3/4
 - c) De 3/4 hasta 1 arroba
 - Más de una arroba
- 5) Si su respuesta es libras ¿A qué precio compra la libra de harina de arroz?
- 6) Si su respuesta es arroba ¿A qué precio compra la arroba de harina de arroz?
- 7) ¿Estaría dispuesto a procesar su propia harina si esto le genera un ahorro?
 - a) Si
 - b) No

ANEXO B.

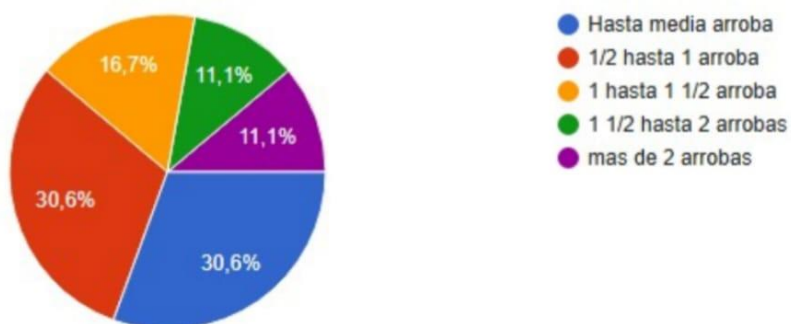
2. ¿En qué peso adquiere la harina de arroz?



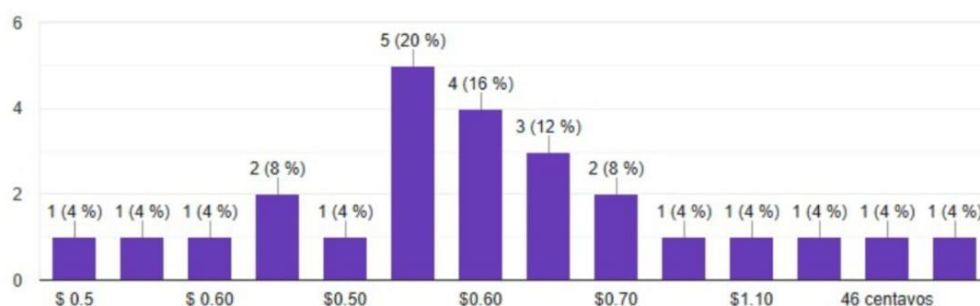
3. Si su respuesta es libras. ¿Cuál es su consumo de harina de arroz diario?



4. Si su respuesta es arroba. ¿Cuál es su consumo de harina de arroz diario?



5) Si su respuesta es libras ¿A qué precio compra la libra de harina de arroz?



6) Si su respuesta es arroba ¿A que precio compra la arroba de harina de arroz?



7) ¿Estaría dispuesto a procesar su propia harina si esto le genera un ahorro?

62 respuestas

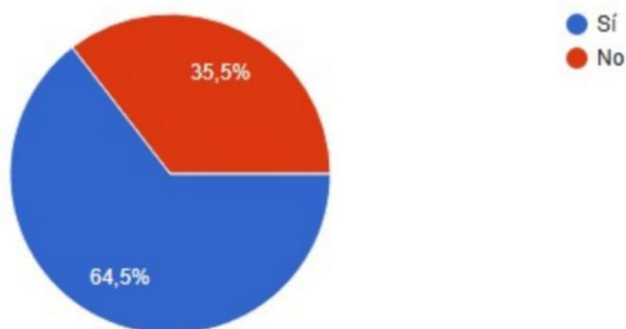


Figura B - 1: Resultados de encuesta realizada en zonas de alto consumo de productos elaborados a base de harina de arroz en los municipios de Planes de Renderos y Antiguo Cuscatlán departamento de San Salvador.

ANEXO C.

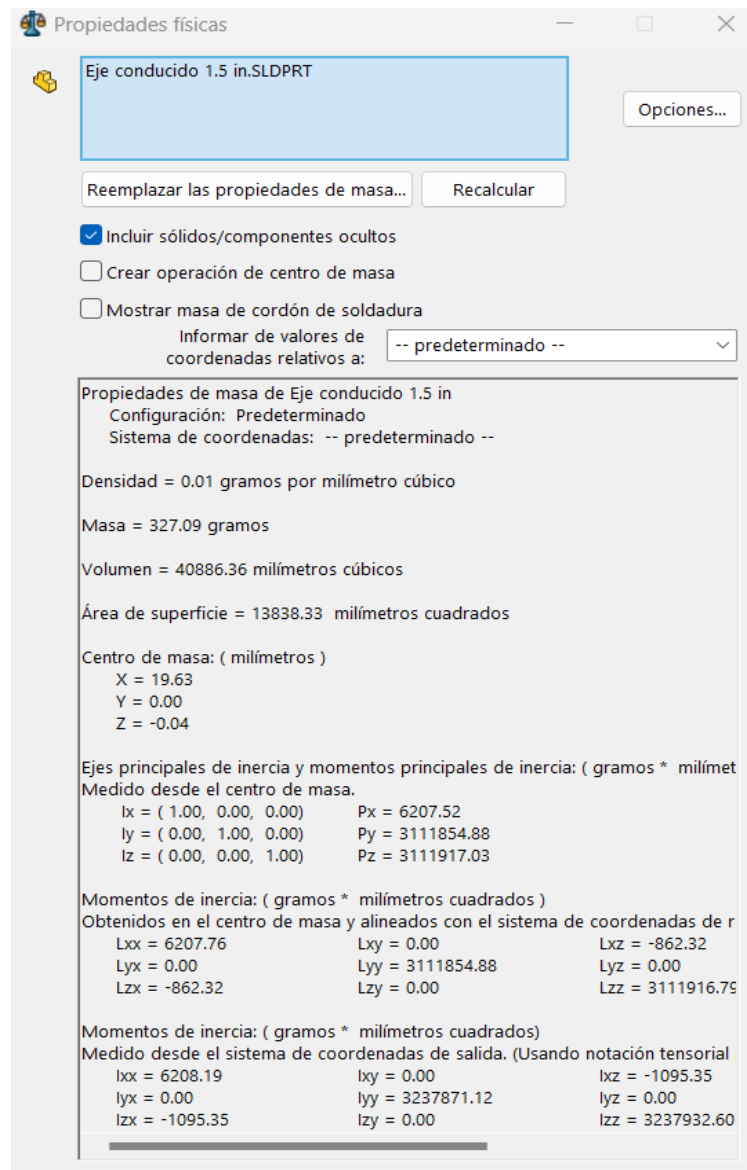


Figura C - 1: Propiedades del eje conducido dado por SolidWorks, de donde se obtiene la masa del componente.

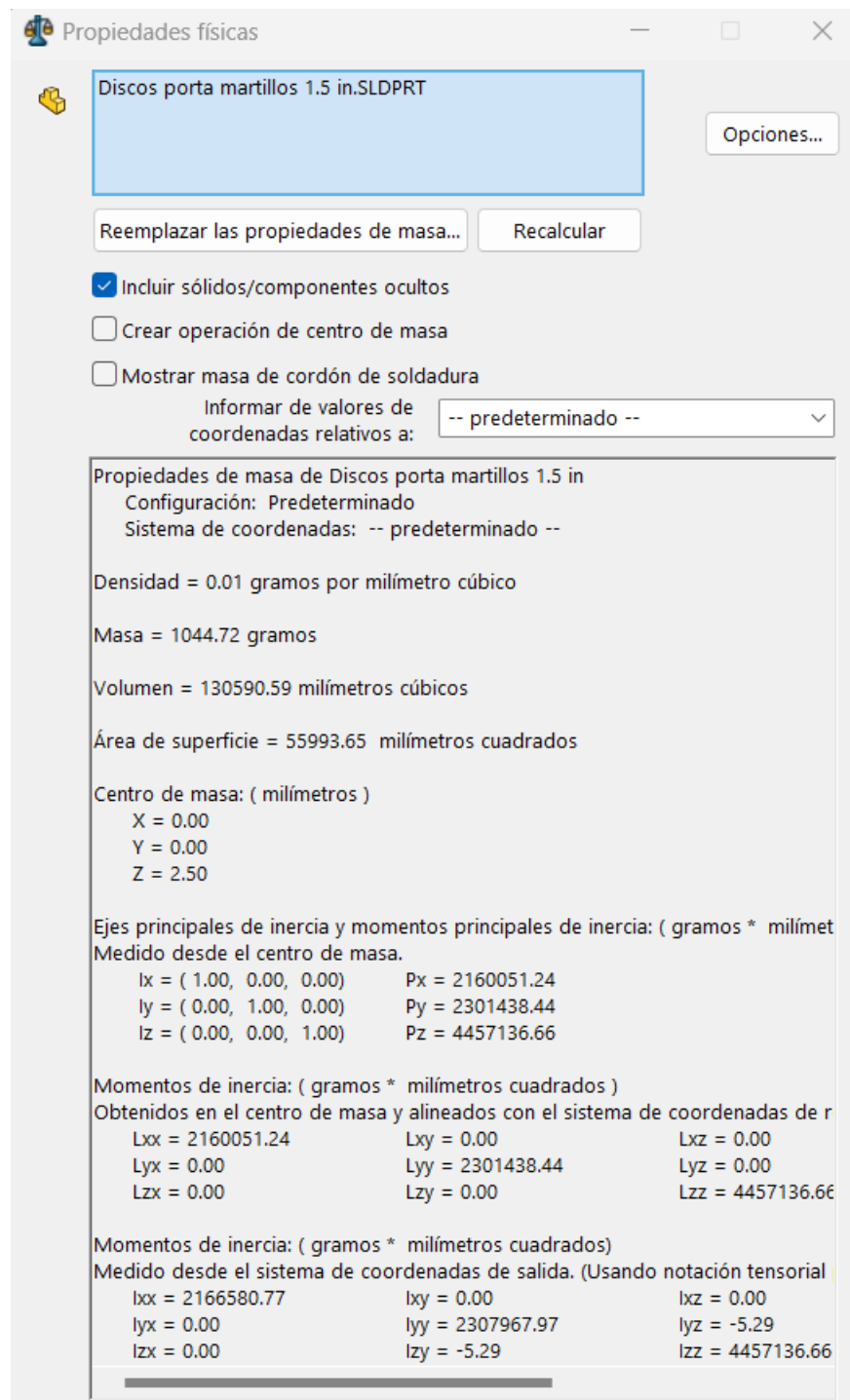


Figura C - 2: Propiedades del disco porta martillos dado por SolidWorks, de donde se obtiene la masa del componente.

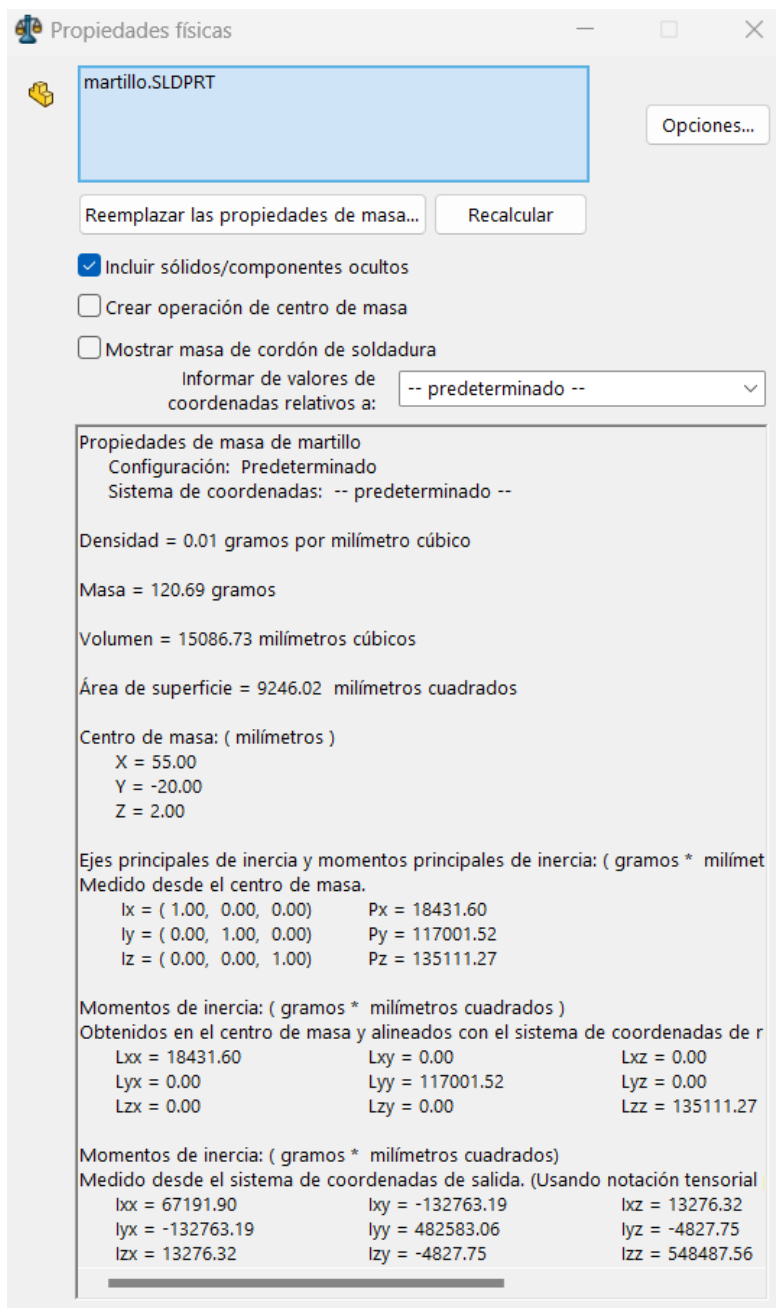


Figura C - 3: Propiedades del martillo dado por SolidWorks, de donde se obtiene la masa del componente.

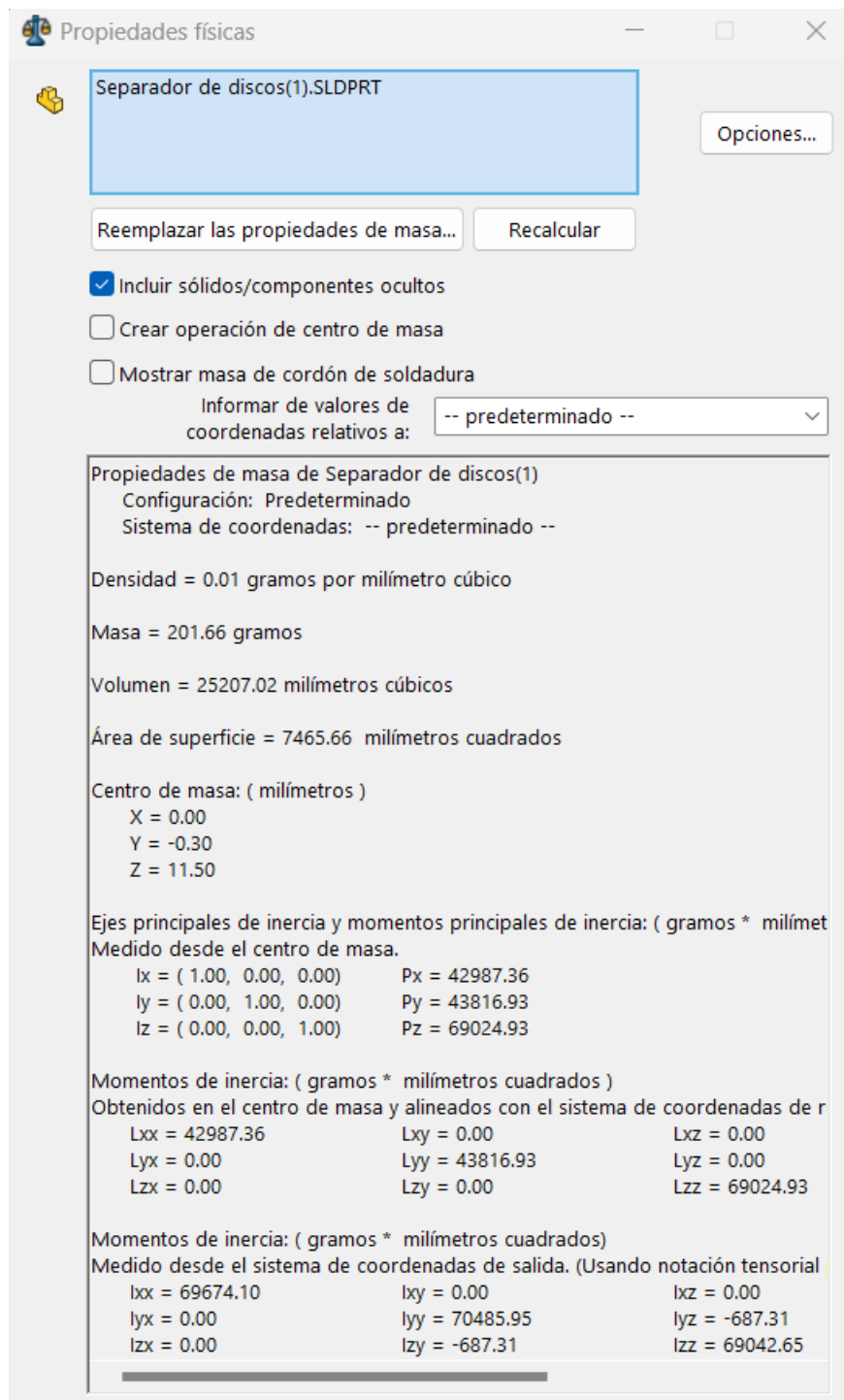


Figura C - 4: Propiedades del separador de discos dado por SolidWorks, de donde se obtiene la masa del componente.

perno martillos 80 mm.SLDPRT

Opciones...

Reemplazar las propiedades de masa... Recalcular

Incluir sólidos/componentes ocultos

Crear operación de centro de masa

Mostrar masa de cordón de soldadura

Informar de valores de coordenadas relativos a: -- predeterminado --

Propiedades de masa de perno martillos 80 mm
Configuración: 93635A730
Sistema de coordenadas: -- predeterminado --

Densidad = 0.01 gramos por milímetro cúbico

Masa = 244.82 gramos

Volumen = 30989.26 milímetros cúbicos

Área de superficie = 10768.74 milímetros cuadrados

Centro de masa: (milímetros)
X = 0.00
Y = 0.00
Z = 8.33

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos * milímetros cúbicos)
Medido desde el centro de masa.
Ix = (0.00, 0.00, 1.00) Px = 16786.73
Iy = (0.63, -0.77, 0.00) Py = 210890.58
Iz = (0.77, 0.63, 0.00) Pz = 210901.11

Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)
Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas

Lxx = 210896.88	Lxy = -5.16	Lxz = -18.82
Lyx = -5.16	Lyy = 210894.81	Lyz = 3.38
Lzx = -18.82	Lzy = 3.38	Lzz = 16786.73

Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)
Medido desde el sistema de coordenadas de salida. (Usando notación tensorial)

lxx = 227870.22	lxy = -5.16	lxz = -18.16
lyx = -5.16	lyy = 227868.14	lyz = -1.97
lzx = -18.16	lzy = -1.97	lzz = 16786.73

Figura C - 5: Propiedades del perno de los martillos dado por SolidWorks, de donde se obtiene la masa del componente.

ANEXO D.

VALORES ELÉCTRICOS MOTORES SERIE 1LE0141

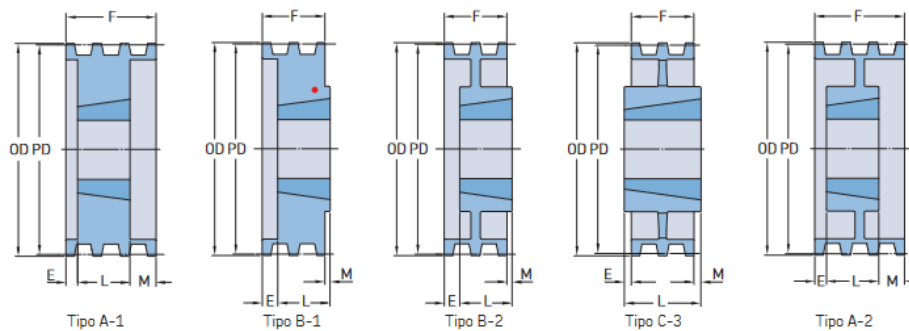
Potencia		Referencia del motor	Tamaño constructivo	Rated Speed	Eficiencia 100%	Factor de potencia	Corriente nominal			Torque nominal	Datos de arranque			Peso IM B3
kW	HP						220V A	380V A	440V A		Nm	Corriente de arranque x In	Torque de arranque x Tn	
Datos eléctricos motores Serie 1LE0141 IE2 2 Polos 3600 rpm														
0,75	1	1LE0141-0DA26-4AA4	80M	3450	75,5	0,81	3,2	1,85	1,6	2,1	6	2,2	3	14,0
1,1	1,5	1LE0141-0DA36-4AA4	80M	3440	82,5	0,83	4,3	2,5	2,15	3,1	7	2,8	3	16,0
1,5	2	1LE0141-0DA86-4AA4	80M	3450	84,0	0,83	5,6	3,25	2,8	4,2	7	2,8	3	18,0
2,2	3	1LE0141-0EA46-4AA4	90L	3500	85,5	0,87	7,9	4,55	3,95	6,0	8	2,8	3	28
3	4	1LE0141-0EA86-4AA4	90L	3505	87,5	0,87	10,3	6	5,1	8,2	8	2,8	3	28
3,7	5	1LE0141-1AA86-4AA4	100L	3440	87,5	0,88	12,7	7,4	6,4	10,3	8	3	3,5	40
5,5	7,5	1LE0141-1BA86-4AA4	112M	3510	88,5	0,88	18,8	10,9	9,4	15,0	8	3	3,5	45
7,5	10	1LE0141-1CA16-4AA4	132S	3525	89,5	0,88	25	14,4	12,4	20,3	8,5	2,3	3,5	70

Figura D- 1: tabla de motores NEMA serie 1LE0141. (Motores eléctricos para la industria - SIMOTICS, 2022).

ANEXO E.

Poleas para correas trapeciales clásicas

A/B para casquillo cónico

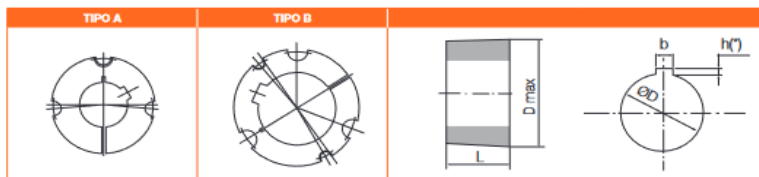


Sección	Número de gargantas	Diámetro primitivo		Tipo de polea	Número de casquillo	Dimensiones			F	E	L	M	Peso ¹	Designación
		Correa sección A	Correa sección B			Diámetro exterior OD	B. Mín.	Máx.						
-	-	pulg.		-	-	pulg.			-	-	-	-	libras	-
A/B	1	3,0	3,4	A-1	1210	3,8	3/8	1 1/4	1	-	1	-	2,2	PHP 1-B34TB
		3,2	3,6	A-1	1210	4,0	3/8	1 1/4	1	-	1	-	2,6	PHP 1-B36TB
		3,4	3,8	A-1	1610	4,2	3/4	1 1/2	1	-	1	-	2,8	PHP 1-B38TB
		3,6	4,0	A-1	1610	4,4	3/4	1 1/2	1	-	1	-	3,0	PHP 1-B40TB
		3,8	4,2	A-1	1610	4,6	3/4	1 1/2	1	-	1	-	3,5	PHP 1-B42TB
		4,0	4,4	A-1	1610	4,8	3/2	1 3/4	1	-	1	-	3,8	PHP 1-B44TB
		4,2	4,6	A-1	1610	5,0	3/2	1 3/4	1	-	1	-	4,0	PHP 1-B46TB
		4,4	4,8	A-1	1610	5,2	3/2	1 3/4	1	-	1	-	4,5	PHP 1-B48TB
		4,6	5,0	A-1	1610	5,4	3/2	1 3/4	1	-	1	-	4,8	PHP 1-B50TB
		4,8	5,2	A-1	1610	5,6	3/2	1 3/4	1	-	1	-	5,0	PHP 1-B52TB
		5,0	5,4	A-1	1610	5,8	3/2	1 3/4	1	-	1	-	5,5	PHP 1-B54TB
		5,2	5,6	A-1	1610	6,0	3/2	1 3/4	1	-	1	-	6,0	PHP 1-B56TB
		5,4	5,8	A-1	1610	6,2	3/2	1 3/4	1	-	1	-	6,3	PHP 1-B58TB
		5,6	6,0	A-1	1610	6,4	3/2	1 3/4	1	-	1	-	6,7	PHP 1-B60TB
		5,8	6,2	A-1	1610	6,6	3/2	1 3/4	1	-	1	-	7,0	PHP 1-B62TB
		6,0	6,4	A-1	1610	6,8	3/2	1 3/4	1	-	1	-	8,0	PHP 1-B64TB
		6,2	6,6	A-1	1610	7,0	3/2	1 3/4	1	-	1	-	8,5	PHP 1-B66TB
		6,4	6,8	A-1	1610	7,2	3/2	1 3/4	1	-	1	-	9,0	PHP 1-B68TB
		7,0	7,4	B-1	2517 ^{1/2}	7,8	3/4	2 1/2	1	-	1 1/4	3/4	9,4	PHP 1-B74TB
		8,2	8,6	B-2	2517 ^{1/2}	9,0	3/4	2 1/2	1	-	1 1/4	3/4	12,0	PHP 1-B86TB
9,0	9,4	B-2	2517 ^{1/2}	9,8	3/4	2 1/2	1	-	1 1/4	3/4	14,0	PHP 1-B94TB		
10,6	11,0	B-2	2517 ^{1/2}	11,4	3/4	2 1/2	1	-	1 1/4	3/4	18,0	PHP 1-B110TB		
12,0	12,4	C-3	2517 ^{1/2}	12,8	3/4	2 1/2	1	3/4	1 1/4	3/2	18,5	PHP 1-B124TB		
15,0	15,4	C-3	2517 ^{1/2}	15,8	3/4	2 1/2	1	3/4	1 1/4	3/2	19,0	PHP 1-B154TB		
18,0	18,4	C-3	2517 ^{1/2}	18,8	3/4	2 1/2	1 1/2	3/4	1 1/4	3/2	24,0	PHP 1-B184TB		
A/B	2	3,0	3,4	A-1	1210	3,8	3/8	1 1/4	1 1/4	3/4	1	-	2,2	PHP 2-B34TB
		3,2	3,6	A-1	1210	4,0	3/8	1 1/4	1 1/4	3/4	1	-	2,6	PHP 2-B36TB
		3,4	3,8	A-1	1610	4,2	3/4	1 1/2	1 1/4	3/4	1	-	2,8	PHP 2-B38TB
		3,6	4,0	A-1	1610	4,4	3/4	1 1/2	1 1/4	3/4	1	-	3,0	PHP 2-B40TB
		3,8	4,2	A-1	1610	4,6	3/4	1 1/2	1 1/4	3/4	1	-	4,0	PHP 2-B42TB
		4,0	4,4	A-1	1610	4,8	3/2	1 3/4	1 1/4	3/4	1	-	4,5	PHP 2-B44TB
		4,2	4,6	A-1	1610	5,0	3/2	1 3/4	1 1/4	3/4	1	-	5,0	PHP 2-B46TB
		4,4	4,8	A-1	1610	5,2	3/2	1 3/4	1 1/4	3/4	1	-	5,5	PHP 2-B48TB
		4,6	5,0	A-1	1610	5,4	3/2	1 3/4	1 1/4	3/4	1	-	6,0	PHP 2-B50TB
		4,8	5,2	A-1	1610	5,6	3/2	1 3/4	1 1/4	3/4	1	-	6,5	PHP 2-B52TB
		5,0	5,4	A-1	1610	5,8	3/2	1 3/4	1 1/4	3/4	1	-	7,0	PHP 2-B54TB
		5,2	5,6	A-1	1610	6,0	3/2	1 3/4	1 1/4	3/4	1	-	8,2	PHP 2-B56TB
		5,4	5,8	A-1	1610	6,2	3/2	1 3/4	1 1/4	3/4	1	-	8,6	PHP 2-B58TB
		5,6	6,0	A-1	1610	6,4	3/2	1 3/4	1 1/4	3/4	1	-	8,8	PHP 2-B60TB
		5,8	6,2	A-1	1610	6,6	3/2	1 3/4	1 1/4	3/4	1	-	9,0	PHP 2-B62TB
		6,0	6,4	A-1	1610	6,8	3/2	1 3/4	1 1/4	3/4	1	-	10,0	PHP 2-B64TB
		6,2	6,6	A-1	1610	7,0	3/2	1 3/4	1 1/4	3/4	1	-	10,5	PHP 2-B66TB
		6,4	6,8	A-1	1610	7,2	3/2	1 3/4	1 1/4	3/4	1	-	11,0	PHP 2-B68TB
		7,0	7,4	A-1	2517 ^{1/2}	7,8	3/4	2 1/2	1 1/4	-	1 1/4	-	11,0	PHP 2-B74TB
		8,2	8,6	A-2	2517 ^{1/2}	9,0	3/4	2 1/2	1 1/4	-	1 1/4	-	18,0	PHP 2-B86TB
9,0	9,4	A-2	2517 ^{1/2}	9,8	3/4	2 1/2	1 1/4	-	1 1/4	-	20,0	PHP 2-B94TB		
10,6	11,0	A-2	2517 ^{1/2}	11,4	3/4	2 1/2	1 1/4	-	1 1/4	-	25,0	PHP 2-B110TB		
12,0	12,4	A-3	2517 ^{1/2}	12,8	3/4	2 1/2	1 1/4	-	1 1/4	-	27,0	PHP 2-B124TB		
15,0	15,4	A-3	2517 ^{1/2}	15,8	3/4	2 1/2	1 1/4	-	1 1/4	-	31,0	PHP 2-B154TB		
18,0	18,4	A-3	2517 ^{1/2}	18,8	3/4	2 1/2	1 1/4	-	1 1/4	-	38,0	PHP 2-B184TB		
19,6	20,0	C-3	3020	20,4	1 1/4	3	1 1/4	-	2	3/4	49,0	PHP 2-B200TB		
24,6	25,0	C-3	3020	25,4	1 1/4	3	1 1/4	-	2	3/4	65,0	PHP 2-B250TB		
29,6	30,0	C-3	3020	30,4	1 1/4	3	1 1/4	-	2	3/4	75,0	PHP 2-B300TB		
37,6	38,0	C-3	3020	38,4	1 1/4	3	1 1/4	-	2	3/4	112,0	PHP 2-B380TB		

Figura E-2: Selección de poleas del eje conducido y del motor eléctrico. (SKF, 2011)

ANEXO F

TABLAS DE CASQUILLO CÓNICO



TIPO	1008 A	1108 A	1210 A	1245 A	1310 A	1610 A	1615 A	2012 A	2517 A	2525 A	3020 A	3030 A	3525 B	3535 B	4040 B	4545 B	5050 B	
Peso con Ø D mín.	Kg	0,12	0,16	0,28	0,39	0,32	0,42	0,61	0,75	1,10	2,25	2,61	3,80	3,90	5,25	7,80	12,80	15,30
D máx.	mm	35,0	38,0	47,5	47,5	50,5	57,0	57,0	70,0	85,5	85,5	108,0	108,0	127,0	127,0	146,0	162,0	177,5
L	mm	22,3	22,3	25,4	38,1	25,4	25,4	38,1	31,8	44,5	63,5	50,8	76,2	63,5	88,9	101,8	114,3	127,0
Tornillos de hexágono interior (Allen)		1/4" x 1/2"	1/4" x 1/2"	3/8" x 5/8"	3/8" x 5/8"	3/8" x 5/8"	3/8" x 5/8"	3/8" x 5/8"	7/16" x 7/8"	1/2" x 1"	1/2" x 1"	5/8" x 1 1/4"	5/8" x 1 1/4"	1/2" x 1 1/2"	1/2" x 1 1/2"	5/8" x 1 3/4"	3/4" x 2"	7/8" x 2 1/4"
Tamaño de la llave hexagonal (Allen)	Nr	3,0	3,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	6,0	6,0	8,0	8,0	10,0	10,0	12,0	14,0	14,0
Par de apriete	Nm.	5,7	5,7	20	20	20	20	20	31	49	49	92	92	115	115	172	195	275

Ø D mm	b mm	h mm	*	1008	1108	1210	1245	1310	1610	1615	2012	2517	2525	3020	3030	3525	3535	4040	4545	5050	
9	3	1,4																			
10	3	1,4																			
11	4	1,8																			
12	4	1,8																			
14	5	2,3																			
15	5	2,3																			
16	5	2,3																			
18	6	2,8																			
19	6	2,8																			
20	6	2,8																			
22	6	2,8																			
24	8	3,3	2	*																	
25	8	3,3	1,3	*																	
28	8	3,3	2		*																
30	8	3,3																			
32	10	3,3																			
35	10	3,3																			
38	10	3,3																			
40	12	3,3																			
42	12	3,3	2,2						*	*											
45	14	3,8																			
48	14	3,8																			
50	14	3,8																			
55	16	4,3																			
60	18	4,4																			
65	18	4,4																			
70	20	4,9																			
75	20	4,9																			
80	22	5,4																			
85	22	5,4																			
90	25	5,4																			
95	25	5,4																			
100	28	6,4																			
105	28	6,4																			
110	28	6,4																			
115	32	7,4																			
120	32	7,4																			
125	32	7,4																			

Por necesidades de fabricación, las especificaciones de este catálogo pueden ser variadas sin previo aviso.



© SADI TRANSMISIONES S.L.
 Torç de la Mare de Déu de Montserrat, 75
 08020 Barcelona - España
 Tel. (34) 93 314 16 00 / Fax. (34) 93 314 29 50
 comercial@saditransmisiones.com
 www.saditransmisiones.com

ANEXO G

Cotizaciones



Repuestos y Servicios Automotrices, S. A. de C. V. C.S. **Cotización**
 NRC: 32394-4 | NIT: 1217-250990-102-4 760027579
 Calle Antigua Ferrocarril, No. 2224-A, Colonia 3 de Mayo,
 San Salvador, El Salvador, C. A. Fecha: 10 / OCTUBRE / 2023

SUCURSAL VEINTINUEVE

29 Calle Poniente No. 1309, San Salvador
 2239-7724

Señores: _____

Dirección: _____

No. de Registro: _____ Teléfono: _____ Fax: _____

Tenemos el gusto de poner a su disposición la siguiente oferta:

Cant.	Descripción	Disponibilidad	Precio Unitario	Total
2	72587 NBR F201	CAJA INMEDIATA	7.20	14.40
2	61059 NTN UC201D1	BAL. INMEDIATA	11.17	22.34
2	67520 GTS B60	FAJA INMEDIATA	15.08	30.16
1	79845 POLEA 7B-2 HIERRO	POLE INMEDIATA	67.80	67.80
1	5000002 POLEA 5.5B-2 HIERRO	POLE INMEDIATA	47.55	47.55
Valor en letras:			Sub-Total	182.25
DOSCIENTOS CUATRO DOLARES 12/100			DOLARES IVA \$ 13%	23.69
			(-) RETENCION	1.82
			Total \$	204.12

Nota: _____ DISPONIBILIDAD SALVO PREVIA VENTA

Validez de la oferta: _____ 30 Dias

Condiciones de pago: _____ CREDITO

Esperamos su confirmación de pedido para proceder con el despacho

 Gestor de Ventas



LA SOLUCIÓN DISPONIBLE

Boulevard Venezuela #3077, San Salvador, El Salvador

Tel.: (503) 2525-0800

Fax: (503) 2525-0810

Página Web: www.centralderodamientos.com.sv

E-mail: informacion@cerosa.com

Cotización #: S 125252

Fecha: 10/10/2023

Señores:

Atención:

Referencia

Por este medio tenemos el gusto de cotizar para ustedes lo siguiente:

#	Número de artículo	Descripción	Tiempo de Entrega	Cantidad	Precio	Total
1	ESP01	Chumacera de banco UCP201	Inmediato chumacera NTN de 12 mm	2	USD 23.50	USD 47.00
2	B060	Faja trapezoidal	Inmediato	2	USD 7.85	USD 15.70

Sub Total	USD 62.70
13% IVA	USD 8.15
Total	USD 70.85

Validez de la oferta :

Condiciones de pago: A 14 días

Vendedor : 03- Customer Service

E-mail : yesenia.quijano@cerosa.com

Los precios están basados en las cantidades cotizadas, mercadería sujeta a venta previa

Firma : _____



ALMACENES VIDRI, S.A. DE C.V.

SUCURSAL : LOURDES

N.R.F. : 2-7

N.I.T. : 0210-191171-001-6

GIRO : FERRETERIA

DIRECCION : CARRETERA PANAMERICANA DE SAN SALVADOR A SANTA ANA KM. 25.5 Y CALLE PRINCIPAL LAS CONCHITAS, COLONIA LAS MORAS, COLON, LA LIBERTAD.

EMAIL : ALVISAD67@VIDRI.COM.SV

TELEFONO : 23959233

COTIZACION No. 672100159200



Fecha 10/10/2023 13:51:42

Cliente

NRF Cliente

Direccion

Atención a ROBERTO MARIN

Vendedor 0001123 - RICARDO ALFONSO MONROY MUÑOZ

Validez Oferta 5 Dias

Observaciones

Condición de pago Crédito a 30 días.

Código	Descripción	U.M.	Cantidad	Precio	Total
11851	PERNO HEX ZINCADO 10X80 MM	Uni	2.00	\$0.8900	\$1.78
66308	ARANDELA PLANA ZINCADA 10MM	Uni	31.00	\$0.0700	\$2.17
13340	SEGURO DE RETENCION 12MM EXTERIOR 471	Uni	4.00	\$0.2200	\$0.88
66468	TUERCA HEXAGONAL ZINC 10MM C/NYLON	Uni	13.00	\$0.2200	\$2.86
31959	PERNO HEX ZINCADO 10X20MM	Uni	15.00	\$0.3100	\$4.65
31952	PERNO HEX ZINCADO BX16MM PASO 125	Uni	4.00	\$0.1300	\$0.52

Datos Adicionales:

Sub Total	\$12.86
IVA	\$1.67
TOTAL	\$14.53



INDELPIN S.A. de C.V.

N° COTIZACION
22674 / 2023

Empresa : RAUL ERNESTO RUIZ ALVARADO **Fecha :** 10/10/2023
Atención : -
C.C. :
Referencia :

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	.	TOTAL
	1	Motor electrico 5 HP, 3600 RPM, IEC, Frame 112M, base rigida, monofasico, TEFC, Marathon*	\$ 323.00	\$	323.00

Son : Trescientos sesenta y cuatro Dolares con Noventa y nueve Centavos

TERMINOS Y CONDICIONES	
Tiempo de Entrega :	Inmediata
Condiciones de pago:	Contado
Validez de Oferta :	15 Dias

Subtotal \$ 323.00

Impuesto \$ 41.99

Total \$ 364.99

REG.9231-2 NIT:0614-140256-001-3
 TEL: 2245-6000 FAX: 2279-1617

BOULEVARD VENEZUELA #2034, SAN SALVADOR

NO.30012479

Email: lapalmacentral@yahoo.com

SAN SALVADOR, 10 DE OCTUBRE DE 2023

SEÑORES

ENVIAR A:

ATT.
 Email.

GIRO:

Reciba un cordial saludo de FERRETERIA LA PALMA, S.A. DE C.V.
 Por este medio le presentamos cotización de lo siguiente:

Codigo	Cantidad	Descripcion	Unid	Precio	Total
PMI 095	2	PERNO METRICO INOXIDABLE 10 X 80	C/U	1.6000	3.20
ARI 175	31	ARANDELAS PLANAS ACERO INOX. 10 MM.	C/U	0.1200	3.72
TAI 110	13	TUERCA ACERO INOX. DE 10 mm PASO 1.50	C/U	0.3000	3.90
POM 288	15	PERNO HEX. MM. 10 X 16 P/150	C/U	0.1600	2.40
POM 190	4	PERNO HEX. MM. 8 X 16 P/125	C/U	0.0900	0.36

Forma de Pago: CREDITO 30DIAS

Sub Total	13.58
Iva	1.77
Percepcion	0.00
Total	15.35

Sin mas al particular, quedo a espera de su resolucio.n.

Atentamente,

6 LUIS ERNESTO MARROQUIN
 FERRETERIA LA PALMA, S.A. DE C.V.



Trabajos de Torno y Fresadora.
Soldadura (Eléctrica, Autógena, MIG y TIG)
Fabricación de piezas en todo tipo de metal (Acero,
Hierro, Bronce, Aluminio, entre otros.)
Fabricación de tanques de INOX

Fecha: 13 DE OCTUBRE DE 2023

Atención: ING ROBERTO MARIN

Dirección: QUEZALTEPEQUE

Atentamente ponemos a su disposición la siguiente oferta:

Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Precio Total
1	Fabricar Cuerpo Molino medidas s/dib	\$ 275.00	\$ 275.00
1	Fabricar Disco PortaMartillos medidas s/dib	\$ 45.00	\$ 45.00
1	Fabricar Eje de Rotor medidas s/dib	\$ 65.00	\$ 65.00
1	Fabricar Estructura de Molino medidas s/dib	\$ 375.00	\$ 375.00
1	Fabricar Martillo medidas s/dib	\$ 45.00	\$ 45.00
1	Fabricar Separador de Disco medidas s/dib	\$ 45.00	\$ 45.00
1	Fabricar Tolva de Salida medidas s/dib	\$ 475.00	\$ 475.00
1	Fabricar Tolva de Entrada medidas s/dib	\$ 375.00	\$ 375.00
	MAS IVA		
Observaciones: garantía tres meses		Total	\$ 1,700.00
		IVA	
		Sub - Total	
		0.01 Ret.	
Validez de la oferta: 15 días		Total	\$ 1,700.00

Agradecemos la confianza en nuestros servicios y esperamos poder servirles con la rapidez y eficiencia que ustedes se merecen.

ATENTAMENTE: LIC. OSCAR HUMBERTO FUENTES GUEVARA
PROPIETARIO

ANEXO H:

Tabla de alturas para obtener energía de rotura del arroz:

Nº ensayo	Altura (mm)	Resultado
1	10	No
2	15	No
3	20	No
4	25	No
5	30	No
6	35	No
7	40	No
8	45	No
9	50	Rotura
10	55	Rotura
11	60	Rotura
12	50	Rotura
13	45	No
14	50	Rotura
15	50	Rotura

Altura (mm)	Frecuencia	Resultado
10	1	No
15	1	No
20	1	No
25	1	No
30	1	No
35	1	No
40	1	No
45	2	No
50	4	Rotura
55	1	Rotura
60	1	Rotura

ANEXO I

Velocidad angular (RPM)	Potencia de diseño (HP)	Radio de giro (m)	Torque nominal (Nm)
3000	3.6	0.163	6.76
2000	3.6	0.245	10.03
1000	3.6	0.49	20.07

ANEXO J

SOLDADURA ELÉCTRICA
JET-ARCO
ESPAÑA

ELECTRODO REVESTIDO
ACERO INOXIDABLE

E308L-16

CLASIFICACIÓN

AWS A5.4 **E308L-16**
ISO 3581-A **E 199 LR 32**

DIÁMETRO x LONGITUD (mm/Pulg)

J128EL **2,0 mm** x 300 mm → **5/64"** x 12"
J108EL **2,5 mm** x 350 mm → **3/32"** x 14"
J109EL **3,2 mm** x 350 mm → **1/8"** x 14"

CARACTERÍSTICAS

- Puede soldar en todas las posiciones produciendo un arco suave y consistente.
- Escoria de fácil remoción.
- Los cordones presentan un aspecto plano y suave.
- Posee una buena resistencia a la corrosión intergranular debido a su bajo contenido de carbono.

APLICACIONES TÍPICAS

- Electrodo para soldadura de aceros inoxidable de tipo rutilico.
- Pueden soldar aceros de tipo AISI 304 y 304L, pudiendo también con aceros AISI 204, 301, 302, 308 y 308L.



COMPOSICIÓN QUÍMICA (% EN PESO)

C	Si	Mn	S	Ni
0,030	0,55	0,87	0,011	9,63
Mo	Cr	Cu		
0,22	19,86	0,12		

PROPIEDADES MECÁNICAS TÍPICAS, SOBRE EL METAL DEPOSITADO

	R. Tensión (mpa)	Lím. Elástico (mpa)	Elongación (%)	Resistencia al impacto
Standard	≥ 520	≥ 320	≥ 35	–
Valores típicos	557	440	39	70