

UNIVERSIDAD CENTRAL “MARTA ABREU” DE LAS VILLAS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA E INDUSTRIAL



Trabajo de Diploma

Departamento de Ingeniería Mecánica

Título: “Diseño de un molino de martillo para la obtención de harina de sorgo.”

Autor: Yandry Reinaldo Monteagudo Castillo

Tutora: Dra. CT. Ing. Kirenia Abreu González.

Santa Clara

2016

UNIVERSIDAD CENTRAL “MARTA ABREU” DE LAS VILLAS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA E INDUSTRIAL



Trabajo de Diploma

Departamento de Ingeniería Mecánica

Título: “Diseño de un molino de martillo para la obtención de harina de sorgo.”

Autor: Yandry Reinaldo Monteagudo Castillo

Tutora: Dra. CT. Ing. Kirenia Abreu González.

Santa clara

2016



Hago constar que el presente trabajo de diploma fue realizado en la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería en Mecánica, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

Firma del Autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

Firma del Tutor

Firma del Jefe de
Departamento donde se
defiende el trabajo

PENSAMIENTO

Pensamiento

La creatividad nace de la angustia, como el día nace de la noche oscura. Es en la crisis cuando nace esta inventiva, los descubrimientos y las grandes estrategias. Quien supera la crisis se supera a sí mismo sin quedar superado.

Albert Einstein

DEDICATORIA

Dedicatoria

A mis padres (María Teresa y Reinaldo) los cuales siempre han depositado su confianza en mí y me han alentado a seguir adelante sin importar los percances que te impone la vida.

A mi hermano menor (Endry), que este trabajo le sirva como referente de que todo en la vida se puede lograr, siempre y cuando le pongas empeño, deseo y voluntad.

A mi familia en general. Muchas gracias por todo.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos

A mi profesora, tutora y amiga Dra. CT. Ing. Kirenia Abreu González por sus consejos en el momento clave, apoyo y ayuda en los momentos difíciles durante mi formación.

Al profesor MSc. Eduardo Fírvida por sus oportunas correcciones, paciencia y sabios consejos.

A mis compañeros de estudio, por su apoyo incondicional y oportuno.
A aquellos que de forma anónima o sin pensarlo apoyaron y ayudaron a este resultado.

¡Muchas Gracias!

RESUMEN Y ABSTRACT

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo desarrollar el diseño de un molino de martillo para moler sorgo, que nos permita optimizar la producción de harina a través de distintas herramientas que nos ofrece la Ingeniería Mecánica. Para el cumplimiento del mismo, primeramente se realiza una revisión de la literatura disponible sobre el tema, donde se aborda un grupo de cuestiones que sirven de basamento al desarrollo posterior del diseño del molino, realizándose un estudio acerca de la variedad de sorgo UDG-110 y sus características. Además se estudian los diferentes tipos de molinos para granos y cereales existentes. Se diseñan todos los componentes del molino escogido, los resultados obtenidos en el diseño realizado son satisfactorios ya que todas las partes y componentes resisten tanto a flexión como a cortante. Finalmente se realiza un análisis de los costos de los materiales necesarios para la fabricación de dicho molino siendo este aproximadamente 420,951 USD.

Abstract

This paper aims to develop the design of a hammer mill to grind sorghum, allowing us to optimize the production of flour through various tools mechanical engineering offers. To fulfill it, first a review of the available literature on the subject , where a group of questions that serve as a base for the further development of mill design is discussed , carried out a study on the variety of sorghum is performed UDG -110 and its characteristics. Also different types of existing mills and grain cereals are studied all components are designed mill selected , the results of the design are made satisfactory since all parts and components resist both bending and shear. Finally, an analysis of the costs of materials needed for the manufacture of said mill and this is done approximately \$ 420.951

Índice

INTRODUCCIÓN.....	1
Capítulo I: Características del grano de sorgo.....	3
1.1. La enfermedad celíaca o enteropatía al gluten.....	3
1.2. Composición química y valor nutritivo del grano de sorgo.....	4
1.3. Composición química de la variedad de sorgo UDG-110.....	5
1.4. Evaluación del proceso de molinaje del grano de sorgo.....	6
1.4.1. Limpieza y preparación del grano.....	6
1.5. Consideraciones para facilitar la molienda de granos procesados y mezclas de granos con otros ingredientes.....	7
1.5.1. Temperado.....	7
1.5.2. Granos tostados.....	8
1.6. Conclusiones parciales.....	8
Capítulo II: Estudio y diseño de máquina para obtener harina de sorgo.....	9
2.1. Introducción.....	9
2.2. Tipos de Molinos.....	9
2.3. Cálculos y diseño de las partes.....	11
2.3.1. Capacidad de Molienda.....	11
2.3.2. Diseño de los Martillos para la Trituración del Grano.....	13
2.3.3. Cálculo de las Velocidades Tangenciales del Martillo.....	14
2.3.4. Radio de Giro.....	17
2.3.5. Falla por Cizalladura.....	26
2.3.6. Falla por Tracción.....	28
2.4. Diseño del Disco Porta Martillos.....	29
2.4.1. Diseño del Separador de Martillos.....	31
2.4.2. Diseño del Perno que Porta los Martillos.....	32
2.4.3. Diseño del Separador de Discos.....	35
2.5. Masa de Todos los Componentes Interiores del Molino.....	35
2.6. Cálculo de la Inercia del Molino.....	38
2.7. Determinación de la Potencia del Motor.....	39
2.8. Selección de Rodamientos.....	41

ÍNDICE

2.9. Diseño de la transmisión flexible (Transmisión por Correa).....	42
2.9.1. Selección de la correa:	43
2.9.2. Determinación de los Diámetros de paso de las poleas D_1 y D_2	43
2.9.3. Velocidad de la correa (V).....	44
2.9.4. Distancia entre centros de referencia (A):	44
2.9.5. Cálculo de la longitud de paso de las correas (L):	44
2.9.6. Conclusiones parciales.....	45
Capítulo III: Impacto social, ambiental y económico.....	46
3.1. Beneficios del molino de martillo.	46
3.2. Impacto ambiental.	46
3.3. Análisis de costo de las partes principales del molino de martillo.....	46
3.4. Conclusiones parciales.....	48
Conclusiones generales	50
Recomendaciones.....	51
Bibliografía.....	52
Anexos	53

INTRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta las necesidades de las personas que padecen de “Celiaquía” o “Enteropatía al gluten” el MINAL adquirió varios molinos fabricados por la compañía C. S. Bell Co de modelo 60-GM con el objetivo de que estos proporcionaran la harina de sorgo necesario para la producción de varios tipos de alimentos que van desde dulces, bebidas y embutidos.

Estos alimentos son fabricados a partir de una de las variedades de sorgo conocida por ***Sorghum bicolor L, Moench o UDG-110*** procedente de México, el mismo es elegido por su alto nivel nutricional. El salvado de sorgo es bajo en proteína y ceniza, pero rico en componentes fibrosos. La fracción del germen del sorgo es rica en ceniza, proteína y aceite, pero muy pobre en almidón. Más del 68% de la materia mineral total y del 75 % del aceite del grano entero se halla localizado en la parte del germen. Su aportación a la proteína del grano es sólo del 15 %. El germen del sorgo también es rico en vitaminas del complejo B. El endospermo, que es la parte mayor del grano, es relativamente pobre en minerales, ceniza y contenido oleaginoso; en cambio, es un gran aportador de otros componentes pues contribuye al 80 por ciento de la proteína, al 94 % del almidón y al 50 -75 % de las vitaminas B del grano entero.

El sorgo tiene en común con otros cereales que es predominantemente amiláceo. El contenido de proteína de sus granos es casi igual y comparable al trigo y el maíz. Su alto contenido en fibra y la escasa digestibilidad de sus elementos nutritivos son también otros rasgos característicos de los granos de sorgo que influyen considerablemente en su aceptabilidad por el consumidor. En general, los granos enteros son una fuente importante de vitaminas B, gran parte de las cuales se concentran en las capas exteriores del salvado del grano.

Los granos del sorgo no contienen vitamina A preconstituida, a excepción de algunas variedades de endospermo amarillo que contienen pequeñas cantidades de beta-caroteno, precursor de la vitamina A.

Los molinos adquiridos luego de varios intentos de molienda no han sido capaces de producir una harina de sorgo con la granulometría requerida para la producción

de estos productos. El problema existente, hizo que la EPA (Empresa de pan y Dulces) contratara el servicio de la Empresa Sidero Mecánica “Fabric Aguilar Noriega” para el rediseño y fabricación de las muelas de las mismas. Esta reparación y remodelación no fue capaz de solucionar el problema existente, por lo que nos solicitaron la realización del diseño de una máquina con las características técnicas necesarias para obtener una harina de sorgo con la calidad necesaria.

Según se consta existen 48 niños con celiacía en Villa Clara y aproximadamente 1200 niños en todo el país (dígase niños hasta los 17 años de edad). Para esto no se tiene en cuenta la cantidad de adultos existentes en el país con esta enfermedad.

Planteamiento inicial: La necesidad de realizar el proceso de molienda del sorgo con eficiencia y calidad.

Por lo anterior, el **Problema Científico** es la necesidad de diseñar y construir molinos de alta eficiencia y productividad que sean capaces de producir la harina de sorgo necesaria en la alimentación de los niños celíacos de la provincia y el país.

Por lo que se propone como **Objetivo General** desarrollar el diseño de un molino de martillo para moler sorgo, que nos permita optimizar la producción de harina a través de distintas herramientas que nos ofrece la Ingeniería Mecánica. Con ello se busca disminuir los costos de producción y obtener mayor rentabilidad.

Por lo tanto se propone los siguientes objetivos específicos:

- Realizar un estudio acerca de la variedad de sorgo UDG-110 y sus características.
- Realizar un estudio sobre el estado del arte de las máquinas para moler granos y cereales.
- Diseñar todos los componentes del molino escogido.
- Realizar un análisis de costo de los componentes del molino de martillos.
- Impacto social de la fabricación del molino.

Capítulo I: Características del grano de sorgo.

Debido a que en nuestro país existen actualmente más de 250 000 adultos y 1 200 niños que padecen de la enfermedad celiaquía o intolerancia al gluten es que es importante estudiar y conocer las propiedades de aquellos alimentos que sirven para la elaboración de bebidas, dulces y cárnicos, por su alto nivel nutricional y ausencia de gluten, entre los que se encuentra el sorgo.

1.1. La enfermedad celíaca o enteropatía al gluten.

La enfermedad celíaca (EC) es un intolerancia permanente al gluten del trigo, cebada, centeno y probablemente avena que se presenta en individuos genéticamente predispuestos, caracterizada por una reacción inflamatoria, de base inmune, en la mucosa del intestino delgado que dificulta la absorción de macro y micronutrientes. La prevalencia estimada en los europeos y sus descendientes es del 1%, siendo más frecuente en las mujeres con una proporción 2:1. Un porcentaje importante de pacientes (75%) están sin diagnosticar debido, en su mayor parte, a que la EC durante años se ha relacionado, exclusivamente, con su forma clásica de presentación clínica. Sin embargo, el reconocimiento de otras formas atípicas de manifestarse, oligo y asintomáticos, combinados con la mayor y mejor utilización de las pruebas complementarias disponibles, ha permitido poner de manifiesto la existencia de diferentes tipos de EC:

- Sintomática: Los síntomas son muy diversos pero todos los pacientes mostrarán una serología, histología y test genéticos compatibles con la EC.
- Subclínica: En este caso no existirán síntomas ni signos, aunque sí serán positivas el resto de las pruebas diagnósticas.
- Latente: Son pacientes que en un momento determinado, consumiendo gluten, no tienen síntomas y la mucosa intestinal es normal. Existen dos variantes:

- Tipo A: Fueron diagnosticados de EC en la infancia y se recuperaron por completo tras el inicio de la dieta sin gluten, permaneciendo en estado subclínico con dieta normal.
- Tipo B: En este caso, con motivo de un estudio previo, se comprobó que la mucosa intestinal era normal, pero posteriormente desarrollarán la enfermedad.
- Potencial: Estas personas nunca han presentado una biopsia compatible con la EC pero, del mismo modo que los grupos anteriores, poseen una predisposición genética determinada por la positividad del HLA-DQ2/DQ8. Aunque la serología puede ser negativa, presentan un aumento en el número de linfocitos intraepiteliales. La probabilidad media de desarrollar una EC activa es del 13% y una EC latente del 50%.

Hasta hace relativamente poco se pensaba que la EC era una rara condición que solo afectaba a los caucásicos, fundamentalmente niños, con una presentación típica de pérdida de peso y diarreas. Hoy se conoce que la EC es común en todo el mundo, y afecta alrededor del 1% de la población; la EC no es una enfermedad eminentemente pediátrica; la relación mujer: hombre es 2:1 en la EC; la EC puede ocurrir generalmente sin síntomas gastrointestinales; la presentación de la EC puede compararse con un iceberg; esto es: existen más pacientes no diagnosticados que los diagnosticados; los familiares de primer grado tienen un riesgo hasta un 10% mayor de padecer la enfermedad en comparación con otros familiares; el riesgo disminuye en los familiares de segundo grado; y la EC puede asociarse con enfermedades tanto autoinmunes como no autoinmunes. (GALVÀN, 2010)

1.2. Composición química y valor nutritivo del grano de sorgo

Los sorgos maduros contienen de 0.9 a 6.0% de azúcares de bajo peso molecular, mientras que los inmaduros contienen aproximadamente 13%. El carbohidrato principal en todos los cereales, es el almidón y en el sorgo su contenido es de 32 a

79% con las variedades dulces mostrando un menor contenido de este polímero. El pericarpio contiene de 1,2 a 5,2% de celulosa y niveles bastante altos de hemicelulosa (pentosanas solubles en agua), la cual es importante en las paredes de las células y como material de cimentación entre células. En los sorgos y mijos la aleurona es una única capa que está inmediatamente debajo del revestimiento de la semilla o teste. Las células de la aleurona son ricas en minerales, vitaminas B, aceite, y también contienen algunas enzimas hidrolizantes. La textura del grano es uno de los parámetros más importantes que determina la calidad de elaboración y alimentaria del sorgo y del mijo.(ROONEY, 1978). El sorgo de endospermo duro cuando se descortezada da menos granos quebrados y más llenos que el sorgo de endospermo más blando (DESIKACHAR, 1982). El aceite presente en el germen de sorgo es rico en ácidos grasos poliinsaturados y análogo al aceite de maíz.(ROONEY, 1978). La lisina es el aminoácido más limitante. La metionina es deficiente en sorgos altos en polifenoles por la reacción entre metionina y polifenoles (SINGH, 1973);(HASSEN, 1986). En el grano de sorgo la mayor concentración de proteína está en el germen, sin embargo, el endospermo hace el más importante aporte a la proteína total del grano (HUBBARD, 1950); (PIZZUTO, 1986). Esta proteína está constituida fundamentalmente por las fracciones kafirina y glutelina, las cuales tienen los menores contenidos de aminoácidos esenciales. De acuerdo con el contenido de aminoácidos del sorgo es más bajo en arginina, lisina, metionina, glicina y tirosina que el maíz pero es más alto en histidina, leucina, fenilalanina, serina y valina.(PONS, 1986)

1.3. Composición química de la variedad de sorgo UDG-110

La valoración de la composición química del grano de sorgo, se realizó en las dependencias del Laboratorio de la Cátedra de Fisiología de la Nutrición y Alimentación Animal de la Universidad de Rostock en la República de Alemania, determinándose en su composición química; taninos condensados, fenoles totales, fenoles no taninos, fenoles taninos, taninos hidrolizables, % materia seca, % de cenizas y perfil de aminoácidos (g de aa/kg MS) (tabla 2).

Taninos condensados (TC)	0.15
Fenoles totales (FTotales)	0.63
Fenoles no taninos (FNT)	0.36
Fenoles taninos (FTan)*	0.26
Taninos hidrolizables (TH)**	0.11
%MS= 89.33 ; %Cenizas= 1.91; *FTan=FTotales-FNT; **TH=FTan-TC	

Tabla 2. Composición química del grano de sorgo UDG-110 (% de materia seca)

1.4. Evaluación del proceso de molinaje del grano de sorgo

1.4.1. Limpieza y preparación del grano

El grano de sorgo debe de estar bien lavado ya sea manualmente o por máquinas, una vez que el agua salga clara y se allá decantado todas las impurezas, entonces se procede al secado al sol para disminuir su humedad hasta un 10-12%.

La determinación de los parámetros de calidad del grano es importante para evaluar la funcionalidad de los atributos del grano y uso final del mismo. El término calidad incluye un amplio rango de propiedades que pueden ser definidas en términos:

- Físicos (humedad, tamaño de grano, grano quebrado, dañado etc.
- Microbiológicos (hongos, micotoxinas, insectos, roedores, materia extraña etc.)
- Intrínsecos: (rendimiento de molienda, proteína, contenido de almidón, densidad, dureza.

En general los parámetros de calidad del grano son afectados principalmente por las siguientes características: genéticas, período de crecimiento, tiempo y

métodos de cosecha, sistema de secado, prácticas de almacenamiento y procedimientos de transporte (GUERRA, 2012).

1.5. Consideraciones para facilitar la molienda de granos procesados y mezclas de granos con otros ingredientes.

1.5.1. Temperado

Para facilitar la molienda del grano a veces es necesario dar un remojo previo con agua pura al grano de sorgo; a esta acción se le llama temperado. Al grano limpio se agrega una cantidad de agua suficiente para subir la humedad a aproximadamente 15 %. La agregación exacta del agua necesaria se calcula mediante la siguiente fórmula:

(Cantidad de agua a agregar = peso de grano inicial x (15 - % de humedad inicial) / (100 - 15)

Es necesario mezclar uniformemente el agua agregada entre todos los granos. Luego se deja el grano en reposo por 8 horas antes de molerlo. La humedad hace la cáscara más resistente; los pedazos son más grandes, lo que permite separarla mejor de la harina.

Al moler grano temperado hay que tener más cuidado con apretar los discos, porque la humedad hace el material más pegajoso y los discos se atorán más rápido. También es más importante dejar ventilar la harina para evitar condensación y pelotas de harina pegada. Siempre, con el afán de separar un afrecho puro y minimizar la fibra en la harina, es mejor apretar un poco menos los discos y repasar más. Al apretar mucho desde el inicio se hace pedazos la cáscara y así es más difícil separarla de la harina.(ORLANDO SAUCEDO CASTILLO, 2015)

1.5.2. Granos tostados

Las recetas para la elaboración de bebidas como horchata, tiste y algunos atoles a partir de sorgo tostado requieren normalmente una harina bien fina, por lo que hay que repasarla varias veces. El grano tostado es más seco y quebradizo, lo que facilita la obtención de harina. También la cáscara pierde su elasticidad, por lo que se desintegra rápidamente. La harina de granos tostados normalmente no se cuela entre las pasadas, porque casi no se puede separar la cáscara. A veces se aplica un cernido final para asegurar que no vaya nada grueso o fibroso.

1.6. Conclusiones parciales

- El sorgo es un alimento de alto poder nutricional y de gran importancia en el tratamiento de aquellas personas que padecen de celiaquía.
- La molienda del grano de sorgo se puede hacer con granos a los cuales se le adiciona agua para brindarle cierta humedad o con granos tostados.
- Los granos tostados nos brindan una harina más fina pero no puede ser utilizados en algunos productos.

Capítulo II: Estudio y diseño de máquina para obtener harina de sorgo

2.1. Introducción.

Según la definición del diccionario de la Real Academia de la Lengua, un molino es "una máquina o artefacto que sirve para moler granos por medio de cierta fuerza producida por el viento, hombre o animales. Entre sus utilidades está no solo la de molienda de granos, sino la de mover agua y producir electricidad, entre las más importantes".

2.2. Tipos de Molinos.

En la actualidad existen varias clases de molinos, muchos de ellos hasta ahora se los utiliza a pesar de tener algunos siglos de invento. Entre los principales molinos que se utilizan hoy en día están:

- **Los molinos por fricción.**
- **Los molinos de rodillos.**
- **Molino de Martillos**

Los molinos por fricción es uno de los molinos más antiguos, son muy utilizados y su uso es variado. Ejemplo de estos molinos son los que se encuentran en nuestros hogares para moler el café, también están los adquiridos por la industria de pan y dulces de nuestro país a la compañía C. S. Bell Co de modelo 60 GM donde su principio de funcionamiento es la fricción de una muela o cuchilla sobre otra fija. La principal deficiencia de este tipo de molino es que tienen una muy baja eficiencia comparado con otros molinos similares ya que para lograr la granulometría necesaria se requiere de varias pasadas con diferentes aprietes o juego de cuchillas.

El molino de rodillos es uno de los más usados en la actualidad. Su sistema está formado por dos rodillos, generalmente contruidos de hierro fundido o de acero colado. Los rodillos tienen las superficies estriadas, giran en sentido contrario el uno del otro a velocidades reducidas.

Los rodillos son regulables a precisión, con esto poco a poco se reduce la separación entre los rodillos para de esta manera ir reducción el tamaño del grano. Todo el proceso de molienda consiste en hacer pasar el grano a través de una serie de molinos en sucesión. Generalmente esta sucesión está formada por 10 molinos. El producto de cada fase es pasado por tamices de diferentes diámetros hasta llegar a la granulometría de la harina que es de 0.05 mm.

El primer molino de martillos se desarrolló a partir de la machacada a mano. Este constaba de un mortero que presionaba el grano sobre una superficie que generalmente era una piedra. Con el pasar del tiempo el mortero se le cambio por un martillo más pesado. En la actualidad los molinos de martillo, han remplazado el martillo de madera por una serie de martillos de metal, ubicados horizontalmente sobre un eje que rota. La fractura del sorgo no se produce por frotamiento, sino por el choque y corte entre los martillos y los granos enteros o trozos de ellos. El grano de sorgo absorbe la energía potencial del martillo en la caída, dicha energía es la necesaria para triturar el grano. El material molido sale a través de orificios ubicados abajo del molino.

Generalmente, los molinos de martillos poseen una sola cámara de trituración, el que se va a diseñar constará con dos. La razón principal es que por medio de las dos cámaras se reducirá el tiempo de producción de la harina.

Al ser más rápido que el anterior (molino de rodillos), además de optimizar tiempo, se reduce gastos como el de energía eléctrica, etc., que a la postre hará que el molino sea más competitivo.

Cabe recalcar que, el espacio requerido para la implementación del molino de martillos es inferior al de rodillos. Aproximadamente para la implementación de este molino se requiere 2 m², lo que hace también que se optimice el espacio dentro de la empresa.

Debido a lo antes mencionado, se escogió el molino de martillos, como el necesario para utilizarlo por la Empresa de Pan y Dulces (EPA). En los siguientes epígrafes se diseñará el molino con todos sus componentes.

2.3. Cálculos y diseño de las partes

2.3.1. Capacidad de Molienda

La capacidad de molienda es el primer parámetro que se requiere para el diseño del Molino. Este valor (determinado por el profesor Dr.C. Orlando M. Saucedo Castillo investigador especialista en Sanidad Vegetal y Semillas de Granos), es de 173 kg/h, es decir, se necesita moler alrededor de 4 quintales por hora, trabajando jornadas de 8 horas y descansando los fines de semana para cumplir la demanda que tiene en la actualidad el país para suplir la demanda de los pacientes que padecen la enfermedad.

Si se parte de la siguiente conversión de unidades, se puede obtener aproximadamente cuantos granos se deberán triturar por minuto para cumplir la capacidad requerida de molienda.

$$173 \frac{kg}{h} * \frac{1000g}{1kg} * \frac{1 grano}{0,03g} * \frac{1 h}{60min} = 9,6 * 10^4 \frac{granos}{min}$$

Considerando que el valor recomendado para la velocidad angular de un molino de martillos (especificaciones y recomendaciones de productores americanos y brasileños), oscila entre las 3000 y 3500 rpm, y no se quiere trabajar al límite de revoluciones, además de que el trabajo del motor no sea continuo, se ha

escogido el valor mínimo recomendado de 3000 rpm. Con este valor se puede realizar la siguiente operación.

Si se divide el número de granos por minuto que se necesita triturar, para las 3000 rpm escogidas, se obtiene aproximadamente el número de granos que se deberán partir por cada revolución del eje del motor, es decir:

$$\frac{9,6 * 10^4 \text{ granos/min}}{3000 \text{ rpm}} \approx 32 \frac{\text{granos}}{\text{rev}}$$

Con esto tenemos dos datos importantes que son:

$$w = 3000 \text{ rpm}$$

Donde:

$w \rightarrow$ es la velocidad angular del motor (32 granos/rev, que es el número aproximado de granos que se deben triturar por cada revolución del motor).

Ahora, si son 32 los granos que se deben triturar por cada revolución, y se supone que cada martillo del molino golpeará un grano, se tiene que el molino tendrá 32 martillos por cada cámara (en total el molino tendrá 2 cámaras de trituración, es decir, 64 martillos).

Por otro lado, si se considera que por cada disco del molino habrá 4 martillos, separados 90° entre sí (este diseño de disco porta martillo se lo justificará más adelante), y se disponen 2 martillos entre cada disco, separados mediante una arandela o separador, se obtienen 5 discos. Las respectivas ubicaciones que tendrán los martillos, así como los discos, se muestran en la Figura 1

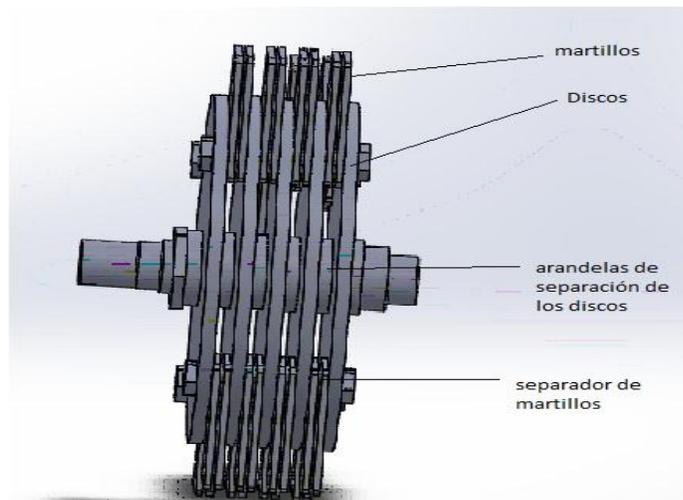


Figura 1: Ubicación de los discos y martillos

Con esto se ha obtenido otros dos valores importantes, que son:

Número de Martillos, por cámara → 32

Número de Discos porta Martillos, por cámara → 5

2.3.2. Diseño de los Martillos para la Trituración del Grano. (Ver anexo 9)

El diseño de los martillos es fundamental en el molino, ya que esta pieza será la que produzca la fractura de los granos de sorgo al momento del choque entre ambos.

El choque del grano y el martillo cuando está girando es mayoritariamente de forma frontal. De aquí se puede obtener la primera consideración de diseño: el espesor del martillo debe ser igual o mayor al espesor del grano. Realizando mediciones de 50 muestras de sorgo, se obtuvo que el grosor promedio de un grano de sorgo es de 4,5 mm.

De forma experimental se determinó que la energía necesaria para romper el sorgo, es equivalente a dejar caer un objeto metálico de 120 gr desde una altura de 30 cm sobre el grano (la masa aproximada del sorgo es de 0.03 gr, cuando tiene una humedad del 10 al 12%).

La energía de ruptura del sorgo, se la puede calcular mediante la ecuación de la energía potencial (Gere , 2002).

$$E_{\text{ruptura}} = m_m * g * h \quad (1)$$

Donde:

m_m = masa del objeto metálico → 120 g

g = gravedad → 9,81 m/s²

h = altura → 30 cm

Reemplazado valores en la ecuación 1, se obtiene:

$$E_{\text{ruptura}} = 0,120 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2 * 0,3 \text{ m}$$

$$E_{\text{ruptura}} = 0,353 \text{ Nm}$$

Nota: Este tipo de experimento, donde se obtiene la energía necesaria de trituración para cualquier grano, no es nuevo, ya que fue realizado anteriormente en centros alimenticios. Para este proyecto se tuvo que realizar este experimento, ya que el valor de la energía de trituración para el sorgo no se encontró.

2.3.3. Cálculo de las Velocidades Tangenciales del Martillo

Al momento de dejar caer un objeto (metálico, en este caso), se produce energía potencial, por lo que: la ecuación 1 antes descrita, se la puede traducir en la

práctica, como la energía que debe tener el martillo cuando está girando y choca contra el grano.

Por otro lado, cuando en la molienda el grano de sorgo choca con el martillo se genera energía cinética

Energía Cinética (**Gere, 2002**)

$$E_c = \frac{1}{2} m_s * V^2 \quad (2)$$

Donde:

E_c = Energía del sorgo

m_s = masa del sorgo

V = velocidad del martillo

La ecuación 2, se traduce como la energía del grano al momento del impacto con el martillo.

Si igualamos la ecuación 1 y 2 tenemos:

$$m * g * h = \frac{1}{2} m_s * V^2, \text{ Despejando la velocidad de esta expresión obtenemos la}$$

ecuación 3:

Velocidad Tangencial del extremo del martillo

$$V_t = \sqrt{\frac{m_m * g * h}{m_s}} \quad (3)$$

Reemplazando los valores en la ecuación 3 obtenemos:

$$V_t = \sqrt{\frac{120g * 9,81 \frac{m}{s^2} * 0,3m}{0,03g}}$$

$$V_t = 108,5 \frac{m}{s^2}$$

La velocidad obtenida es la velocidad tangencial del martillo, que la llamaremos V_v , (Velocidad al vacío, o sin carga).

En la molienda, cuando el grano choca con el martillo se produce una disminución en la velocidad del mismo, por lo que existe una velocidad que será menor a la velocidad de vacío que se llamará V_c , (Velocidad con carga).

Para el cálculo de V_c , se considera a los martillos, discos, ejes y demás componentes, como un solo cuerpo que gira, a esto se lo conoce como volante. En proyectos donde se utiliza volantes se considera un coeficiente de fluctuación, definido en la ecuación 4 como:

Coeficiente de Fluctuación (**Shigley, 2005**)

$$C_s = \frac{V_v - V_c}{V} \quad (4)$$

Donde $\rightarrow V$ = velocidad tangencial del volante, tomada como la velocidad tangencial media.

Ahora, si definimos V como se muestra en la ecuación 5 tenemos:

Velocidad Tangencial Media (**Hibbeler, 2004**)

$$V = \frac{V_v - V_c}{2} \quad (5)$$

Si reemplazamos la ecuación 5 en la ecuación 4, y luego despejamos V_c , obtenemos la ecuación 6 que es:

Velocidad Tangencial Final

$$V_c = -V_v * \frac{C_s - 2}{C_s + 2} \quad (6)$$

El valor de C_s , para molinos de harina esta entre (0.015 — 0.025), (**Shigley, 2005**), reemplazando este valor en la fórmula 6 obtenemos:

$$V_c = -108,5 \text{ m/s}^2 * \frac{0,025 - 2}{0,025 + 2}$$

$$V_c = 105,82 \text{ m/s}^2$$

Como V_c es menor a V_v , existe una cesión de potencia por parte del volante al grano.

Nota: El sistema de giro del molino es desacelerado, lo que significa que el sistema cede energía.

Con el dato obtenido podemos calcular la velocidad angular con carga mediante la fórmula 7, que es la siguiente:

Velocidad Angular Final (**Hibbeler, 2004**)

$$\omega_c = \frac{V_c}{r_g} \tag{7}$$

De esta relación se deduce el radio de giro, que es necesario para obtener la velocidad angular que va a tener el martillo.

2.3.4. Radio de Giro

Para obtener el radio de giro (r_g), que se muestra en la Figura 2, se necesita despejarla de la ecuación 8:

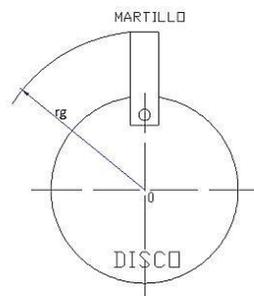


Figura 2: Radio de giro del martillo

La velocidad angular se la obtiene a partir de la ecuación 8, que es dada por la siguiente expresión:

Velocidad Angular (**Hibbeler, 2004**)

$$\omega = \frac{V*60}{2*\pi*r_g} \quad (8)$$

Despejando el radio de giro de la ecuación 8, obtenemos la ecuación 9 que es la siguiente:

Radio de Giro

$$r_g = \frac{V_c*60}{2*\pi*\omega} \quad (9)$$

Donde:

ω —> Velocidad angular del motor, obtenida en la sección 2.3.1

V_c —> Velocidad con carga.

Nota: Se toma la velocidad con carga, porque es la velocidad a la que giran los martillos en la molienda.

Remplazando datos tenemos:

El valor de la velocidad angular es el obtenido

$$r_g = \frac{105,82 * 60}{2 * \pi * 3000}$$

$$r_g = \mathbf{0,337m}$$

Por facilidad de manejo se escogerá un valor de radio de giro de 0,34 m, el cual se lo usará para calcular la velocidad angular con carga ω_c . Remplazando los valores en la ecuación 7, se tiene:

$$\omega_c = \frac{105,82 \text{ m/s}}{0,34 \text{ m}}$$

$$\omega_c = 311,24 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

La velocidad angular del motor ω , fue determinada en la sección 2.3.1, la cual es igual a la velocidad angular de vacío ω_v :

$$\omega_v = 3000 \text{ rpm}$$

$$\omega_v = 314,16 \text{ rad/s}$$

Con el valor obtenido del radio de giro, se puede tener una idea aproximada de cuál debe ser la medida del martillo. Además, también se podrá aproximar la medida que deberá tener el diámetro del disco porta martillos, así como también, la medida que deberá tener la carcasa del molino.

La carcasa debe estar lo más cerca posible a los martillos, porque además de la trituración del sorgo por medio de los martillos, el grano al estrellarse contra las paredes produce esfuerzos de contacto de sentido contrario, que hace que el grano se fracture mediante planos, como se muestra en la Figura 3



Figura 3: Esfuerzo de contacto martillo-sorgo, pared-sorgo

Obtenidas las velocidades angulares, se puede obtener la aceleración angular del sistema, por medio de la ecuación 10:

Movimiento Angular Desacelerado (**Hibbeler, 2004**)

$$\omega_v^2 = \omega_c^2 + 2 * \alpha * \theta \quad (10)$$

Donde:

α = aceleración angular

θ = Espacio recorrido por los martillos

Despejando la aceleración angular de la ecuación 10, obtenemos la ecuación 11, que se define como:

Aceleración Angular

$$\alpha = \frac{\omega_v^2 - \omega_c^2}{2 * \theta} \quad (11)$$

El espacio que recorre el martillo (existen 4 martillos ortogonales por cada disco), es de 90°, por lo que tenemos:

$$\theta = 90^\circ \rightarrow 1.5708 \text{ rad.}$$

Reemplazando estos valores en la ecuación 11, obtenemos:

$$\alpha = \frac{314,16^2 - 311,24^2 \text{ rad}^2 / \text{s}^2}{2 * 1,5708 \text{ rad}}$$

$$\alpha = 581,29 \text{ rad} / \text{s}^2$$

Con el valor obtenido de la aceleración angular, se puede calcular la fuerza del martillo para triturar el grano, el cual es llamado: Fuerza de Corte (F_c). La aplicación de la fuerza de corte se puede considerar en el extremo superior del martillo, donde existe el contacto.

La fuerza de corte produce un momento que es dado por la ecuación 12, que es la siguiente:

Momento de la Fuerza de Corte (**Hibbeler, 2004**)

$$M = F_c * d \tag{12}$$

Donde:

d = Largo del Martillo

La Figura 4, indica la distancia d y la posición de la Fuerza de corte.

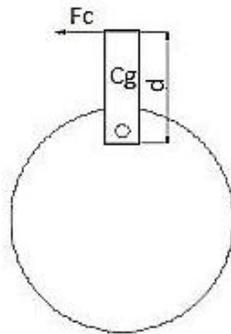


Figura 4: Centro de gravedad, Fuerza de corte y largo del martillo

El momento de Inercia del martillo es dado por la ecuación 13, que es la siguiente:

Momento de Inercia del Martillo

$$I_0 = \frac{1}{12} * m_m * d^2 \quad (13)$$

Donde:

m = masa del martillo

El momento que produce la fuerza de corte con respecto al centro de giro del martillo viene dado la ecuación 14, que es la siguiente:

Momento que produce la Fuerza de Corte **(Hibbeler, 2004)**

$$M = I_0 * \alpha \quad (14)$$

Si se iguala la ecuación 12 con la ecuación 14 y se despeja Fuerza de corte obtenemos la ecuación 15, que es la siguiente:

Fuerza de Corte

$$F_c = \frac{I_0 * \alpha}{d} \quad (15)$$

Si reemplazamos la ecuación 13 en la ecuación 15 y despejamos la masa obtenemos la ecuación 16, que es la siguiente:

Masa de los Martillos

$$m_m = \frac{F_c * 12}{\alpha * d} \quad (16)$$

En la ecuación 16, existe la incógnita d, para obtener este valor se toma en cuenta las siguientes consideraciones:

- La longitud L del martillo deberá cumplir condiciones geométricas para su correcto funcionamiento, es decir, deberá guardar relación geométrica con respecto al disco que lo portará, como se muestra en la Figura 5.

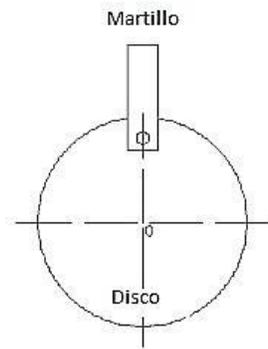


Figura 5: Relación geométrica entre el martillo y el disco

- La posición de los cuatro martillos cuando el molino este sin funcionar, será el que se muestra en la Figura 6.

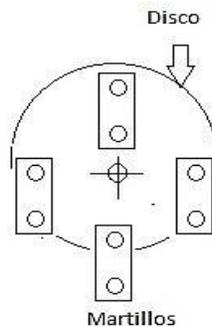


Figura 6: posición de los martillos en reposo

- Longitud L del martillo deberá estar acorde con la medida del radio de giro obtenido anteriormente.
- El martillo tendrá dos agujeros de 20 mm de diámetro, para cambiar el lado del martillo cuando este desgastado, como se muestra en la Figura 7.

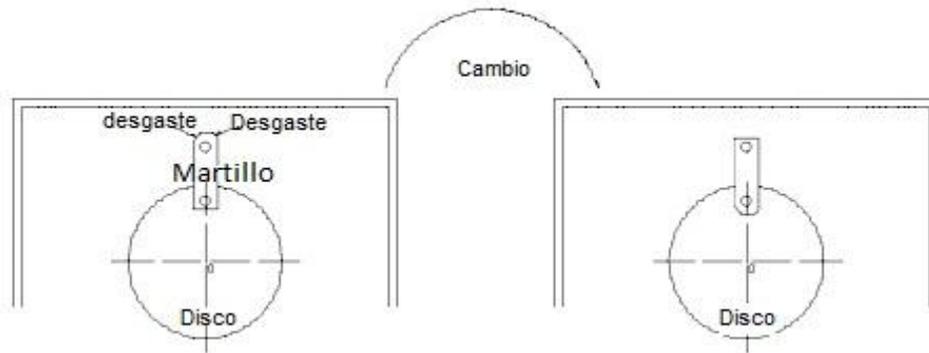


Figura 7: Desgaste y cambio de lado del martillo

- Los agujeros estarán a 20 mm del borde del martillo al centro del agujero como se muestra en la Figura 8.

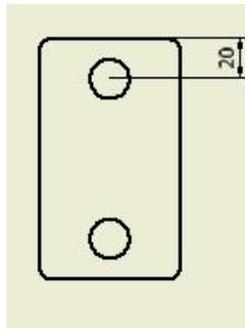


Figura 8: posición del agujero del martillo.

Tomando en cuenta las anteriores consideraciones, sumado a que el diámetro del eje (eje que estará conectado con el eje del molino, para producir el movimiento del disco y por ende de los martillos), que pasará por medio de los discos porta martillos será de 50 mm, se propone una longitud de 120 mm para los martillos. Una medida superior del martillo aumentaría el peso que el motor debe girar, además de aumentar el costo ya que todo el molino será construido con acero inoxidable AISI 304 para alimentos.

Una vez determinada la distancia **d**, y obtenida la fuerza de corte según recomendaciones de la bibliografía y reemplazando en la ecuación 16 tenemos como resultado:

$$F_c = 1,8 \text{ N}$$

$$m_m = \frac{1,8 \text{ N} * 12}{581,29 \text{ rad/s} * 0,12 \text{ m}}$$

$$m_m = 0,310 \text{ kg}$$

$$m_m = 310 \text{ g} \text{ Por cada martillo}$$

Con el dato obtenido se puede calcular el ancho del martillo. El peso del martillo viene dado por la ecuación 17.

Peso del Martillo

$$P_m = V * P_e \tag{17}$$

Donde:

V = Volumen del martillo

P_e = Peso específico del acero (7850 kg/m³)

Si se descompone el Volumen y se lo reemplaza en la ecuación 17, se obtiene la ecuación 18, que es la siguiente:

Peso del Martillo

$$P_m = d * a * e * P_e \tag{18}$$

Donde:

d= largo del martillo → 0.12 m

e = espesor del martillo → 0.006 m, este valor ha sido obtenido tomando en cuenta que el espesor promedio de un grano de sorgo es aproximadamente de 4,5 mm.

a = ancho del martillo

Despejando el ancho (a) del martillo, y remplazando todos los valores obtenemos el siguiente valor:

$$a = \frac{P_m}{P_e * e * d}$$

$$a = \frac{0,310 \text{ kg}}{7850 \text{ kg/m}^3 * 0,0045 \text{ m} * 0,12 \text{ m}}$$

$$a = 0,073 \text{ m} \approx 70 \text{ mm}$$

2.3.5. Falla por Cizalladura

Debido a la tracción que genera el perno sobre el área de la placa, se puede dar una falla por desgarramiento o cizalladura se hace necesario calcular el factor de seguridad:

El área del desgarramiento se puede calcular mediante la ecuación 19, que es la siguiente:

Área de Desgarre (Shigley, 2005)

$$A_d = e * d_1 * 2 \tag{19}$$

Donde:

e = espesor del martillo

d₁ = distancia del borde del orificio al borde del martillo

El esfuerzo cortante se calcula mediante la ecuación 20, que es la siguiente:

Esfuerzo Cortante

$$\tau = \frac{F_{cf}}{A_d} \tag{20}$$

Donde:

F_{cf} = Fuerza Centrífuga

La fuerza centrífuga se calcula mediante la ecuación 21, que es la siguiente:

Fuerza Centrífuga (**Hibbeler, 2004**)

$$F_{cf} = \omega^2 * m_m * r_g \quad (21)$$

Donde:

r_g = radio de giro

m_m = masa del martillo

Reemplazado los datos se obtiene el siguiente valor:

$$F_{cf} = 314,16^2 \text{ rad/s}^2 * 0,310 \text{ kg} * 0,34 \text{ m}$$

$$F_{cf} = 10402,61 \text{ N}$$

Reemplazando los valores obtenidos en la ecuación 20 tenemos:

$$\tau = \frac{10402,61 \text{ N}}{0,006 \text{ m} * 0,012 \text{ m} * 2}$$

$$\tau = 72,24 \text{ Mpa}$$

El valor del factor de seguridad se puede obtener mediante la ecuación 22, que es la siguiente:

Factor de Seguridad

$$\eta = \frac{S_y}{2 * \tau} \quad (22)$$

El valor de S_y para el acero inoxidable 304 es de 276 Mpa. (**Ver anexos 1**)

Reemplazando los valores obtenemos

$$\eta = \frac{276 \text{ Mpa}}{2 * 72,24 \text{ Mpa}}$$

$$\eta = 1,91 \approx 2$$

El factor de seguridad es suficiente para garantizar que no habrá falla por desgarramiento.

2.3.6. Falla por Tracción

El esfuerzo normal por tracción, debido a la fuerza centrífuga, se calcula mediante la fórmula 23, que es la siguiente:

Esfuerzo Normal (**Gere, 2002**)

$$\sigma = \frac{F_{cf}}{A} \tag{23}$$

Donde:

A= Área de la sección transversal del martillo Reemplazando datos obtenemos:

$$\sigma = \frac{10402,61}{0,006m * 0,07m}$$

$$\sigma = 24,77 \text{ Mpa}$$

El factor de seguridad viene dado por la ecuación 24, que es la siguiente:

Factor de Seguridad para Esfuerzo Normal (**Shigley, 2005**)

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma} \tag{24}$$

Reemplazando datos se tiene:

$$\eta = \frac{276 \text{ Mpa}}{24,77 \text{ Mpa}}$$

$$\eta = 11,14$$

El factor de seguridad es alto, por lo que es suficiente para garantizar que no habrá falla por desgarramiento.

La geometría de los martillos se propone que sea un perfil rectangular con dos orificios circulares en los extremos realizados de forma simétrica (porque de esta forma tendrá simetría con respecto a los ejes horizontal y vertical, además de tener 4 aristas para el corte del grano), que es la más utilizada en molinos de martillo. Tendrá dos aristas de corte.

2.4. *Diseño del Disco Porta Martillos (Ver anexo 10).*

Con el diseño de los martillos que se realizó en la sección 2.3.3, algunas de las medidas para el disco se han obtenido, como por ejemplo:

El disco será circular, porque presenta algunas ventajas con relación a otras configuraciones como por ejemplo a la triangular.

Las ventajas y desventajas que presenta el disco circular se detallan a continuación:

Ventajas:

1. La fuerza centrífuga (radial en todo momento), coloca a los martillos en posiciones de 90° entre sí, la zona de esfuerzos es más larga, por lo tanto el esfuerzo normal por tracción es menor
2. Mejores condiciones para el balanceo dinámico, ya que es circular.

Desventajas:

1. Ligeramente más pesado que otras configuraciones, como la triangular.
2. Requiere mayor número de martillos, 4 por cada disco. En la configuración triangular por ejemplo, solo se necesitarían 3 martillos por cada disco.

A continuación se exponen algunos datos para el disco.

- Diámetro del Disco → $D_D = 330$ mm
- 4 agujeros (por donde pasarán los pernos porta martillos), de diámetro de 20 mm
- 1 agujero en el centro del disco de 50 mm para el eje del molino.
Se ha tomado este valor porque generalmente los motores poseen un eje de 50 mm.

Lo único que falta determinar para el diseño del disco, es el espesor que tendrá el mismo, dicho espesor se lo calculará mediante la siguiente expresión y tomado como consideración que en cada agujero del disco habrá una tracción por consecuencia de las fuerzas centrífugas de los martillos, por lo que en cada agujero se tendrá una fuerza equivalente a dos fuerzas centrífugas de un martillo.

Si tomamos las ecuaciones 20 y 22 antes descritas:

$$\tau = \frac{F_{cf}}{A_d} \quad \text{ecuación 20}$$

$$\eta = \frac{S_y}{2 * \tau} \quad \text{ecuación 22}$$

Si tomamos la consideración antes descrita tenemos:

$$\tau = \frac{F_{cf}}{A_d}, \text{ descomponiendo } A_d \text{ tenemos}$$

$$\tau = \frac{2F_{cf}}{e * d_1 * 2}$$

Sustituyendo esta ecuación en la 22 y se despeja el espesor (e), obtenemos la ecuación 25, que es la siguiente:

Espesor del Disco

$$e = \frac{F_{cf} \cdot \eta \cdot 2}{d_1 \cdot S_y} \quad (25)$$

Hemos escogido para el factor de seguridad el valor de 2.

Remplazando los datos obtenemos el siguiente valor:

$$e = \frac{10402,61N \cdot 2 \cdot 2}{0,012m \cdot 276 \cdot 10^6 \frac{N}{m^2}}$$

$$e = 1,26 \cdot 10^{-2}m$$

$$e = 12,6mm$$

El espesor de la plancha como se observa es de 12,6 mm, para la construcción se utilizara la plancha de 12 mm de acero inoxidable AISI 304.

Nota: Cuando el martillo se encuentre en posición de reposo, este no topará con el eje porque sobra aproximadamente 2 cm.

2.4.1. Diseño del Separador de Martillos (Ver anexo 11)

Como quedó estipulado en la sección 2.3, los martillos están separados por medio de una arandela. Esta tendrá un grosor de 3 mm y el diámetro exterior de esta arandela será de 30 mm y el interior de 20 mm.

Quedando como medidas definitivas las siguientes:

12 mm → Grosor del Disco

15 mm → La Suma de dos Martillos con Arandela de Separación

3 mm → Grosor de la Arandela de Separación

6 mm → Grosor del Martillo

2.4.2. Diseño del Perno que Porta los Martillos (Ver anexo 12).

Para la unión de los martillos con el disco es necesario un perno que pasará entre ambos, el diámetro de este perno se definió en el diseño de los martillos y es de 20 mm, con cabeza hexagonal, y una tuerca de 10 mm de espesor, todo estos implementos serán construidos con acero inoxidable 304.

Las F_c son las fuerzas centrífugas que poseen los martillos y la R son las reacciones de los discos.

A continuación se realizará el cálculo de fuerzas y reacciones en equilibrio estático, para poder determinar el factor de seguridad del perno. Se desprecian los valores del peso del eje y las fuerzas de corte porque son mínimas.

Aplicando equilibrio estático de las fuerzas en el perno tenemos:

$$R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 = 8 * F_{cf}$$

Como todas las R son iguales y se conoce el valor de F_c determinamos el valor de las reacciones:

$$5 * R = 8 * F_{cf}$$

$$R = \frac{8 * F_{cf}}{5}$$

$$R = \frac{8 * 10402,61N}{5}$$

$$R = 16644,176N$$

Ingresando estos valores y simulando el perno en el programa MDsolids, se obtiene los siguientes resultados:

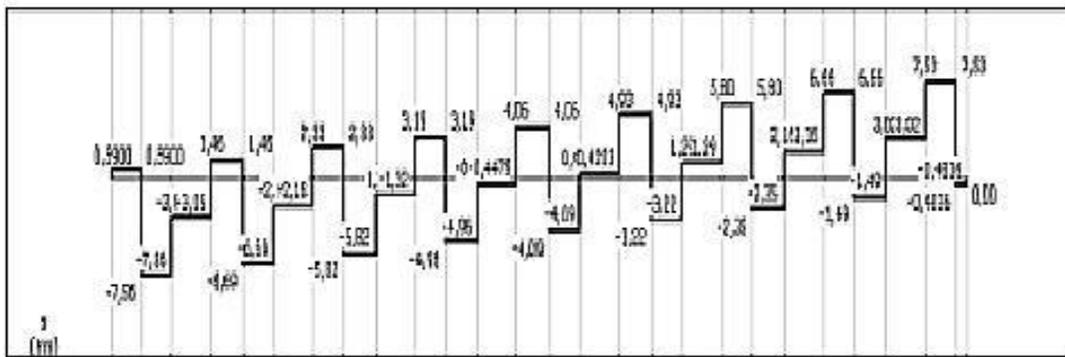


Figura 9: Diagrama de corte del perno

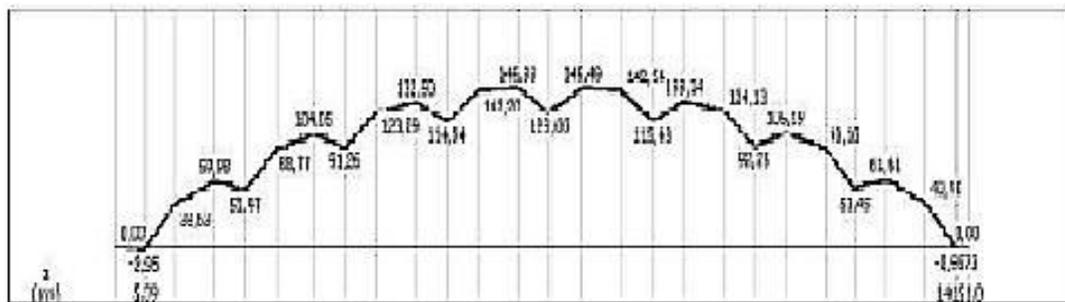


Figura 10: Diagrama de momento del perno

Como se observa en las ilustraciones 9 y 10, la zona crítica del perno se encuentra en el centro. Para conocer el esfuerzo normal por flexión se utiliza la fórmula 26, que es llamada de Navier, y es la siguiente:

Fórmula de Navier (**Gere, 2002**)

$$\sigma = \frac{M \cdot C}{I} \tag{26}$$

Donde:

C = Distancia desde el eje neutro al extremo

I = Momento de Inercia

M = Momento Flexionante

Descomponiendo la fórmula 26 en factores conocidos tenemos:

$$\sigma = \frac{M * C}{I} = \frac{M * \frac{d}{2}}{\frac{\pi * d^4}{32}}$$

$$\sigma = \frac{M * 16}{d^3 * \pi}$$

Donde:

d → Diámetro del perno 20 mm

M → 145,44 N

Sustituyendo:

$$\sigma = \frac{145,44N * 16}{0,02m^3 * \pi}$$

$$\sigma = 92,59Mpa$$

Para obtener el factor de seguridad se aplica la siguiente fórmula:

$$\eta = \frac{\delta_y}{\sigma}$$

El valor de S_y para el acero inoxidable 304 es de 276 Mpa. (Ver anexo 1)

Reemplazando datos tenemos

$$\eta = \frac{276 Mpa}{92,59 Mpa}$$

$$\eta = 2,98$$

Por lo que no hay falla aplicando la Teoría del Esfuerzo Máximo.

Para asegurarnos de que no haya falla con la máxima tensión cortante, se aplica la siguiente fórmula:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{V_{m\acute{a}x}}{A}$$

Donde $V_{m\acute{a}x} = 7,53 \text{ kN}$

A=área de la sección transversal del perno.

Remplazando datos tenemos:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{7,53 \text{ KN}}{\pi * (0,01 \text{ m})^2}$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = 23,97 \text{ Mpa}$$

Para el factor de seguridad se aplica la siguiente fórmula:

$$\eta = \frac{\delta_y}{2 * \tau_{m\acute{a}x}}$$

$$\eta = \frac{276 \text{ Mpa}}{2 * 23,97 \text{ Mpa}}$$

$$\eta = 5,76$$

2.4.3. Diseño del Separador de Discos (Ver anexo 13).

Luego del diseño de los martillos y la arandela, se necesita dimensionar el separador de discos. En la sección 2.4.1, quedó determinado que el grosor de los martillos, sumado al grosor de la arandela que los separa es de 15 mm. El diámetro de este separador será de 50 mm o 2 pulgadas interior y de diámetro exterior 70 mm.

2.5. Masa de Todos los Componentes Interiores del Molino

En la sección 2.3, se determinó que la masa de cada martillo es de 0.310 kg, y según el diseño, se tiene 32 martillos en cada cámara, como son 2 cámaras de las mismas dimensiones y con los mismos componentes, se obtiene 64 martillos en total, en consecuencia la masa total es:

$$M_{tm} = 0.310kg * 64$$

$$M_{tm} = 19,84 kg$$

En cada cámara existen 16 arandelas, con un peso cada una de 0,016 kg, como son dos cámaras se tiene 32 arandelas, por lo que la masa total de estos es:

$$M_{ta} = 0.016kg * 32$$

$$M_{tm} = 1,024$$

Con las dimensiones de los Disco, se puede determinar su masa aproximada que es de 4 kg. Como consta en el diseño, existen 5 discos por cada cámara, ya que son 2 cámaras se tiene 10 discos en total, por lo que la masa total de estos es:

$$M_{td} = 4kg * 10$$

$$M_{ta} = 40kg$$

Los separadores de los discos son de 50 mm de radio interior, 70 mm de radio exterior y 15 mm de espesor como consta en el diseño del molino. Su peso aproximado es de 0,75 kg.

En cada cámara existen 4 separadores, como son dos cámaras se tiene 8 arandelas, por lo que la masa total de estos es:

$$M_{ts} = 0,75kg * 8$$

$$M_{ta} = 6 kg$$

En la sección 2.4.2 se diseñó el perno que atraviesa los martillos y los discos para sujetarlos, su masa es de 0,5 kg.

En cada cámara existen 4 pernos, como son dos cámaras se tiene 8 pernos, por lo que la masa total de estos es:

$$M_{tp} = 0,5 kg * 8$$

$$M_{ts} = 4kg$$

La masa del eje de la primera cámara es de 8 kg, y la masa del eje de la segunda cámara es de 10 kg.

Las tuercas para cada eje pesan 1Kg cada una, como son 2 la masa total de estas es de 2 kg.

Con todos los pesos obtenidos, se puede obtener el peso total del molino. Como se observa en la tabla 3.

Pieza	Cantidad	Masa kg	Masa total kg
Martillos	64	0.310	19,84
Sep. Martillos	32	0.016	1,024
Discos	10	4	40
Sep. Discos	8	0.750	6
Pernos	8	0.5	4
Eje 1 ^{ra} Cámara	1	8	8
Eje 2 ^{da} Cámara	1	10	10
Tuerca de Ejes	2	1	2
Total	-	-	90,864

Tabla 3: Masa Total de los Componentes Internos del Molino

2.6. Cálculo de la Inercia del Molino

El cálculo de la inercia del molino, se lo hace para poder saber si una vez escogido el motor del molino el torque del mismo podrá mover a todos los componentes internos del molino.

Si la masa total del molino calculada anteriormente la traducimos en un disco mediante la fórmula 17 antes descrita, obtenemos:

$$P_m = V * P_e$$

Donde:

V = Volumen del Disco

P_e = peso específico del acero (7850 kg/m³)

Si descomponemos el Volumen y lo remplazamos en la ecuación 17, obtenemos:

$$P_m = A * e * P_e$$

Donde:

A= Área del disco con r= 0.25 m

e = espesor del disco

P_m = Masa de los componentes internos del molino

Despejando el espesor (e) del disco, y remplazando todos los valores obtenemos el siguiente valor:

$$e = \frac{P_m}{P_e * A}$$

$$e = \frac{90,864kg}{7850 \frac{kg}{m^3} * \pi * (0,25m)^2}$$

$$e = 0,05895 m = 5,9 cm = 59 mm$$

Calculada las dimensiones del disco, se puede obtener la Inercia que este disco posee y que es equivalente a la inercia del molino.

El momento de inercia de un disco se obtiene mediante la fórmula 27, que es la siguiente:

Inercia del Disco (**Hibbeler , 2004**)

$$I_d = \frac{1}{2} * m * r^2 \quad (27)$$

Donde:

m = masa del disco

r = radio del disco

Remplazando los valores se tiene:

$$I_d = \frac{1}{2} * 90,864 \text{ kg} * (0,25\text{m})^2$$

$$I_d = 2,84\text{kg}$$

2.7. Determinación de la Potencia del Motor

Para la determinación de la potencia del motor se utiliza la ecuación de Rittinger para molienda. Esta ecuación es buena para aproximación en molienda fina, que es el requerido para harina.

La ecuación de Rittinger es la siguiente:

$$\frac{P}{c} = K_r * \left(\frac{1}{D_2} - \frac{1}{D_1} \right) \quad (28)$$

Donde:

D₁ =0,4 cm Diámetro del sorgo antes de la molienda (cm).(Se determinó en la sección 2.3.3)

D₂ = Diámetro del sorgo después de la molienda (cm).

K_r = Constante de Rittinger [H.P. h. cm./ kg.]

P = Potencia del Motor (HP).

C = 173 kg/h Capacidad de Molienda. (Definida en la sección 2.3.1)

El diámetro final, es el requerido para harina, que en este caso es de 0.05 mm.

$$K_r = 8.3081 * 10^{-3}$$

Remplazando los valores en la ecuación 25 tenemos:

$$\frac{P}{173 \text{ kg/h}} = 8,3081 * 10^{-3} * \left(\frac{1}{0,05} - \frac{1}{0,4} \right)$$

$$P = 24,3 \text{ HP}$$

Este valor nos indica que necesitamos alrededor de 25 HP, para moler 173 kg/h.

Se ha seleccionado un motor del catálogo disponible en el anexo 1 que cumple con las condiciones requeridas que son 3000 rpm y 25 HP y el motor es 160-L₂

Para comprobar si el motor es capaz de mover el molino se calcula el torque que se necesita por la siguiente ecuación.

$$T_n = \# \text{ de martillos} * F_c * r_g \quad (29)$$

Donde:

F_c → es la fuerza de corte

R_g → radio de giro

Remplazando los valores en la ecuación:

$$T_n = 32 * 1,8N * 0,337 \text{ m}$$

$$T_n = 19,41 \text{ Nm}$$

$T_m=60,30 \text{ Nm}$ →torque del motor según catálogo del **anexo 2**

Por tanto como $T_m > T_n$ el valor del torque que posee el motor, es suficiente para mover la inercia del molino anteriormente calculada y mantener su velocidad al estar sometido a los esfuerzos de corte.

2.8. Selección de Rodamientos

Para la selección del rodamiento es necesario conocer la carga necesaria para el correcto funcionamiento de la máquina:

$$C_{necesaria} = F_d * \left(\frac{L_h * n * 60}{10^6}\right)^{\frac{1}{k}} \quad (30)$$

Donde:

F_d →Carga de diseño

n → r.p.m que gira el árbol

$k=3$ para rodamientos de bola

L_h → Vida de servicio en horas (**Ver anexos 3**)

F_d → lo obtenemos de la siguiente tabla:

Pieza	Cantidad	Masa kg	Masa total kg
Martillos	32	0.310	9,92
Sep. Martillos	16	0.016	0,256
Discos	5	4	20
Sep. Discos	4	0.750	3

Pernos	4	0.5	2
Eje 2da Cámara	1	10	10
Tuerca de Ejes	1	1	1
Total			46,176

Tabla 4: Masa de un eje con sus Componentes.

El valor de $46,176 \text{ kg} * 9,8 \text{ m/s}^2 = 452,52\text{N}$. Como son dos rodamientos se lo divide para 2 los que da: 227 N.

Sustituyendo los valores obtenemos

$$C_{necesaria} = 227N * \left(\frac{25000h * 3000rpm * 60}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$C_{necesaria} = 3747,69 N$$

Con este valor se va al **anexo 4** y se selecciona un cojinete de bola que cumpla con las dimensiones y carga requerida por lo que el rodamiento seleccionado fue el de designación 16009 el cual tiene:

$$D_{interior}=45 \text{ mm}$$

$$D_{exterior}=75 \text{ mm}$$

$$B=10 \text{ mm (ancho del rodamiento)}$$

$$C=12200 \text{ N} > C_{necesaria}=3747,69\text{N}$$

2.9. Diseño de la transmisión flexible (Transmisión por Correa).

A partir de los datos del motor seleccionado se seleccionara el tipo de correa a utilizar así como la cantidad.

Potencia (kW)	Potencia (HP)	Tipo	n (rpm)	Torque (Nm)	Peso en kg
18,5	25	160-L ₂	2930	60,30	135

2.9.1. Selección de la correa:

Para la selección de la correa es necesario conocer el torque a transmitir, el mismo se obtiene del **anexo 2** el cual es de 60,30 Nm con este valor se va al **anexo 5** y se selecciona una correa tipo A

2.9.2. Determinación de los Diámetros de paso de las poleas D_1 y D_2

Para la determinación del diámetro mínimo de la polea conductora (D_1), se debe cumplir la condición: $D_{1min} \leq D_1 \leq D_{1max}$

Para la correa tipo A se toma (**Ver Anexo 5**) el valor mínimo del diámetro de la polea conductora recomendado por el fabricante: $D_{1min}=90$ mm y $V_{máx}=25$ m/s. El valor máximo del diámetro se calcula por la siguiente ecuación:

$$D_{1Máx} = \frac{6 \cdot 10^4 \cdot V_{Máx.}}{\pi \cdot n_1} = \frac{6 \cdot 10^4 \cdot 25 \text{ m/s}}{\pi \cdot 3000 \text{ rpm}} = 159,15 \text{ mm} \quad (31)$$

Donde:

D_{1max} → Es el máximo diámetro que puede tomar la polea conductora

V_{max} → Máxima velocidad que debe girar la correa.

n → rpm a la que gira el motor.

De esta forma, teniendo en cuenta el intervalo: $90\text{mm} \leq D_1 \leq 159,15\text{mm}$ y los valores de diámetros recomendados en el **anexo 6**, se selecciona $D_1=90\text{mm}$.

2.9.3. Velocidad de la correa (V)

Cuando vamos a realizar el cálculo de la velocidad de la correa se debe cumplir la condición: $V_{\text{mín}} < V < V_{\text{máx}}$

Se considera la velocidad mínima de la correa: $V_{\text{mín}} \approx 5 \text{ m/s}$

La velocidad de la correa se calcula por la siguiente ecuación:

$$V = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot n_1}{60000} = \frac{\pi \cdot 90 \cdot 3000}{60000} = 14,14 \text{ m/s} \quad (32)$$

Donde:

V- velocidad de la correa.

La velocidad de funcionamiento óptimo de la correa se considera aproximadamente $V_{\text{opt}} \approx 25 \text{ m/s}$ por lo que el valor obtenido es satisfactorio.

2.9.4. Distancia entre centros de referencia (A):

En este caso como la relación de transmisión es 1 la distancia entre centros es de 558,7mm para que a la hora de seleccionar la longitud de la correa esté normalizada.

2.9.5. Cálculo de la longitud de paso de las correas (L):

$$L = 2 * A + 1,57 * (D_1 + D_2) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4A} \quad (33)$$

$$L = 2 * 558,7 \text{ mm} + 1,57 * (90 \text{ mm} + 90 \text{ mm})$$

$$L = 1400 \text{ mm}$$

Nota: Este valor se obtiene del anexo 6 teniendo en cuenta la distancia entre centros a la que fue diseñado los ejes del molino

2.9.6. Conclusiones parciales

- Se diseñó un molino de martillo ya que este nos ofrece mayor beneficio que los demás en cuanto a espacio y eficiencia.
- Los resultados obtenidos en el diseño realizado son satisfactorios ya que todas las partes y componentes del molino resisten tanto a flexión como a cortante según sea el caso.

Capítulo III: Impacto social, ambiental y económico.**3.1. Beneficios del molino de martillo.**

La fabricación del molino de martillos diseñado, brinda la posibilidad de obtener una mayor producción de harina de sorgo. Con este incremento, se puede suplir las necesidades existentes para satisfacer la dieta de los niños celíacos de la provincia y de parte del país. Además de poder añadir este producto a la dieta de niños aquejados con otras enfermedades como: el autismo, la diabetes mellitus tipo I, síndrome de Down, hipertensión arterial, en las cuáles su utilización ha reportado resultados satisfactorios. Esto representa un impacto psicológico beneficioso en estos niños ya que mejora su calidad de vida.

Según se consta existen 48 niños con celiacía en Villa Clara y aproximadamente 1200 niños en todo el país (dígase niños hasta los 17 años de edad). Estos valores son tomados sin tener en cuenta la cantidad de adultos existentes en el país con esta enfermedad

Con la generalización de este diseño, se puede llegar a producir las cantidades necesarias para que la toda la población aquejada con estas enfermedades puedan incluir productos elaborados con la harina de sorgo en su dieta, brindando un impacto favorable para la sociedad cubana.

3.2. Impacto ambiental.

En cuanto al impacto ambiental, al utilizar el molino de martillo propuesto se elimina 100 % el afrecho. Teniendo una alta productividad en comparación a los molinos anteriormente utilizados en la molienda de sorgo.

La utilización del molino diseñado brinda un ahorro de energía y tiempo, ya que en un molino por fricción se necesita dar varias pasadas para obtener una harina con la granulometría necesaria y el molino de martillo solo necesita una pasada. Además la obtención de harina de sorgo en los molinos de martillo no requiere un tamizado posterior.

3.3. Análisis de costo de las partes principales del molino de martillo.

Los componentes internos del molino serán fabricados de acero inoxidable AISI 304 el precio del mismo en kg fue obtenido en el Catálogo de fabricantes de Placas De Acero Inoxidable de alta calidad y Precio (ver Figura 11) por lo que la siguiente tabla muestra cuánto pesa cada componente y su equivalente en USD.



Mejor calidad de acero inoxidable 304, 304L placa con buen precio

US \$1000-3000 / Tonelada 0.8 Tonelada/a (Pedido mínimo)

Lugar del origen: CN:SHX Grado: 300 series

Uso: decoración y construcción in... Marca: TISCO

Longitud: 2000up o como su pedido Espesor: 0.5-6mm o como su pedido

Figura 11: precio del acero inoxidable AISI 304 en kg

Pieza	Cantidad	Masa (kg)	Masa total (kg)	Precio (USD)
Martillos	64	0,310	19,84	19,84
Sep. Martillos	32	0,016	1,024	1,024
Discos	10	4	40	40
Sep. Discos	8	0,750	6	6
Pernos	8	0,5	4	4
Eje 1 ^{ra} Cámara	1	8	8	8
Eje 2 ^{da} Cámara	1	10	10	10
Tuerca de Ejes	2	1	2	2
Tapa superior	1	66,59	66,59	66,59
Tamises	2	66,59	133,18	133,18
Total	-	-	280,634	280,634

Tabla 5: Masa Total de los Componentes Internos del Molino y su equivalente en USD.

Con el objetivo de disminuir los costos del molino, para la fabricación de los componentes exteriores del molino de martillo se propone un acero ASTM A-36, ya que estos componentes no están sometidos a grandes esfuerzos ni tensiones, además de no estar en contacto directo con el producto final. En la siguiente tabla se muestra cual es la masa de cada uno de los componentes y su precio en el mercado internacional, el cual oscila entre 400-600 dólares la tonelada (para el cálculo se toma un valor medio de 500 dólares la tonelada). Las propiedades de este acero se encuentran en el **anexo 8**.

Pieza	Cantidad	Masa kg	Masa total kg	Precio en usd
Lateral intermedio	2	6,89	13,78	6,89
Lateral inferior	2	3,45	6,9	3,45
Tapa delantera	2	11,45	22,9	11,45
Tapa intermedia	2	24,56	49,12	24,56
Tapa inferior	2	10,29	20,58	10,29
Total	-	56,64	280,634	140,317

Tabla 6: Masa Total de los Componentes externos del Molino y su equivalente en USD.

Después de haber desglosado los componentes internos y externos del molino y sin tener el costo del motor, la tolva de alimentación y la base, se tiene que el costo en materiales del molino es de aproximadamente de 420,951 dólares.

3.4. Conclusiones parciales

- El molino de martillos diseñado, brinda la posibilidad de obtener una mayor producción de harina de sorgo.

- El incremento de la producción de harina de sorgo permite satisfacer la dieta de los niños celíacos de la provincia y de parte del país. Representando un impacto psicológico beneficioso en estos niños ya que mejora su calidad de vida.
- El costo de los materiales del molino, sin tener en cuenta el costo del motor es de aproximadamente de 420,951 dólares.

Conclusiones generales

- La variedad de sorgo UDG-110 se selecciona por la baja composición de Tanino (15%) lo cual provoca problemas digestivo a las personas que padecen celiaquía, además de su alto valor nutricional y la ausencia de gluten.
- De las máquinas para moler granos y cereales estudiadas se decide realizar el diseño de un molino de martillos ya que el mismo nos brinda mayor eficiencia y productividad para la molienda del sorgo.
- Los resultados obtenidos en el diseño realizado son satisfactorios ya que todas las partes y componentes del molino resisten tanto a flexión como a cortante según sea el caso.
- El costo de los materiales del molino, sin tener en cuenta el costo del motor es de aproximadamente de 420,951 dólares.
- La fabricación del molino de martillo diseñado beneficia a los niños celíacos de la provincia y de gran parte de país. Pudiendo también ser beneficioso para niños aquejados de otras enfermedades en las cuales el uso de la harina de sorgo mejora su calidad de vida.

Recomendaciones

- Para que la productividad y rendimiento del molino no disminuya, se recomienda estar atento al desgaste de los componentes internos, principalmente de los martillos.
- Se recomienda realizar un mantenimiento preventivo, principalmente con lo referente a bandas y engrase de los rodamientos.
- Para que no exista sobrecarga de granos en las cámaras, hay que implementar un dosificador después de la tolva.
- Realizar una limpieza semanal de los tamices de las dos cámaras, para que el material triturado fluya constantemente.
- Estar atento al desgaste de las piezas internas del molino, ya que esto puede provocar que el molino se desalíne o desbalance produciendo daños.
- Los operarios del molino deben trabajar con protectores auditivos, ya que el ruido que produce el motor supera altísimamente los valores estipulados para el ser humano, lo que puede provocar serios problemas auditivos

Bibliografía

1. DESIKACHAR, H. *Pearling and milling studies on sorghum*. Editado por: Murty., I. L. W. R. D. S. 1982. 194-199 p. Proceedings of the International Symposium on Sorghum Grain Quality Hyderabad.
2. GALVÀN, C. Epidemiología comparada de la EC. reconocimiento del celíaco dentro de la población de pertenencia. Rev Cub Aliment Nutr RCAN, 2010, vol. 20, n° 2 supl 1, p. 21-25.
3. GUERRA, J. C. C. Utilización de la harina de sorgo (*Sorghum bicolor* L Moench) en la alimentación de los niños celíacos en la provincia de Villa Clara. Ingeniería Agrónoma. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, 2012.
4. HASSEN, M. Tryptophan levels in normal and high-lysine sorghums. Cereal Chem., 1986, vol. 63, n° p. 175-176.
5. HUBBARD. Composition of the component parts of sorghum kernels. Cereal Chem., 1950, vol. 6, n° p. 415- 420.
6. Orlando saucedo castillo, I. F. P., Jorge b. De la torre lópez, marlene penichet cortiza, irenia gallardo aguila, gerardo álvarez roche, manuel lara martín, gudelia rodríguez valdés. Compilación bibliográfica de productos elaborados con harina de sorgo
7. (*Sorghum bicolor* L. Moench). Editorial Feijóo, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní km 5 ½, Santa Clara, villa Clara, Cuba. CP 54830.: Editorial Samuel Feijóo, 2015. 94 p.
8. PIZZUTO, A. Características físicas y químicas de seis cultivares de sorgo granífero. Fac. Agronomía. UC Venezuela. Maracay, 1986.
9. PONS, M. Características de las proteínas de seis cultivares de sorgo. Fac. Agronomía. UC Venezuela. Maracay, 1986.
10. ROONEY, L. Sorghum and pearl millet lipids. Cereal Chem., 1978, vol. 55, n° p. 584-590.
11. SINGH, A. High lysine mutant gene that improves protein quality and biological value of grain sorghum. Crop Sci, 1973, vol. 13, n° p. 535-539.
12. Gere, James M. Mecánica de Materiales. México: Thomson, 2002.
13. Hibbeler, R. C. Mecánica Vectorial para Ingenieros: Dinámica México: Pearson, 2004.
14. Shigley, Joseph E. El Diseño en Ingeniería Mecánica. México: McGraw-Hill, 2005.
15. Shigley, Joseph E. El Proyecto en Ingeniería Mecánica. México: McGraw-Hill, 2005.

Anexos

Anexo 1: propiedades del acero inoxidable AISI 304

Tipo	Carbono (C)	Manganeso (Mn)	Fósforo (P)	Azufre (S)	Silicio (Si)	Cromo (Cr)	S _y
AISI 304	0,08 %	2 %	0,045 %	0,05%	1 %	18-20 %	276 MPa

Anexo 2: tabla de selección del motor

 2 Poles asynchronous speed 3000 rpm⁻¹ 

Power KW	Power HP	Type	rpm	Current In (A)	Current Is/ In	Torque Cn (Nm)	Torque Cs/ Cn	Torque Cmax/ Cn	Efficiency		Pwr. Fact. cos.		LwA (dB)	J Kg ^m	Kg
									100%	75%	100%	75%			
0,09	0,12	56A-2	2800	0,3	5,2	0,31	2,1	2,2	62,0	61,0	0,77	0,71	60	0,00010	3,5
0,13	0,18	56B-2	2800	0,3	5,2	0,41	2,1	2,2	64,0	63,5	0,78	0,73	60	0,00020	3,6
0,18	0,25	63A-2	2800	0,5	5,5	0,61	2,2	2,3	66,0	64,0	0,80	0,73	61	0,00031	4,5
0,25	0,35	63B-2	2800	0,6	5,5	0,96	2,2	2,3	69,0	68,5	0,81	0,74	61	0,00040	4,7
0,37	0,5	71A-2	2800	0,9	6,1	1,26	2,2	2,3	71,0	71,0	0,81	0,75	64	0,00055	6
0,55	0,75	71B-2	2800	1,3	6,1	1,88	2,2	2,3	74,0	73,0	0,82	0,76	64	0,00060	6,3
0,75	1	80A-2	2825	1,7	6,1	2,54	2,2	2,3	76,2	75,7	0,83	0,78	67	0,00075	10
1,1	1,5	80B-2	2825	2,4	7,0	3,72	2,2	2,3	79,3	80,0	0,84	0,82	67	0,00090	11
1,5	2	90S-2	2840	3,2	7,0	0,21	2,2	2,3	80,4	80,2	0,84	0,80	72	0,00120	13
2,2	3	90L-2	2840	4,6	7,0	7,40	2,2	2,3	81,6	82,7	0,85	0,84	72	0,00140	14
3	4	100L-2	2880	5,9	7,5	9,95	2,2	2,3	83,5	83,4	0,88	0,85	76	0,00290	25
4	5,5	112M-2	2890	7,7	7,5	13,22	2,2	2,3	85,5	85,5	0,88	0,85	77	0,00550	28
5,5	7,5	132SA-2	2900	10,3	7,5	18,11	2,2	2,3	86,5	84,5	0,89	0,88	80	0,01090	40
7,5	10	132SB-2	2900	14,0	7,5	24,70	2,2	2,3	87,1	86,9	0,89	0,89	80	0,01260	45
9,2	12,5	132MA-2	2930	16,9	7,5	25,60	2,2	2,3	87,1	86,9	0,89	0,88	81	0,02000	49
11	15	160MA-2	2930	19,9	7,5	35,85	2,2	2,3	88,4	87,4	0,89	0,87	86	0,03770	110
15	20	160MB-2	2930	26,9	7,5	48,89	2,2	2,3	89,4	88,5	0,89	0,88	86	0,04990	120
18,5	25	160L-2	2930	32,4	7,5	60,30	2,2	2,3	90,5	90,2	0,91	0,90	86	0,05500	135
22	30	180M-2	2940	41,0	7,5	71,46	2,0	2,3	90,5	89,9	0,89	0,89	89	0,07500	165
30	40	200LA-2	2950	55,5	7,5	97,12	2,0	2,3	91,4	90,3	0,85	0,83	92	0,12400	217
37	50	200LB-2	2950	67,9	7,5	119,78	2,0	2,3	92,0	91,2	0,89	0,87	92	0,13900	243
45	60	225M-2	2970	82,3	7,5	144,70	2,0	2,3	92,5	90,9	0,89	0,88	92	0,23300	320
55	75	250M-2	2970	100,4	7,5	176,85	2,0	2,3	93,0	91,9	0,86	0,84	93	0,31200	390
75	100	280S-2	2970	134,4	7,5	241,16	2,0	2,3	93,6	93,1	0,90	0,88	94	0,57900	540
90	125	280M-2	2970	160,2	7,5	289,39	2,0	2,3	94,1	93,1	0,90	0,87	94	0,67500	590
110	150	315S-2	2980	195,4	7,1	352,51	1,8	2,2	94,4	93,9	0,90	0,87	96	1,18000	880
132	180	315MA-2	2980	233,2	7,1	423,02	1,8	2,2	94,8	94,3	0,88	0,85	96	1,82000	1000
160	215	315LA-2	2980	265,0	7,1	512,75	1,8	2,2	95,0	94,5	0,91	0,88	99	2,08000	1055
200	270	315LB-2	2980	330,0	7,1	640,94	1,8	2,2	95,0	94,5	0,90	0,88	99	2,38000	1110
250	335	355M-2	2985	411,0	7,1	799,83	1,8	2,2	95,0	94,0	0,90	0,88	103	3,00000	1900
315	423	355L-2	2985	517,0	7,1	100,79	1,8	2,2	95,2	95,2	0,91	0,89	103	3,50000	2300

Anexo 3: recomendaciones para seleccionar la vida útil de cojinetes de Rodamiento **(Shigley, 2005)**

Tipo de aplicación	$L_h \cdot 10^{-3}$
Instrumentos y aparatos de uso frecuente	Hasta 0,5
Motores de Avión	0,5....2
Máquinas para operación breve o intermitente dónde la interrupción del servicio es de poca importancia	4....8
Máquinas para servicio intermitente dónde la operación confiable es de gran importancia	8....14
Máquinas para servicio de 8 horas que no siempre se utilizan plenamente	14....20
Máquinas para servicio de 8 horas que se utilizan plenamente	20....30
Máquinas para servicio continuo las 24 horas	50....60
Máquinas para servicio continuo las 24 horas dónde la confiabilidad es de suma importancia	100.....200

Anexo 4: cojinetes de Rodamiento rígidos de bolas (Shigley, 2005)

d	D	B	C	C _o	Desig.		d	D	B	C	C _o	Desig.
(mm)			(N)	(N)			(mm)			(N)	(N)	
15	24	5	12500	800	61802		45	58	7	4750	3900	61809
	32	8	40500	2260	16002			75	10	12200	9500	16009
	32	9	44000	2250	6002			75	16	16600	12500	6009
	35	11	61000	3600	6202			85	19	26000	19000	6209
	42	13	90000	5500	6302			100	25	41500	30500	6309
17	26	5	1340	930	61803		120	29	60000	46500	6409	
	35	8	4400	2250	16003		50	65	7	4900	4300	61810
	35	10	4750	2850	6003			80	10	12700	10200	16010
	40	12	7500	4550	6203			80	16	17000	13400	6010
	47	14	10600	6700	6303			90	20	27500	20000	6210
	62	17	18000	12000	6403			110	27	48000	36500	6310
20	32	7	2080	1430	61804			130	31	68000	53000	6410
	42	8	5100	3100	16004		55	72	9	6550	5700	61811
	42	12	7350	4550	6004			90	11	15300	12500	16011
	47	14	10000	6300	6204			90	18	22000	17300	6011
	52	15	12500	8000	6304	100		21	34000	25500	6211	
	72	19	24000	17000	6404	120		29	56000	42500	6311	
25	37	7	2320	1730	61805	140		33	78000	64000	6411	
	47	8	5700	3750	16005	60	78	10	6800	6200	61812	
	47	12	8800	5700	6005		95	11	15600	13400	16012	
	52	15	11000	7100	6205		85	18	23200	18600	6012	

	62	17	17600	11600	6305		110	22	37500	28500	6212
	80	21	28000	20000	6405		130	31	64000	49000	6312
30	42	7	2320	1830	61806		150	35	85000	71000	6412
	55	9	8800	6000	16006		85	10	9150	8500	61813
	55	13	10400	6950	6006		100	11	16600	15000	16013
	62	16	15300	10200	6206		100	18	24000	20000	6013
	72	19	22000	15000	6306		120	23	44000	34500	6213
	90	23	34000	24500	6406		140	33	72000	57000	6313
							160	37	93000	80000	6413
35	47	7	2400	2040	61807	65	90	10	9500	9300	61814
	62	9	9650	7100	16007		110	13	22000	19900	16014
	62	14	12500	8650	6007		110	20	30000	25000	6014
	72	17	20000	14000	6207		125	24	48000	38000	6214
	80	21	26000	18300	6307		150	35	81500	64000	6314
	100	25	43000	31500	6407		180	42	112000	106000	6414
40	52	7	2500	2240	61808	70	95	10	9800	10000	61815
	68	9	10400	8000	16008		115	13	22400	20400	16015
	68	15	13200	9500	6008		115	20	31000	26500	6015
	80	18	24000	17000	6208		130	25	52000	41500	6215
	90	23	32000	22800	6308		160	37	88000	73500	6315
	110	27	50000	37500	6408		190	45	120000	118000	6415

Anexo 5: tabla de selección de correas (Shigley, 2005)

Tipo de Correa	Dimensiones				A (mm ²)	Lo (mm)	Lmin (mm)	Lmáx (mm)	dmin (mm)	T ₁ (M ₁) (N·m)	q _m (kg/m)	V _{máx} (m/s)
	bp (mm)	bo (mm)	h (mm)	Yo (mm)								
Z	8.5	10	6	2.1	47	1320	400	2500	63	Hasta 25	0.06	25
A	11	13	8	2.8	81	1700	560	4000	90	11-70	0.10	25
B	14	17	10.5	4	138	2240	800	6300	125	40-190	0.18	25
C	19	22	13.5	4.8	230	3750	1800	10600	200	110-550	0.30	25
D	27	32	19	6.9	476	6000	3150	15000	315	450-2000	0.62	30
E	32	38	23.5	8.3	692	7100	4500	18000	500	1100-4500	0.90	30
F	42	50	30	11	1170	8400	6300	18000	800	>2200		30
SPZ	8.5	10	8	2	56	1600	630	3550	63	Hasta 150	0.07	40
SPA	11	13	10	2.8	95	2500	800	4500	90	90-400	0.12	40
SPB	14	17	13	3.5	158	3550	1250	8000	140	300-1500	0.20	40
SPC	19	22	18	4.8	278	5600	2000	8000	224	>1200	0.37	40

Tipo De Correa	Dimensiones				A (mm ²)	Lo (mm)	Lmin (mm)	Lmáx (mm)	D ₁ min (mm)	T ₁ (M ₁) (N·m)	q _m (kg/m)	V _{máx} (m/s)
	h ₁ (mm)	T (mm)	h (mm)	Z Máx								
“K”	2.15	2.4	4	2/36	7.88	710	400	2000	40	Hasta 40	0.009	50
“L”	4.68	4.8	9.5	4/20	38.112	1600	1250	4000	80	18-400	0.045	50
“M”	9.6	9.5	16.7	4/20	128.25	2240	2000	4000	180	>130	0.16	50

Anexo 6: valores de la potencia básica P_o para diferentes tipos de correa.
(Shigley, 2005)

Tipo de Correa	D1 (mm)	Po (kW)					
		para velocidades de la correa (m/s)					
		5	10	15	20	25	30
Z	63	0.49	0.82	1.03	1.11	-	-
	80	0.62	1.07	1.41	1.6	1.65	-
	100	0.7	1.24	1.67	1.97	2.1	-
A	90	0.84	1.39	1.75	1.88	-	-
	112	1.05	1.82	2.39	2.74	2.82	-
	140	1.23	2.18	2.91	3.44	3.7	-
B	125	1.39	2.26	2.8	-	-	-
	140	1.61	2.7	3.45	3.83	-	-
	180	2.01	3.51	4.66	5.44	5.76	-
C	200	2.77	4.59	5.8	6.33	-	-
	224	3.15	5.35	6.95	7.86	7.95	-
	250	3.48	6.02	7.94	9.18	9.6	-
D	355	6.74	11.4	14.8	16.8	17.1	-
	400	7.54	13	17.2	20	21.1	-
	450	8.24	14.4	19.3	22.5	24.6	-
SPZ	63	1.5	1.8	1.85	-	-	-
	80	2.34	3.06	3.5	3.66	-	-
SPA	90	2.57	-	-	-	-	-
	112	3.72	4.88	5.61	5.84	-	-
	140	4.7	6.3	7.56	8.25	8.43	-

SPB	140	5	6.37	-	-	-	-
	180	6.7	9.05	10.6	11.41	11.5	-
	200	7.3	10	13	14.9	15.1	-
SPC	224	9.4	12.3	14.1	-	-	-
	250	10.6	14.2	16.6	17.6	17.1	-
	280	11.5	16.3	18.7	20.5	20.7	-

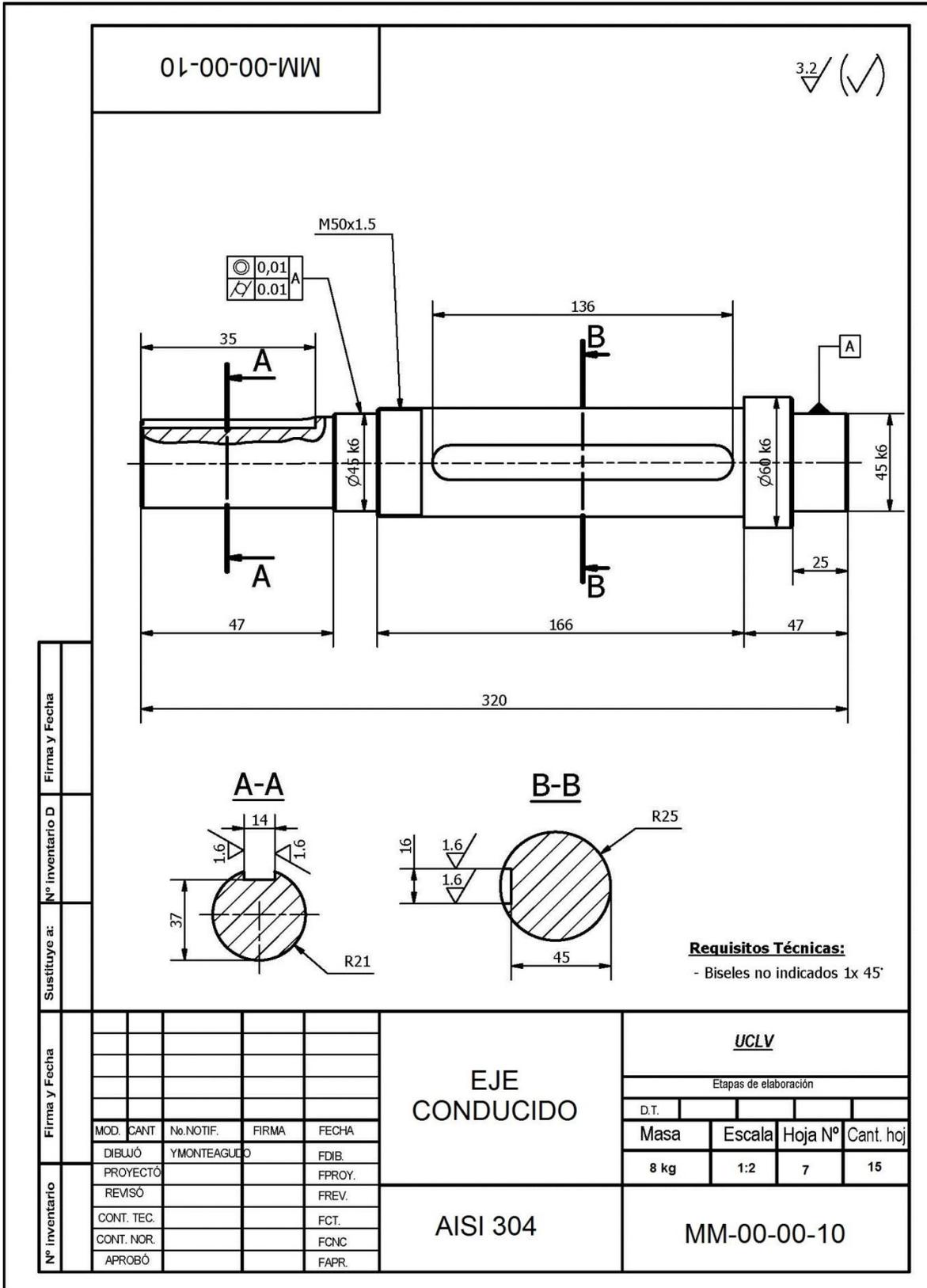
Anexo 7: longitudes normalizadas de las correas (mm). **(Shigley, 2005)**

400	710	1250	2240	4000	7100	12500
450	800	1400	2500	4500	8000	14000
500	900	1600	2800	5000	9000	16000
560	1000	1800	3150	5600	10000	18000
630	1120	2000	3550	6300	11200	

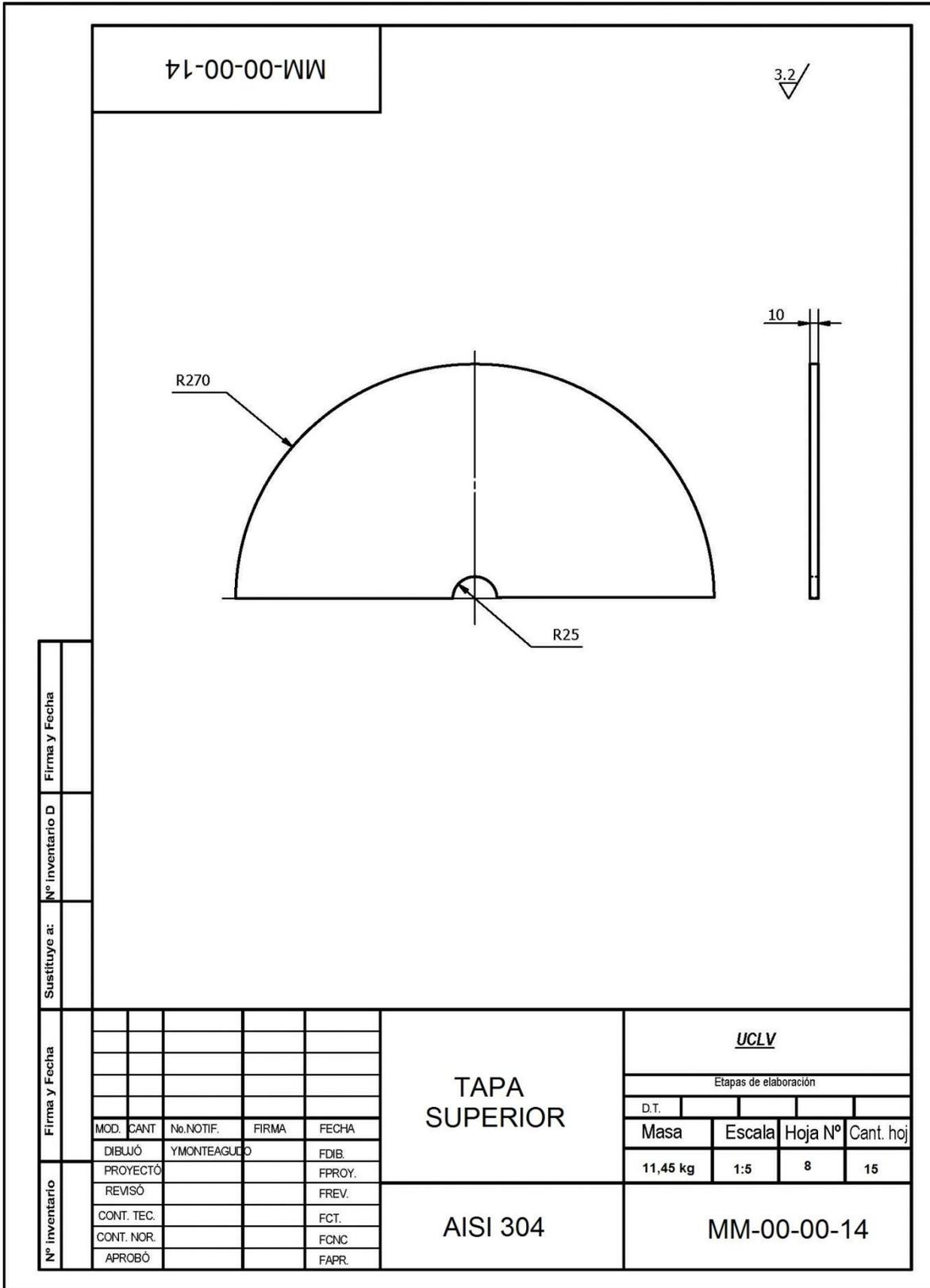
Anexo 8: propiedades del acero ASTM A-36

Tipo	Carbono (C)	Manganeso (Mg)	Fósforo (P)	Azufre (S)	Silicio (Si)	Cobre (Cu)
ASTM A-36	0,26%	No hay	0,04%	0,05%	0,4%	0,2%

Anexo 15: diseño del eje conducido.

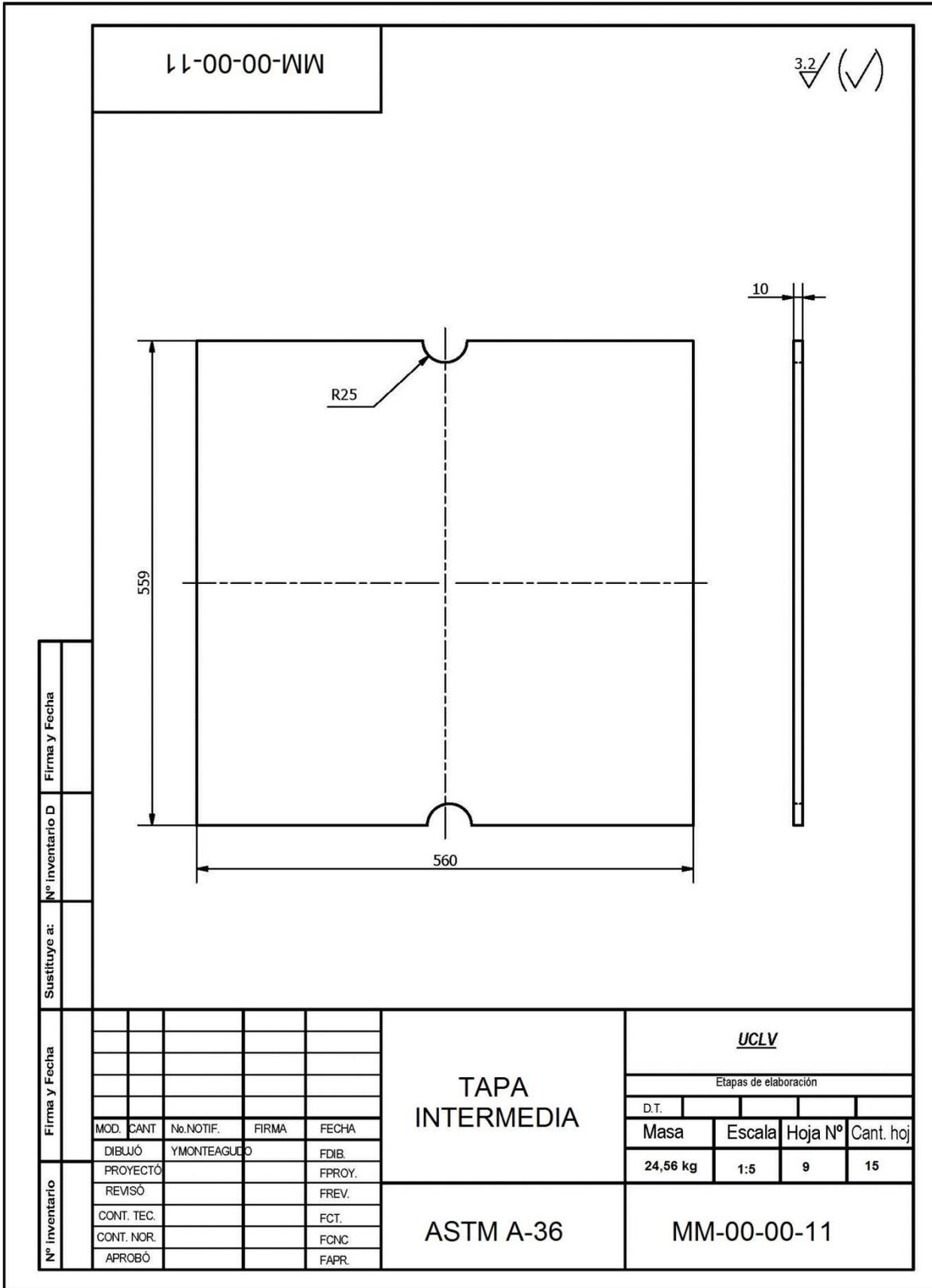


Anexo 16: diseño de la tapa superior.



Firma y Fecha	Sustituye a:				Firma y Fecha	N° inventario D	Firma y Fecha				
	N° inventario										
Firma y Fecha											
N° inventario	MOD.	CANT	No. NOTIF.	FIRMA	FECHA	TAPA SUPERIOR		UCLV Etapas de elaboración D.T. Masa Escala Hoja N° Cant. hoj 11,45 kg 1:5 8 15			
	DIBUJÓ		YMONTEAGUDO		FDIE.						
	PROYECTÓ				FPROY.						
	REVISÓ				FREV.						
	CONT. TEC.				FCT.						
	CONT. NOR.				FCNC.						
APROBÓ				FAPR.							

Anexo 17: diseño de la tapa intermedia.



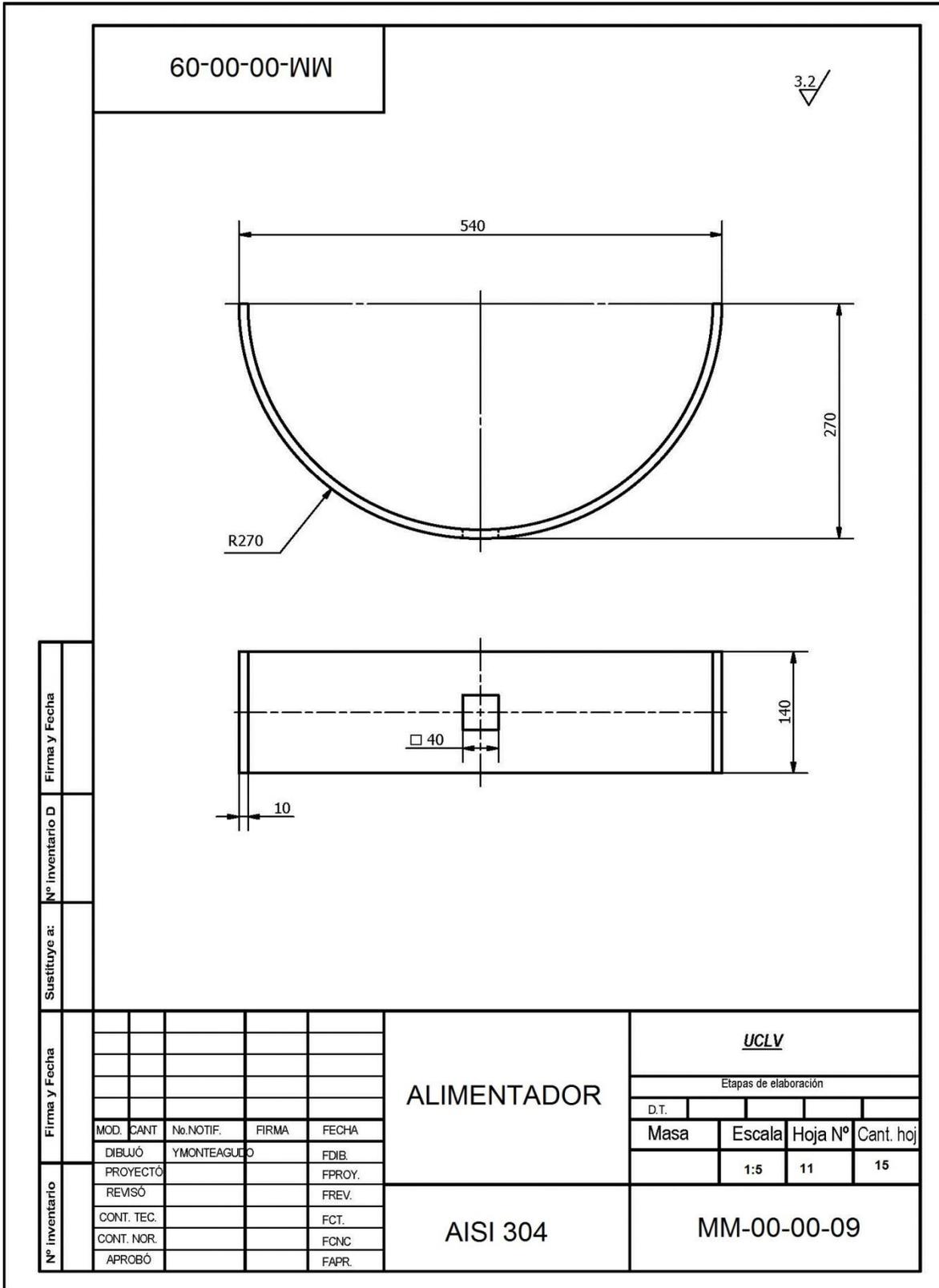
Firma y Fecha	Firma y Fecha
	Nº inventario D
Sustituye a:	
Firma y Fecha	
Nº inventario	

MOD.	CANT.	No. NOTIF.	FIRMA	FECHA
DIBUJO		YMONTEAGUDO		FDIB.
PROYECTO				FPROY.
REVISÓ				FREV.
CONT. TEC.				FCT.
CONT. NOR.				FCNC
APROBÓ				FAPR.

<p>TAPA INTERMEDIA</p>	<u>UCLV</u>			
	Etapas de elaboración			
	D.T.			
	Masa	Escala	Hoja Nº	Cant. hoj
	24,56 kg	1:5	9	15
<p>ASTM A-36</p>	MM-00-00-11			

<u>UCLV</u>			
Etapas de elaboración			
	D.T.		
	Masa	Escala	Hoja Nº
	24,56 kg	1:5	9
			Cant. hoj
			15

Anexo 19: diseño del alimentador



Anexo 22: plano ensamble (componentes externos).

MM-00-00-00PE

Firma y Fecha		Firma y Fecha		N° inventario D		Sustituye a:																																																				
Firma y Fecha		Firma y Fecha		<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 40%;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>MOD.</th> <th>CANT.</th> <th>No. NOTIF.</th> <th>FIRMA</th> <th>FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>DIBUJÓ</td> <td></td> <td>YMONTEAGUDO</td> <td></td> <td>FDIB.</td> </tr> <tr> <td>PROYECTÓ</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>FPROY.</td> </tr> <tr> <td>REVISÓ</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>FREV.</td> </tr> <tr> <td>CONT. TEC.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>FCT.</td> </tr> <tr> <td>CONT. NOR.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>FCNC</td> </tr> <tr> <td>APROBÓ</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>FAPR.</td> </tr> </tbody> </table> </div> <div style="width: 30%; text-align: center;"> <p>COMPONENTES EXTERNOS</p> </div> <div style="width: 20%; text-align: center;"> <p>ASTM A-36</p> </div> </div>				MOD.	CANT.	No. NOTIF.	FIRMA	FECHA						DIBUJÓ		YMONTEAGUDO		FDIB.	PROYECTÓ				FPROY.	REVISÓ				FREV.	CONT. TEC.				FCT.	CONT. NOR.				FCNC	APROBÓ				FAPR.	<p><u>UCLV</u></p> <p style="font-size: small;">Etapas de elaboración</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>D.T.</th> <th>Masa</th> <th>Escala</th> <th>Hoja N°</th> <th>Cant. hoj</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">14</td> <td style="text-align: center;">15</td> </tr> </tbody> </table>	D.T.	Masa	Escala	Hoja N°	Cant. hoj				14	15
MOD.	CANT.	No. NOTIF.	FIRMA	FECHA																																																						
DIBUJÓ		YMONTEAGUDO		FDIB.																																																						
PROYECTÓ				FPROY.																																																						
REVISÓ				FREV.																																																						
CONT. TEC.				FCT.																																																						
CONT. NOR.				FCNC																																																						
APROBÓ				FAPR.																																																						
D.T.	Masa	Escala	Hoja N°	Cant. hoj																																																						
			14	15																																																						
N° inventario		MM-00-00-00PE																																																								

