

INFORME TÉCNICO DE RESIDENCIA PROFESIONAL

CARRERA

ING. MECÁNICA

DEPARTAMENTO

METAL-MECÁNICA

PROYECTO

“DISEÑO DE MOLINO PARA REDUCCIÓN DE MUESTRAS ÚTILES PARA SU ANÁLISIS EN EL LABORATORIO DE BIOTECNOLOGÍA”

**COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
INGENIERO MECÁNICO**

PRESENTA

JOSE GABRIEL JIMENEZ SANCHEZ

No. DE CONTROL

12270068

ASESOR INTERNO

ING. RUTILO MORALES ALVAREZ

PERIODO ENERO – JUNIO 2017

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 6 |
| 2. JUSTIFICACIÓN..... | 7 |
| 3. OBJETIVOS..... | 8 |
| 4. ANTECEDENTES..... | 9 |
| 4.1. Generalidades del proceso de molienda..... | 9 |
| 4.2. Tipos de molino..... | 9 |
| 4.2.1. Concepto de molino..... | 9 |
| 4.2.2. Molino de rulos y muelas..... | 10 |
| 4.2.3. Molino de discos..... | 10 |
| 4.2.4. Molino de bolas (<i>Ball Mill</i>)..... | 11 |
| 4.2.5. Molino de barras (<i>Rod Mill</i>)..... | 12 |
| 4.2.6. Molino de martillos..... | 14 |
| 4.2.7. Molino de rodillos..... | 15 |
| 5. ANÁLISIS DE MATERIA PRIMA..... | 17 |
| 5.1. Grano de maíz..... | 17 |
| 5.2. Planta de canavalia..... | 27 |
| 5.2.1. Aplicaciones de la planta de canavalia..... | 28 |
| 5.2.1.1. Fijadora de nitrógeno atmosférico..... | 28 |
| 5.2.1.2. Cobertura y abono verde..... | 29 |
| 5.2.1.3. Forraje (hojas y semillas)..... | 30 |
| 5.2.2. Usos industriales..... | 30 |
| 5.2.2.1. Uso como suplemento alimenticio en animales productores de leche. | 31 |
| 5.2.3. Uso en animales de engorda..... | 31 |
| 5.3. El olote de maíz..... | 31 |
| 5.3.1. Aplicación industrial del olote..... | 36 |
| 5.4. Bagazo de caña de azúcar..... | 37 |
| 5.4.1. Estructura..... | 38 |
| 5.4.2. Aplicaciones..... | 39 |
| 5.5. Prueba Charpy..... | 40 |

| | |
|--|----|
| 5.5.1. Resultados obtenidos de la prueba experimental con la maquina Charpy..... | 42 |
| 6. SELECCIÓN DEL TIPO DE MOLINO A DISEÑAR..... | 43 |
| 7. DISEÑO DE COMPONENTES..... | 44 |
| 7.1. Capacidad de molienda y número de martillos..... | 44 |
| 7.2. Cálculo de la velocidad tangencial del martillo..... | 47 |
| 7.3. Cálculo de aceleración angular del sistema de corte..... | 50 |
| 7.4. Cálculo de la fuerza de cote del martillo..... | 51 |
| 7.5. Diseño de martillos..... | 58 |
| 7.5.1. Simulación mediante software de diseño..... | 61 |
| 7.5.1.1. Análisis de martillo móvil..... | 61 |
| 7.5.1.1.2. Análisis de martillo fijo..... | 64 |
| 7.6. Diseño de disco porta martillos..... | 67 |
| 7.6.1 Análisis mediante software de diseño..... | 69 |
| 7.7. Diseño de bujes separadores..... | 72 |
| 7.8. Diseño del perno del martillo..... | 72 |
| 7.9. Diseño de eje o flecha principal..... | 79 |
| 7.10. Diseño de tolvas..... | 80 |
| 7.10.1. Tolva de alimentación..... | 80 |
| 7.10.2. Tolva de contención..... | 82 |
| 7.10.2.1. Análisis mediante software de diseño..... | 83 |
| 7.10.3. Tolva de descarga..... | 85 |
| 7.10.3.1. Análisis mediante software de diseño..... | 86 |
| 7.11. Diseño del marco o chasis principal..... | 88 |
| 7.11.1. Análisis mediante software de diseño..... | 89 |
| 7.12. Diseño de componentes secundarios..... | 91 |
| 7.12.1. Eje para colocación de llantas..... | 91 |
| 7.12.1.1. Análisis mediante software de diseño..... | 91 |
| 7.12.2. Polea de transmisión..... | 94 |
| 7.12.3. Diseño de cuña..... | 94 |
| 7.12.3.1. Análisis mediante software de diseño..... | 95 |

| | |
|---|-----|
| 7.12.4. Diseño de chumaceras o sujetadores del eje principal..... | 97 |
| 7.12.5. Llantas..... | 97 |
| 7.12.6. Criba o rejilla..... | 98 |
| 7.12.6.1. Análisis mediante software de diseño..... | 99 |
| 7.12.7. Base o placa móvil del motor..... | 101 |
| 7.12.7.1. Análisis mediante software de diseño..... | 101 |
| 7.12.8. Perno para unión de tolva de contención y descarga..... | 104 |
| 7.12.8.1. Análisis mediante software de diseño..... | 104 |
| 7.12.9. Placa o base fija del motor..... | 107 |
| 7.12.10. Eslabón o placa unión del mecanismo de tensión de banda..... | 107 |
| 7.12.10.1. Análisis mediante software de diseño..... | 108 |
| 7.12.11. Placa para accionar el mecanismo de banda..... | 110 |
| 7.12.11.1. Análisis mediante software de diseño..... | 111 |
| 7.12.12. Placa de retención de materia prima y placa complementaria..... | 112 |
| 7.12.12.1. Análisis mediante software de diseño..... | 112 |
| 7.12.13. Tubos de sujeción..... | 114 |
| 7.12.14. Perno para cerrado de cámara de molienda..... | 117 |
| 7.12.14.1. Análisis mediante software de diseño..... | 118 |
| 7.12.15. Tornillo para cierre de cámara de molienda..... | 120 |
| 7.12.16. Rondana plana para cierre de cámara de molienda..... | 121 |
| 7.12.17. Soporte para tubos de sujeción..... | 121 |
| 7.12.17.1. Análisis mediante software de diseño..... | 122 |
| 7.12.18. Perno para tubo de sujeción..... | 125 |
| 7.12.18.1. Análisis mediante software de diseño..... | 125 |
| 7.12.19. Perno para mecanismo de la base del motor..... | 128 |
| 7.12.19.1. Análisis mediante software de diseño..... | 128 |
| 7.12.20. Puño o empuñadura del tubo de sujeción..... | 130 |

| | |
|---|-----|
| 8. ENSAMBLAJE DE COMPONENTES..... | 131 |
| 8.1. Ensamblado de los elementos de corte..... | 131 |
| 8.1.2. Análisis de elementos de corte mediante software de diseño..... | 132 |
| 8.2. Ensamblaje general del equipo mecánico..... | 135 |
| 9. CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR..... | 136 |
| 9.1. Presentación de motores a gasolina del mercado local..... | 137 |
| 10. RECOMENDACIONES..... | 140 |
| 10.1. Tornillos, tuercas, arandelas, chavetas y pernos especiales..... | 140 |
| 10.2. Banda de transmisión de potencia..... | 140 |
| 10.3. Cribado de la materia prima..... | 141 |
| 10.4. Uso del equipo (molino)..... | 141 |
| 10.5. Mantenimiento preventivo del motor..... | 141 |
| 10.6. Fabricación y ensamblado..... | 141 |
| 11. CONCLUSIÓN..... | 141 |
| 12. REFERENCIAS..... | 143 |

1. INTRODUCCIÓN.

El presente trabajo surge por la necesidad de obtener muestras de pequeño tamaño para su posterior análisis en el laboratorio de biotecnología, por lo que se emprende el diseño de una máquina que satisfaga las demandas, como reducir el tamaño de partículas a dimensiones de dos a tres milímetros a la salida, así también de facilidad de operación para los usuarios.

En el punto 5 se presenta la materia a procesar por ello se analizan parámetros como las dimensiones adecuadas para que sea compacto y de una potencia razonable, acorde a los materiales que se procesan. Con ayuda del software se analiza que sea confiable y duradero.

Para ello se investigan diversos métodos de molienda con el fin de seleccionar el más adecuado según el tipo de material a moler y el uso del mismo.

Luego en el punto 6 se continúa con la utilización del software para el diseño, modelado y el posterior ensamblado de cada componente esto acorde con los cálculos realizados. No descartando en esto los costos del material, ya que se pretende que con el diseño concluido se pueda proceder a su fabricación por ello se enfatiza en la simplicidad del diseño.

2. JUSTIFICACIÓN.

La ingeniería mecánica es un campo muy amplio de la ingeniería que implica el uso de los principios físicos para el análisis, diseño, fabricación y mantenimiento de sistemas mecánicos. Tradicionalmente, ha sido la rama de la Ingeniería que mediante la aplicación de los principios físicos ha permitido la creación de dispositivos útiles, como utensilios y máquinas.

Los ingenieros mecánicos usan principios como el calor, la fuerza y la conservación de la masa y la energía para analizar sistemas físicos estáticos y dinámicos, contribuyendo a diseñar objetos como automóviles, aviones y otros vehículos. También los sistemas de enfriamiento y calentamiento, equipos industriales y maquinaria de guerra pertenecen a esta rama de la ingeniería.

Actualmente en el laboratorio de biotecnología de la institución no se cuenta con una máquina que tome la materia prima vegetal de tamaño considerable y la reduzca a dimensiones de unos cuantos milímetros para poder ser analizada con instrumentos de laboratorio tales como: el microscopio, los medidores de PH, las probetas y las cajas de Petri.

La realización de este proyecto se justifica principalmente por ser un diseño lo cual requiere criterios y parámetros importantes de ingeniería, de modo que se obtenga una máquina de óptimo funcionamiento y fácil mantenimiento. En segundo punto la institución contara con una referencia para la fabricación o construcción del equipo con el cual podrá realizar diversas prácticas correspondientes al área de biotecnología. Y como tercer punto se reafirman y se aplican conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera de ingeniería mecánica.

3. OBJETIVOS DEL PROYECTO.

General

Diseñar un molino que permita obtener partículas de un tamaño de dos a tres milímetros de materia prima seca, para utilizar como muestra en el laboratorio de biotecnología.

Específicos

- Determinación de las medidas del equipo para su efectivo uso, de acuerdo con tipo y tamaño de la materia prima (muestras vegetales).
- Elegir el tipo de sistema de corte necesario para el tamaño de partícula requerida.
- Modelado del equipo mediante software especializado (solidworks).
- Calcular la potencia del elemento motriz necesaria para la reducción de partículas.
- Realizar una simulación de ensamblado y funcionamiento del equipo mecánico.

4. ANTECEDENTES

4.1. Generalidades del proceso de molienda.

La molienda es una operación de reducción de tamaño de rocas y minerales de manera similar a la trituración. Los productos obtenidos por molienda son más pequeños y de forma más regular que los surgidos de trituración. Generalmente se habla de molienda cuando se tratan partículas de tamaños inferiores a 1" (1" = 2.54 cm) siendo el grado de desintegración mayor al de trituración.

Se utiliza fundamentalmente en la fabricación de cemento Portland, en la preparación de combustibles sólidos pulverizados, molienda de escorias, fabricación de harinas, alimentos balanceados, etc. Además se utiliza en la concentración de minerales ferrosos y no ferrosos, donde se muele la mena previamente extraída de canteras y luego se realiza un proceso de flotación por espumas para hacer flotar los minerales y hundir la ganga y así lograr la separación.

En cada uno de estos casos, se procesan en el mundo, alrededor de 2.000 millones de toneladas por año.

4.2. Tipos de molinos

4.2.1. Concepto de molino. Se llaman así a las máquinas en donde se produce la operación de molienda. Existen diversos tipos según sus distintas aplicaciones, los más importantes son:

- De Rulos y Muelas.
- De Discos.
- De Bolas.
- De Barras.
- Martillos
- De Rodillos.

4.2.2. Molino de rulos y muelas.

Las de Rulos y Muelas consisten en una pista similar a un recipiente de tipo balde, y un par de ruedas (muelas) que ruedan por la pista aplastando al material. En la antigüedad, para brindar la fuerza necesaria para hacer rodar las muelas por la pista se empleó la molienda manual o impulsada por animales. Más tarde este método fue reemplazado por el molino de viento, donde las aspas del mismo captan y transforman la energía eólica en energía mecánica. Por medio de un sistema de engranajes adecuado se genera el movimiento necesario para moler el grano. Así es como se obtenía en la antigüedad la harina a partir de cereales.



Figura 1. Molino de muelas impulsado por un animal.



Figura 2. Molino de muelas de viento.

4.2.3. Molino de discos.

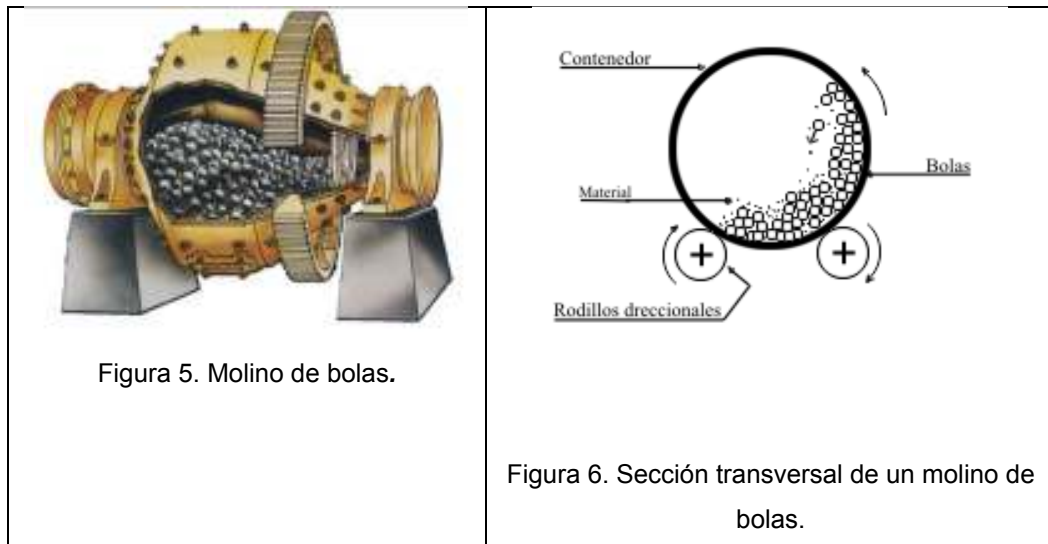
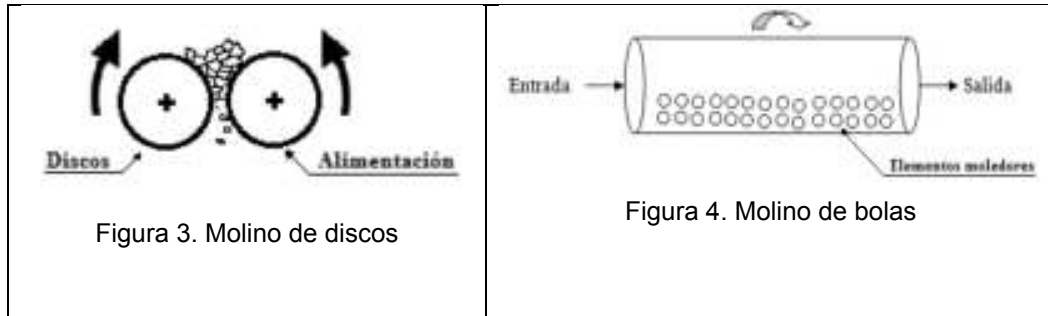
Consiste en dos discos, lisos o dentados, que están enfrentados y giran con velocidades opuestas; el material a moler cae por gravedad entre ambos. Actualmente no se utiliza. Este tipo de molinos ha ido evolucionando hacia el molino que hoy conocemos como molino de rodillos.

4.2.4. Molino de bolas (*Ball Mill*).

Los más utilizados en el ámbito industrial son: los de Bolas y Barras, y los de Rodillos. Esquemáticamente, los dos primeros mencionados pueden concebirse como un cilindro horizontal que gira alrededor de su eje longitudinal, conteniendo en su interior elementos moledores, los cuales se mueven libremente; el material a moler ingresa por un extremo del cilindro, es molido por fricción y percusión de los elementos moledores y sale por el extremo opuesto con un tamaño menor. Los cuerpos de molienda son grandes y pesados con relación a las partículas de mena.

El molino de Bolas, análogamente al de Barras, está formado por un cuerpo cilíndrico de eje horizontal, que en su interior tiene bolas libres. El cuerpo gira merced al accionamiento de un motor, el cual mueve un piñón que engrana con una corona que tiene el cuerpo cilíndrico.

Las bolas se mueven haciendo el efecto “de cascada”, rompiendo el material que se encuentra en la cámara de molienda mediante fricción y percusión. El material a moler ingresa por un extremo y sale por el opuesto. Existen tres formas de descarga: por rebalse (se utiliza para molienda húmeda), por diafragma, y por compartimentado (ambas se utilizan para molienda húmeda y seca).



4.2.5. Molino de barras (*Rod Mill*)

El molino de Barras está formado por un cuerpo cilíndrico de eje horizontal, que en su interior cuenta con barras cilíndricas sueltas dispuestas a lo largo del eje, de longitud aproximadamente igual a la del cuerpo del molino. Éste gira gracias a que posee una corona, la cual está acoplada a un piñón que se acciona por un motor generalmente eléctrico.

Las barras se elevan, rodando por las paredes del cilindro hasta una cierta altura, y luego caen efectuando un movimiento que se denomina “de cascada”. La rotura del material que se encuentra en el interior del cuerpo del cilindro y en contacto con las barras, se produce por frotamiento (entre barras y superficie del cilindro, o entre barras), y por percusión (consecuencia de la caída de las barras desde cierta altura).

El material ingresa por el eje en un extremo del cilindro, y sale por el otro extremo o por el medio del cilindro, según las distintas formas de descarga: por rebalse (se emplea en molienda húmeda), periférica central, y periférica final (ambas se emplean tanto en molienda húmeda como en seca).

El cuerpo cilíndrico se construye con chapas de acero curvadas y unidas entre sí por soldadura eléctrica. La cabeza o fondo del cilindro se construye en acero moldeado o fundición, y es de forma ligeramente abombada o cónica. Habitualmente los ejes o muñones están fundidos con la cabeza pero también pueden estar ensamblados con bridas atornilladas. Los muñones apoyan sobre cojinetes, uno en cada extremo.

La parte cilíndrica, los fondos y la cámara de molienda, están revestidos interiormente por placas atornilladas de acero al manganeso o al cromo-molibdeno. Las caras internas del molino consisten de revestimientos renovables que deben soportar impacto, ser resistentes a la abrasión y promover el movimiento más favorable de la carga. Las barras generalmente, son de acero al carbono y su desgaste es alrededor de cinco veces mayor al de los revestimientos, en las mismas condiciones de trabajo.

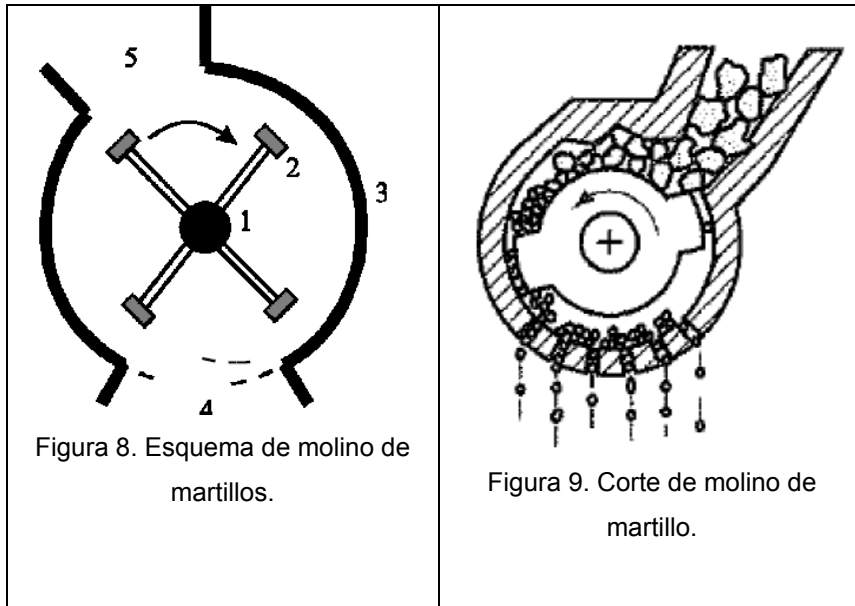


Figura 7. Molino de barras con descarga por rebalse.

4.2.6. Molino de martillos.

El molino de martillos actúa por efecto de impacto sobre el material a desintegrar. En la Figura 8 puede verse un esquema del molino, el cual cuenta con una cámara de desintegración (3), con una boca de entrada del material en la parte superior (5) y una boca de descarga cerrada por una rejilla (4). En el interior de la cámara hay un eje (1), que gira a gran velocidad y perpendicularmente a él van montados articuladamente los elementos de percusión (martillos) (2) los cuales por la fuerza centrífuga que se genera al girar el eje, se posicionan perpendicularmente en posición de trabajo. El material a moler ingresa por la boca de entrada (5) y por gravedad cae al interior de la cámara de desintegración, donde es golpeado por los martillos. Seguidamente choca contra la cámara de desintegración y nuevamente es golpeado por los martillos. Esto ocurre sucesivamente hasta que alcanza un tamaño tal que puede pasar por la rejilla de la descarga (4). El tamaño de salida de los materiales triturados puede variarse cambiando la rejilla de salida.

Los molinos de martillos se usan para triturar y pulverizar materiales que no sean demasiados duros o abrasivos.



4.2.7. Molino de rodillos.

Es muy utilizado en las plantas de molienda de cemento (vía seca). El molino consta de tres rodillos moledores grandes, los cuales son mantenidos a presión por medio de cilindros hidráulicos, sobre un mecanismo giratorio con forma de disco sobre el que existe una huella. El material a moler se introduce a través de una boca de alimentación ubicada al costado de la estructura principal, y cae directamente en las huellas de molido (pistas).

A medida que el material es molido por los rodillos, se va desplazando por fuerza centrífuga, hacia los bordes del sistema giratorio, ubicándose en el perímetro. Simultáneamente, una corriente lateral de gas caliente entra fuertemente a la zona de molido a través de un anillo que la rodea; por su acción, el material molido es levantado hacia la zona superior de la caja y el producto de medida aceptable pasa a través de un clasificador hacia una puerta de descarga. El material con medida superior, cae nuevamente a la zona de molido para un molido “adicional” y así lograr la reducción requerida. Este molino admite materiales de alimentación de hasta 50 mm (2”) y tiene una capacidad de molienda entre 50 y 100 tn/hora; hay unidades

que admiten tamaños de alimentación mayores y por ende tienen mayores capacidades de producción. El consumo de energía es de alrededor del 50% de la energía consumida por un molino de Bolas que realice un trabajo equivalente.

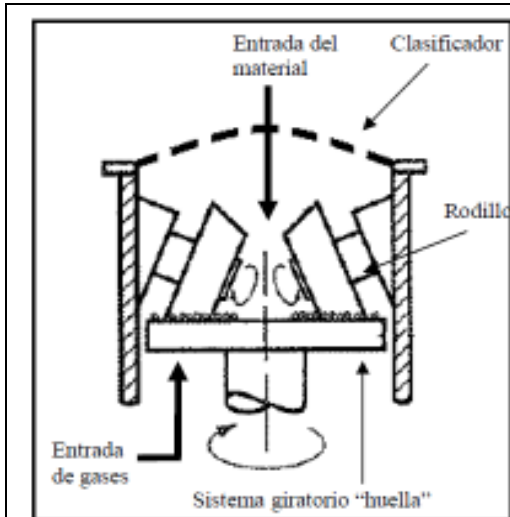


Figura 10. Esquema de molino de rodillos.

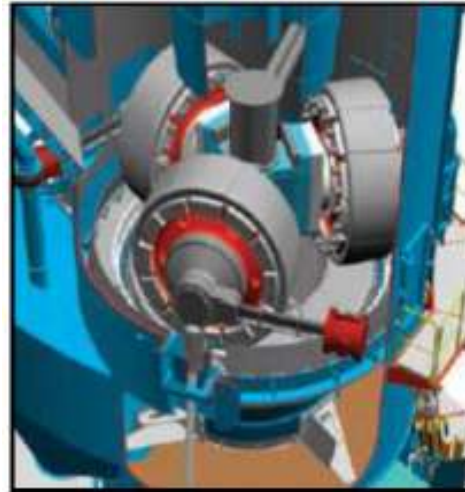
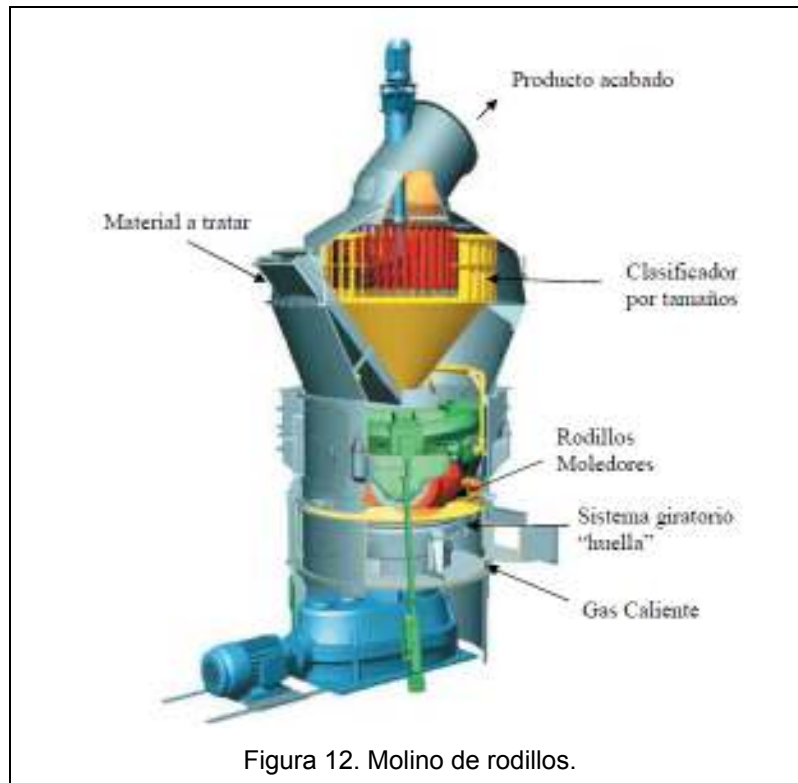


Figura 11. Sistema giratorio "huella" y rodillos.



5. ANÁLISIS DE LA MATERIA PRIMA.

5.1. Grano de maíz.

Gran parte de la diversidad genética del maíz (*Zea mays* L.) está concentrada en el continente Americano y principalmente en México. El maíz es consumido en esas zonas geográficas en múltiples formas, como tortillas, arepas, pinoles, atoles, tostadas, botanas, tamales, elotes y otros muchos alimentos (Figuerola et al., 2005). La elaboración de estos productos requiere de granos con características específicas, las cuales son identificadas con base en características externas, tales como color, tamaño y dureza. Adicionalmente, el grano de maíz puede ser empleado en muchos tipos de industrias, como la textil, química, de cosméticos y alimentaria (Rooney et al., 2003), de las cuales la industria alimentaria es más importante que las otras debido a que existen tantas maneras de elaborar los productos como la variabilidad genética lo permite. Por ejemplo, el almidón de maíz

puede ser usado en la industria de alimentos como espesante, estabilizador, agente formador de gel, y como agente encapsulador (Schoch, 1970).

En México la mayor parte de los agricultores que cultivan maíz lo destinan al autoconsumo. Estos agricultores utilizan todavía variedades locales y generalmente ellos mismos se encargan de producir su semilla. Se estima que debido a esta situación la superficie sembrada con variedades mejoradas e híbridos en México es de apenas 20 % aproximadamente (Morris y López-Pereira, 2000). Debido a lo anterior, es todavía posible obtener variedades criollas de maíz propias de la región y evaluar su potencial de industrialización.

Según Mauricio et al. (2004), entre las propiedades importantes para la clasificación del uso alimentario del maíz en México están el tamaño del grano, su gravedad específica y su dureza, así como su capacidad de absorción de agua y rendimiento de masa, rendimiento de tortilla, la pérdida de peso durante la cocción de la tortilla y la resistencia al corte de la tortilla. El color del grano de maíz varía ampliamente entre genotipos, y aunque no se considera una propiedad importante para su uso alimentario, influye considerablemente en la preferencia del consumidor (Mauricio et al., 2004; Aragón et al., 2012).

Además, Mauricio et al. (2004) Reportaron diferencias significativas entre grupos raciales para todas las características del grano, así como entre razas dentro de grupos; si bien no encontraron diferencias significativas entre grupos raciales para variables de rendimiento y de calidad tortillera, pero sí las detectaron entre razas dentro de grupos en cuanto a capacidad de absorción de agua, pérdida de peso y la fuerza de corte.

Tabla 1. Clasificación de las razas mexicanas de maíz.

| Grupo racial | Nombre de la raza |
|--|---|
| Razas Indígenas Antiguas | Palomero Toluqueño (1); Arrocillo Amarillo (1); Chapalote (1); Nal-Tel (1). |
| Exóticas Precolombinas | Cacahuacintle (1); Harinoso de Ocho (1); Sub-Raza Elotes Occidentales (3,*); Olotón; Maíz Dulce (1). |
| Razas Mestizas-Prehistóricas | Cónico (1); Reventador (1); Tabloncillo (1); Tehua (1); Tepecintle (1); Comiteco (1); Jala (1); Zapalote Chico (1); Zapalote Grande (1); Pepitilla (1); Olotillo (1); Subraza: Dzit-Bacal (3); Tuxpeño (1); Vandeño (1). |
| Modernas Incipientes | Chalqueño (1); Celaya (1); Cónico Norteño (1); Bolita (1). |
| Razas No bien Definidas | Conejo (*); Mushito (6); Complejo Serrano de Jalisco (4); Zamorano Amarillo (6); Maíz Blando de Sonora (6); Onaveño (4); Dulcillo del Noroeste (6). |
| Razas no clasificadas en alguno de los grupos propuestos | Azul (2); Apachito (2); Tablilla de Ocho (2); Gordo (2); Tuxpeño Norteño (5); Bofó (2); Onaveño (4); Coscomatepec (5, 6); San Juan (7); Carmen (7); Cónico Mushito (*); Tablón-Cónico Norteño (*); Conejo Vandeño (*); Blandito (6); Blandito Gordo (*); Cristalino de Chihuahua (5); Cristalino de Chihuahua-Tablón (*); Azul-Bofo (*); Chalqueño-Elotes Cónicos (*); Cónico-Norteño-Bofo (*); Ancho-Olotillo (*); Olotón-Bolita (*); Cónico-Bolita (*); Cónico-Cacahuacintle (*); Tunicado (*); Maizón (8); Xmehenal (**); Tablón-Perla (5); Lady Finger (**); Clavillo (**); Fasciador (**); Ratón (5); Palomero de Chihuahua (5); Chatino Maizón (8); Mixeño (8); Choapaneco (8); Mixteco (8); Serrano Mixe (8). Motozinteco (5, 6); Elotero de Sinaloa (5, 6). |

1. Razas definidas por Wellhausen *et al.* (1952); 2. Razas definidas por Hernández X. y Alanís (1970); 3. Subrazas, según Wellhausen *et al.* (1952); 4. Razas No Bien Definidas, según Wellhausen *et al.* (1952); 5. Razas descritas por Ortega-Paczka (1985) Variedades y razas mexicanas de maíz y su evaluación en cruzamientos con líneas de clima templado como material de partida para fitomejoramiento. Tesis de grado Ph.D. Leningrado, URSS. 22 p.; 6. Razas descritas por Sánchez-González (1989) Relationships among the Mexican races of maize. Unpublished Ph.D. dissertation, North Carolina State University, Raleigh. 187 p.; 7. Razas descritas por Ortega-Paczka y Barajas (1994); 8. Razas descritas por Benz (1986); *Maíz proveniente de la cruce de dos razas. **Razas no clasificadas en alguno de los grupos propuestos.

Tabla 2. Propiedades físicas y químicas de los maíces nativos de México.

| Grupo racial | Largo (mm) | ancho (mm) | Espesor (mm) | PMG (gr) | Fuerza de corte (kgf) | GS (gml ⁻¹) | CAA | PP | RT |
|------------------------|------------|------------|--------------|----------|-----------------------|-------------------------|------|-------|------|
| Indígenas Antiguas | 10.1 | 6.7 | 5 | 186.6 | 12.8 | 1.2767 | 1.08 | 29.74 | 1.46 |
| Exóticas precolombinas | 10.2 | 10.0 | 5.5 | 343.7 | 9.4 | 1.1257 | 1.19 | 31.30 | 1.51 |
| Mestizas-prehistóricas | 11.4 | 9.0 | 4.9 | 306.7 | 11.0 | 1.1973 | 1.45 | 31.50 | 1.45 |
| Modernas incipientes | 12.8 | 7.5 | 4.8 | 330.7 | 12.9 | 1.2133 | 1.40 | 32.98 | 1.40 |
| No bien definidas | 10.9 | 8.4 | 4.5 | 260.4 | 11.8 | 1.1760 | 1.43 | 33.04 | 1.43 |

GS=gravedad específica; CAA capacidad de absorción de agua, en Kg de agua por Kg de harina; PP=pérdida de peso durante el cocimiento de la tortilla, en % del peso inicial; RT=rendimiento de tortilla, en Kg de tortilla por Kg de harina PMG.

Razas Indígenas Antiguas. Este grupo incluye a las siguientes razas: Palomero Toluqueño, Arrocillo Amarillo, Chapalote y Nal-Tel (**Tabla 1**). Las cuatro razas tuvieron un desarrollo independiente en diferentes localidades y ambientes, pero con ciertas características en común, como el endospermo duro típico del maíz palomero y de los maíces de mazorcas pequeñas (Mauricio et al., 2004). Todas estas razas, como su ancestro, producen granos reventadores y por ello se usan para elaborar palomitas o rosetas (**Tabla 3**).

Existen dos sub-razas del Palomero Toluqueño: Palomero Poblano con mazorcas cónicas y grano puntiagudo de textura suave, a diferencia del Palomero Toluqueño que tiene endospermo córneo, diferencia que permite suponer una relación intermedia entre Palomero Toluqueño y Pepitilla; y el Palomero Jalisciense cuyas mazorcas son menos cónicas que el Palomero Poblano (Wellhausen et al., 1952; Romero et al., 2005).

Con estos maíces también se pueden elaborar tortillas, pero éstas no presentan texturas suaves (Romero et al., 2005). No obstante, Vázquez et al. (2010) Han reportado usos para tortilla en las razas Arrocillo y Palomero Toluqueño del Altiplano y Valle del Mezquital de Hidalgo, mediante variaciones en procedimientos que

permiten modificar la calidad de nixtamal, masa y tortilla, aunque la mayoría de estos granos mantiene valores bajos de humedad y de rendimiento de tortilla; por ejemplo, la raza Palomero Toluqueño presenta uno de los más altos porcentajes de pérdida de sólidos en el grupo estudiado.

Razas Exóticas Precolombinas. Las razas que pertenecen a este grupo son: Cacahuacintle, Harinoso de Ocho, Olotón y Maíz Dulce (**Tabla 1**). Se caracterizan por tener granos largos con endospermo harinoso de color blanco y textura suave (**Tabla 3**). Se usan para preparación de platillos mexicanos tradicionales, como pozoles, elotes (mazorcas inmaduras), atoles (bebidas espesas) y tortillas (Mauricio et al., 2004; Vázquez et al., 2010).

Cacahuacintle es una raza sui generis para elaborar pozoles y elotes debido a su rápido cocimiento, textura suave y firme del producto, además de alto rendimiento de pozole. Elotes occidentales es una subraza de color morado del altiplano de Jalisco relacionada con la raza Harinoso de Ocho (Wellhausen et al., 1952). Esta sub-raza es muy apreciada por su sabor dulce en elotes asados, elotes cocidos, atoles coloreados, pinole (granos tostados y molidos) y también para pozole (Figuroa et al., 2005; Ron et al., 2006). La raza Maíz Dulce se emplea en pinole, ponteduro (bolas de granos tostados y esponjados unidos con jarabe), sopas y caldos (Figuroa et al., 2005; Ron et al., 2006).

Razas Mestizas-Prehistóricas. Estas razas se formaron del entrecruzamiento de las Indígenas Antiguas y las Exóticas Precolombinas, con introgresión del teocintle, especialmente *Z. mays* L. ssp. *parviglumis* y *Z. mays* L. ssp. *Mexicana* (Wellhausen et al., 1952; Aragón et al., 2006). Se denominan Prehistóricas porque no existe evidencia histórica de su origen y no es seguro de que todas sean precolombinas, ya que varias de éstas pudieron haberse originado como consecuencia de las migraciones de los primeros colonizadores. Hasta ahora sólo se han reconocido trece razas de este grupo: Cónico, Reventador, Tabloncillo, Tehua, Tepecintle, Comiteco, Jala, Zapalote Chico, Zapalote Grande, Pepitilla, Olotillo, Tuxpeño y Vandefío.

Según Mauricio et al. (2004), este grupo racial está conformado por una mayoría de razas de buena calidad tortillera, como Cónico, Jala, Olotillo, Tepecintle, Tuxpeño Norteño, Vandefío y Zapalote Chico (**Tabla 3**). La buena calidad tortillera de las razas Pepitilla y Tuxpeño ha sido confirmada por varios autores (Vázquez et al., 1990; Vázquez et al., 2010; Antuna et al., 2008). El elevado porcentaje de germen (12.0 a 15.1 %) en el grano de la raza Pepitilla (Aragón et al., 2006), le confiere mayor suavidad a la tortilla. Algunas razas del grupo Mestizas Prehistóricas pueden tener otros usos, como el caso de las razas Comiteco, Tehua y Reventador que también se usan para elaborar palomitas. Por su baja dureza de grano y alto contenido de azúcares simples, la raza Jala se ha propuesto para el consumo en elotes (Valdivia-Bernal et al., 2010).

Razas Modernas Incipientes. Estas son razas que se han desarrollado desde la época de la conquista: Chalqueño, Celaya, Cónico Norteño, Tablita y Bolita. La raza Celaya (**Tabla 3**), presenta características de grano apropiadas para elaborar tortillas y botanas (Mauricio et al., 2004). Las razas Chalqueño, Cónico Norteño, Bolita y Celaya sirven para elaborar tortilla y harinas (Vázquez et al., 2010).

Por su parte, Gómez et al. (2006a, 2006b) reportaron el potencial de industrialización de 42 accesiones criollas de maíz cultivadas en siete municipios del Estado de Hidalgo, identificadas como pertenecientes a las razas Cónico, Chalqueño y Celaya; las tortillas elaboradas con los maíces criollos de Hidalgo fueron más suaves que las reportadas por Vázquez et al. (2010).

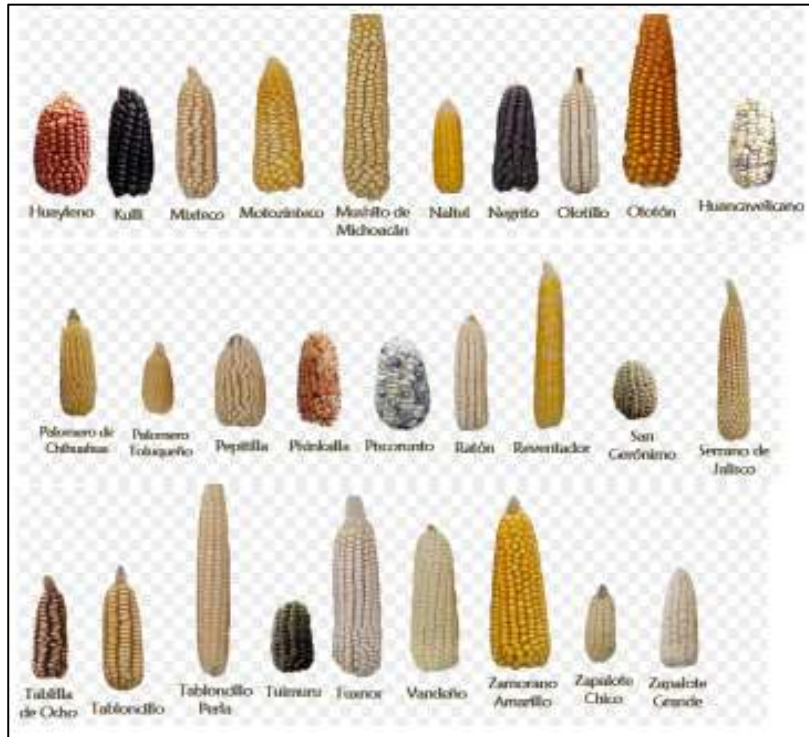
La raza Azul de la Sierra Tarahumara, con buen rendimiento y calidad de tortilla, se utiliza también en pinole, atole y en la extracción de antocianinas, y se exporta a Estados Unidos para la elaboración de botanas como totopos y frituras. Apachito es de la Sierra Tarahumara y presenta un grano rosado utilizado para pinole, elotes, atoles, tortillas y tesgüino (bebida alcohólica). Cristalino de Chihuahua, que se derivó de Apachito, tiene grano de endospermo cristalino y semi-cristalino, y es además una de las razas más precoces de México, y se utiliza en elotes asados y hervidos, y en tortillas. En el grano de Dulcillo de Noreste, raza probablemente derivada de las razas Maíz Dulce y Reventador (Wellhausen et al., 1952), la

conversión de azúcares a almidón durante el llenado del grano no se completa normalmente, por lo que presenta mayor contenido de azúcares libres y un sabor especial a sus productos; se utiliza en pinole, elotes y esquites (CONABIO, 2010). Estos usos reportados por diversos autores coinciden con las estimaciones del uso potencial descrito (**Tabla 3**), obtenido a partir de sus propiedades físicas y de procesamiento del grano.

Dureza de grano y calidad de tortilla Las características de grano y de calidad tortillera anotadas (**Tabla 2 y 3**) permiten clasificar a las accesiones de maíz entre y dentro de grupos raciales.



Figura 13 .Razas de maíz en México.



Continuación de las razas de maíz en México (Figura 13).

Tabla 3. Características del grano de maíz y su calidad para nixtamal en razas mexicanas.

| Raza | Altud | PWG | OS | Largo | Anche | Groscor | Fuerza de corte | CAA | FP | RT | RC |
|---|-------|-------|------|-------|-------|---------|-----------------|------|-------|------|------|
| Grupo Racial Indígenas Antiguas | | | | | | | | | | | |
| Arrocillo Amarillo | 2060 | 2140 | 1.24 | 12.8 | 6.0 | 4.0 | 11.9 | 1.10 | 29.97 | 1.07 | 0.53 |
| Chupalete | 61 | 171.0 | 1.27 | 8.5 | 7.6 | 7.6 | 14.4 | 0.92 | 30.00 | 1.35 | 0.95 |
| Nal-Tel | 30 | 216.5 | 1.29 | 9.7 | 7.0 | 4.8 | 12.8 | 1.08 | 24.06 | 1.55 | 0.70 |
| Palenquero | 2652 | 135.2 | 1.31 | 11.0 | 5.3 | 4.1 | 13.7 | 1.15 | 29.29 | 1.52 | 0.37 |
| Grupo Racial Exóticas Pre-Colombinas | | | | | | | | | | | |
| Carabacinte | 2652 | 460.0 | 1.07 | 12.6 | 11.1 | 6.6 | 4.5 | 1.14 | 28.36 | 1.53 | 0.56 |
| Eletas Occidentales | 1372 | 425.0 | 1.15 | 9.3 | 11.7 | 5.8 | 7.5 | 1.15 | 37.63 | 1.36 | 0.51 |
| Harinoso de Ocho | 1640 | 337.3 | 1.14 | 10.7 | 10.0 | 4.8 | 12.3 | 1.25 | 28.03 | 1.60 | 0.41 |
| Maíz Dulce | 1740 | 178.5 | 1.11 | 9.1 | 6.8 | 4.9 | 8.8 | 0.99 | 36.91 | 1.26 | 0.42 |
| Grupo Racial Mestizas Prehistóricas | | | | | | | | | | | |
| Corniteco | 1800 | 233.5 | 1.21 | 10.5 | 9.3 | 4.7 | 12.8 | 1.05 | 26.60 | 1.50 | 0.72 |
| Cónico | 1800 | 339.9 | 1.19 | 13.0 | 8.2 | 5.1 | 12.2 | 1.01 | 24.90 | 1.60 | 0.41 |
| Jalá | 1402 | 508.5 | 1.17 | 11.7 | 11.6 | 5.5 | 9.2 | 1.24 | 34.38 | 1.07 | 0.32 |
| Olotillo | 600 | 375.0 | 1.21 | 11.3 | 11.2 | 5.4 | 7.1 | 1.12 | 24.50 | 1.60 | 0.51 |
| Reventador | 100 | 133.5 | 1.45 | 8.2 | 6.6 | 3.8 | 13.3 | 1.07 | 41.68 | 1.18 | 0.61 |
| Tabla de Ocho | 1000 | 406.0 | 1.18 | 12.9 | 10.3 | 4.7 | 11.2 | 1.10 | 30.57 | 1.45 | 0.63 |
| Tabla | 1950 | 303.0 | 1.13 | 11.9 | 8.7 | 4.1 | 13.7 | 1.33 | 36.45 | 1.48 | 0.52 |
| Tabloncillo | - | 418.5 | 1.19 | 11.1 | 11.3 | 4.6 | 8.9 | 1.12 | 22.53 | 1.64 | 0.40 |
| Tabloncillo Perla | - | 378.0 | 1.21 | 10.0 | 9.9 | 5.2 | 14.2 | 1.07 | 39.39 | 1.25 | 0.46 |
| Telua | 1000 | 290.0 | 1.12 | 8.9 | 8.7 | 5.2 | 12.3 | 1.15 | 37.62 | 1.34 | 0.52 |
| Tepecinte | 55 | 314.0 | 1.23 | 10.0 | 9.8 | 4.5 | 14.0 | 1.21 | 23.91 | 1.68 | 0.50 |
| Tuxteño Norteño | 400 | 314.5 | 1.18 | 13.1 | 8.9 | 3.9 | 9.9 | 1.17 | 21.68 | 1.70 | 0.62 |
| Tuxteño | 196 | 386.5 | 1.29 | 13.2 | 8.6 | 4.5 | 12.5 | 1.05 | 29.66 | 1.43 | 0.71 |
| Vandito | 100 | 299.5 | 1.18 | 9.9 | 8.7 | 4.2 | 11.9 | 1.16 | 26.71 | 1.59 | 0.56 |
| Zapalote Chico | 120 | 204.5 | 1.16 | 10.0 | 9.2 | 5.4 | 8.7 | 1.18 | 28.18 | 1.57 | 0.48 |
| Zapalote Grande | 100 | 280.5 | 1.20 | 10.9 | 8.2 | 5.0 | 11.4 | 1.07 | 27.61 | 1.50 | 0.50 |

Continuación (Tabla 3)

| | | | | | | | | | | | |
|--|------|-------|------|------|------|-----|------|------|-------|------|------|
| Grupo Racial Modernas Incipientes | | | | | | | | | | | |
| Colaya | 1767 | 355.5 | 1.26 | 11.1 | 8.7 | 5.1 | 13.7 | 1.04 | 26.06 | 1.54 | 0.63 |
| Chalqueño | 2103 | 299.0 | 1.23 | 12.8 | 7.8 | 5.2 | 11.3 | 0.98 | 36.15 | 1.26 | 0.32 |
| Cónico Norteño | 2130 | 254.5 | 1.18 | 13.9 | 6.6 | 4.4 | 12.9 | 1.14 | 24.54 | 1.45 | 0.63 |
| Grupo Racial No Bien Definidas | | | | | | | | | | | |
| Apachito | 1800 | 232.0 | 1.31 | 10.7 | 7.2 | 4.1 | 13.0 | 1.06 | 37.50 | 1.29 | 0.46 |
| Azul | 2465 | 240.0 | 1.09 | 10.8 | 8.3 | 6.3 | 10.2 | 1.19 | 31.88 | 1.09 | 0.73 |
| Bardito | - | 304.5 | 1.24 | 12.1 | 8.0 | 3.8 | 13.2 | 1.17 | 36.30 | 1.38 | 0.46 |
| Maíz Blando de Sonora | 410 | 308.0 | 1.08 | 10.7 | 9.1 | 5.3 | 9.7 | 1.03 | 28.36 | 1.53 | 0.65 |
| Careni | 285 | 247.0 | 1.19 | 11.7 | 8.4 | 3.5 | 12.2 | 1.13 | 36.30 | 1.35 | 0.57 |
| Castillo | 500 | 361.0 | 1.20 | 12.0 | 10.9 | 4.1 | 12.2 | 1.21 | 38.12 | 1.38 | 0.55 |
| Coscomatepec | - | 278.0 | 1.26 | 11.7 | 7.8 | 4.8 | 14.2 | 1.04 | 27.86 | 1.07 | 0.65 |
| Cristalino de Chihuahua | 2400 | 347.0 | 1.26 | 10.6 | 10.0 | 4.9 | 13.5 | 1.39 | 21.02 | 1.89 | 0.28 |
| Complejo Serrano de Jalisco | 1643 | 259.5 | 1.22 | 10.9 | 8.4 | 4.9 | 13.5 | 1.20 | 37.06 | 1.38 | 0.36 |
| Durillo del Noroeste | 150 | 199.0 | 1.11 | 9.8 | 7.7 | 3.9 | 7.5 | 0.91 | 24.04 | 1.31 | 0.40 |
| Duro-Bacal | 700 | 277.3 | 1.19 | 10.5 | 9.1 | 3.9 | 9.6 | 1.09 | 42.53 | 1.20 | 0.47 |
| Focinado | 1389 | 273.0 | 1.22 | 14.5 | 6.5 | 4.5 | 14.6 | 1.21 | 26.77 | 1.62 | 0.52 |
| Lady Finger | 690 | 188.5 | 1.20 | 9.0 | 6.2 | 4.1 | 14.8 | 1.14 | 36.70 | 1.36 | 1.03 |
| Malate | 1200 | 365.0 | 1.15 | 11.6 | 10.1 | 5.0 | 7.7 | 1.31 | 36.37 | 1.07 | 0.38 |
| Oraveña | 2000 | 343.0 | 1.14 | 13.7 | 9.2 | 4.2 | 15.1 | 1.09 | 25.09 | 1.36 | 0.44 |
| San Juan | 1470 | 257.0 | 1.22 | 10.6 | 8.0 | 5.0 | 14.9 | 1.11 | 39.72 | 1.27 | 0.40 |
| Tiricado | 700 | 277.0 | 1.28 | 12.3 | 7.5 | 4.8 | 11.2 | 1.03 | 18.40 | 1.66 | 0.49 |
| Xochlenal | 30 | 186.5 | 1.24 | 10.8 | 7.5 | 5.1 | 11.6 | 1.04 | 18.97 | 1.65 | 0.64 |

Tabla adaptada del artículo caracterización de accesiones de maíz por calidad de grano y tortilla. Mauricio et al {2004}. "El análisis se efectuó en razas con grado de pureza 8 y 9 de la escala CIMMYT en cuando menos dos accesiones en la mayoría de las razas. "Clasificado en base a distancias euclidianas {Figueroa, 1985} con usos comunes en: atoles, botanas, tortillas, palomitas o recetas, pinole, elotes.

PMG: peso de mil granos {g}; G: Gravedad específica {g*m*L⁻¹}; Largo mm; Ancho mm; Grosor mm; Fuerza de corte {Kgf} ;Capacidad de absorción de agua {kg de agua-kg de harina}; PP: Pérdida de peso % RC: Resistencia al corte de tortilla {g-f};RT: rendimiento de tortilla {kg de tortilla-kg de harina}{Figueroa et al, 2001}.Fuerza de corte del grano de los genotipos evaluados se determinó con el aparato Texture Analyzer TA-XT2, los datos se reportaron en kilogramos fuerza (kg-f).

La fuerza de corte del grano como una característica de la textura debe ser considerada como el resultado de la contribución de varias características que incluyen a los compuestos químicos individuales así como a sus interacciones, y a los arreglos moleculares dentro del gránulo de almidón y el grano de maíz.

A continuación se presenta una imagen que muestra uno de los aspectos intrínsecos o micro estructurales del grano, influenciados éstos por las propiedades Físico-químicas del mismo.

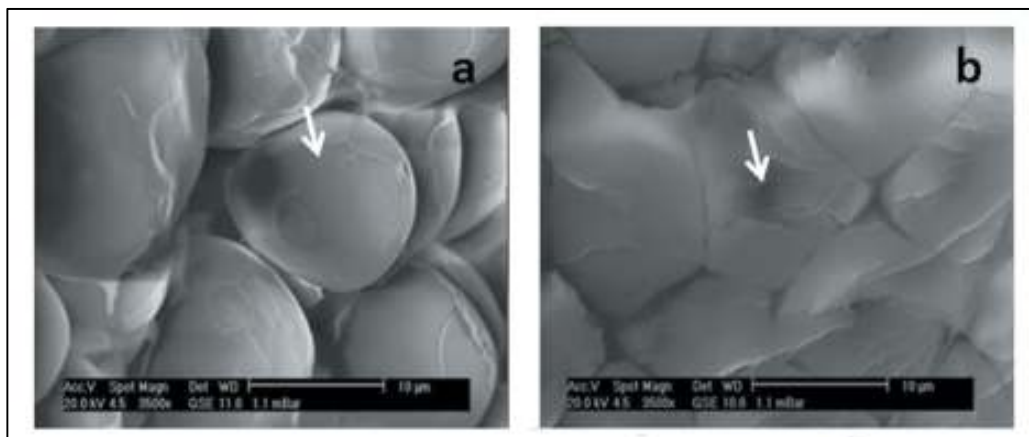


Figura 14. Microfotografía del gránulo de almidón en maíz a 3500 X: a) Forma esférica del gránulo de almidón maíz endospermo suave, b) Forma poligonal del gránulo de almidón en maíz de endospermo duro (Narváez - González et al., 2006a).

5.2. Planta de canavalia.



Figura 15. Planta de canavalia.



Figura 16. Grano o frijol de canavalia.

La canavalia, frijolon o haba blanca (*canavalia ensiformis* [L] DC.) es una leguminosa originaria de América que crece semi-doméstica o cultivada en regiones tropicales y subtropicales, desde Estados Unidos hasta Argentina. Actualmente se distribuye en todo el mundo por su importancia como abono verde (NAS, 1979; Duke, 1981). La distribución actual de la canavalia cultivada en Chiapas está extendida en terrenos de vega, terraza, plana, lomerío y laderas hasta los 1,400 msnm en pequeñas áreas de la Depresión Central, Costa, Selva Lacandona, Sierra y Planicie Costera del Golfo. En la Frailesca, Chiapas, la canavalia se cree fue introducida por personal del INIA y de la SAG en la década de 1960's en el rancho El Faro, propiedad del Sr. Leonel Mandujano Moreno, municipio de Villa Flores (Serrano Fernández, 1996).

La canavalia es una leguminosa de verano, fijadora de nitrógeno que reúne buenas características para ser asociada a cultivos anuales. Produce vainas grandes dehiscentes y cada vaina contiene de 12 a 20 semillas blancas y lisas (Bernal y Jiménez, 1990). Prospera bien en suelos pobres, por lo que puede ser usada para restauración de sitios pocos fértiles o agotados por el uso agrícola. La canavalia, es bastante rústica, es decir, resistente o tolerante al ataque de plagas y otros factores adversos como la sequía. Esta leguminosa ha sido utilizada como controladora de

malezas (CIDICCO, 1993), como forraje para el ganado (Bernal y Jiménez, 1990) y como atrayente de insectos benéficos.



Figura 17. Hoja de canavalia.



Figura 18. Planta pequeña de canavalia.



Figura 19. Vaina de frijol canavalia seca.



Figura 20. Rastrojo de canavalia seco.

5.2.1. Aplicaciones de la planta de canavalia.

5.5.1.1. Fijadora de nitrógeno atmosférico. El nitrógeno (N) es el elemento químico que las plantas requieren en mayor cantidad que ningún otro. En la agricultura, el nitrógeno se suministra a los cultivos de tres maneras: fijación biológica (58%), fertilizantes artificiales (32%) y en las tormentas eléctricas (10%) (Quintero-Lizaola, 1995).

La canavalia es una excelente fuente de nitrógeno biológico para las plantas de interés agrícola, al ser incorporada al suelo en forma de abono verde. Esto se debe a que posee la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico en asociación simbiótica con las bacterias del género *Bradyrhizobium*, siendo una alternativa que sustituye

parcialmente el uso de fertilizantes, los cuales tienen un elevado costo económico y energético.



Figura 21. Cosecha de maíz, utilizando la planta de canavalia como fijador de nitrógeno y sin utilizarla planta.

5.2.1.2. Cobertura y abono verde. Las cantidades de abono que produce la canavalia varían desde 14 t/ha hasta 45 t/ha (Jiménez - Rodríguez, 2001) de materia verde y de 2.2 t/ha a 2.9 t/ha de materia seca, dependiendo de las condiciones del suelo, clima y si es sembrada como monocultivo o asociada con maíz.



Figura 22. Siembra de maíz asociando la panta de canavalia.

Esta leguminosa cubre el 100% del terreno en un periodo de entre 40 a 60 días. La canavalia tiene alta resistencia a la estación seca y puede sobrevivir seis meses sin lluvias y rebrotar en un segundo ciclo (comportarse como bianual), aunque disminuye la cantidad de follaje y flor. Esta planta es resistente al sombreado de otros cultivos (planta tipo C3), el efecto de cobertura la hace ideal para programas de control de erosión y conservación de suelos.

Disminuye el impacto de las gotas de agua de lluvia, los residuos evitan el arrastre del suelo, conservan la humedad mejorando la retención y la materia orgánica adicionada mejora la infiltración del agua, también puede ser usada para el control de maleza por su denso follaje y no genera costo de transporte, pues se cultiva en el mismo terreno, es decir, es un fertilizante “hecho en el sitio” utilizando la energía y el recurso natural disponible (CIDICCO, 1993).

5.2.1.3. Forraje (hojas y semilla). La canavalia es de utilidad en la alimentación de ganado, dado que el follaje verde contiene 24% de proteínas y puede usarse en sistemas de rastrojeo, ensilado, henificado o la semilla molida como suplemento en raciones. La canavalia constituye una buena fuente de proteínas en la dieta de animales de pastoreo.

5.2.2. Usos industriales.

La semilla de canavalia es usada industrialmente para la extracción de sustancias de uso bioquímico como la ureasa y las lectinas. La ureasa es una enzima empleada en determinaciones de niveles de urea en seres vivos y se cotiza en \$600.00 USD/g (sigma, 2005). Las lectinas (concanavalias A y B) son aglutininas usadas ampliamente en estudios de mito génesis, mutaciones, reacciones de grupos sanguíneos, etc. Como reactivo de uso generalizado en laboratorios de análisis clínico (Guemez-Sandoval, 1986).

La concanavalia A se cotila desde \$20.00 hasta \$200.00 USD el miligramo, dependiendo de su formulación y pureza (Sigma, 2005). Esto significa un enorme potencial de valor agregado en la semilla se provee de materia prima a dicha industria.

También se han reportado propiedades de insecticidas de la canavalia para el control de hormiga arriera (*atta laevigata*) y como repelentes de la babosa (*Diplosolenodes [Vaginulus] occidentale*) y por lo que debe estudiarse la posibilidad de extracción y síntesis de ingredientes activos para el control de plagas (Bernal y Jiménez, 1990; Corto y Sauders, 1987).

5.2.2.1. Uso como suplemento alimenticio en animales productores de leche.

- Utilizar primordialmente el grano molido
- Ofrecer el suplemento al momento de la ordeña

El suplemento a ofrecer se recomienda sea en las siguientes proporciones:

Tabla 4. Proporciones para uso como suplemento alimenticio en animales productores de leche.

| Ingrediente | % |
|-------------------------------|----|
| Melaza de caña | 2 |
| Grano molido de la leguminosa | 69 |
| Pasto molido | 29 |

5.2.3. Uso en animales de engorda. Una ración típica se podría formar con los siguientes ingredientes:

Tabla 5. Proporciones para uso en animales de engorda.

| Ingredientes | % |
|-------------------------------|----|
| Grano molido de la leguminosa | 7 |
| Grano de maíz o sorgo | 45 |
| Melaza | 7 |
| Poliniza | 25 |
| Pasto molido | 16 |

Su uso deberá ser como dieta totalmente integrada, es decir, mezclarse perfectamente todos los ingredientes y la mezcla deberá proporcionarse a libre acceso a los animales en el corral.

Suplemento en animales en pastoreo. Otro de los usos dados a los granos de canavalia y frijol nescafé dentro de la ganadería es su incorporación en los bloques nutricionales, en la siguiente formulación:

Tabla 6. Proporciones para su uso deberá ser como dieta totalmente integrada.

| Ingredientes | % |
|----------------------------|----|
| Melaza de caña | 26 |
| Urea agrícola | 8 |
| Minerales comerciales | 12 |
| Cemento | 11 |
| Grano molido de leguminosa | 43 |

Tabla 7. Componentes del grano.

| C.Ensiformis L. | Proteína | Lisina | Aminoácidos (Azufrados) |
|-----------------|----------|----------|-------------------------|
| | 25.4% | 457 mg/g | 85% |

5.3. El olote de maíz.

Las actividades agropecuarias y agroindustriales dan origen a una serie muy amplia de esquilmos y subproductos derivados en su mayor parte de cereales (SAGARPA, 2010), los que generan contaminación al disponer de ellos de manera irresponsable, además de carecer de procesos establecidos que permitan su empleo para obtener productos de valor agregado.

Estos residuos vegetales están constituidos principalmente por biomasa lignocelulósica, siendo los polímeros de celulosa y hemicelulosa los presentes en mayor cantidad, los cuales pueden ser degradados por diversos microorganismos.

Diversos procesos industriales están en desarrollo para emplear estos residuos en la generación de productos con valor agregado, como el etanol, proteína celular y enzimas. Estos bioprocesos han sido efectivos en el uso de sustratos alternativos, ya que pueden reducir los problemas de contaminación causados por estos desperdicios.

En México, debido a su amplia producción agrícola con cifras que rebasan las 35 millones de toneladas anuales, el cultivo del maíz es el que más contribuye a este tipo de contaminación por medio del olote, un subproducto derivado del desgranado mecánico del mismo y que genera residuos por encima de las 25 millones de toneladas (SAGARPA, 2010). El olote, ampliamente rico en xilano (28-35 % base seca) (Saha 2003; Gupta y Kar, 2008), se desecha de diversas maneras, por esparcimiento sobre la tierra, por incineración al aire libre o mezclado con otros compuestos en la alimentación ganadera como forraje, generando ganancias muy bajas o nulas (SAGARPA 2010). A causa de esta concentración de xilano, el olote de maíz se ha venido empleando como sustrato en fermentaciones en medio líquido, para la producción dirigida de enzimas degradadoras de ésta hemicelulosa y otros procesos de valor agregado (Gupta y Kar, 2008), pero se requiere de mayor información para el empleo de olote de maíz como sustrato-soporte en fermentación en estado sólido con la finalidad de producir metabolitos de interés.



Figura 23. Olote de maíz desgranado.

El residuo del desgranado del maíz (*Zea mays* L.) se conoce como olote de maíz, un tejido esponjoso y blanco que representa la médula donde se almacenan las reservas alimenticias del cereal (**Figura 23**). Está compuesto en base seca por celulosa (45 %), hemicelulosa (35 %) y lignina (15 %), de los cuales la hemicelulosa se compone mayoritariamente por xilano de olote (28-35 % base seca) uno de los heteroxilanos complejos que contiene residuos de xilosa con enlaces β -1,4 (Saha y Bothast, 1999). El xilano de olote de maíz se compone principalmente de xilosa (48-

54 %), arabinosa (33-35 %), galactosa (5-11 %) y ácido glucurónico (3-6 %) (Doner y Hicks, 1997; Saha y col., 2003). Estas características le confieren al olote la posibilidad de ser empleado como sustrato en la producción de la enzima xilanasa.

Actualmente en México el olote se emplea como forraje y soporte para disminuir la erosión en la tierra, ambos procesos con bajos rendimientos y poco redituables, de otra manera, los residuos del maíz son incinerados o esparcidos en la intemperie, generando contaminación ambiental (**Figura 24**).



Figura 24. Residuos de olote de maíz esparcidos a la intemperie.

Para emplear los residuos de la cosecha del maíz, evitando la contaminación por ellos y además generar metabolitos de interés como lo es la enzima xilanasa, se requiere el desarrollo de tecnologías que nos permitan obtener altos rendimientos de ésta enzima, empleando el olote como soporte-sustrato. Generando de ésta manera los objetivos de encontrar una cepa degradadora de olote de maíz con alta actividad xilanasa y encontrar los parámetros de fermentación óptimos para la producción de xilanasa en medio sólido.

5.3.1. Aplicación industrial del olote.

Empresa: COPROMEX SAND-BLAST

Giro: Sistemas Abrasivos y Proyectivos de Alta Tecnología.

Usado principalmente como abrasivo Agrícola. Es un abrasivo derivado del sub-producto de la mazorca del maíz, el cual se presenta en diferentes graduaciones para aplicaciones mediante el sistema de Sand-Blast (sopleteo de abrasivo). Su uso es principalmente para limpieza y pulido de piezas ya sean metálicas, plásticas de vidrio o cerámica. Sus propiedades son sobresalientes por no crear atmosferas contaminantes y se puede usar en partes móviles como acoplamientos articulados, baleros de acero, sub estaciones eléctricas, tanques de combustible y esferas de gas por la seguridad que ofrece el ser material no conductor ni productor de electricidad.



Figura 25. Olote de maíz granulado.

Tabla 8. Especificaciones técnicas del Olote de maíz granulado.

| Especificaciones técnicas | |
|---------------------------|---------------------|
| Origen | Vegetal |
| Dureza | Grado Mohs 4.5 |
| Presentación | Granulada |
| Peso específico | 500 kg/m^2 aprox. |
| Forma | Sub-angular |
| Color | Dorado blanquizco |
| Poder de absorción | Alto |



Figura 26. Bagazo de caña de azúcar

5.4. Bagazo de caña de azúcar.

El Bagazo de caña se produce como consecuencia de la fabricación de azúcar y constituye un subproducto de esta producción. Es un combustible natural para producir vapor en las fábricas azucareras.

Es un material fibroso, heterogéneo en cuanto a su composición granulométrica y estructural, que presenta relativamente baja densidad y un alto contenido de humedad, en las condiciones en que se obtiene del proceso de molienda de la caña. El término Bagazo proviene de la palabra francesa bagasse y se empleaba antiguamente para denominar al residuo de la aceituna después que era molida y prensada para extraerle el aceite.

Actualmente se aplica este término al residuo fibroso que se obtiene al triturar y comprimir la caña de azúcar en los molinos del central para extraerle el jugo (guarapo). Fundamentalmente constituye la parte fibrosa de esta planta. Cuando el bagazo sale del molino posee aproximadamente la siguiente composición:

- Humedad (50%)
- Sólidos solubles (5%)
- Sólidos insolubles o fibra cruda (45%)

Además su composición química es la siguiente:

- Carbono: 47 %
- Hidrógeno: 6,5 %
- Oxígeno: 44 %
- Cenizas: 2,5 %

5.4.1. Estructura.

El bagazo consta de dos partes fundamentales:

- La fibra: Fibras relativamente largas, derivadas principalmente de la corteza y otros haces de fibra del interior del tallo.
- El meollo: Se deriva del parénquima, parte de la planta donde se almacena el jugo que contiene el azúcar.



Figura 27. Bagazo de caña de azúcar después de la extracción de su jugo.

| Tabla 9. Propiedades físicas - químicas del bagazo de caña de azúcar | |
|---|-----------|
| Humedad (%) | 4 |
| Tamaño de partícula (mm) | 0,5-1,0 |
| Densidad (g/cc) | 0,12 |
| Volátil (%) | 68-70 |
| Cenizas (%) | 1,26 |
| Carbón fijo (%) | 28,7-30,7 |
| C (%) | 48,58 |
| H (%) | 5,97 |
| O (%) | 38,94 |
| N (%) | 0,20 |

5.4.2. Aplicaciones

La longitud media de las fibras del bagazo es de 1 a 4 milímetros y su ancho varía entre 0.01 y 0.04 milímetros.

El bagazo es una materia prima óptima y anualmente renovable para la producción de tableros aglomerados, papel, cartón, derivados de celulosa, productos químicos como el furfural o el xylitol. En Cuba su uso fundamental es como combustible. También se utiliza para la fabricación de muebles y como aislante del sonido.

El bagazo de caña de azúcar es un residuo que se genera en altas proporciones en la agroindustria, el cual contiene una cantidad apreciable de celulosa que puede ser separada de otras sustancias entre las cuales se encuentra principalmente la lignina y la hemicelulosa. De esta manera se estaría creando un producto de valor añadido a partir de una fuente de biomasa.



Figura 28. Bagazo de caña de azúcar en laboratorio para la producción de etanol.

Para conocer la fuerza de corte de los materiales (materia prima) se decidió realizar pruebas experimentales en laboratorio usando el péndulo Charpy o máquina Charpy.

5.5. Prueba Charpy.

Es un ensayo de resistencia al impacto o de resiliencia. En estos ensayos las cargas aplicadas actúan casi instantáneamente para medir la resistencia al choque o la tenacidad de los materiales.

La tenacidad (propiedad inversa a la fragilidad) se define como la capacidad que tiene un material para almacenar energía en forma, por lo general, de deformación plástica antes de romperse.

Un material muy tenaz se deformará en gran medida antes de producirse una rotura; en cambio, un material frágil, o poco tenaz, apenas experimentará deformación alguna.

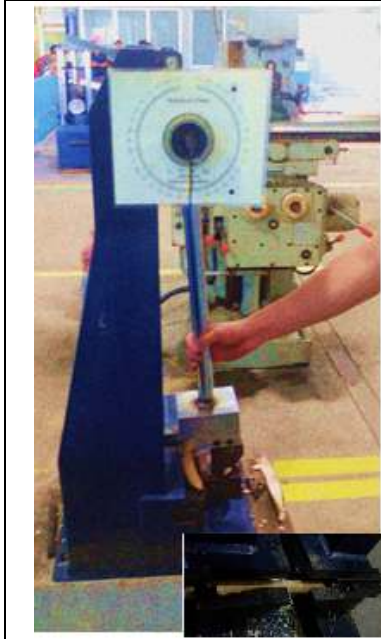


Figura 29. Ensayo con vaina de canavalia seca.



Figura 30. Prueba Charpy con mazorca de maíz.



Figura 31. Ensayo Charpy con olote de maíz.



Figura 32. Elementos cortados en la maquina Charpy (olote, mazorca y vaina de canavalia).



Figura 33. Elemento cortante del péndulo con un peso de 20 kg.

5.5.1. Resultados obtenidos de la prueba experimental con la maquina Charpy.

Tabla 10. Analisis de datos obtenidos en el laboratorio de Ing. Mecanica según el manual de funcionamiento y ecuaciones del pendulo charpy (usando excel).

| | | Radio de giro del pendulo[cm] | | | | | | | 67 | |
|--------------------|-----|-------------------------------|-------|------------|-----------|---------------------|-----------|-------------------------|-----------------|--------------|
| MATERIAL | No. | ANGULO | | ALTURA[cm] | | ENERGIA [Nm=Joules] | | | FUERZA EMPLEADA | |
| | | INICIAL | FINAL | INICIAL | FINAL | INICIAL | FINAL | ABSORBIDO EN LA RUPTURA | FUERZA[N] | FUERZA [kgf] |
| mazorca | 1 | 60 | 30 | 33.5001 | 8.976339 | 65.727279 | 17.611577 | 48.11570173 | 71.8144802 | 7.32053825 |
| | 2 | 35 | 31 | 12.116868 | 9.5688345 | 23.773295 | 18.776015 | 4.997279562 | 7.458626211 | 0.76030848 |
| | 3 | 40 | 37 | 15.675093 | 13.491482 | 30.754532 | 26.470287 | 4.284244591 | 6.394394912 | 0.65182415 |
| | 4 | 40 | 36 | 15.675093 | 12.795919 | 30.754532 | 25.105594 | 5.648938171 | 8.431251001 | 0.85945474 |
| | 5 | 50 | 40 | 23.933335 | 15.675093 | 46.957203 | 30.754532 | 16.20267133 | 24.18309154 | 2.46514695 |
| | 6 | 50 | 27 | 23.933335 | 7.3025964 | 46.957203 | 14.327694 | 32.62950892 | 48.70075958 | 4.96439955 |
| | 7 | 50 | 29 | 23.933335 | 8.4005181 | 46.957203 | 16.481816 | 30.4753866 | 45.48565165 | 4.63666174 |
| | 8 | 50 | 20 | 23.933335 | 4.0406131 | 46.957203 | 7.9276829 | 39.02952012 | 58.25301511 | 5.9381269 |
| | 9 | 45 | 35 | 19.623933 | 12.116868 | 38.502156 | 23.773295 | 14.72886103 | 21.98337467 | 2.24091485 |
| vaina de canavalia | 1 | 50 | 26 | 23.933335 | 6.7808301 | 46.957203 | 13.303989 | 33.65321446 | 50.2286783 | 5.12015069 |
| | 2 | 30 | 25 | 8.976339 | 6.2774072 | 17.611577 | 12.316273 | 5.2953042 | 7.903439104 | 0.80565128 |
| | 3 | 30 | 28 | 8.976339 | 7.8425472 | 17.611577 | 15.387078 | 2.224499394 | 3.320148349 | 0.3384453 |
| | 4 | 40 | 28 | 15.675093 | 7.8425472 | 30.754532 | 15.387078 | 15.36745407 | 22.9364986 | 2.33807325 |
| olote | 1 | 60 | 33 | 33.500142 | 10.809121 | 65.727279 | 21.207496 | 44.51978319 | 66.4474376 | 6.7734391 |
| | 2 | 40 | 22 | 15.675093 | 4.8787043 | 30.754532 | 9.5720178 | 21.18251392 | 31.61569242 | 3.22280249 |
| | 3 | 40 | 26 | 15.675093 | 6.7808301 | 30.754532 | 13.303989 | 17.45054313 | 26.04558676 | 2.65500375 |
| | 4 | 60 | 35 | 33.500142 | 12.116868 | 65.727279 | 23.773295 | 41.9539839 | 62.61788642 | 6.38306691 |

Para el caso del grano de canavalia se realizo otra prueba ya que es mas duro y poder determinar la fuerza de corte y se obtubo el dato de 10 kgf .

Comparando de entre todos los materiales a procesar presentados se evidencia que es un valor alto comparado con el olote o la mazorca de maiz.

Tabla 11. Clasificación de los molinos de acuerdo al tamaño de la materia prima.

| Rango de reducción de tamaño | Nombre genérico del equipo | Tipo de equipo |
|------------------------------|---|---|
| Grueso e intermedio | Molinos de gruesos: "Crushers" | De rodillos |
| Intermedio y fino | Molinos de finos: "Mills o Grinders" | <ul style="list-style-type: none"> • De martillo • Disco de atrición • De rodillos |
| Fino y ultrafino | Molinos de ultrafinos: "Ultrafine grinders" | <ul style="list-style-type: none"> • De martillo • De bolas |

Tabla 12. Clasificación de molinos según la aplicación y tamaño de los materiales procesados.

| | Molinos de gruesos a rodillos | Molinos de martillo | Molinos de atrición | Molinos de tambor |
|---------------------------|-------------------------------|---------------------|---------------------|-------------------|
| Tamaño de molienda | | | | |
| Gruesos | ● | | | |
| Intermedios | ● | ● | ● | ● |
| Finos/ultrafinos | | ● | ● | ● |
| Aplicaciones | | | | |
| Chocolate | ● | | | ● |
| Cacao | | | ● | ● |
| Maiz (húmedo) | | | ● | |
| Frutas secas | | ● | | |
| Vegetales secos | | ● | | |
| Granos | ● | | ● | |
| Pimienta | | ● | ● | |
| Sal | | ● | | ● |
| Especias | | ● | | |
| Azúcar | | ● | | ● |

6. SELECCIÓN DEL TIPO DE MOLINO A DISEÑAR.

Asiendo la comparación de los tipos de molinos y el tipo de material que cada uno procesa de mejor manera se llega a la selección de uno de ellos para satisfacer las demandas del laboratorio de biotecnología. De manera que se diseña a continuación un molino conocido como molino de martillos.



Figura 34. Molino de martillos de uso industrial.

7. DISEÑO DE COMPONENTES.

Considerando los siguientes datos:

Tabla 13. Parámetro más relevante para la calcular el número de martillos.

| | |
|-------------------------------|---------------|
| Peso de un grano de maíz | 0.2 – 0.3 gr. |
| Peso de un grano de canavalia | 1.2 gr. |

7.1. Capacidad de molienda y número de martillos.

La capacidad de molienda es el primer parámetro que se requiere para el diseño del Molino. Este valor es de entre 600 a 1000 kg por hora dado que se trata de materia prima seca que es significativamente más dura que la húmeda.

Se parte de la siguiente conversión de unidades, para conocer aproximadamente cuantos granos se deben triturar por minuto para cumplir la capacidad requerida de molienda.

Tomando como dato la capacidad máxima de 1000 kg/hr.

Para el caso de la canavalia.

$$1000 \frac{kg}{h} \times \frac{1000g}{1 kg} \times \frac{1 \text{ grano}}{1.2g} \times \frac{1 h}{60 \text{ min}} = 13888.8889 \frac{\text{granos}}{\text{minuto}}$$

Para el caso del maíz.

$$1000 \frac{kg}{h} \times \frac{1000g}{1 kg} \times \frac{1 \text{ grano}}{0.3g} \times \frac{1 h}{60 \text{ min}} = 55555.5556 \frac{\text{granos}}{\text{minuto}}$$

Como se puede apreciar la cifra obtenida es alta. Considerando que el valor recomendado para la velocidad angular de motores (especificaciones y recomendaciones de motores americanos), oscila entre las 3000 y 3500 rpm. Y de ese modo no se requiere trabajar al límite de revoluciones de 3600 rpm, se escoge el valor de 3300 rpm dado que el laboratorio de biotecnología no lo tendrá en operación continua si no que hará usos intermitentes cada que se requieran muestras.

Si se divide el número de granos por minuto que se necesita triturar para las 3300 rpm escogidas, se obtiene aproximadamente el número de granos que se deberán partir por cada revolución del eje del motor, es decir:

$$\frac{55555.5556 \frac{\text{granos}}{\text{min}}}{3300 \text{ rpm}} = 16.8350 \frac{\text{granos}}{\text{revolución}} \approx 17 \frac{\text{granos}}{\text{revolución}}$$

Con esto tenemos dos datos de suma importancia:

- 1.- $\omega=3300$ rpm, donde ω = velocidad angular del motor.
- 2.- El valor de 17 granos/ revolución es el número aproximado de granos que deben triturarse o molerse por cada vuelta del eje.

Ahora, si son 17 granos se supone que cada martillo del molino debe golpear al menos un grano, por lo tanto el número de martillos será de al menos 17 martillos. Por lo que estos 17 martillos deberán estar bien distribuidos, comenzando por que

se contara con discos porta martillos en los cuales habrá 4 martillos separados en 90° entre sí. Separados por bujes se colocan 3 martillos asiendo un total de 12 martillos y colocando 3 martillos fijos a la entrada o inicio del eje y 2 al final del eje suman los 17 martillos. Para un mejor panorama de la ubicación de los mismos se presenta la figura 35.

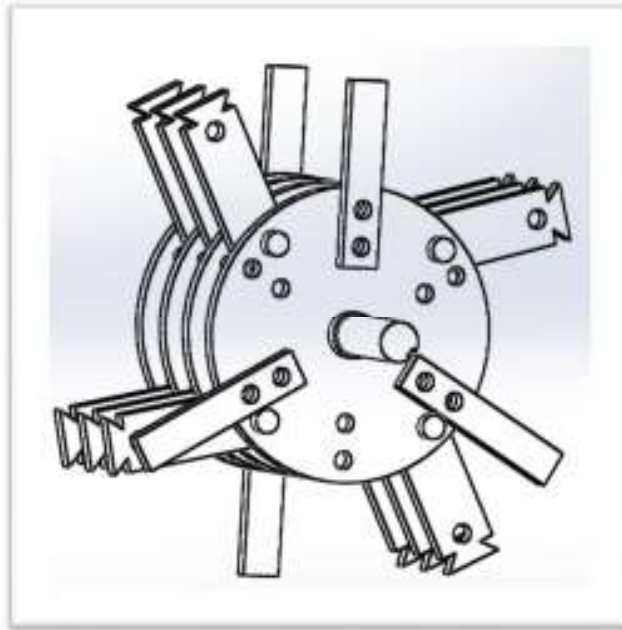


Figura 35. Distribución de los 17 martillos o cuchillas trituradoras ya ensamblados.

Puede apreciarse que serán 12 martillos móviles y 5 martillos fijos con la finalidad de cumplir el objetivo de tener un producto molido con un tamaño de 2 a 3 mm como ya sea especificado.

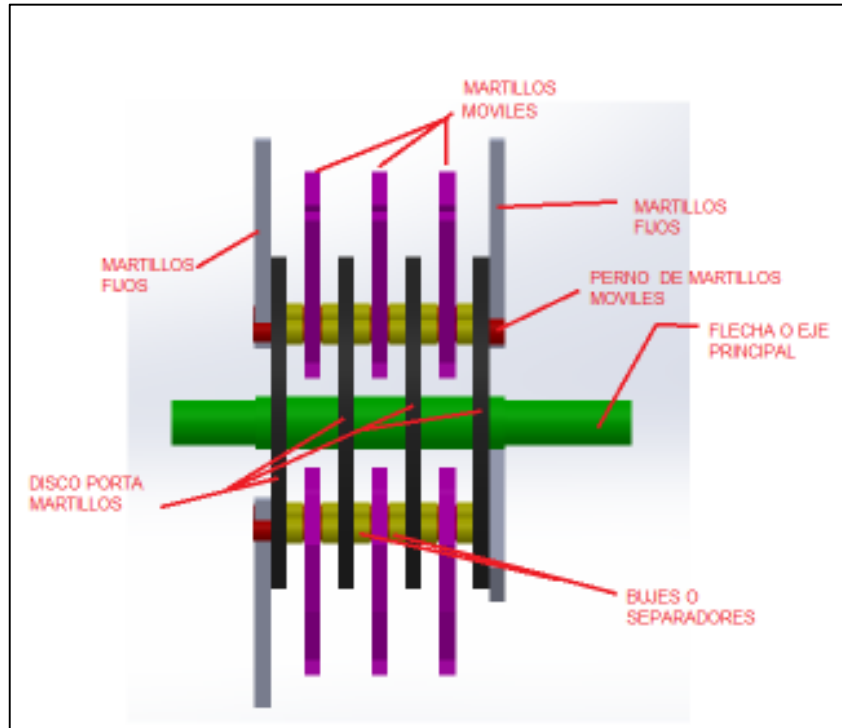


Figura 36. Distribución de componentes principales del molino de martillos.

7.2. Cálculo de la velocidad tangencial del martillo.

$$v_t = \omega \times R = \frac{2\pi RN}{60} \quad (1)$$

Donde:

v_t = Velocidad tangencial del extremo más lejano del martillo (m/s).

N = Velocidad de rotación en revoluciones por minuto (rpm).

ω = Velocidad angular del motor (rad/s).

R = Radio de giro (m).

Para este caso se propone el radio de 18 cm con base a equipos similares de molienda.

$$v_t = \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} \times 0.18 \text{ m} \times 3300 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 62.2035 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Esta velocidad calculada viene siendo sin carga o al vacío, cuando el grano choca con el martillo hay una disminución de la velocidad tangencial al vacío (v_t) por lo que se calcula a continuación la velocidad tangencial con carga (v_c) para ello se considera a todos los componentes (martillo, discos, pernos etc.) como un volante o elemento único.

Para proyectos que usan volantes se considera un coeficiente de fluctuación definido por la siguiente ecuación.

$$C_s = \frac{v_t - v_c}{V_{vol}} \quad (2)$$

Donde:

C_s = coeficiente de fluctuación

v_t =velocidad tangencial sin carga

v_c =Velocidad tangencial con carga

V_{vol} = velocidad tangencial del volante, tomada como la velocidad tangencial media.

$$V_{vol} = \frac{v_t + v_c}{2} \quad (3)$$

Reemplazando ecuación (3) en ecuación (2)

$$C_s = \frac{\frac{(v_t - v_c)}{1}}{\frac{v_t - v_c}{2}}$$

$$C_s = \frac{2(v_t - v_c)}{v_t + v_c} \quad (4)$$

El valor del coeficiente de fluctuación o bien coeficiente de variación de la velocidad se obtiene de la siguiente tabla.

Tabla 14. Coeficientes de fluctuación típicos de diferentes máquinas.

| COEFICIENTE DE FLUCTUACIÓN * | |
|---|-------------|
| <i>Tipo de máquina</i> | C_f |
| Maquinaria de machaqueo | 0,200 |
| Maquinaria eléctrica | 0,003 |
| Maquinaria eléctrica, transmisión directa | 0,002 |
| Motores con transmisión por correas | 0,030 |
| Maquinaria para molinos harineros | 0,020 |
| Transmisión rueda dentada | 0,020 |
| Martillos | 0,200 |
| Máquinas herramientas | 0,030 |
| Maquinaria para fabricación de papel | 0,025 |
| Bombas | 0,030-0,050 |
| Maquinaria de corte | 0,030-0,050 |
| Maquinaria de hilanderías | 0,010-0,020 |
| Maquinaria textil | 0,025 |

* *Mechanical Engineers Handbook, de Kent, 12.ª edición, «Design and Production», pág. 7-40.*

Para este caso se toma el dato del coeficiente de fluctuación correspondiente a maquinaria de corte de 0.050 siendo este el valor el mayor del rango que se suele usar para dicha maquinaria.

Despejando la velocidad con carga (v_c) la ecuación (4) con ayuda de la calculadora TEXAS T1-nspire cx se obtiene la siguiente ecuación:

$$v_c = \frac{-v_t(cs-2)}{cs+2} \quad (5)$$

Sustituyendo los valores se tiene lo siguiente:

$$v_c = \frac{-62.2035 \frac{m}{s}(0.050-2)}{0.050+2} = 59.1692 \frac{m}{s}$$

Por lo que la velocidad tangencial con carga es menor que la velocidad tangencial al vacío o sin carga. Sufriendo una reducción de 3.0343 m/s. Por lo cual se aprecia que existe una entrega de energía o 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.

7.3. Cálculo de aceleración angular del sistema de corte.

$$v_t = v_c + 2\alpha\theta \quad (6)$$

Donde:

α =aceleración angular

θ =Espacio recorrido por los martillos (90° por ser una geometría cuadrada en los discos porta martillo).

Despejando para α se obtiene:

$$\alpha = \frac{v_t^2 - v_c^2}{2\theta} \quad (7)$$

Como las velocidades tangenciales están en $\frac{m}{s}$ se presenta la ecuación 8 para que se conviertan en unidades de $\frac{rad}{s}$ dado que la ecuación (7) así lo requiere.

$$\omega = \frac{v}{Rg} \quad (8)$$

Donde:

Rg = Radio de giro

v = Velocidad tangencial.

Para el caso de la velocidad tangencial sin carga:

$$\omega = v_t = \frac{62.2035 \frac{m}{s}}{0.18 \frac{m}}{m} = 345.575 \frac{rad}{s}$$

Para el caso de la velocidad tangencial con carga:

$$\omega = v_c = \frac{59.1694 \frac{m}{s}}{0.18 \frac{m}}{m} = 328.718 \frac{rad}{s}$$

Ahora sustituyendo valores en la ecuación (7) para θ es necesario cambiar los 90° a radianes, por ello se usa el dato de $1.5708 \frac{rad}{s}$

$$\alpha = \frac{(345.575^2 \frac{rad^2}{s^2} - 328.718^2 \frac{rad^2}{s^2})}{2 \times 1.5708 \text{ rad}} = 3618.08 \frac{rad}{s^2}$$

Usando la ecuación (8) para convertir los $\frac{rad}{s^2}$ a unidades de $\frac{m}{s^2}$

$$\alpha = 3618.08 \frac{rad}{s^2} \times 0.18 \text{ m} = 651.254 \frac{m}{s^2}$$

$$\therefore \text{aceleración angular} = 651.254 \frac{m}{s^2}$$

7.4. Cálculo de la fuerza de corte del martillo.

$$F = m \times \alpha \quad (9)$$

Para conocer la masa del martillo se procede a realizar el diseño con ayuda del software solidworks. Para ello se debe elegir el material por tal razón se presenta la siguiente tabla donde se exponen los materiales seleccionados para los componentes del equipo.

Tabla 15. Materiales seleccionados para cada componente de molino.

| Componente | Material seleccionado | Justificación |
|--|-------------------------|--|
| Perno de sujeción de martillos móviles | Acero 4340 | Es un acero de construcción de baja aleación al cromo-níquel-molibdeno con alta templabilidad, alta resistencia mecánica, tenacidad, alta resistencia a la fatiga y a la torsión. Ampliamente usado en ejes de transmisión, cigüeñales, barras de torsión, engranajes, pernos de alta resistencia, rotores etc. |
| Martillos (móviles y fijos). | Acero 1035 | Acero al Carbono para piezas que requieren un límite elástico de 400 a 500 N/mm usado en la construcción de máquinas. Admite soldadura. Buena resistencia mecánica: compresión, impacto y abrasión. |
| Discos porta martillos | | |
| Eje o flecha de transmisión | | |
| Criba o rejilla | Acero AISI 1020 | Se utiliza mucho en la condición de cementado donde la resistencia al desgaste y el tener un núcleo tenaz es importante. Se puede utilizar completamente endurecido mientras se trate de secciones muy delgadas. Se puede utilizar para ejes de secciones grandes y que no estén muy esforzados. Otros usos incluyen engranes ligeramente esforzados con endurecimiento superficial, pines endurecidos superficialmente, piñones, cadenas, tornillos, componentes de maquinaria. |
| Carcasas o tolvas | | |
| Perno para unión de tolvas | | |
| Soporte o marco del molino y elementos secundarios | Hierro (fundición gris) | Económico, no requiere elevadas propiedades mecánicas para la función a desempeñar. |
| Bujes o separadores y pernos secundarios | | |
| cuña | Hierro Dúctil | Económico, no requiere elevadas propiedades mecánicas para la función a desempeñar. |
| Poleas | Aluminio (6061-0) | Resistencia a la corrosión, bajo peso, elevada tracción con la banda y no produce desgaste de la misma. |

Tabla 16. Propiedades técnicas del acero AISI 4340 normalizado.

| Diámetro [mm] | Resistencia a la tracción [Mpa] | Límite elástico [Mpa] | % elongación | Tenacidad Kv a 20°C (J) |
|--------------------|---------------------------------|-----------------------|--------------|-------------------------|
| $d \leq 16$ | 1200-1400 | ≥ 1000 | ≥ 9 | ≥ 35 |
| $16 < d \leq 40$ | 1100-1300 | ≥ 900 | ≥ 10 | ≥ 45 |
| $40 < d \leq 100$ | 1000-1200 | ≥ 800 | ≥ 11 | ≥ 45 |
| $100 < d \leq 160$ | 900-1100 | ≥ 700 | ≥ 12 | ≥ 45 |
| $160 < d \leq 250$ | 800-950 | ≥ 600 | ≥ 13 | ≥ 45 |
| $250 < d \leq 500$ | 740-890 | ≥ 540 | ≥ 14 | ≥ 45 |
| $500 < d \leq 750$ | 690-840 | ≥ 490 | ≥ 15 | ≥ 40 |

Fuente: Catálogo comercial de ThyssenKrupp Aceros y servicios S.A.

Las propiedades expresadas en la tabla anterior son valores típicos y de carácter informativo, y que en este tipo de material los valores pueden variar.

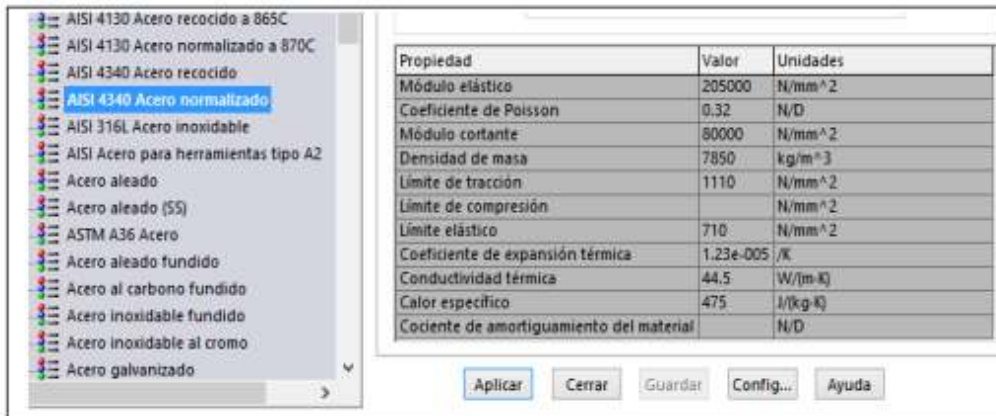


Figura 37. Propiedades del acero AISI 4340 normalizado en solidworks.

Tabla 17. Propiedades generales del acero AISI 1035.

| ACERO AISI 1035 | | |
|-----------------------------------|-------------------|-------------------|
| Módulo elástico | 204999.9984 | N/mm ² |
| Coefficiente de Poisson | 0.29 | N/D |
| Límite de tracción | 585.0000029 | N/mm ² |
| Límite elástico | 282.685049 | N/mm ² |
| Módulo tangente | N/mm ² | |
| Coefficiente de expansión térmica | 1.1e-005/K | |
| Densidad de masa | 7849.999987 | kg/m ³ |
| Factor de endurecimiento | 0.85 | N/D |

Tabla 18. Descripción general del acero AISI 1020.

| ACERO ASI-SAE 1020 (UNS G10200) | |
|--|---|
| Descripción | Acero grado maquinaria. Acero de mayor fortaleza que el 1018 y menos fácil de conformar. Responde bien al trabajo en frío y al tratamiento térmico de cementación. La soldabilidad es adecuada. Por su alta tenacidad (que se opone con resistencia a deformarse o romperse) y baja resistencia mecánica es adecuado para elementos de maquinaria. |
| Normas involucradas | ASTM A 108 |
| Propiedades mecánicas | Dureza 111 HB |
| | Esfuerzo de fluencia 205 MPa (29700 PSI) |
| | Esfuerzo máximo 380 MPa (55100 PSI) |
| | Elongación 25% |
| | Reducción de área 50% |
| | Módulo de elasticidad 205 GPa (29700 KSI) |
| | Maquinabilidad 72% (AISI 1212 = 100%) |
| Propiedades físicas | Densidad 7.87 g/cm ³ (0.284 lb/in ³) |
| Propiedades químicas | 0.18 – 0.23 % C |
| | 0.30 – 0.60 % Mn |
| | 0.04 % P máx. |
| | 0.05 % S máx. |
| Los valores expresados en las propiedades mecánicas y físicas corresponden a los valores promedio que se espera cumple el material. Tales valores son para orientar a aquella persona que debe diseñar o construir algún componente o estructura, pero en ningún momento se deben considerar como valores estrictamente exactos. | |
| Fuente: http://www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AISI%201020.pdf | |

Tabla 19. A) Propiedades generales del hierro (fundición gris).

| HIERRO (FUNDICION GRIS) | |
|--|---------------------------|
| Módulo elástico | 66178.1 N/mm ² |
| Coefficiente de Poisson | 0.27 N/D |
| Módulo cortante | 50000 N/mm ² |
| Densidad de masa | 7200 kg/m ³ |
| Límite de tracción | 151.658 N/mm ² |
| Límite de compresión | 572.165 N/mm ² |
| Límite elástico | N/mm ² |
| Coefficiente de expansión térmica | 1.2e-005 /K |
| Conductividad térmica | 45 $\frac{W}{m \cdot K}$ |
| Calor específico 510 | J/(kg · K) |
| Cociente de amortiguamiento del material | N/D |

Tabla 19. B) Propiedades generales del hierro dúctil.

| Propiedad | Valor | Unidades |
|--|----------|-------------------|
| Módulo elástico | 120000 | N/mm ² |
| Coefficiente de Poisson | 0.31 | N/D |
| Módulo cortante | 77000 | N/mm ² |
| Densidad de masa | 7100 | kg/m ³ |
| Límite de tracción | 861.695 | N/mm ² |
| Límite de compresión | | N/mm ² |
| Límite elástico | 551.485 | N/mm ² |
| Coefficiente de expansión térmica | 1.1e-005 | /K |
| Conductividad térmica | 75 | W/(m·K) |
| Calor específico | 450 | J/(kg·K) |
| Cociente de amortiguamiento del material | | N/D |

Tabla 20. Propiedades generales del aluminio 6061-0

| ALUMINIO (6061) | |
|---|-------------------------------|
| Módulo elástico | 69000.00067 N/mm ² |
| Coefficiente de Poisson | 0.33 N/D |
| Límite de tracción | 124.9999985 N/mm ² |
| Límite elástico | 62.05281564 N/mm ² |
| Módulo tangente | N/mm ² |
| Coefficiente de expansión térmica | 2.4e-005 /K |
| Densidad de masa | 2700 kg/m ³ |
| Factor de endurecimiento | 0.85 N/D |
| <p>El aluminio 6061 es una aleación de aluminio endurecido que contiene como principales elementos aluminio, magnesio y silicio. Originalmente denominado "aleación 61S" fue desarrollada en 1935. Tiene buenas propiedades mecánicas y para su uso en soldaduras.</p> <p>Es una de las aleaciones más comunes de aluminio para uso general, especialmente estructuras de alta resistencia que requieran un buen comportamiento frente a la corrosión, camiones, barcos, vehículos ferroviarios, mobiliario y tuberías.</p> <p>El 6061 recocido, denominado 6061-0 presenta su máxima resistencia a la tracción a 125 MPa y su límite elástico a 55 MPa. El material experimenta una elongación entre el 25 y 30%.</p> | |

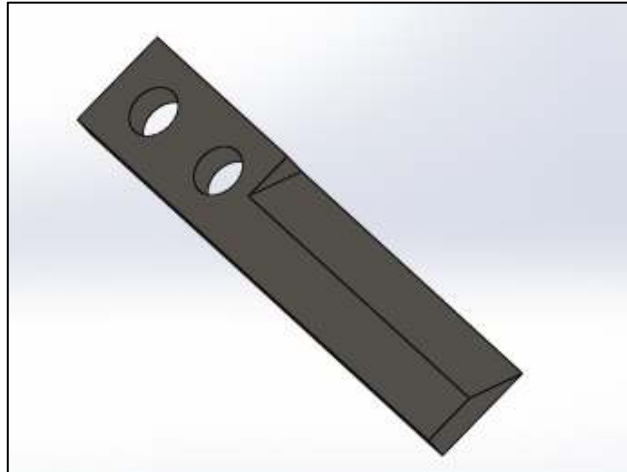


Figura 38. Diseño propuesto para los martillos fijos en solidworks

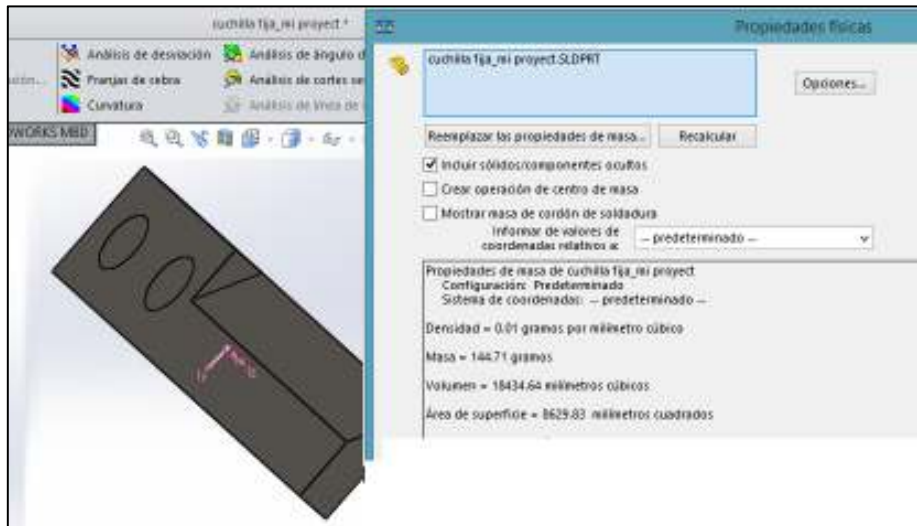


Figura 39. Propiedades físicas de los martillos fijos (material acero AISI 1035) en solidworks.

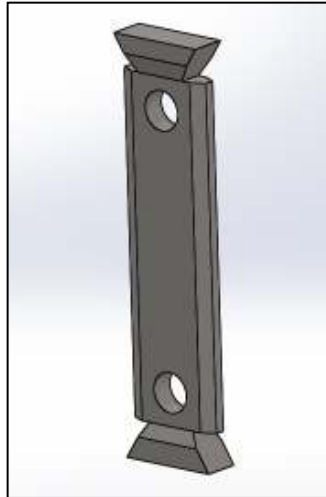


Figura 40. Diseño propuesto para los martillos móviles.

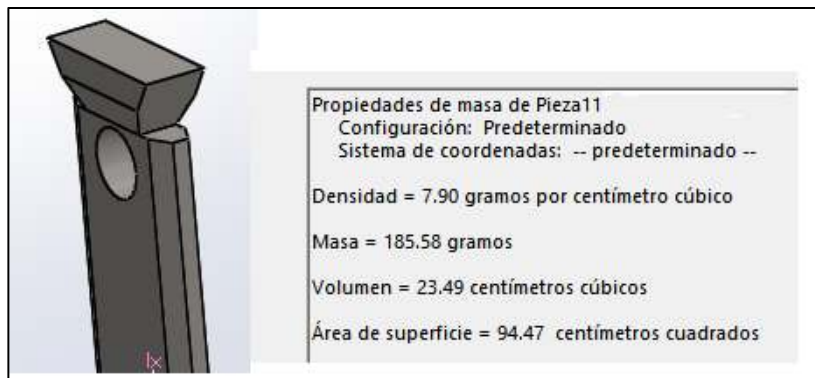


Figura 41. Propiedades de los molinos móviles (usando acero AISI 1035) en solidworks.

Con los datos de las propiedades de cada tipo de martillo se continúa con el cálculo de la fuerza de corte.

Sustituyendo los valores en la ecuación (9) para cada tipo de martillo se tiene:

$$F = m \times a$$

Para el caso de los martillos fijos:

$$F = 0.14471 \text{ kg} \times 651.254 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\therefore F = 94.243 N = 9.6068 kg_f$$

Para el caso de los martillos móviles:

$$F = 0.18558 kg \times 651.254 \frac{m}{s^2}$$

$$F = 120.86 N = 12.3201 kg_f$$

Nota: La fuerza se expresa en términos de N y kg_f para poder comparar este valor con la fuerza de corte de la materia prima que presenta en las tablas del punto 5 que están en términos de kg_f .

Como se aprecia en el cálculo las fuerzas de corte son adecuadas para triturar y moler una gran cantidad de granos, el olote, vaina de canavalia, rastrojos, mazorca etc. Que ya se han mencionado en el punto número 5.

De manera que el diseño propuesto para los martillos es válido y satisface las necesidades de molienda para materias primas que tengan una fuerza de corte con valores que se encuentren en el rango de 4.5 – 12.32 kg_f o inferior.

7.5. Diseño de martillos.

Falla por cizalladura (martillos).

$$A_d = e \times d1 \times 2 \quad (10)$$

Donde:

A_d = área de desgarre.

e = espesor.

$d1$ =distancia del centro del orificio al borde del martillo.

Sustituyendo los valores según el tipo de martillo.

Martillos fijos: $A_d = 7\text{mm} \times 14\text{mm} \times 2 = 1.96 \times 10^{-4} \text{m}^2$

Martillos Móviles: $A_d = 7\text{mm} \times 18\text{mm} \times 2 = 2.52 \times 10^{-4} \text{m}^2$

Cálculo de fuerza de centrifuga.

$$F_{cf} = \omega^2 \times m_m \times Rg \quad (11)$$

Donde:

ω = Velocidad angular al vacío (345.575 rad/s).

m_m = Masa del martillo (fijo=0.14471 kg; móvil=0.1855 kg).

Rg = Radio de giro (0.18 m).

Fuerza centrífuga de martillo fijo:

$$F_{cf} = \left(345.575 \frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)^2 \times 0.14471 \text{kg} \times 0.18 \text{m} = \mathbf{3110.68 \text{N}}$$

Fuerza centrífuga del martillo móvil:

$$F_{cf} = \left(345.575 \frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)^2 \times 0.1855 \text{kg} \times 0.18 \text{m} = \mathbf{3987.5 \text{N}}$$

Esfuerzo cortante

$$\tau = \frac{F_{cf}}{A_d} \quad (12)$$

Martillos fijo:

$$\tau = \frac{F_{cf}}{A_d} = \frac{3110.68 \text{ N}}{1.96 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 15.8708 \text{ Mpa}$$

Martillo móvil:

$$\tau = \frac{F_{cf}}{A_d} = \frac{3987.5 \text{ N}}{2.52 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 15.8234 \text{ Mpa}$$

Factor de seguridad con respecto al esfuerzo cortante máximo.

$$n = \frac{S_y}{2\tau} \quad (13)$$

$S_y = 282.6850 \text{ Mpa}$ para el acero AISI 1035.

Martillo fijo:

$$n = \frac{S_y}{2\tau} = \frac{282.6850 \text{ Mpa}}{2 \times 15.8708 \text{ Mpa}} = 8.9058$$

Martillo móvil:

$$n = \frac{S_y}{2\tau} = \frac{282.6850 \text{ Mpa}}{2 \times 15.8234 \text{ Mpa}} = 8.9325$$

El factor de seguridad calculado $n > 1$ por lo que no habrá falla, es decir el diseño de ambos martillos es completamente fiable.

Falla por tracción.

$$\sigma = \frac{F_{cf}}{A_{st}} \quad (14)$$

Donde:

F_{cf} = Fuerza centrífuga

A_{st} = Área de sección transversal del martillo (usando solidworks)

σ = Esfuerzo normal.

$$\text{Martillo fijo: } \sigma = \frac{F_{cf}}{A_{st}} = \frac{3110.68 \text{ N}}{1.3556 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 22.9469 \text{ Mpa}$$

$$\text{Martillo móvil: } \sigma = \frac{F_{cf}}{A_{st}} = \frac{3987.5 \text{ N}}{1.9284 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 20.6778 \text{ Mpa}$$

Factor de seguridad con respecto al esfuerzo normal.

$$n = \frac{S_y}{\sigma} \quad (15)$$

$$\text{Martillo fijo: } n = \frac{282.6850 \text{ Mpa}}{22.9469 \text{ Mpa}} = 12.3191$$

$$\text{Martillo móvil: } n = \frac{282.6850 \text{ Mpa}}{20.6778 \text{ Mpa}} = 13.6709$$

En ambos casos el factor de seguridad es extremadamente alto es decir $n > 1$ por lo que no habrá falla por tracción.

7.5.1. Simulación mediante software de diseño.

7.5.1.1. Análisis de Martillo móvil.

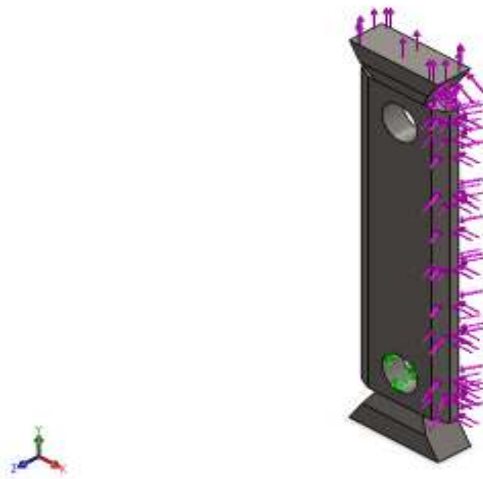


Figura 42. Simulación de cargas presente en el martillo móvil.



Figura 43. Mallado estándar del martillo móvil.

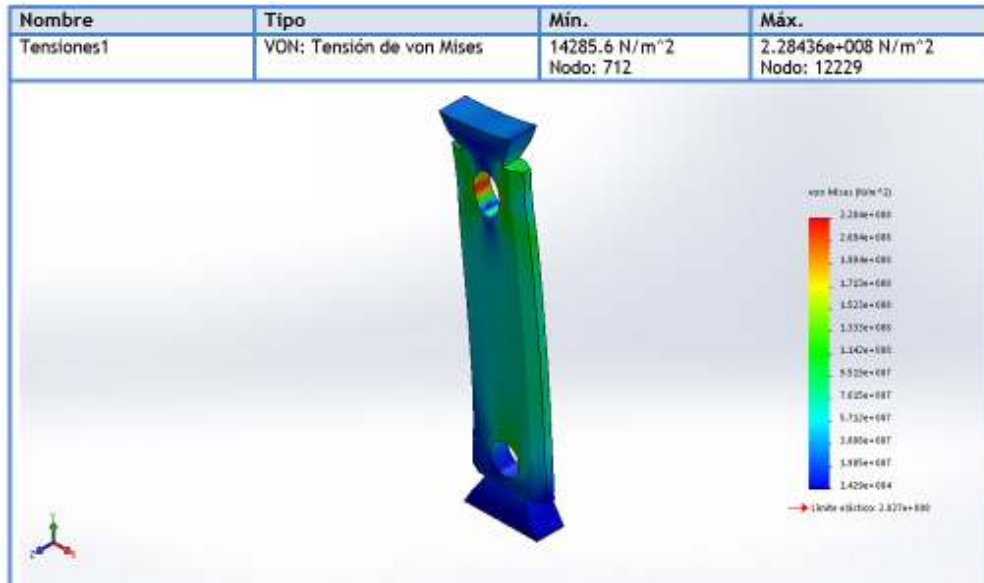


Figura 44. Análisis de esfuerzo del martillo móvil.

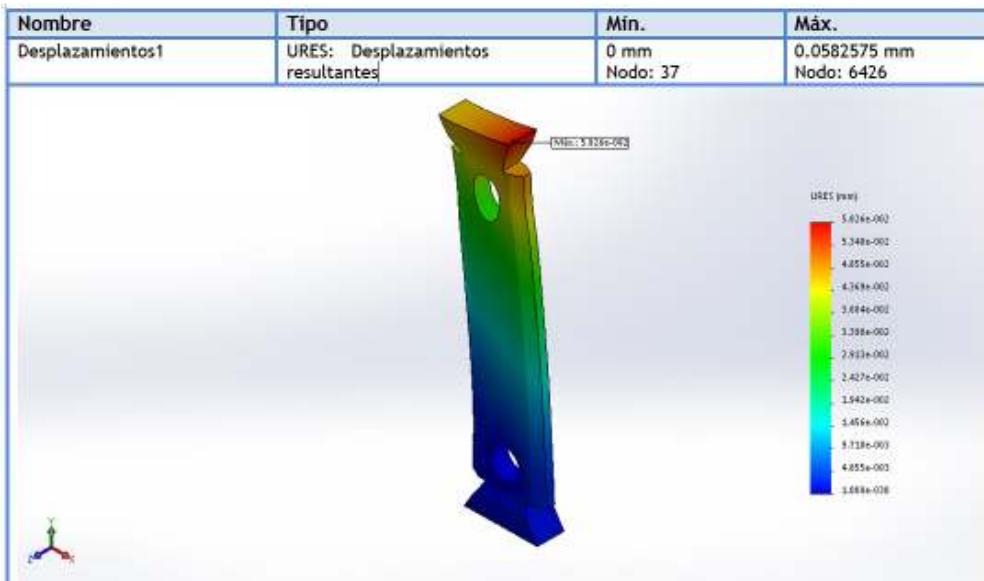


Figura 45. Análisis de desplazamientos resultantes.



Figura 46. Representación de la deformación de Martillo móvil.

7.5.1.1.2. Análisis de martillo fijo.

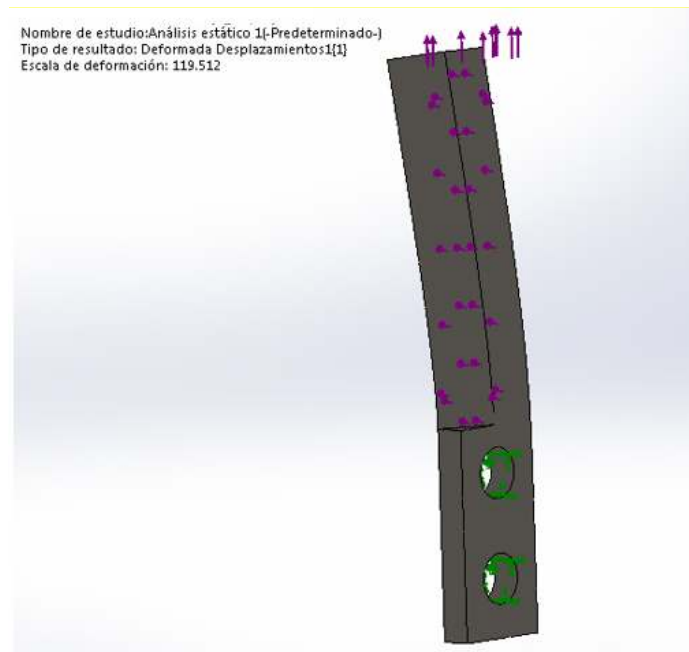


Figura 47. Colocación de cargas en el martillo fijo.

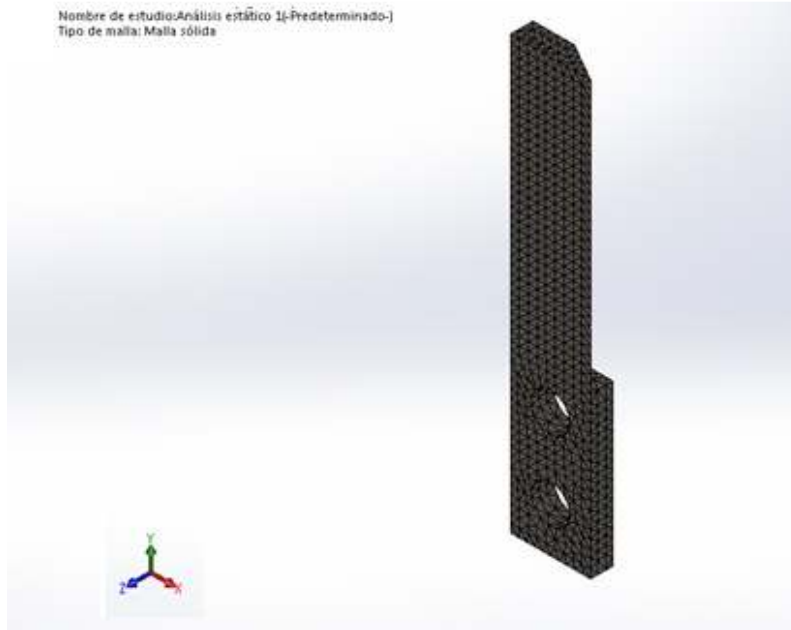


Figura 48. Mallado de martillo fijo.

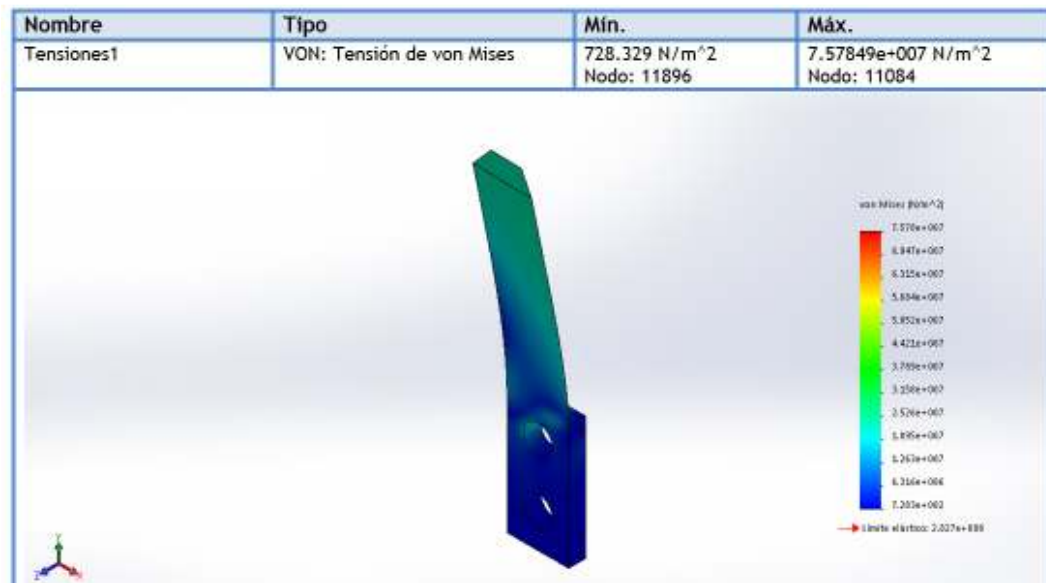


Figura 49. Análisis de esfuerzo de martillo fijo.

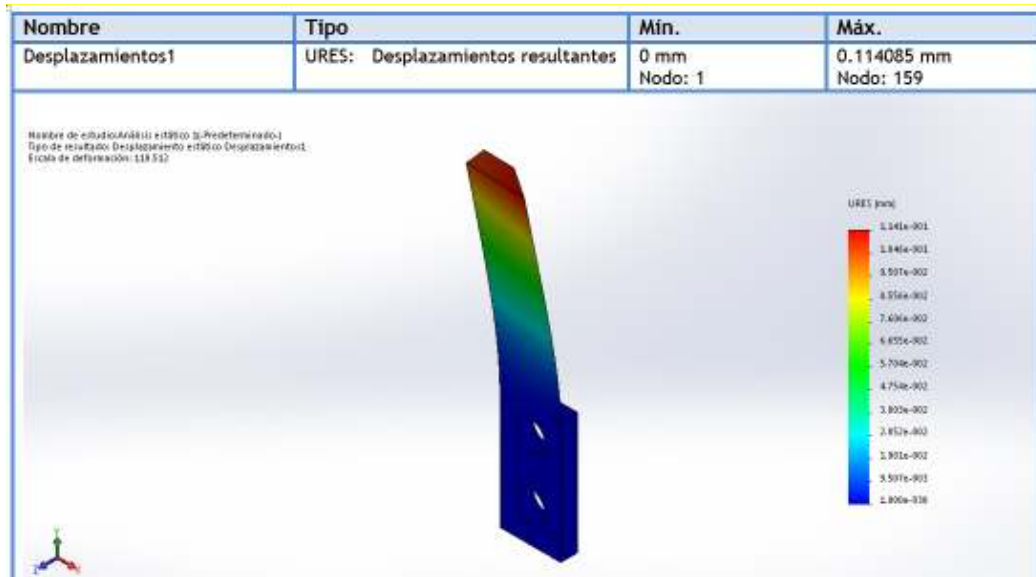


Figura 50. Análisis de desplazamientos resultantes.

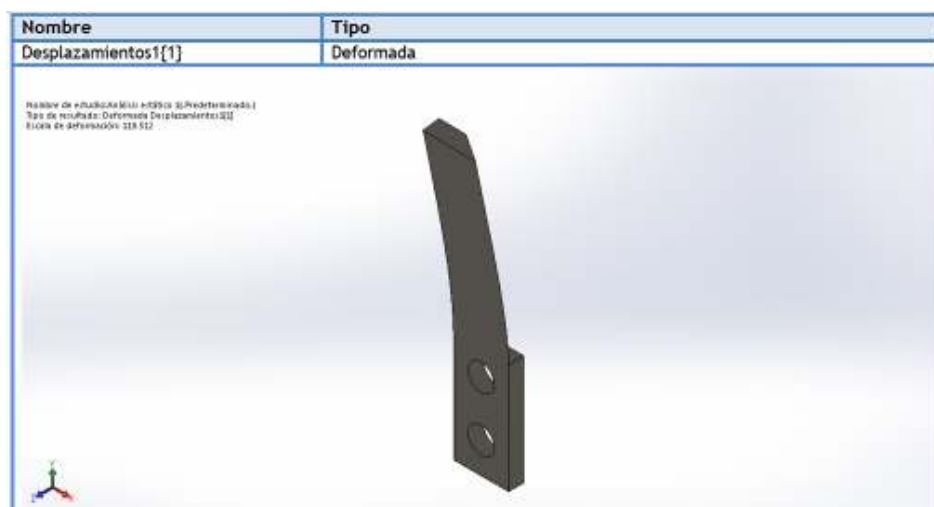


Figura 51. Representación de la deformación del martillo fijo.

Como se aprecia los datos son consistentes tanto con el análisis de esfuerzo y los desplazamientos de ambas piezas. Con ello se determina que ambas son totalmente confiables.

7.6. Diseño de disco porta martillos.

Como el diseño de los martillos que se presentó en el **punto 7.1**, algunas de las medidas para el disco se han considerado tomando en cuenta lo siguiente:

El disco será circular, porque presenta algunas ventajas con relación a otras configuraciones como por ejemplo a la cuadrangular. Las ventajas y desventajas que presenta el disco circular se detalla 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, es decir 4 pernos de sujeción de martillos por cada disco.

Tomando en cuenta todo esto se consideran 2 configuraciones para la colocación de los pernos sujetadores de martillos móviles para poder configurarlos en forma cuadrada y triangular dependiendo la molienda (fina o gruesa) pero los cálculos se realizan para la configuración de molienda fina ya que se requieren a la salida del molino partículas con dimensiones entre 2 a 3 mm.

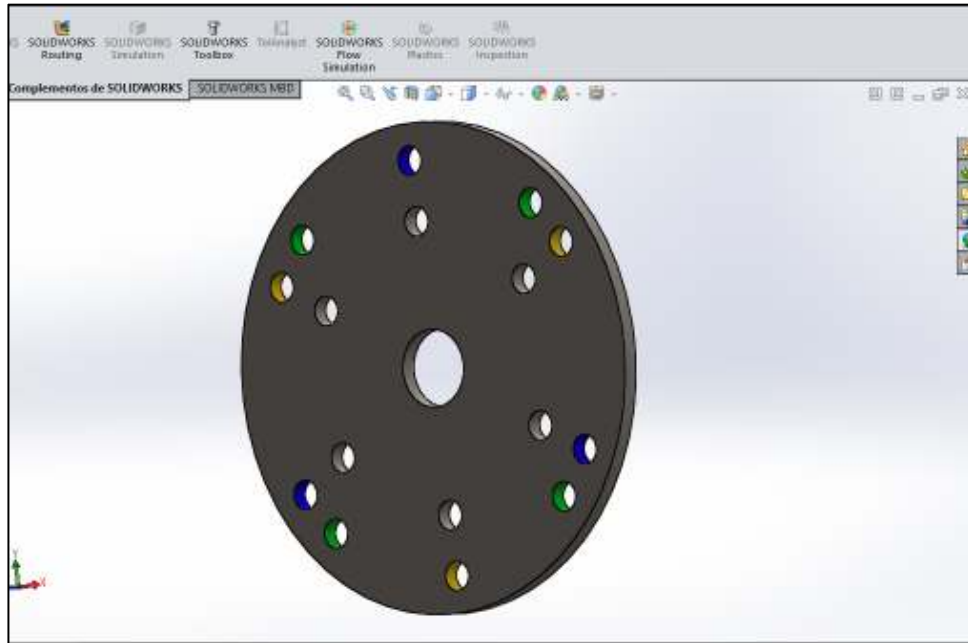


Figura 52. Diseño propuesto para disco porta martillos.

Se aprecia en la figura 40. Que el disco cuenta con cuatro agujeros formando un cuadrado (color verde) para los pernos sujetadores de los martillos móviles y 3 agujeros formando un triángulo (color azul) para otra configuración posible dependiendo el tipo de molienda como ya se mencionó y también cuenta con 3 agujeros formando triángulo invertido (color amarillo) y los otro agujeros sin color (color de la pieza) son para sujetar a los martillos fijos los 3 a la entrada o inicio y 2 al final del eje.

A continuación se exponen algunos datos para el disco:

Diámetro=20 cm con base al radio de giro de los martillos. Con agujeros para los pernos sujetadores de 12 mm de diámetro y un agujero en el centro de 1.25 in de diámetro para la flecha o eje principal. Espesor de 7mm, material acero AISI 1035.

Esfuerzo cortante (retomando la ecuación 12).

$$\tau = \frac{F_{cf}}{Ad} = \frac{F_{cf}}{e \times d \times 2}$$

Considerando para este caso la fuerza centrífuga del martillo móvil ya que es la más grande que el disco estará soportando.

Martillo móvil:

$$\tau = \frac{F_{cf}}{Ad} = \frac{3987.5 \text{ N}}{7\text{mm} \times 15.15\text{mm} \times 2} = 18.8001 \text{ Mpa}$$

Factor de seguridad con respecto al esfuerzo cortante (usando ecuación 13)

$$n = \frac{S_y}{2\tau} = \frac{282.6850 \text{ Mpa}}{2 \times 18.8001 \text{ Mpa}} = 7.51818$$

Por lo tanto no habrá falla dado que $n > 1$ quedado validado de este modo la propuesta es totalmente fiable.

7.6.1. Análisis mediante software de diseño.

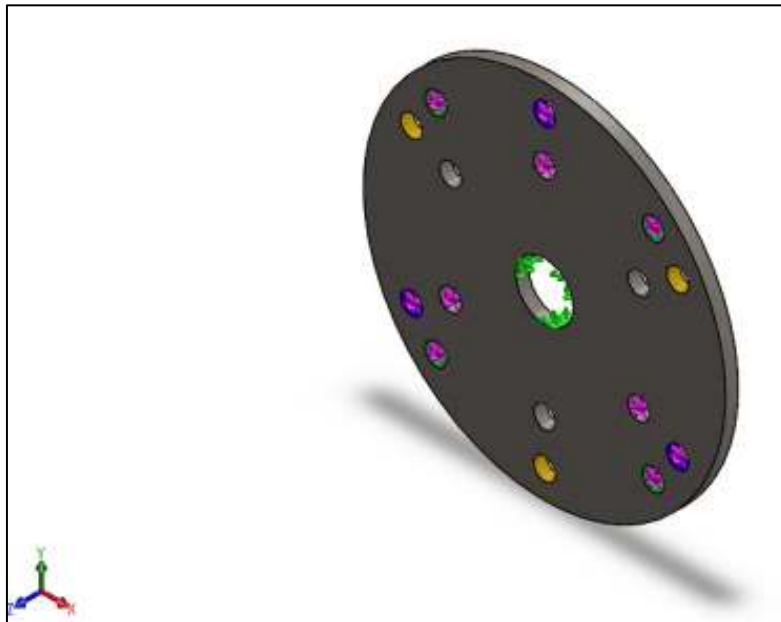


Figura 53. Colocación de fuerzas al disco porta martillos.

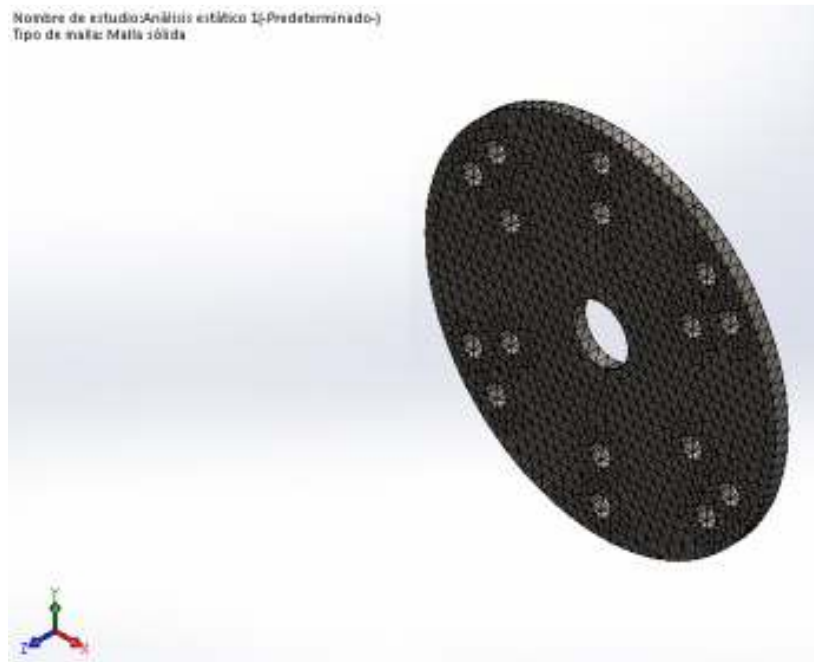


Figura 54. Mallado estándar del disco porta martillas.

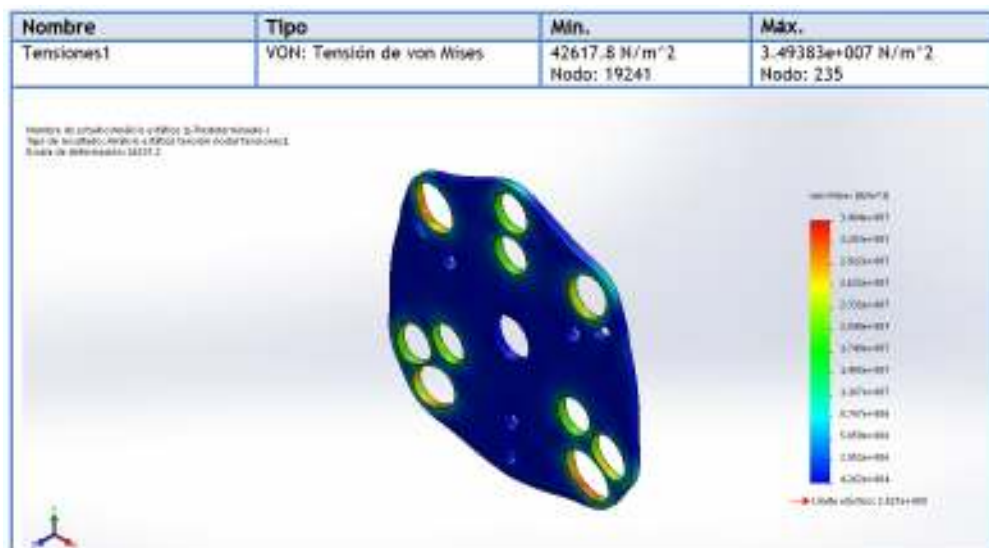


Figura 55. Análisis de esfuerzos del disco porta martillos.

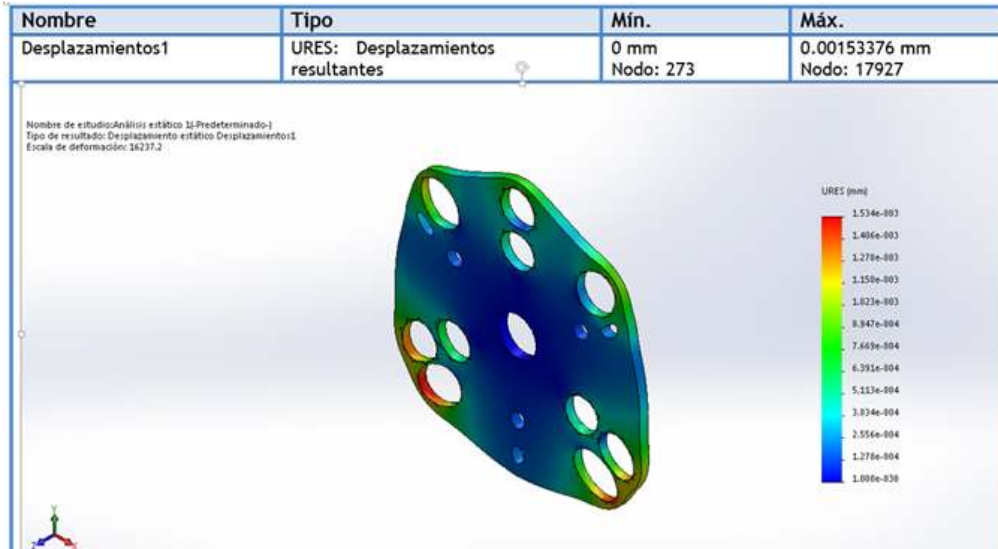


Figura 56. Análisis de desplazamientos resultantes del disco porta martillos.

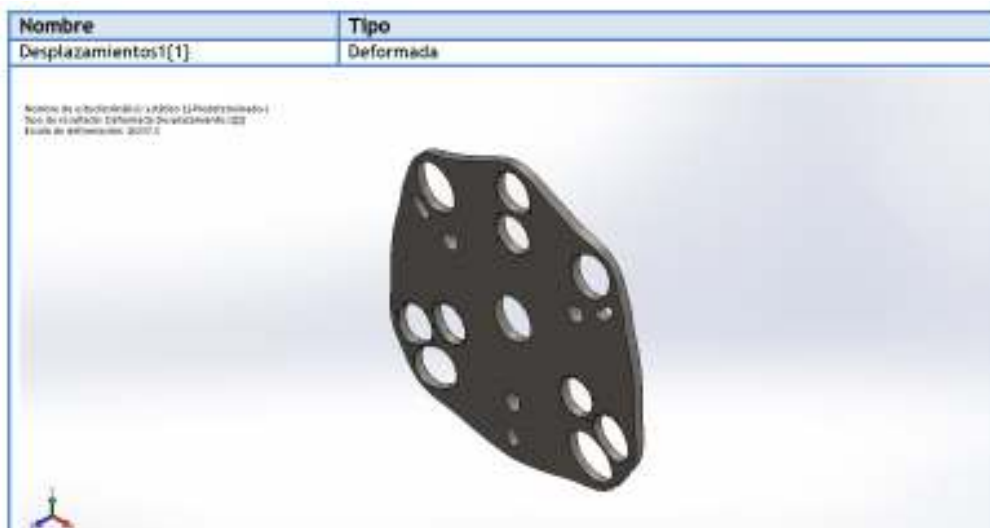


Figura 57. Representación de la deformación del disco porta martillos.

Con base a los esfuerzos presentes en la pieza se aprecia claramente que todos están por debajo del límite elástico del material y los desplazamientos son bastante razonables para determinar que el discos porta martillos no sufrirá ninguna falla.

7.7. Diseño de bujes separadores.



Figura 58. Buje separador de martillos.

Dado que el separador no estará sujeto a cargas considerables se eligió como material hierro fundido gris. Y a la vez se descartó el análisis en solidworks (se considera confiable).

7.8. Diseño del perno del martillo.

Para que los martillos se sostengan en el disco existe un perno que pasara entre ambos, el diámetro de este perno se definió en el diseño de los martillos (móviles y fijos) es de 12 mm usando como material acero AISI 1035.

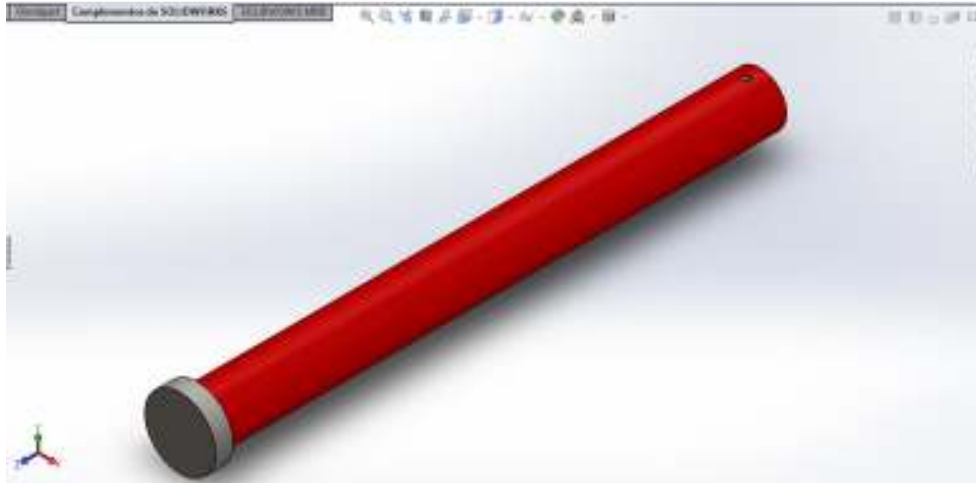


Figura 59. Diseño de perno de sujeción de martillos móviles.

El perno estará sujeto a 3 fuerzas centrífugas como se muestra en la imagen siguiente.

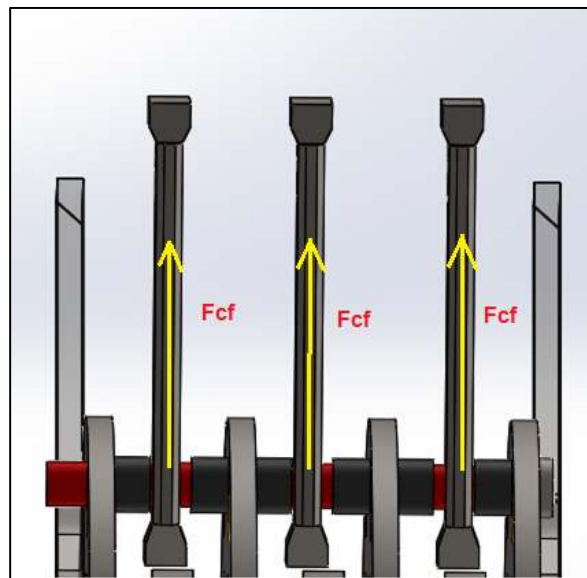


Figura 60. Fuerzas presentes en el perno de sujeción de martillos.

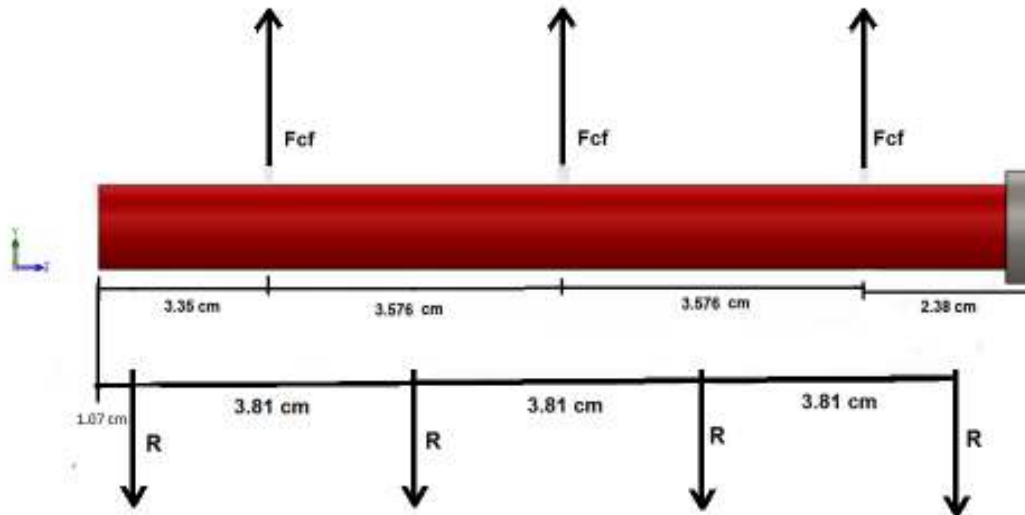


Figura 61. Diagrama de fuerzas presentes en el perno de sujeción.

Las fuerzas centrífugas (F_{cf}) son las fuerzas que poseen los martillos y las reacciones (R) son las reacciones de los discos.

A continuación se realizara 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 fuerzas en el perno tenemos:

$$4R = 3 F_{cf}$$

Donde $F_{cf} = 3987.5 N$ tomada de cálculos anteriores para martillo móvil.

Por lo que el valor de R es:

$$R = \frac{3 \times 3987.5 N}{4} = 2\,990.625 N$$

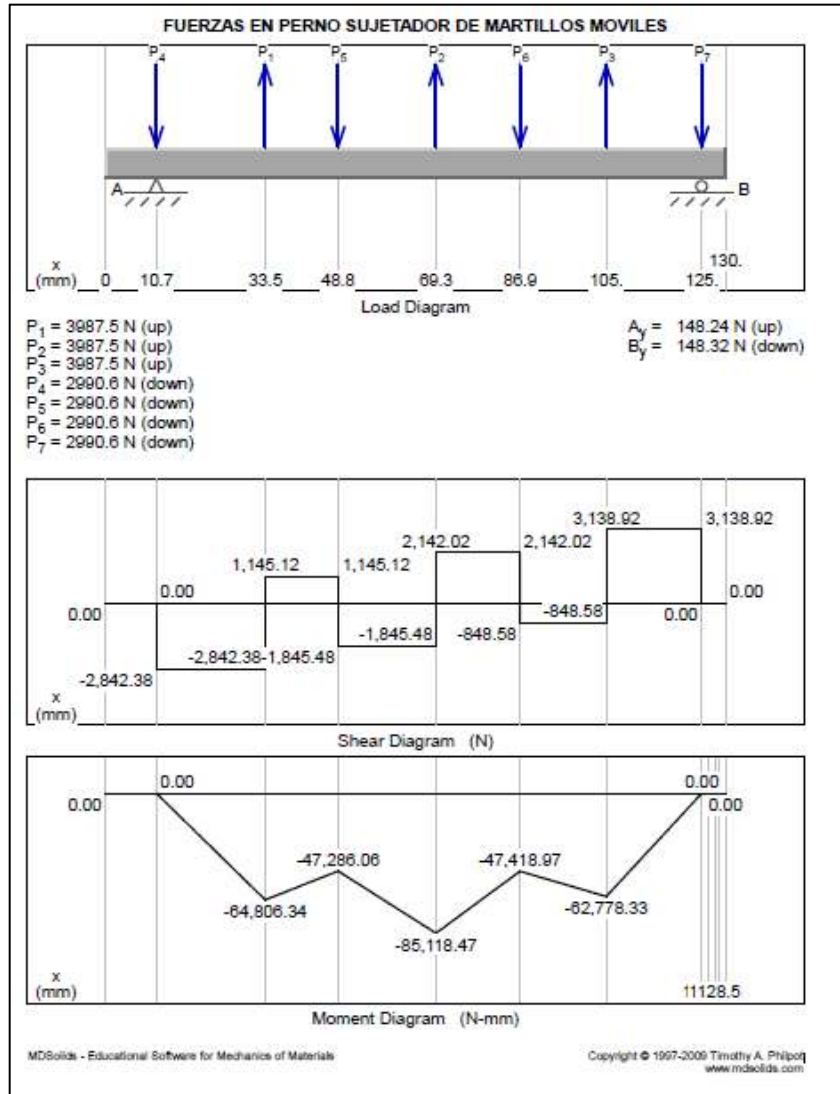


Figura 62. Diagramas de cargas, fuerza cortante y de momento flexionante del perno de sujeción usando software de diseño (MD solids).

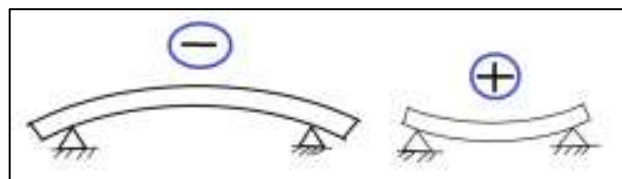


Figura 63. Interpretación de signos presentes en el cálculo del momento flexionante y la inclinación de la barra o viga según las cargas presentes.

De los diagramas presentados en la **figura 62** en particular se toman los datos del diagrama de momento prestando mucha atención en la zona crítica del perno, la cual se encuentra en el centro. Para conocer el esfuerzo normal por flexión se utiliza la ecuación 16. Que es conocida como ecuación de Navier.

Ecuación de Navier.:

$$\sigma = \frac{MC}{I} \quad (16)$$

Donde:

σ = Esfuerzo normal por flexión

C = Distancia desde el eje neutro al extremo.

I = Momento de inercia.

M = Momento flexionante.

Descomponiendo la ecuación (16) en factores más comunes.

$$\sigma = \frac{MC}{I} = \frac{(M \times \frac{d}{2})}{\frac{\pi d^4}{64}} = \frac{M \times 32}{d^3 \pi}$$

Donde d = diámetro del perno.

Sustituyendo los datos se tiene lo siguiente:

$$\sigma = \frac{M \times 32}{d^3 \times \pi} = \frac{85,118.47 \text{ Nmm} \times 32}{(12\text{mm})^3 \times \pi} = 501.742 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma = 501.742 \text{ Mpa}$$

Para obtener el factor de seguridad (respecto al esfuerzo normal por flexión) se aplica la siguiente ecuación:

$$n = \frac{Sy}{\sigma} \quad (17)$$

Sustituyendo los valores en ecuación (17)

$$n = \frac{S_y}{\sigma} = \frac{1000\text{Mpa}}{501.742\text{Mpa}} = 1.9930 \approx 2$$

Dado que el factor de seguridad obtenido es aproximadamente 2 el perno no sufrirá falla durante la operación del equipo mecánico.

Para evitar dudas sobre el dato del valor de S_y (resistencia a la fluencia) presentado anteriormente se calcula otro factor de seguridad con el valor que el software de diseño contempla para el acero AISI 4340 dado que el valor de S_y puede variar.

$$n = \frac{S_y}{\sigma} = \frac{710\text{ Mpa}}{501.742\text{Mpa}} = \mathbf{1.4150}$$

De igual manera se confirma que el factor de seguridad es mayor que la unidad y por ello no hay riesgo de falla según la teoría del esfuerzo máximo.

Para asegurar que no haya falla con la máxima tensión cortante, se aplica la siguiente ecuación.

$$\tau_{max} = \frac{V_{max}}{A} \quad (18)$$

Donde:

τ_{max} = Esfuerzo cortante máximo.

V_{max} = Cortante máximo.

A = Área de sección transversal.

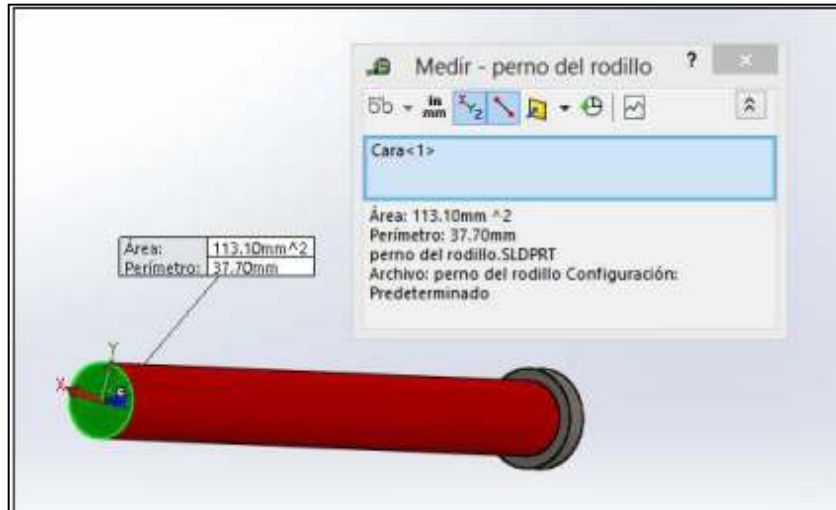


Figura 64. Área del perno sujetador de martillos móviles mediante solidworks.

Sustituyendo los valores:

$$\tau_{max} = \frac{V_{max}}{A} = \frac{3138.92N}{113.10 \text{ mm}^2} = 27.7535 \text{ Mpa}$$

Retomando la ecuación (13) para calcular el factor de seguridad para falla por cortante máximo.

$$n = \frac{S_y}{2\tau_{max}}$$

Para $S_y=1000 \text{ Mpa}$ (dato de tabla es decir, no de solidworks):

$$n = \frac{1000 \text{ Mpa}}{2 \times 27.7535 \text{ Mpa}} = 18.0159$$

Para $S_y=710 \text{ Mpa}$ (dato de software)

$$n = \frac{710 \text{ Mpa}}{2 \times 27.7535 \text{ Mpa}} = 12.7913$$

Considerando ambos datos de la resistencia a la fluencia del acero AISI 4340 se aprecia con claridad que los factores de seguridad son altos, es decir por mucho

mayores a 1. La pieza entonces no sufrirá falla por esfuerzo cortante, ni por esfuerzo normal, el perno es totalmente seguro.

Nota: El análisis de este componente se realiza puntos más adelante ya que se considera mejor analizar el ensamblaje de los elementos principales de corte y conocer el comportamiento que sufre el conjunto.

7.9. Diseño de eje o flecha principal.

Esta flecha o eje es de mucha importancia ya que en él estarán montados los elementos de corte y dado las características de operación se requiere que soporte las cargas provocadas por el peso de cada elemento y las revoluciones por minuto a las que estará operando, no dejando por un lado las cargas producidas por el proceso de molienda.

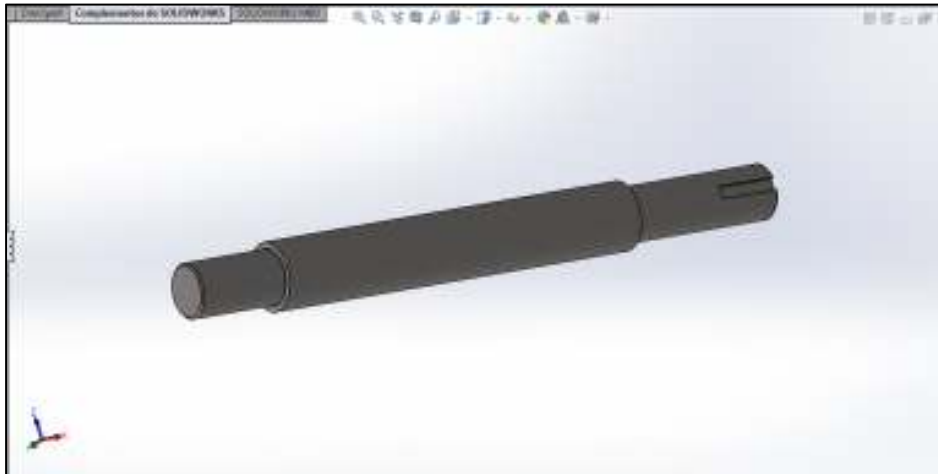


Figura 65. Eje principal

Nota: El análisis de este componente se realiza puntos más adelante ya que se considera mejor analizar el ensamblaje de los elementos principales de corte y conocer el comportamiento que sufre el conjunto.

7.10. Diseño de tolvas.

Las tolvas son los elementos encargados de contener la materia que está siendo molida en un lugar cerrado para que los martillos o elementos de corte realicen el proceso de molienda.

7.10.1. Tolva de alimentación.

Es la que solo contiene la materia prima antes de ingresar a la cámara de molienda y colocarse a un ángulo para que la gravedad facilite su ingreso.

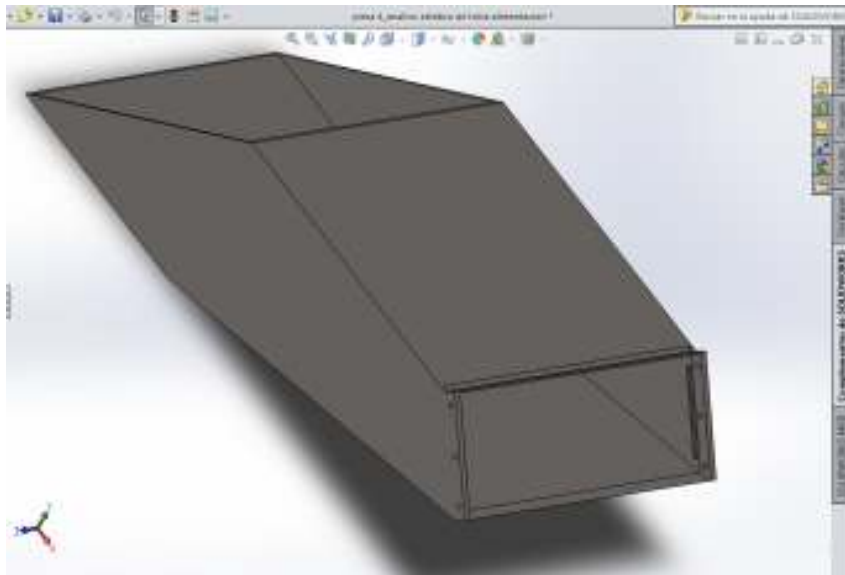


Figura 66. Diseño de tolva de alimentación.

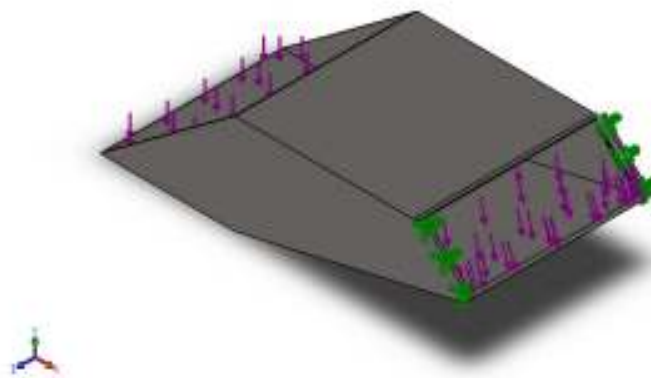


Figura 67. Colocación de cargas a tolva de alimentación.



Figura 68. Mallado estándar de tolva de alimentación.

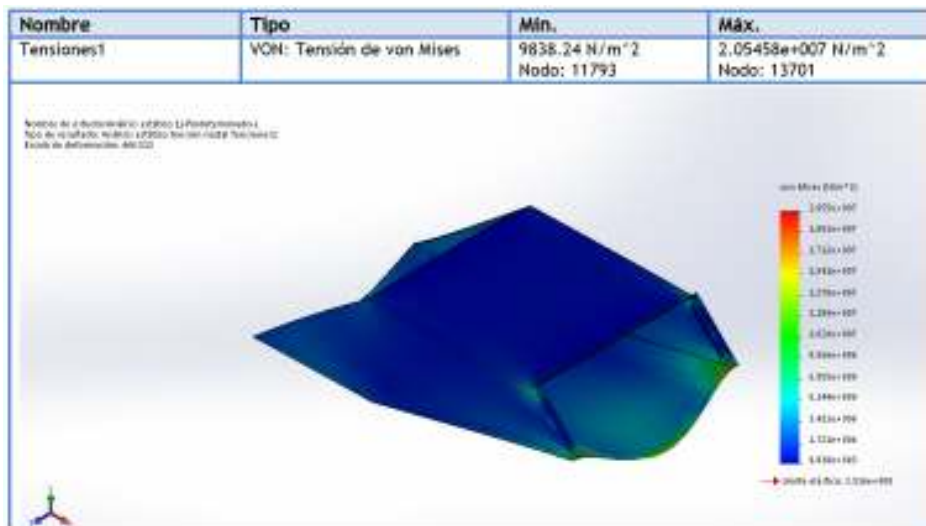


Figura 69. Análisis de esfuerzos de la tolva de alimentación.

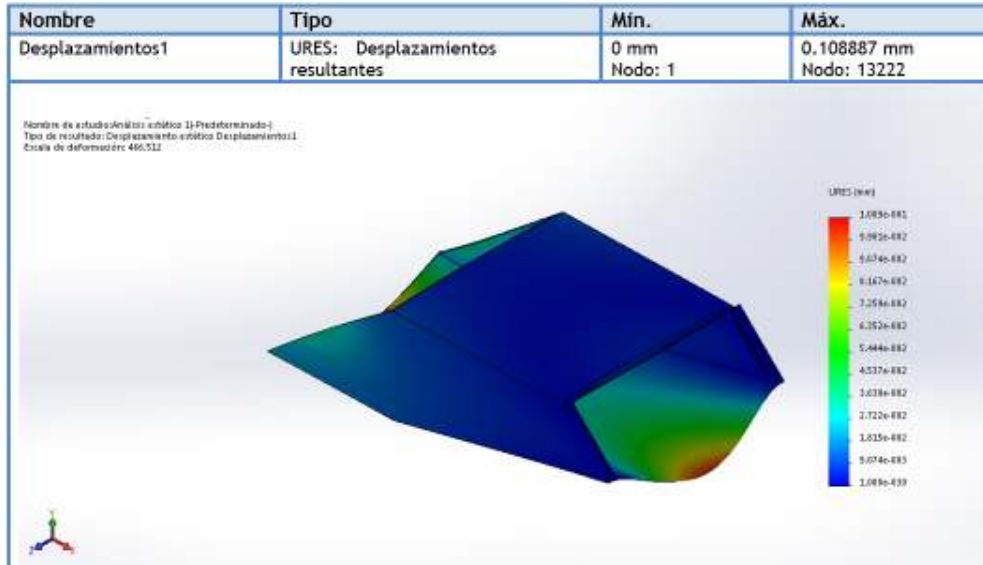


Figura 70. Análisis de desplazamientos resultantes.

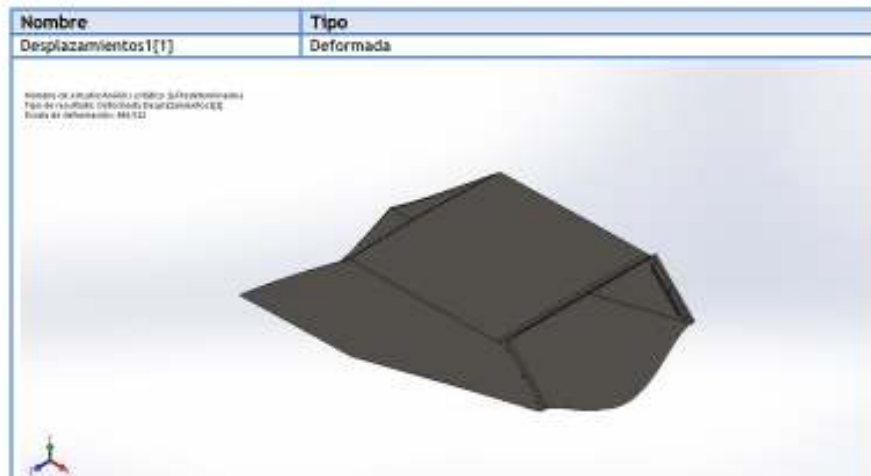


Figura 71. Representación de la deformación que sufre la pieza.

Con base a los esfuerzos presentes en la pieza se aprecia claramente que todos están por debajo del límite elástico del material y los desplazamientos son bastante razonables para determinar que no sufrirá ninguna falla.

7.10.2. Tolva de contención.

Es la que cubre la parte superior para mantener las partículas que a causa del golpe de los martillos (elementos de corte) salen proyectadas en diversas direcciones,

generar un área segura y favorable para poder continuar disminuyendo su tamaño al deseado.



Figura 72. Diseño de tolva de contención.

7.10.2.1. Análisis mediante software de diseño.

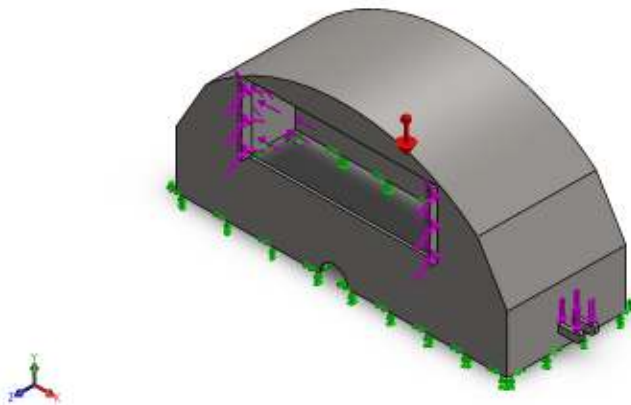


Figura 73. Colocación de cargas en tolva de contención.

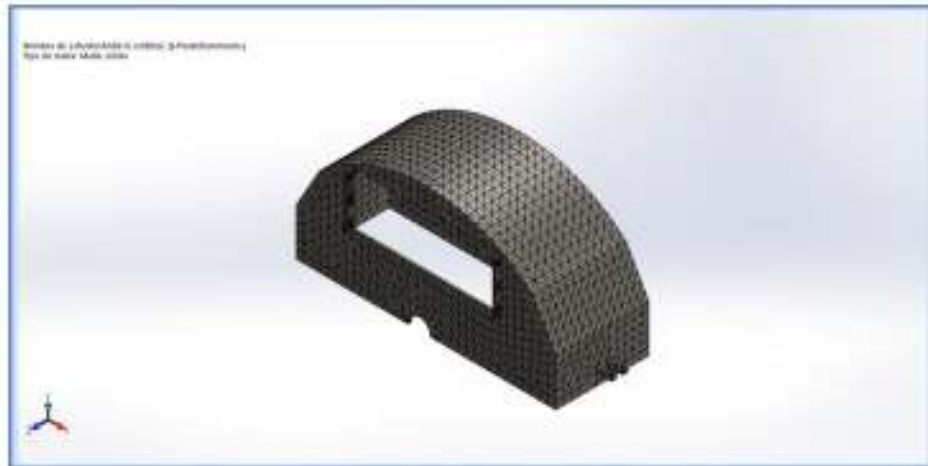


Figura 74. Mallado estándar de la tolva de contención.

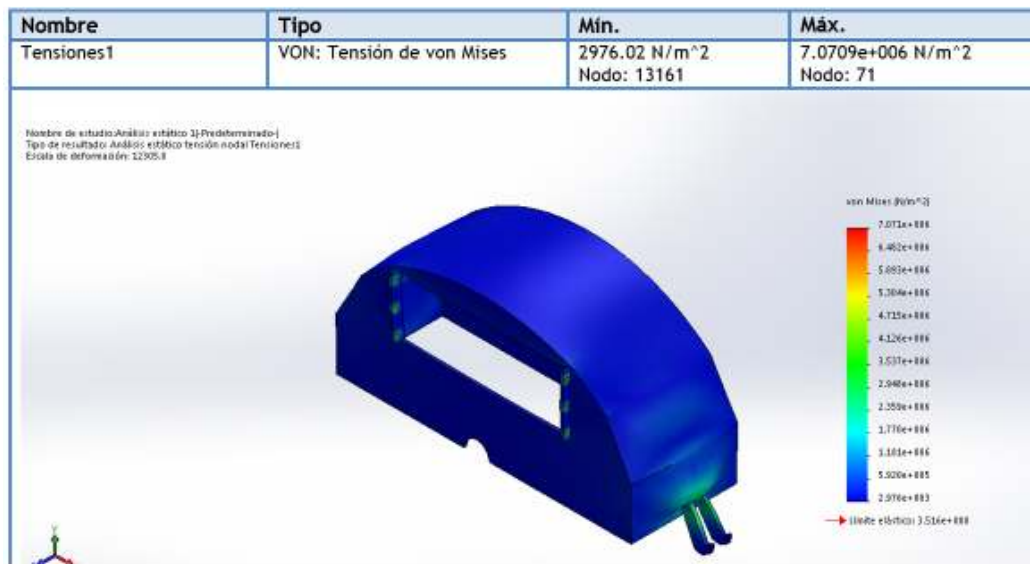


Figura 75. Análisis de esfuerzos.

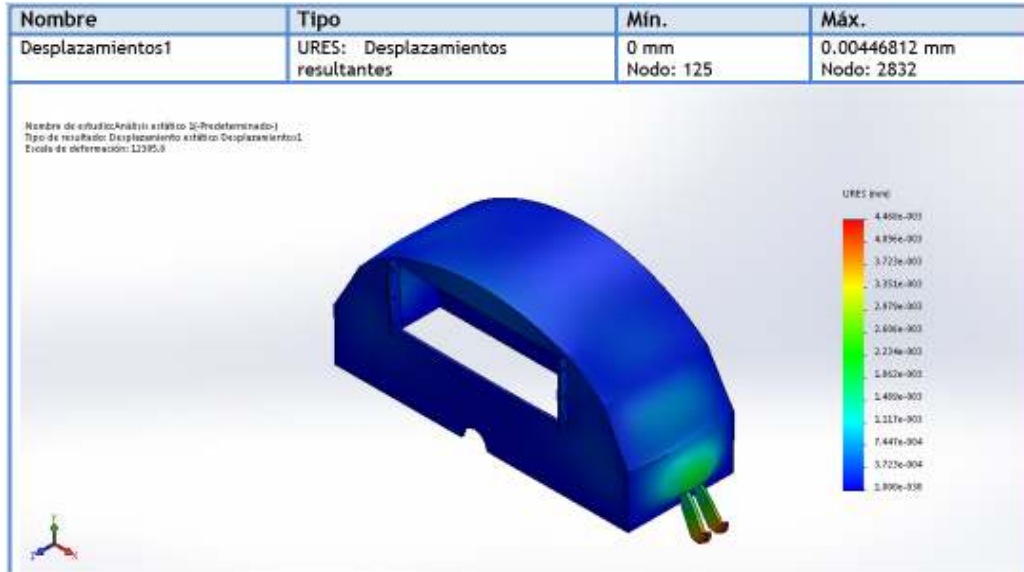


Figura 76. Análisis de desplazamientos resultantes.

Con base a los esfuerzos presentes en la pieza se aprecia claramente que todos están por debajo del límite elástico del material y los desplazamientos son bastante razonables para determinar que no sufrirá ninguna falla.

7.10.3. Tolva de descarga.

Esta es la encargada de colocar la materia prima ya molida en la parte inferior para poder ser recolectada por el operario del equipo, esta cuenta con soportes para la colocación de la criba que determina la finura del producto final de la molienda. Esta también mantiene cerrada todas las partes del sistema de corte para proteger al operador de las partículas.

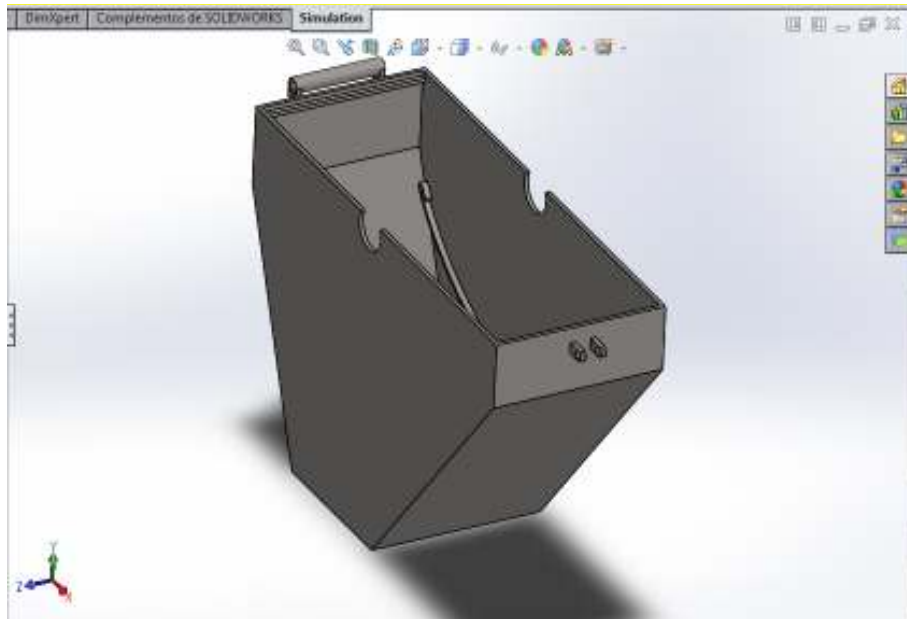


Figura 77. Diseño de tolva de descarga.

7.10.3.1. Análisis mediante software de diseño.

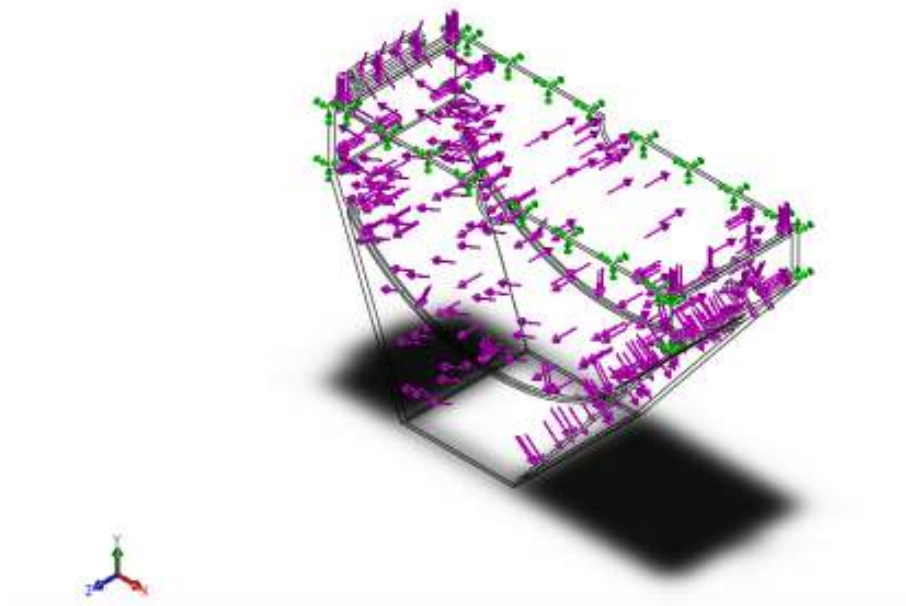


Figura 78. Colocación de cargas a la tolva de descarga (transparente para mejor visión).

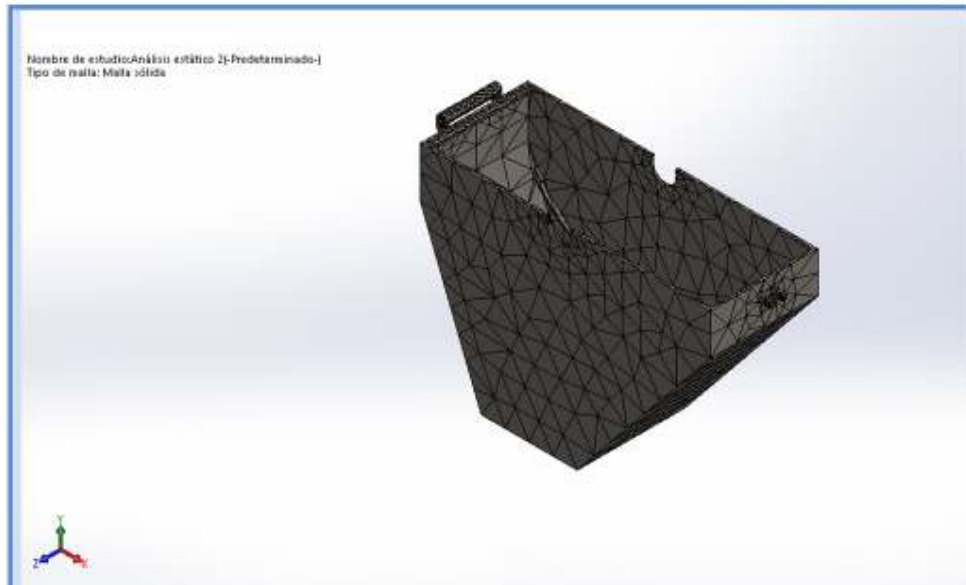


Figura 79. Mallado solido basado en curvatura de la tolva de descarga.

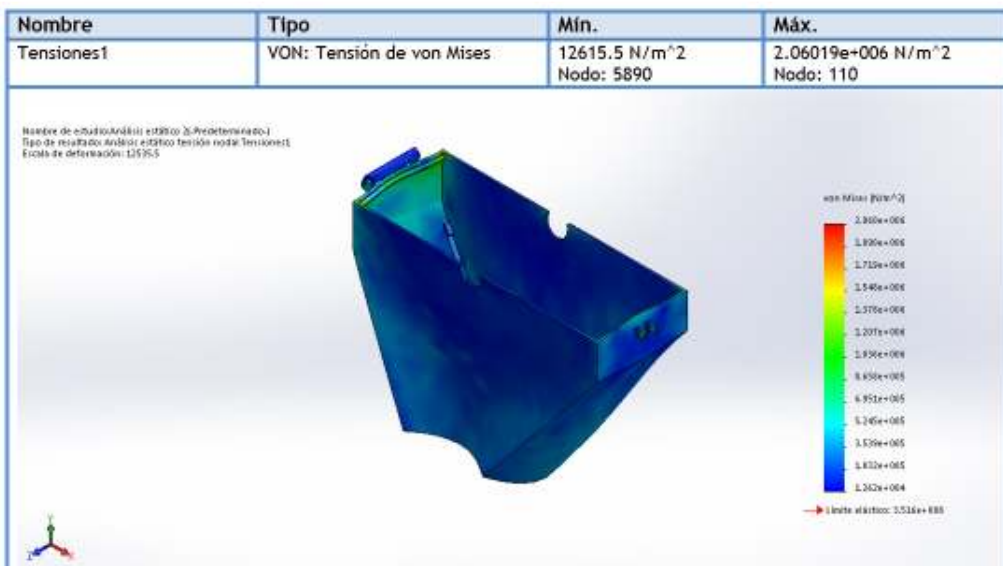


Figura 80. Análisis de esfuerzos de la tolva de descarga.

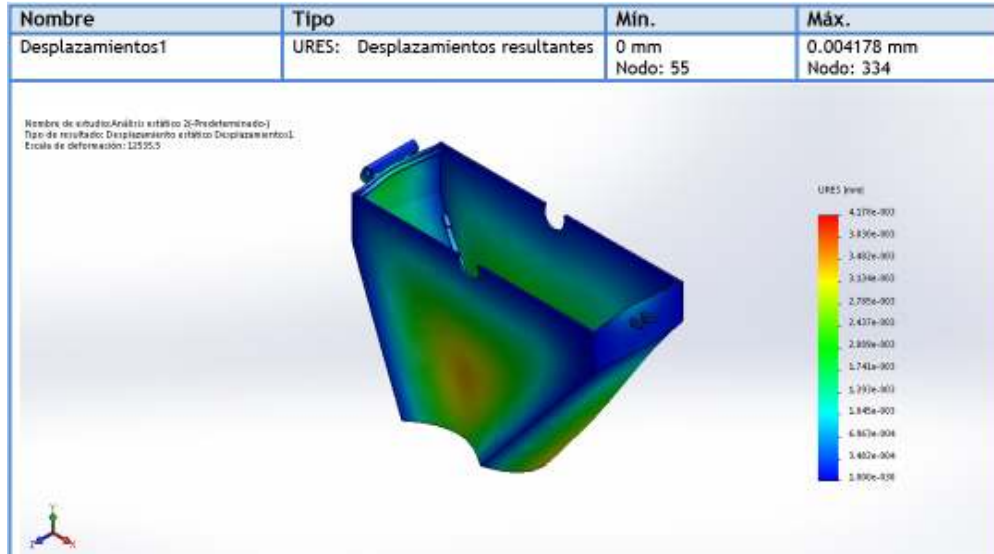


Figura 81. Análisis de los desplazamientos resultantes.

Con base a los esfuerzos presentes en la pieza se aprecia claramente que todos están por debajo del límite elástico del material y los desplazamientos son bastante razonables para determinar que no sufrirá ninguna falla.

7.11. Diseño del marco o chasis principal.

El marco es la base principal que soporta a todos los componentes así que debe ser resistente. A continuación se presenta el diseño realizado para poder apreciar la geometría empleada para lograr una buena resistencia.

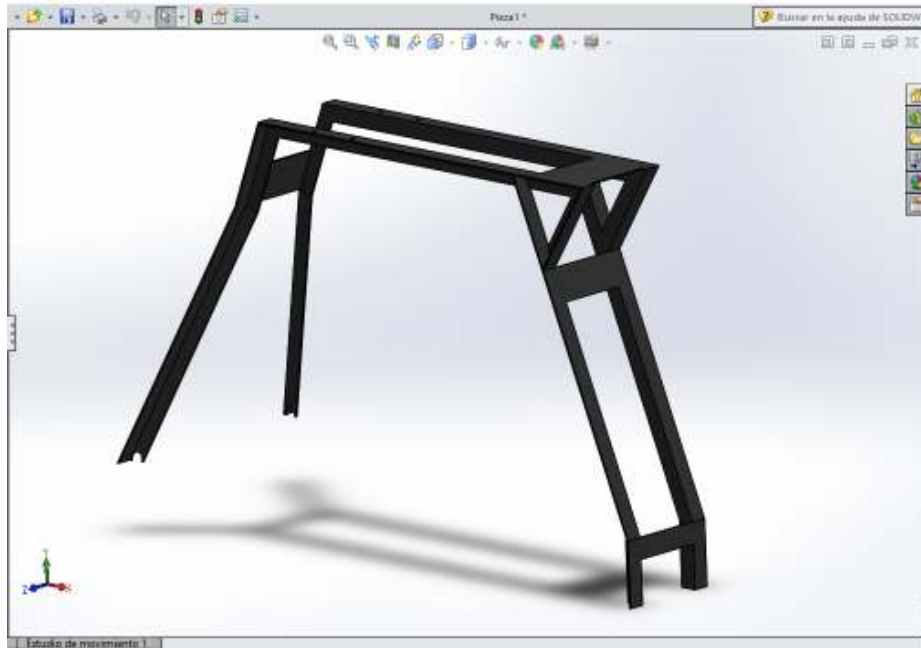


Figura 82. Diseño del marco o chasis principal.

7.11.1. Análisis mediante software de diseño.

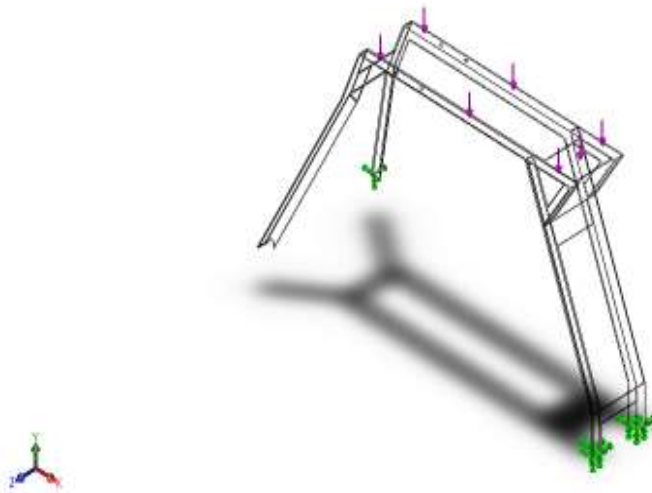


Figura 83. Colocación de cargas.

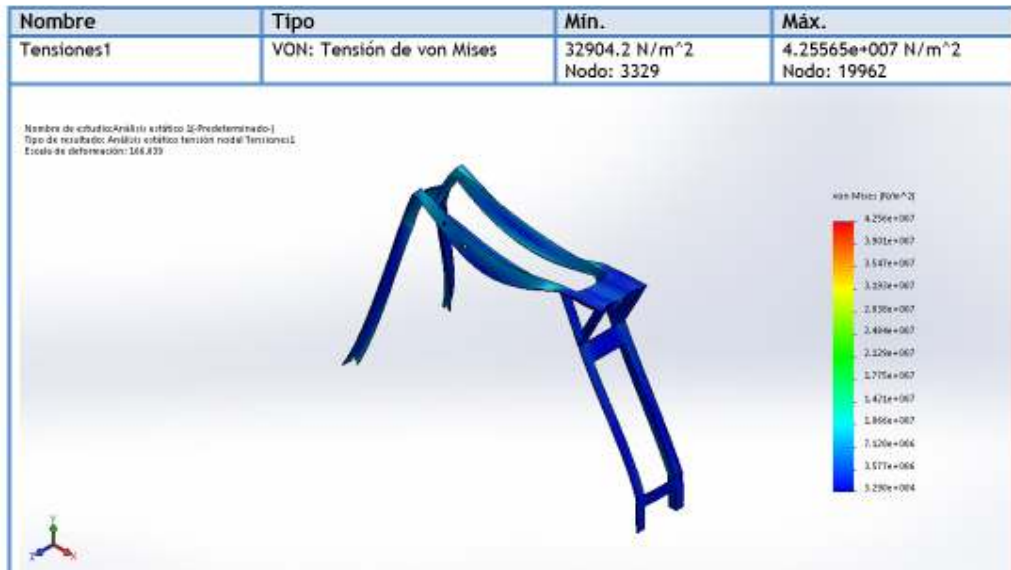


Figura 84. Análisis de esfuerzos.

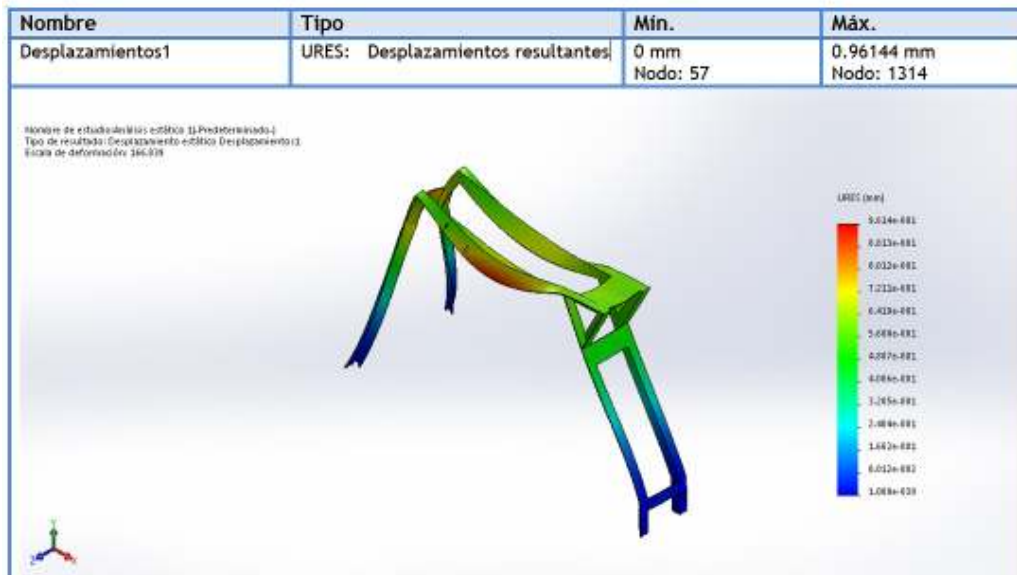


Figura 85. Análisis de desplazamientos resultantes.

Con base a los esfuerzos presentes en la pieza se aprecia claramente que todos están por debajo del límite elástico del material y los desplazamientos son bastante razonables para determinar que no sufrirá ninguna falla.

7.12. Diseño de componentes secundarios.

7.12.1. Eje para colocación de llantas.



Figura 86. Eje para colocación de llantas.

7.12.1.1. Análisis mediante software de diseño.

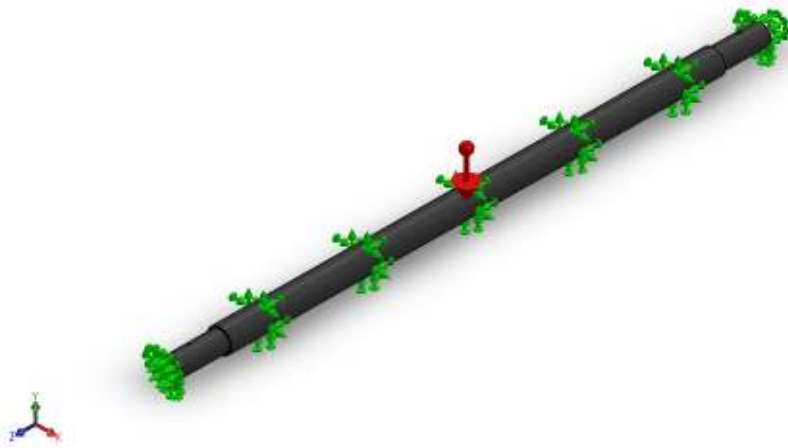


Figura 87. Colocación de cargas al eje para llantas.



Figura 88. Generación de malla solida basada en curvas.

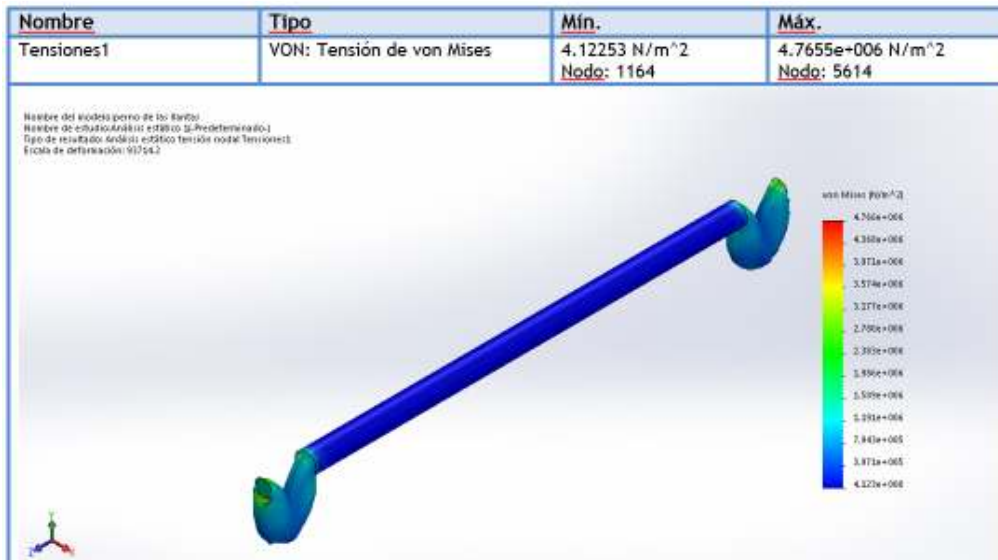


Figura 89. Análisis de esfuerzos.

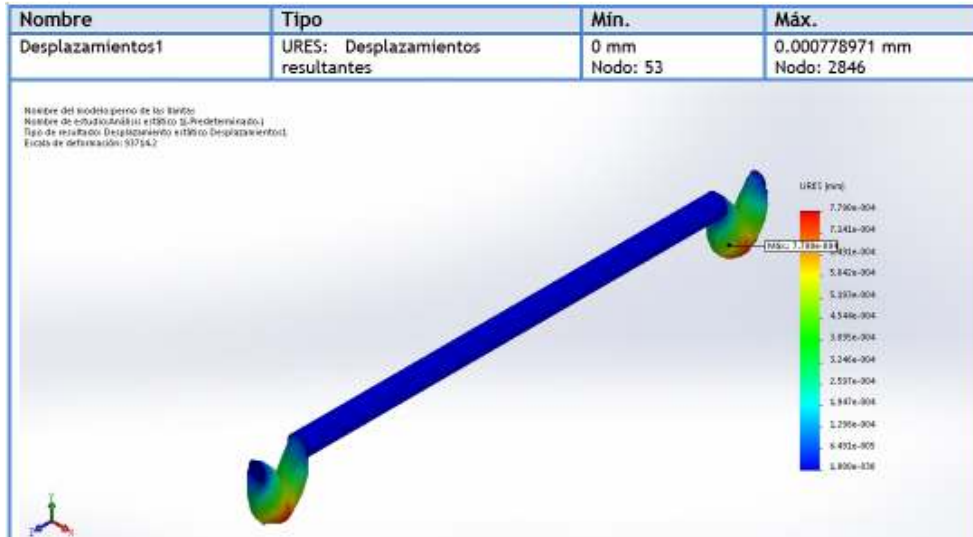


Figura 90. Análisis de desplazamientos resultantes.



Figura 91. Análisis del factor de seguridad.

Como se aprecia en la figura anterior el factor de seguridad es alto, lo que significa que la pieza es completamente segura, duradera y desempeñara correctamente su función.

7.12.2. Polea de transmisión.

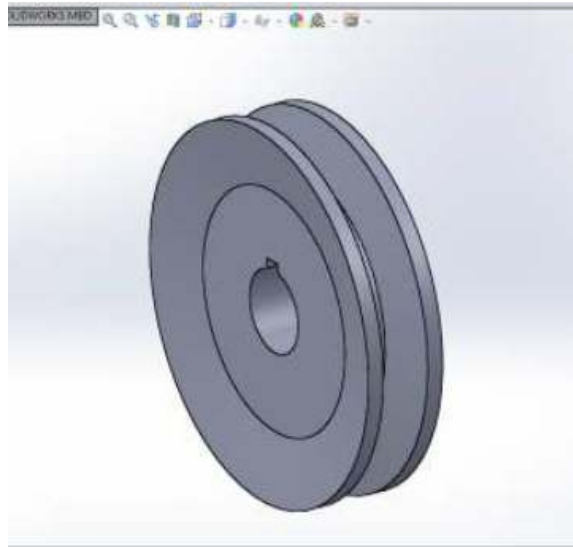


Figura 92. Diseño de polea de transmisión de aluminio.

Nota: Las dimensiones de la polea fueron tomadas de una polea real de aluminio por ello no se consideran análisis en solidworks ya que este tipo de poleas son usadas en maquinaria de corte de manera segura.

7.12.3. Diseño de cuña.

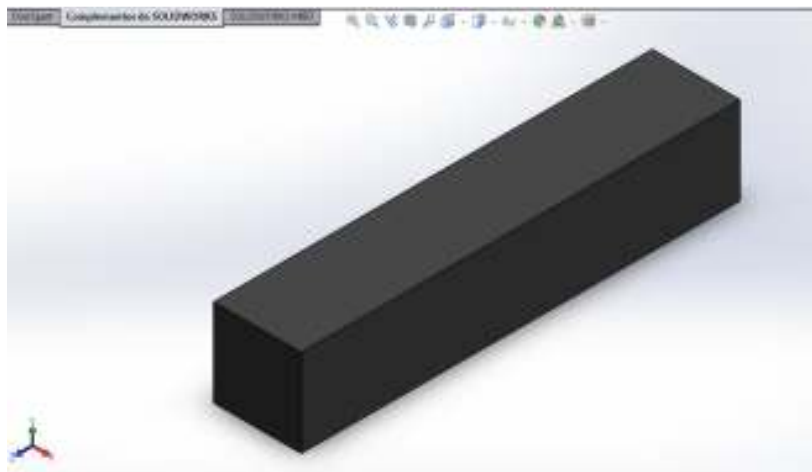


Figura 93. Diseño de cuña para el eje principal y la polea de transmisión.

Nota: Dimensiones basadas en cuñas reales de cigüeñales de máquinas de corte.

7.12.3.1. Análisis mediante software de diseño.

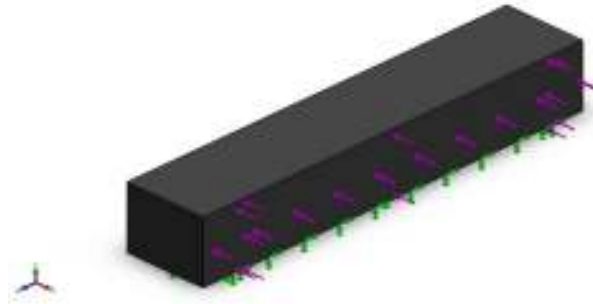


Figura 94. Colocación de cargas.

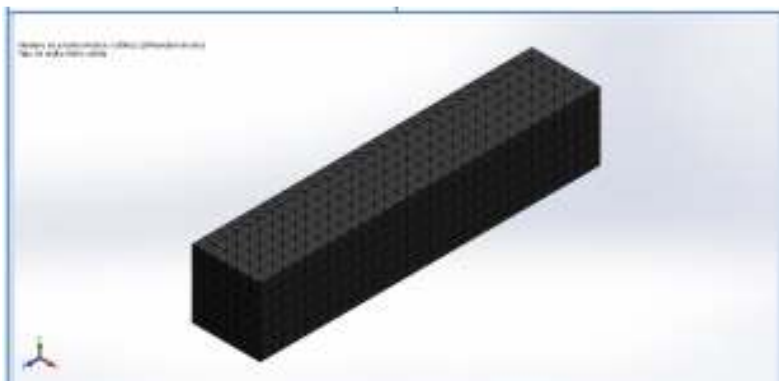


Figura 95. Generación de malla solida estándar.

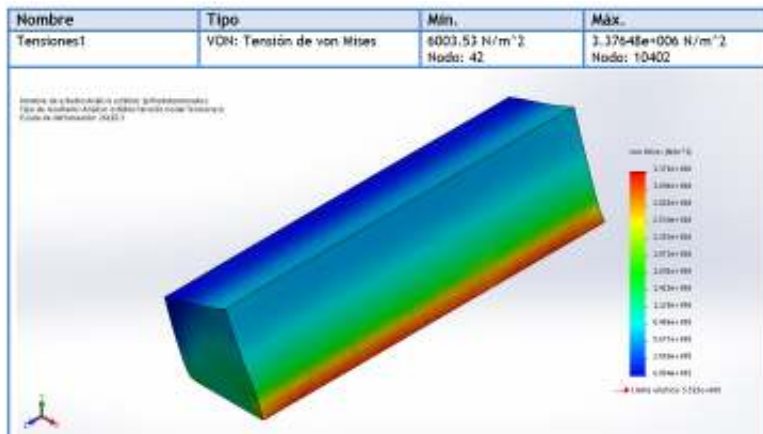


Figura 96. Análisis de esfuerzos.

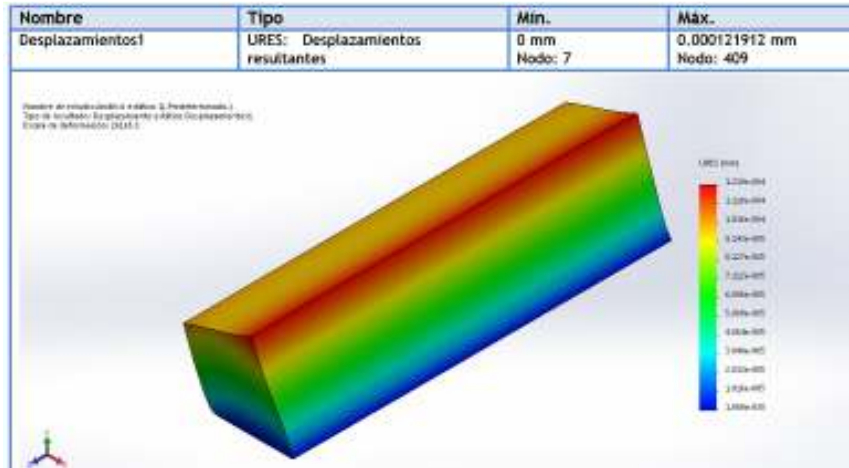


Figura 97. Análisis de desplazamientos resultantes.

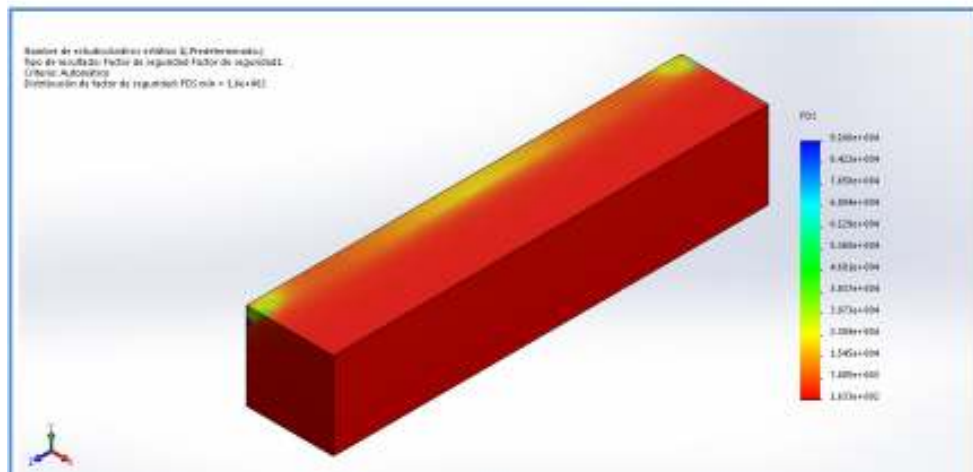


Figura 98. Análisis del factor de seguridad.

Como se aprecia en la figura anterior el factor de seguridad es alto, lo que significa que la pieza es completamente segura, duradera y desempeñara correctamente su función.

7.12.4. Diseño de chumaceras o sujetadores del eje principal.

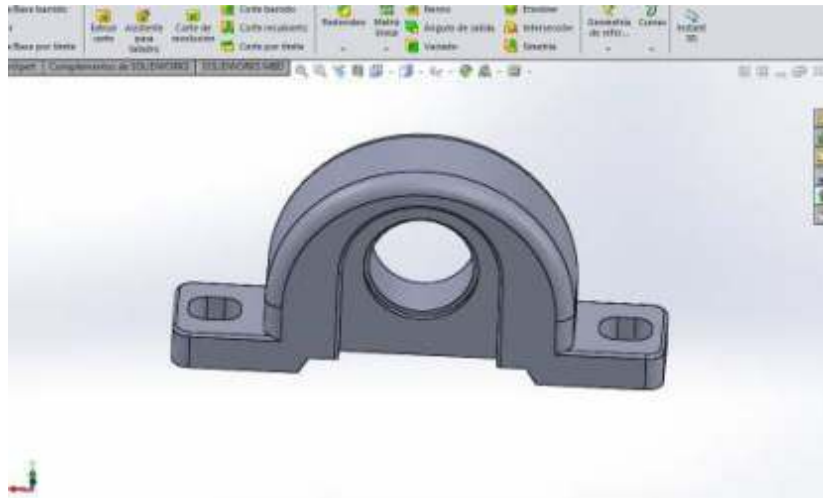


Figura 99. Chumacera en solidworks.

Nota: Considerando dimensiones aproximadas de chumaceras reales empleadas para la sujeción de ejes de transmisión. Y tomando en cuenta que en el mercado local existe una gran variedad se descartan análisis en solidworks.

7.12.5. Llantas.

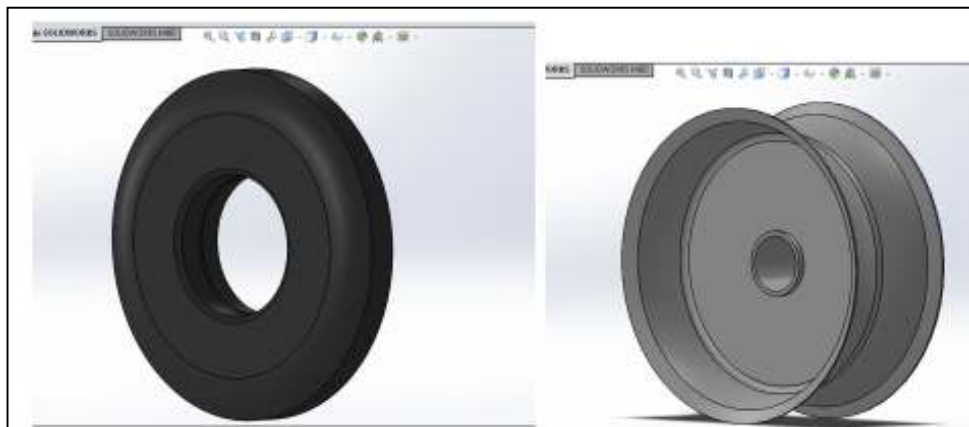


Figura 100. Llanta y rin.

Para estos componentes no se realizan análisis en solidworks ya que las medidas fueron tomadas de una real y la capacidad de carga ya están determinados por el fabricante, sirva entonces únicamente como referencia el modelo presentado en la figura anterior.

7.12.6. Criba o rejilla.

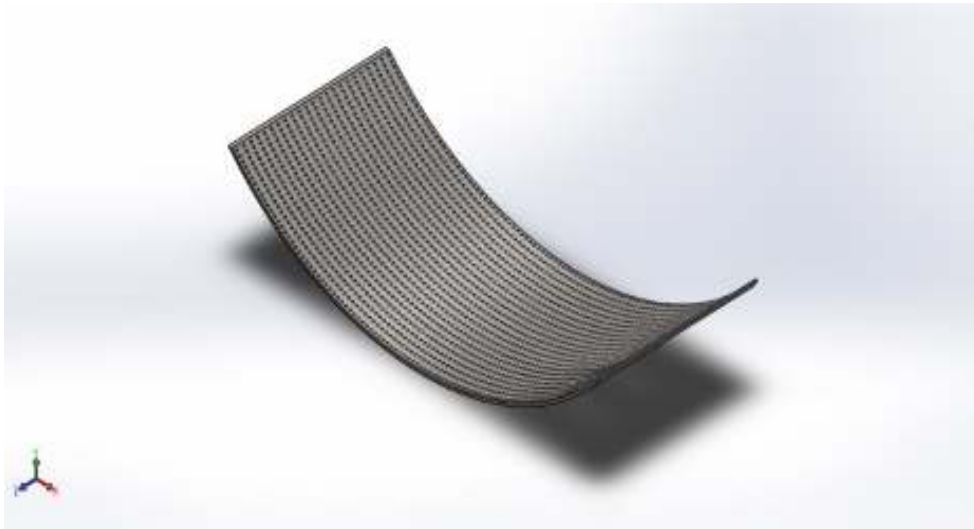


Figura 101. Criba o rejilla.

7.12.6.1. Análisis mediante software de diseño.

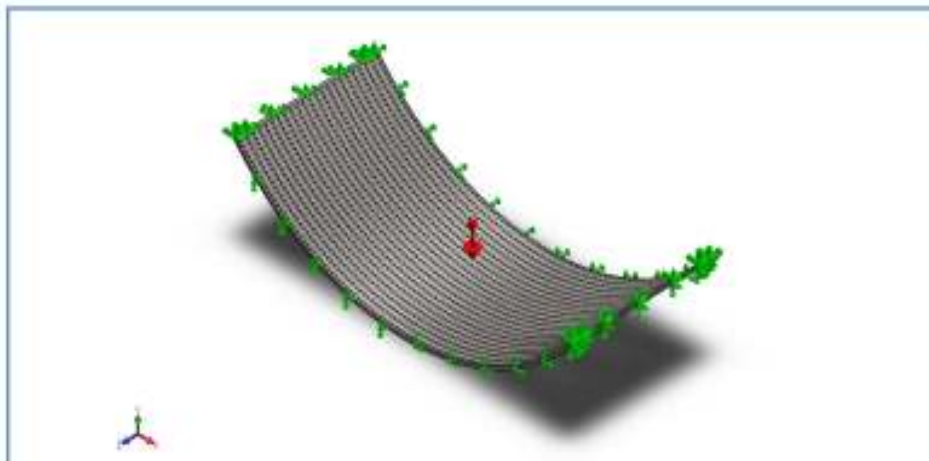


Figura 102. Colocación de cargas.



Figura 103. Generación de malla basada en curvatura.

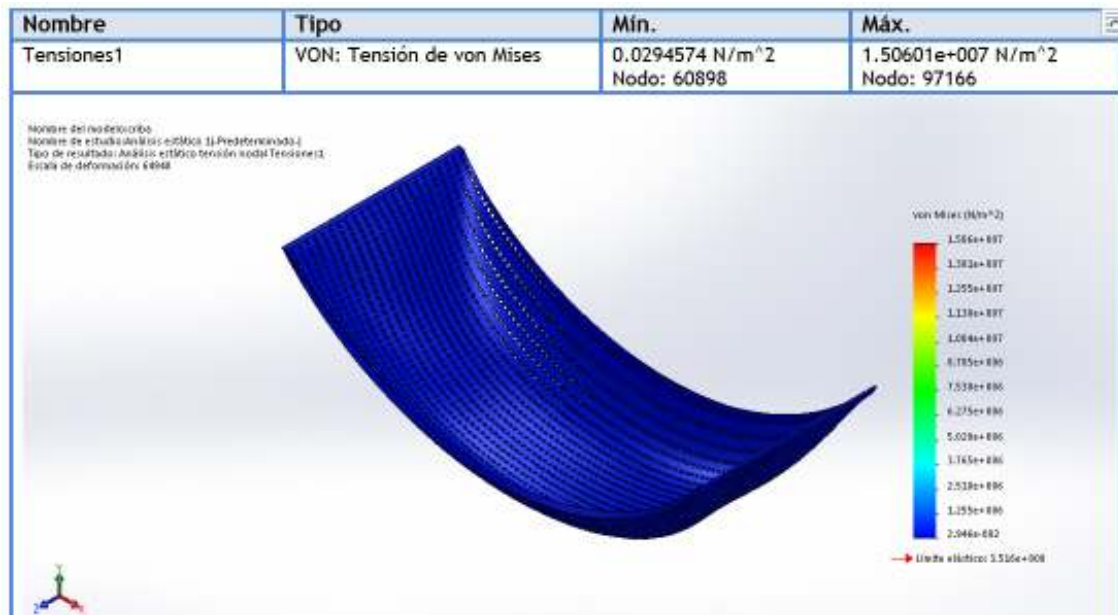


Figura 104. Análisis de esfuerzos.

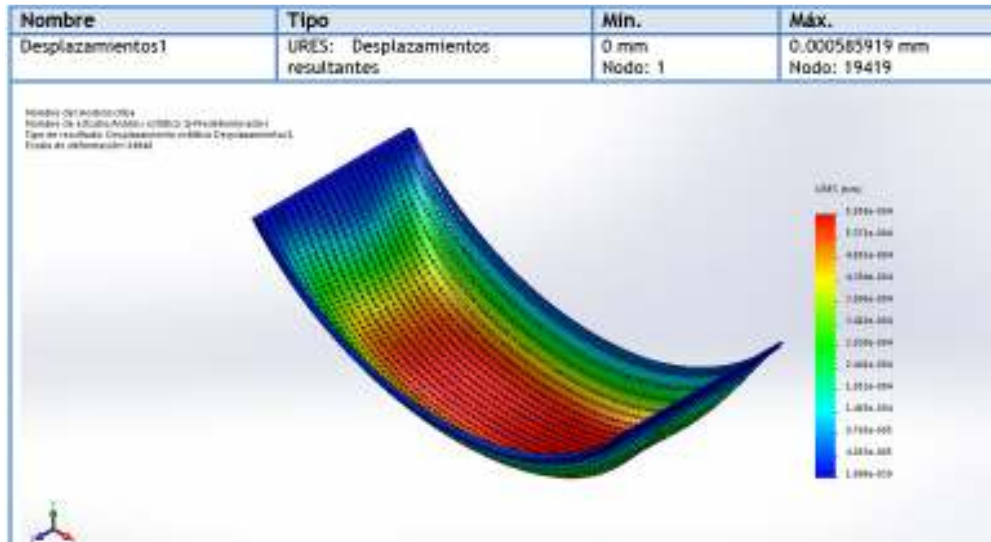


Figura 105. Análisis de desplazamientos resultantes.

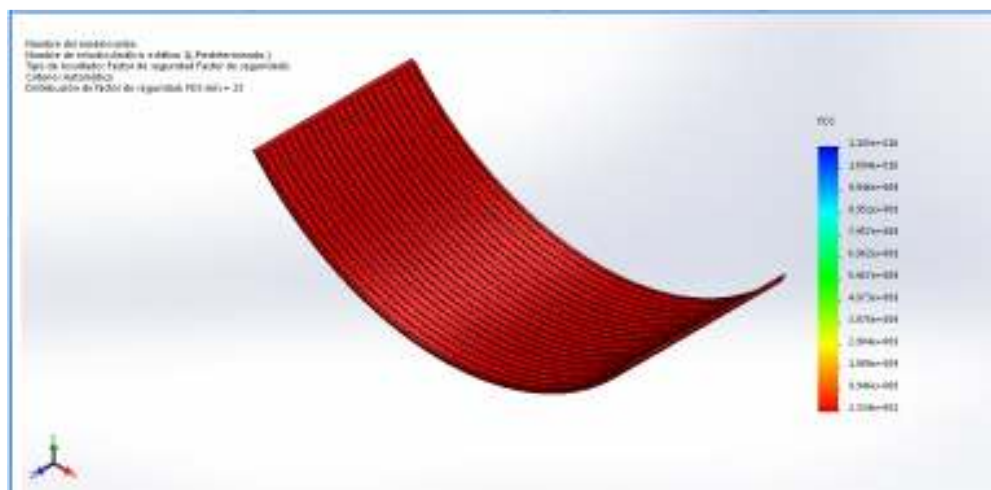


Figura 106. Análisis del factor de seguridad.

Como se aprecia en la figura anterior el factor de seguridad es alto, lo que significa que la pieza es completamente segura, duradera y desempeñara correctamente su función.

7.12.7. Base o placa móvil del motor.



Figura 107. Base o placa móvil del motor.

7.12.7.1. Análisis mediante software de diseño.

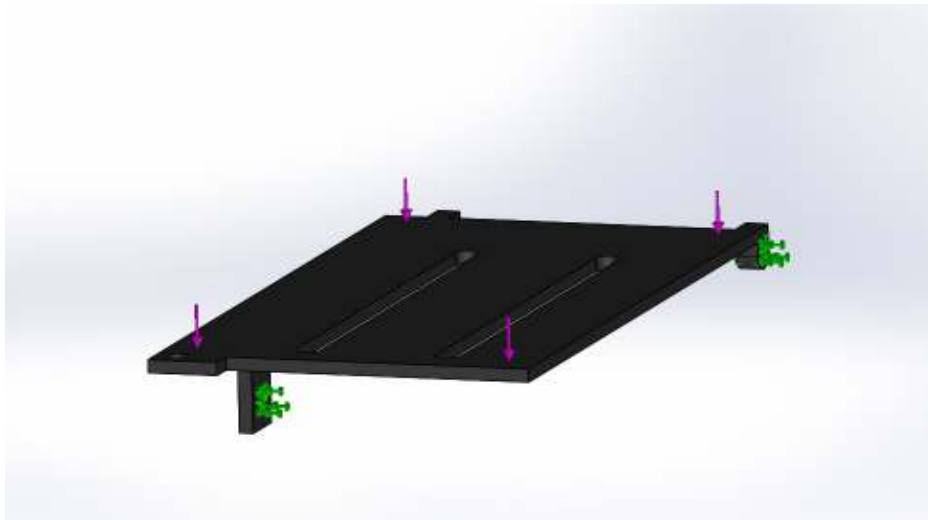


Figura 108. Colocación de cargas.



Figura 109. Generación de malla solida estándar.

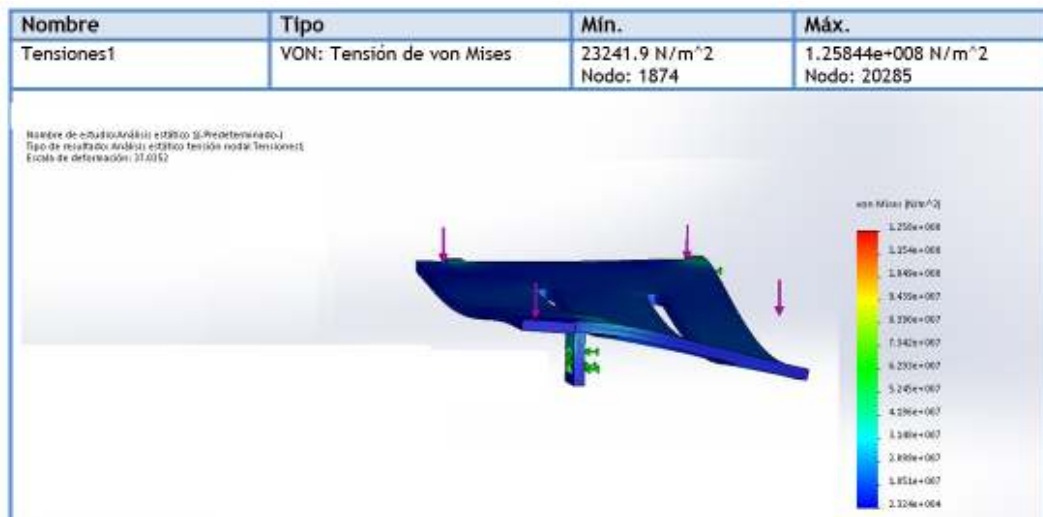


Figura 110. Análisis de esfuerzos.

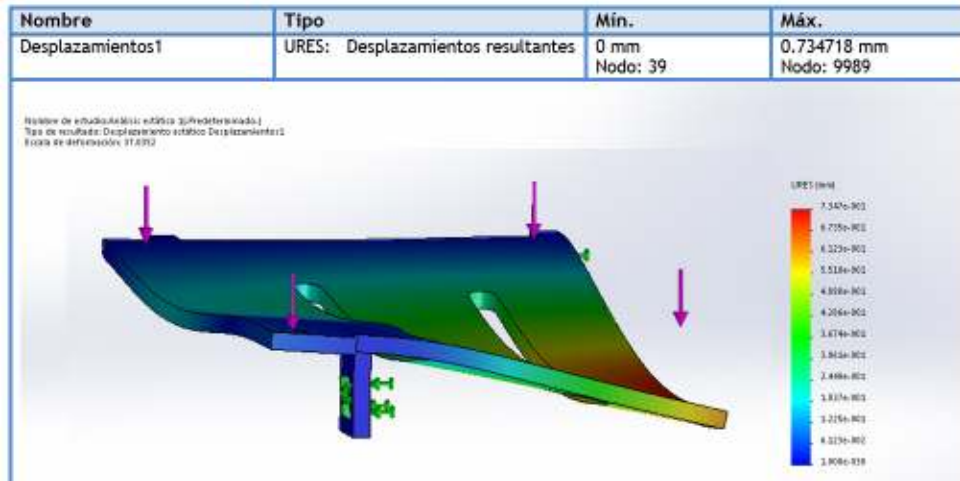


Figura 111. Análisis de desplazamientos resultantes.

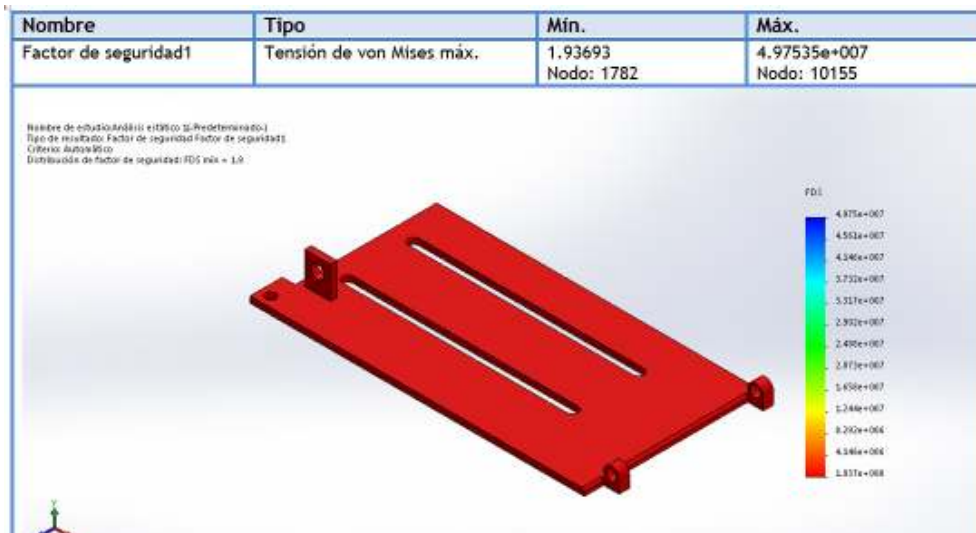


Figura 112. Análisis del factor de seguridad.

Como se aprecia en la figura anterior el factor de seguridad mínimo es de 1.936, lo que significa que la pieza es completamente segura, duradera y desempeñará correctamente su función.

7.12.8. Perno para unión de tolva de contención y descarga.

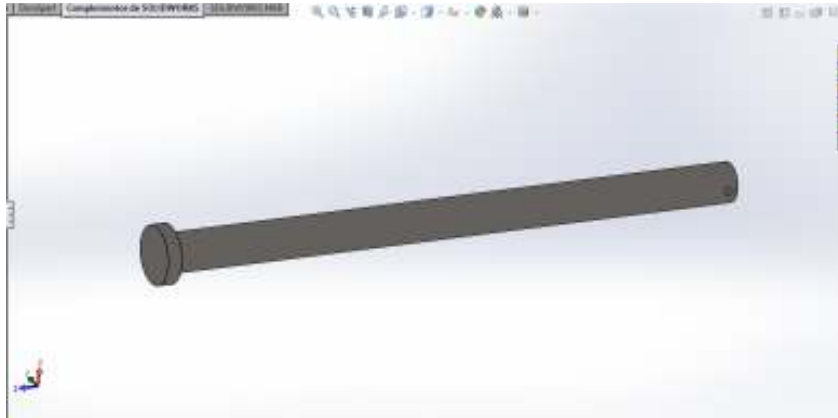


Figura 113. Perno de tolvas (contención y descarga).

7.12.8.1. Análisis mediante software de diseño.

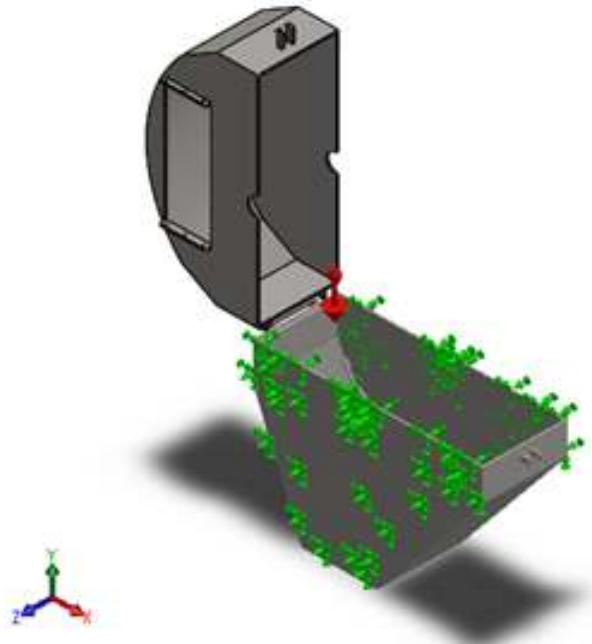


Figura 114. Colocación de cargas al conjunto (tolvas y perno).



Figura 115. Generación de mallado solido basado en curvas.

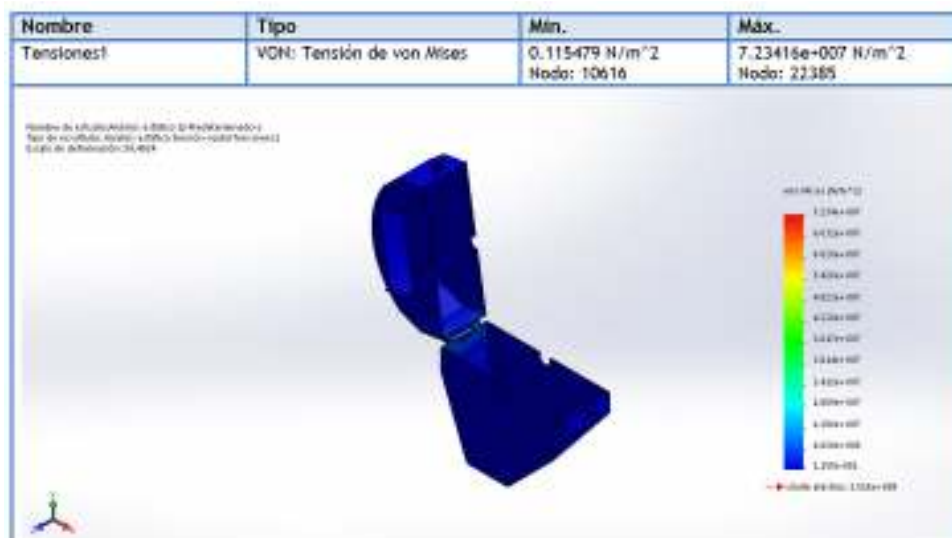


Figura 116. Análisis de esfuerzos.

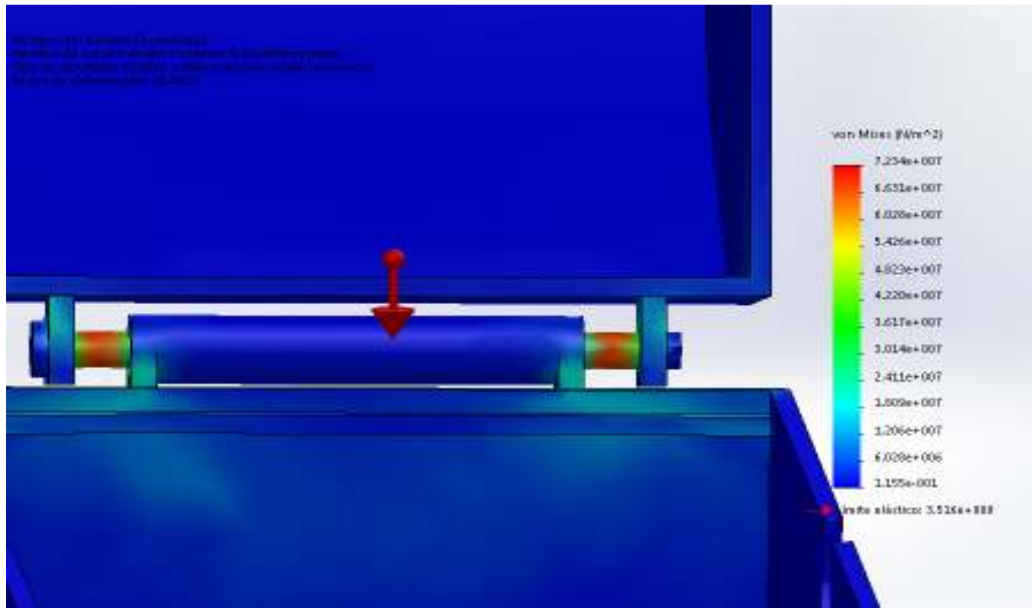


Figura 117. Análisis de esfuerzos (Vista frontal).



Figura 118. Análisis de factor de seguridad.

Como se aprecia en la figura anterior el factor de seguridad mínimo es de 4.859, lo que significa que la pieza es completamente segura, duradera y desempeñara correctamente su función.

7.12.9. Placa o base fija del motor.

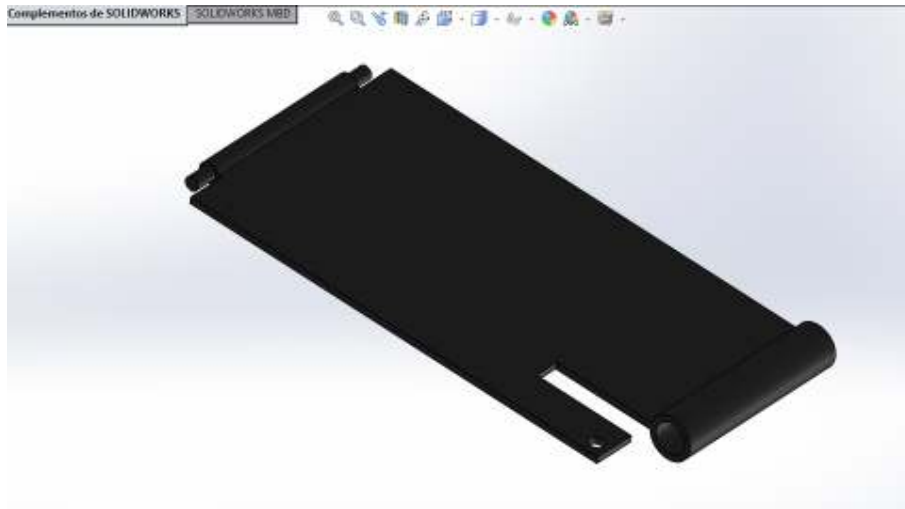


Figura 119. Placa o base fija del motor.

Nota: Para este componente se descarta el análisis en solidworks dado que el marco o chasis principal ya cuenta con una placa que soporta bien la carga la base fija únicamente está considerada para poder colocar el mecanismo para tensado de la banda (estará soldada encima) como se apreciara más adelante en la sección de ensamblado.

7.12.10. Eslabón o placa unión del mecanismo de tensión de banda.



Figura 120. Eslabón o placa unión para base del motor.

7.12.10.1. Análisis mediante software de diseño.

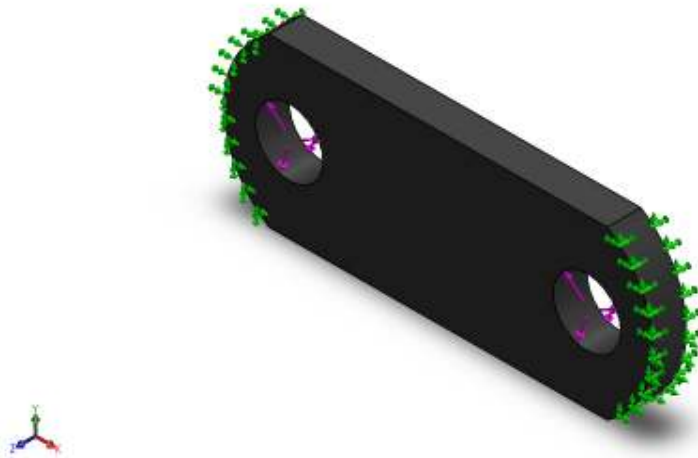


Figura 121. Colocación de cargas.

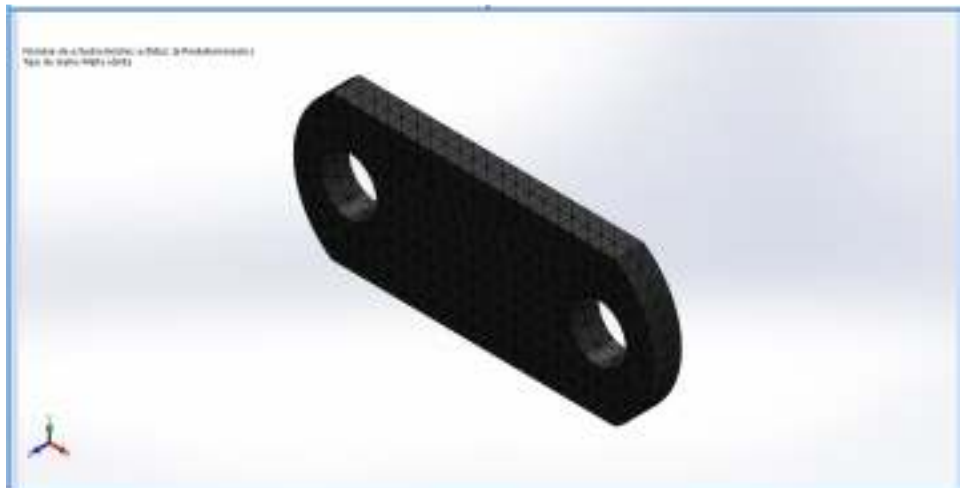


Figura 122. Generación de malla solida estándar.

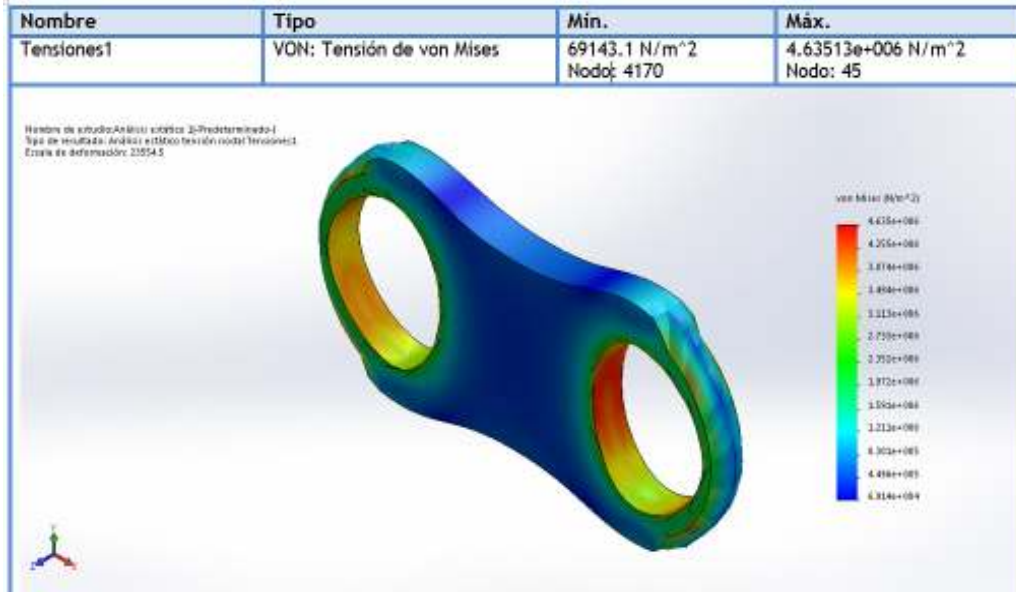


Figura 123. Análisis de esfuerzos.

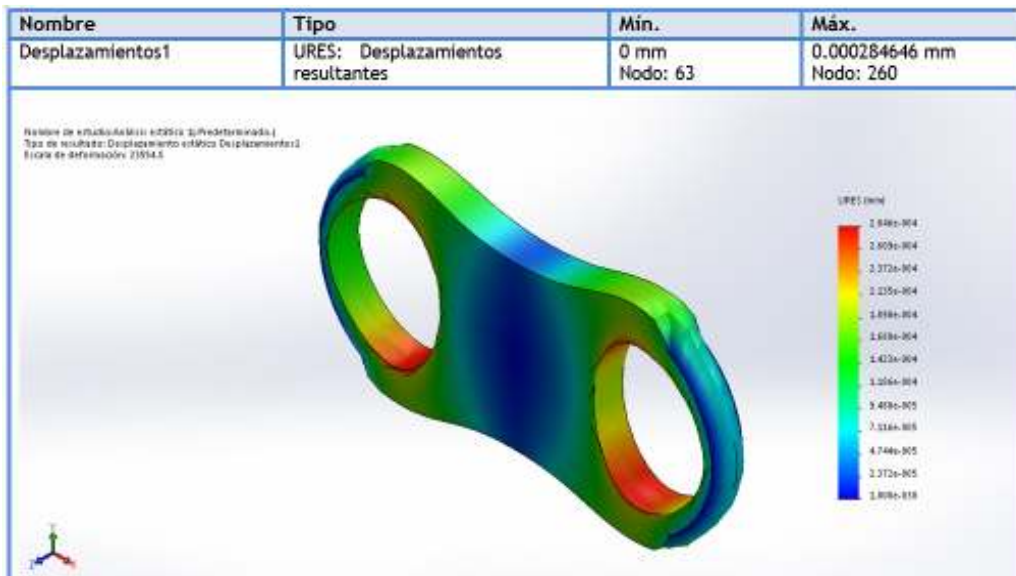


Figura 124. Análisis de desplazamientos resultantes.

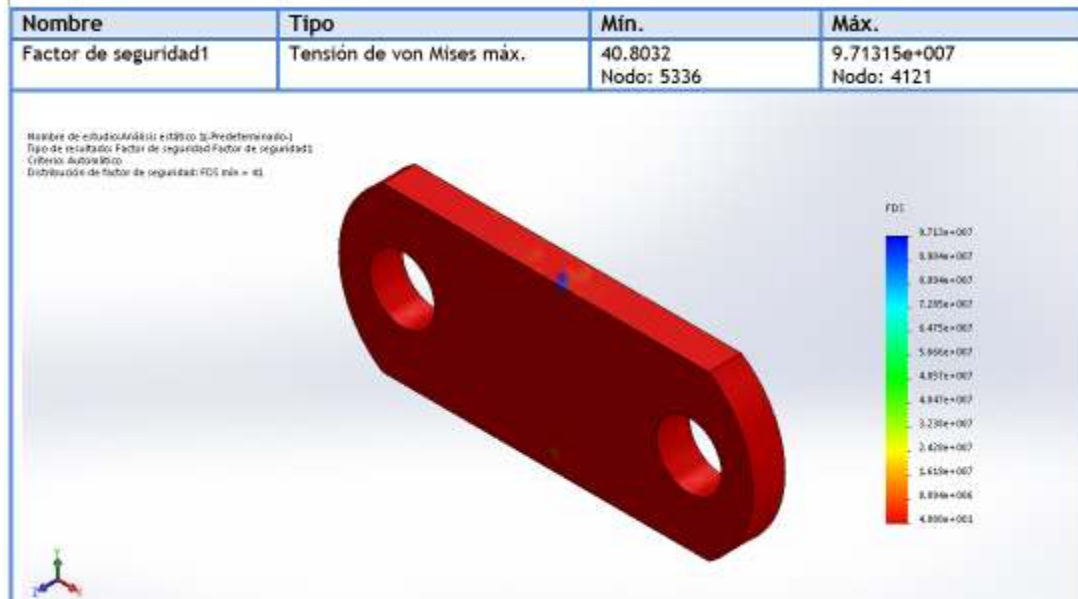


Figura 125. Análisis del factor de seguridad.

Como se aprecia en la figura anterior el factor de seguridad es alto, lo que significa que la pieza es completamente segura, duradera y desempeñará correctamente su función.

7.12.11. Palanca para accionar el mecanismo de banda.

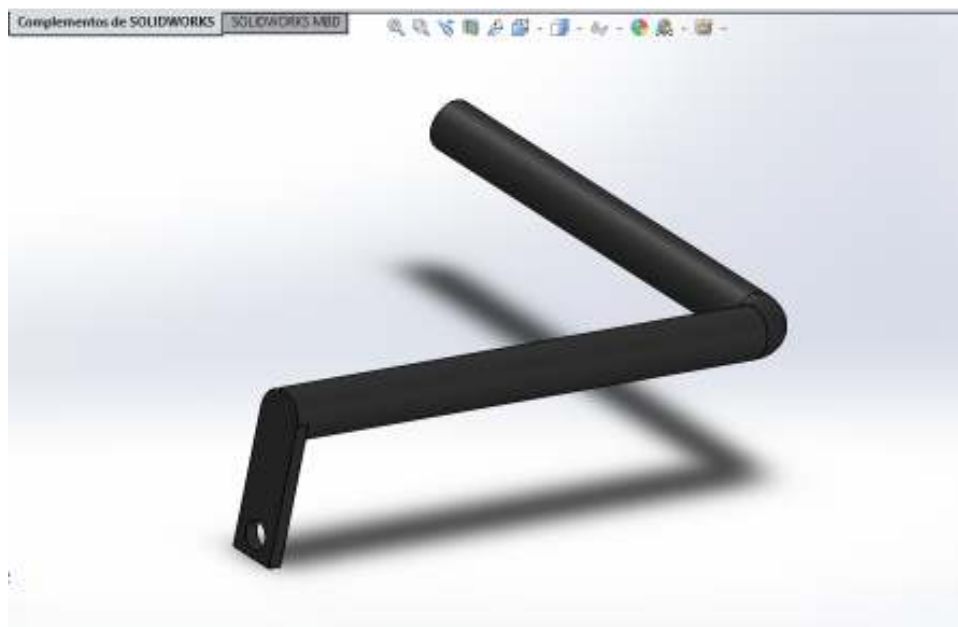


Figura 126. Palanca para el tensado de banda.

7.12.11.1. Análisis mediante software de diseño.

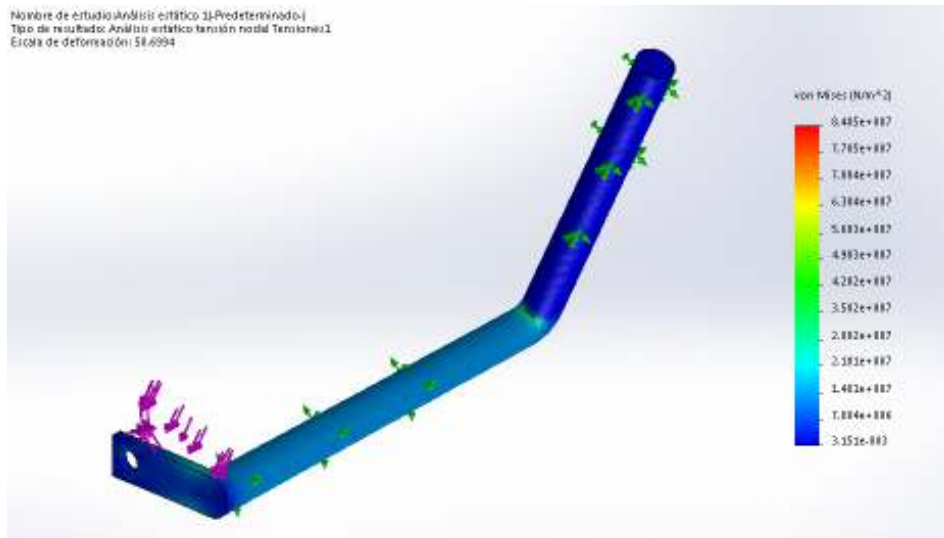


Figura 127. Análisis de esfuerzos.

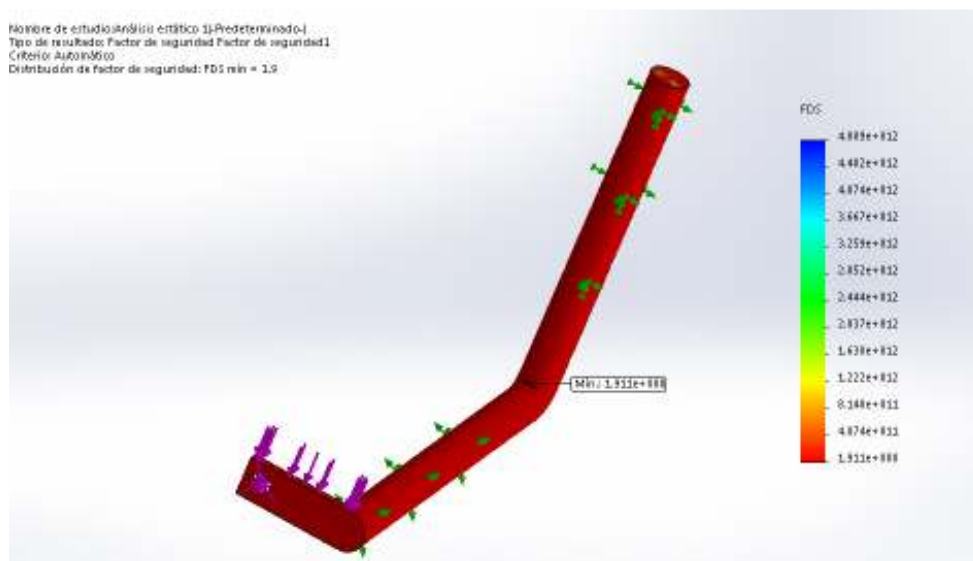


Figura 128. Análisis del factor de seguridad.

Como se aprecia en la figura anterior el factor de seguridad mínimo es 1.911, lo que significa que la pieza es completamente segura, duradera y desempeñará correctamente su función.

7.12.12. Placa de retención de materia prima y placa complementaria.

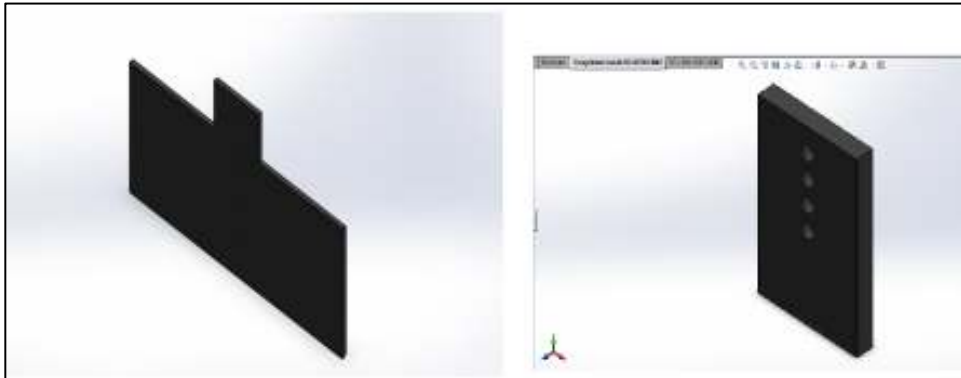


Figura 129. Placa de retención (y complementaria) de materia prima para tolva de alimentación.

7.12.12.1. Análisis mediante software de diseño.

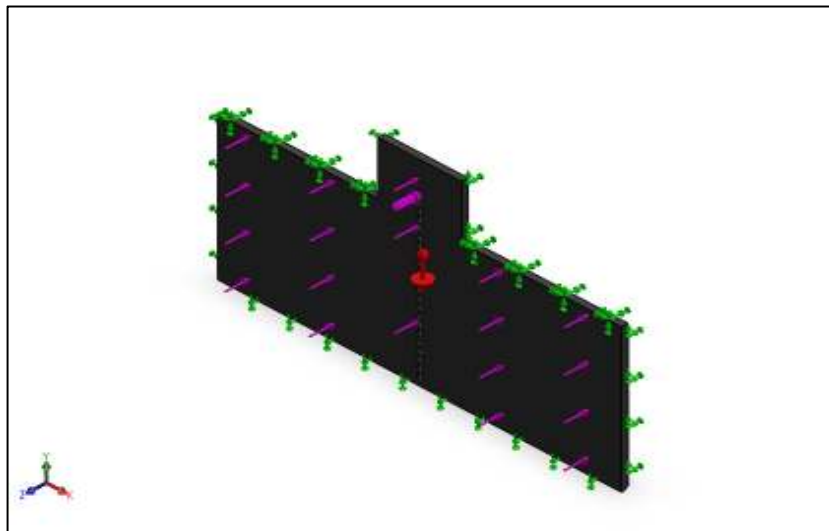


Figura 130. Colocación de cargas en placa de retención.

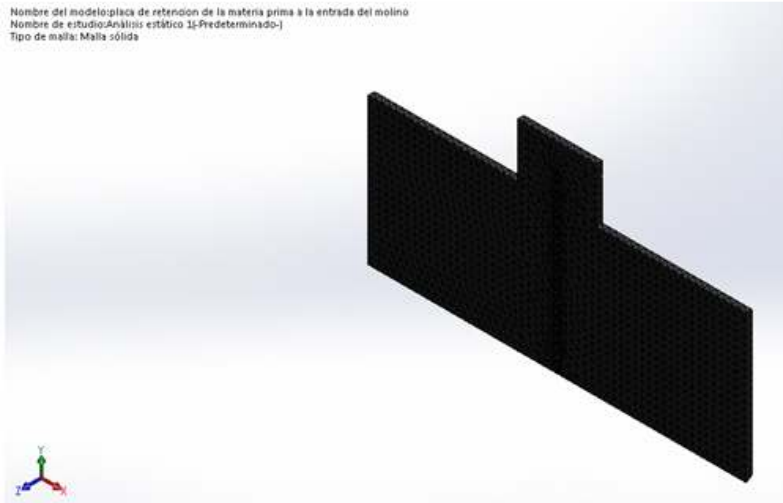


Figura 131. Generación de malla solida estándar.

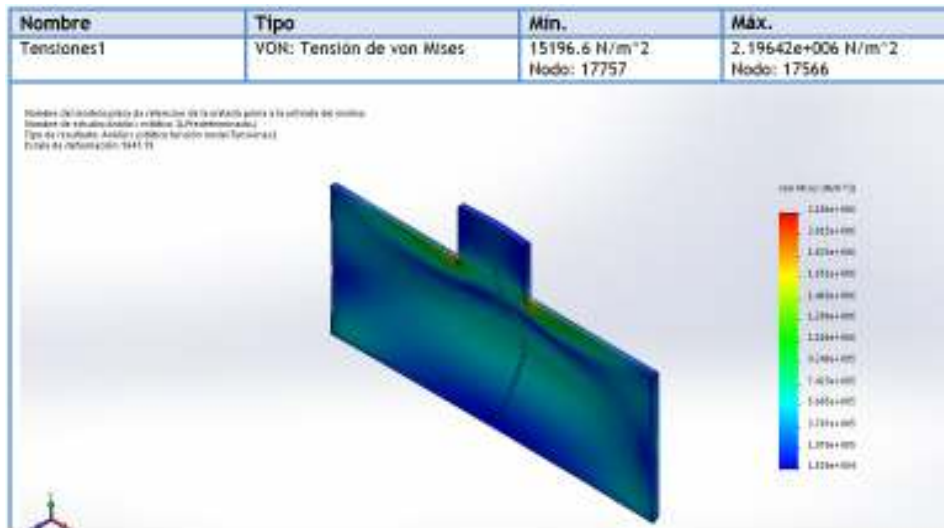


Figura 132. Análisis de esfuerzos.

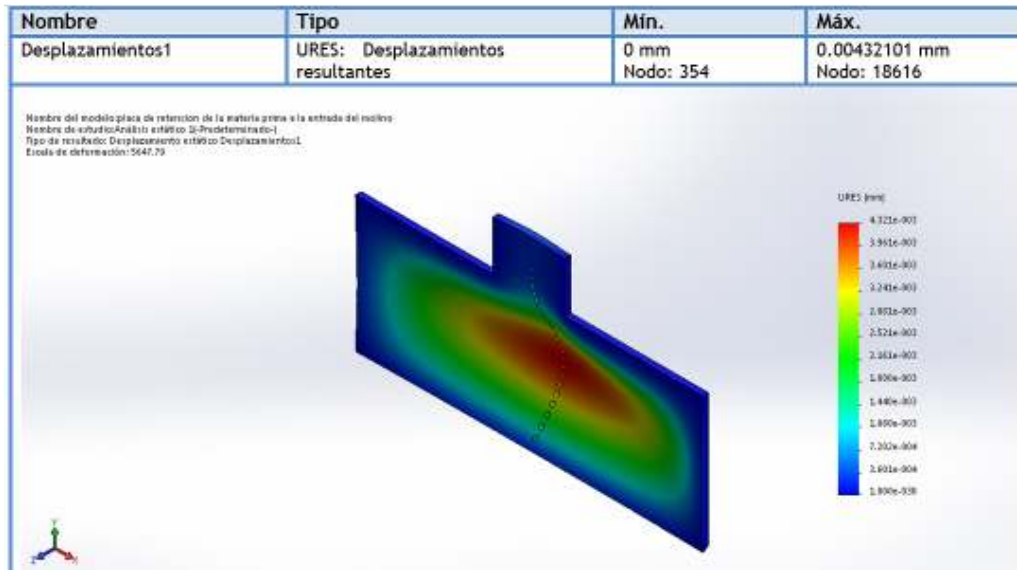


Figura 133. Análisis de desplazamientos resultantes.

Con base a los esfuerzos presentes en la pieza se aprecia claramente que todos están por debajo del límite elástico del material y los desplazamientos son bastante razonables para determinar que no sufrirá ninguna falla.

NOTA: La placa complementaria (pequeña) no es analizada ya que no está sujeta a cargas considerables y se considera irrelevante su análisis, asumiendo entonces que es completamente segura dado su forma y material.

7.12.13. Tubos de sujeción.



Figura 134. Tubos de sujeción para traslado del equipo mecánico.

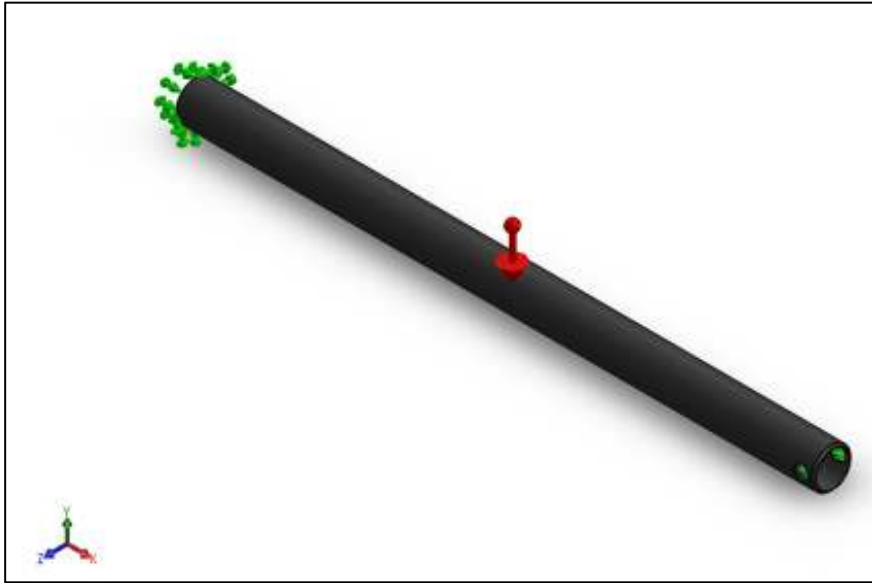


Figura 135. Colocación de cargas.



Figura 136. Generación de mallado solido estándar.

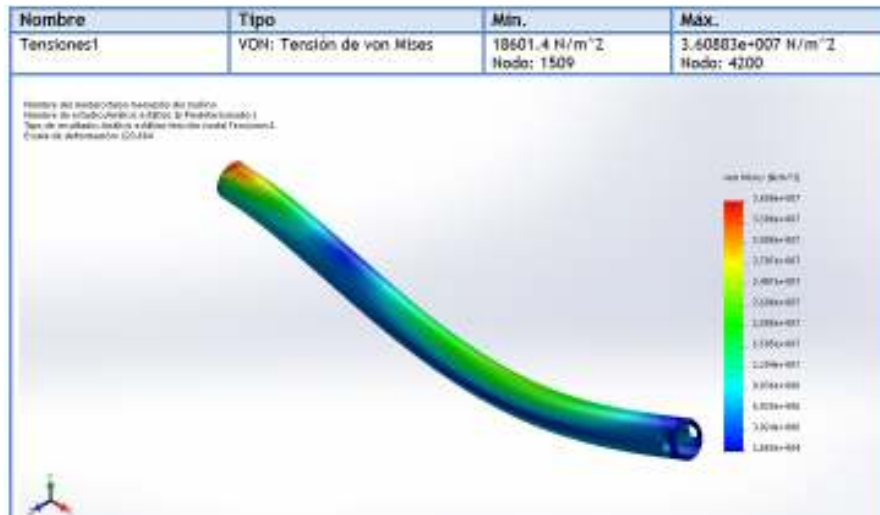


Figura 137. Análisis de esfuerzos.

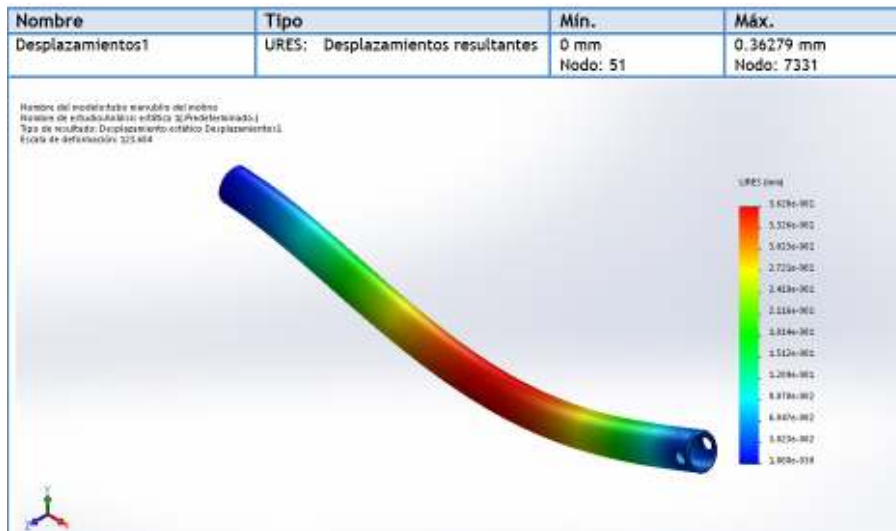


Figura 138. Análisis de desplazamientos resultantes.

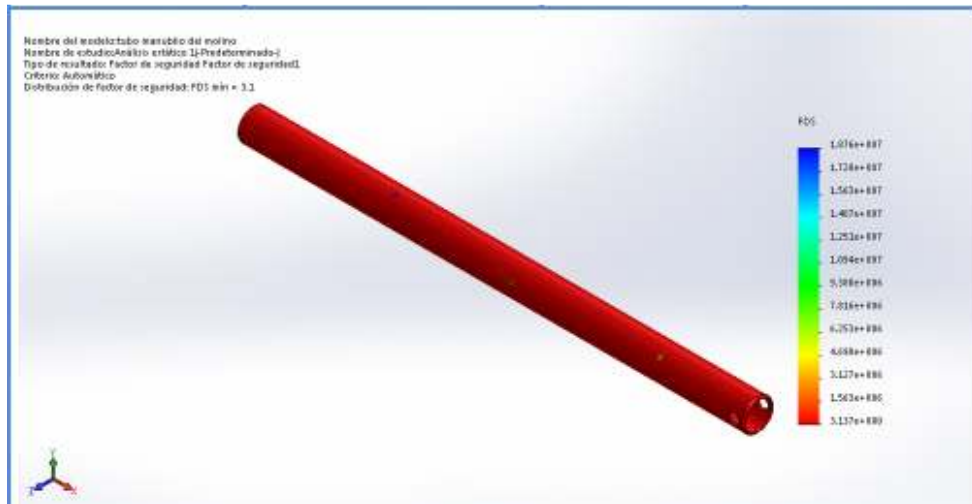


Figura 139. Análisis del factor de seguridad.

Como se aprecia en la figura anterior el factor de seguridad mínimo es 3.1, lo que significa que la pieza es completamente segura, duradera y desempeñara correctamente su función.

7.12.14. Perno para cerrado de cámara de molienda.



Figura 140. Perno de cerrado de cámara.

7.12.14.1. Análisis mediante software de diseño.



Figura 141. Colocación de cargas.

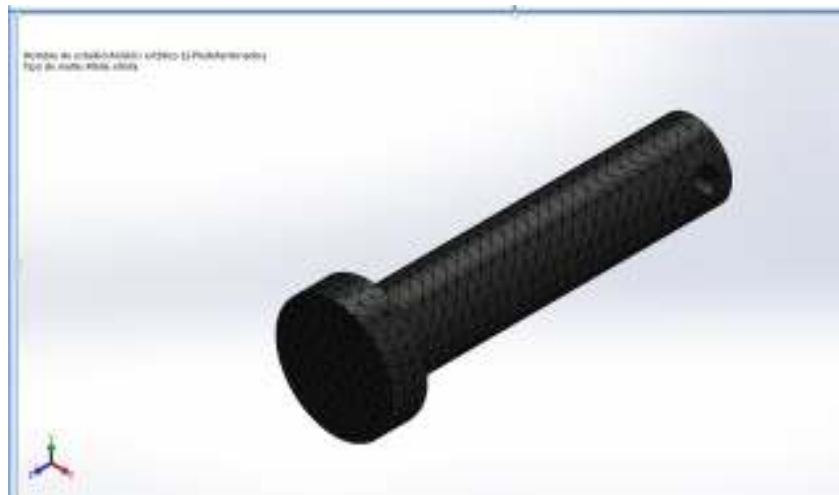


Figura 142. Generación de malla solida estándar.

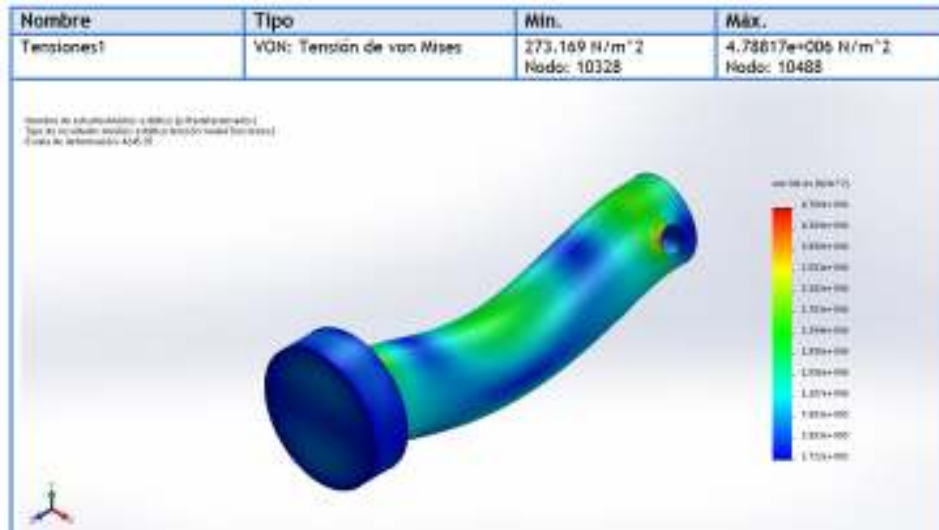


Figura 143. Análisis de esfuerzos.

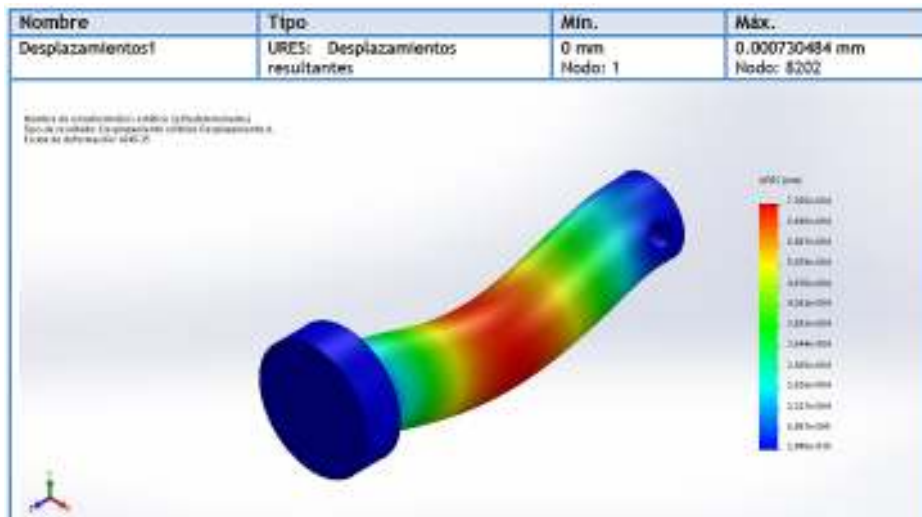


Figura 144. Análisis de desplazamientos resultantes.



Figura 145. Análisis del factor de seguridad.

Como se aprecia en la figura anterior el factor de seguridad es muy alto, lo que significa que la pieza es completamente segura, duradera y desempeñará correctamente su función.

7.12.15. Tornillo para cierre de cámara molienda.



Figura 146. Tornillo para cierre de cámara.

Nota: Dado que este elemento no está soportando cargas considerables no se realiza un análisis en solidworks. Asumiendo con esto que es totalmente seguro, dado su forma y material.

7.12.16. Rondana plana para cierra de cámara de molienda.



Figura 147. Rondana para cierre de cámara.

Nota: Dado que este elemento no está soportando cargas considerables no se realiza un análisis en solidworks. Asumiendo con esto que es totalmente seguro debido a su espesor y material.

7.12.17. Soporte para tubos de sujeción.



Figura 148. Soporte para tubo de sujeción.

7.12.17.1. Análisis mediante software de diseño.



Figura 149. Colocación de cargas.

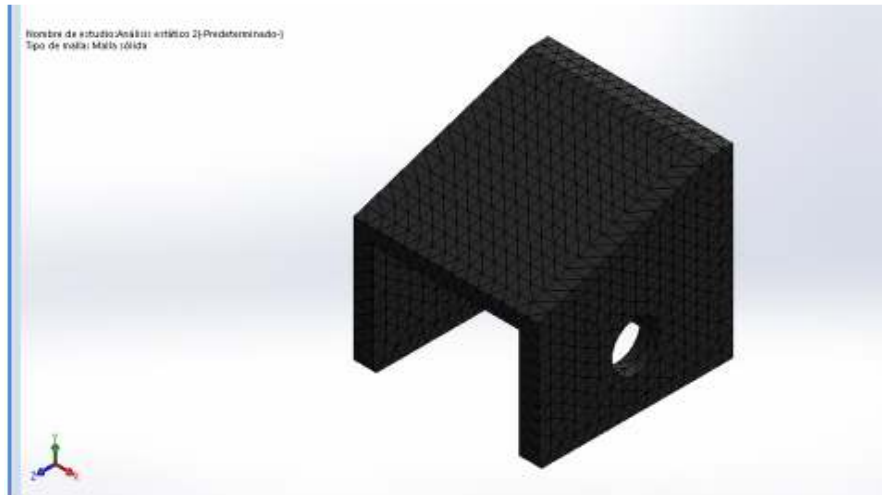


Figura 150. Generación de malla solida estándar.

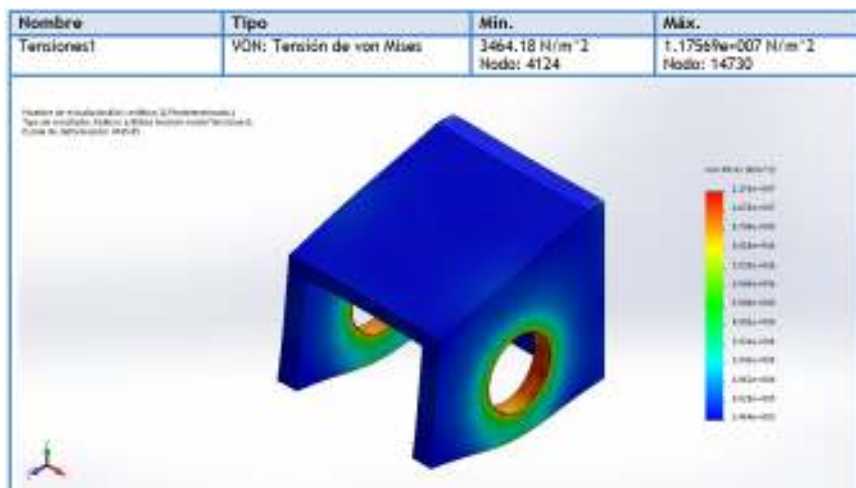


Figura 151. Análisis de esfuerzos.

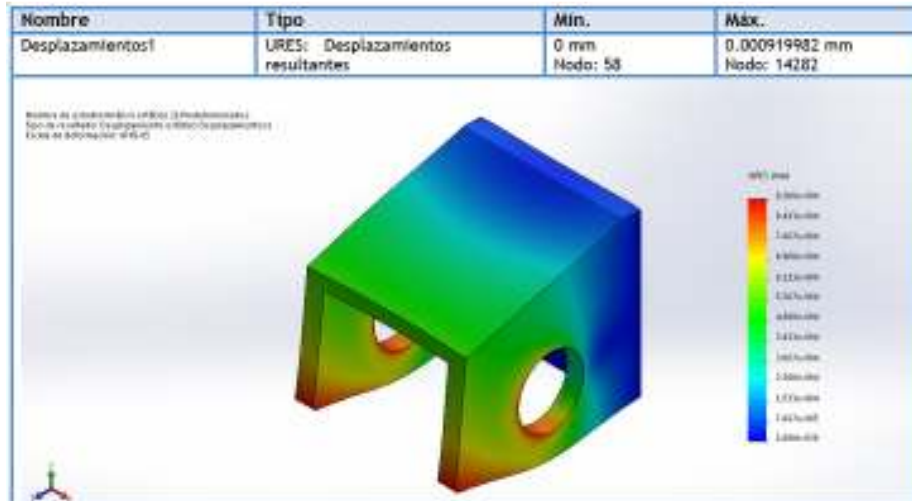


Figura 152. Análisis de desplazamientos resultantes.

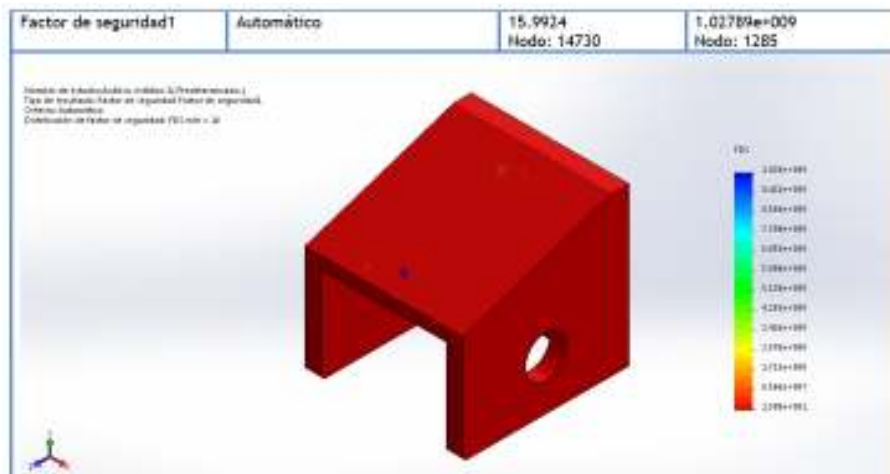


Figura 153. Análisis del factor de seguridad.

Como se aprecia en la figura anterior el factor de seguridad mínimo para esta pieza es 16, lo que significa que la pieza es completamente segura, duradera y desempeñara correctamente su función.

7.12.18. Perno para tubo de sujeción.



Figura 154. Perno para tubo de sujeción.

7.12.18.1. Análisis mediante software de diseño.



Figura 155. Colocación de cargas.



Figura 156. Generación de malla solida estándar con elementos cuadráticos de alto orden.

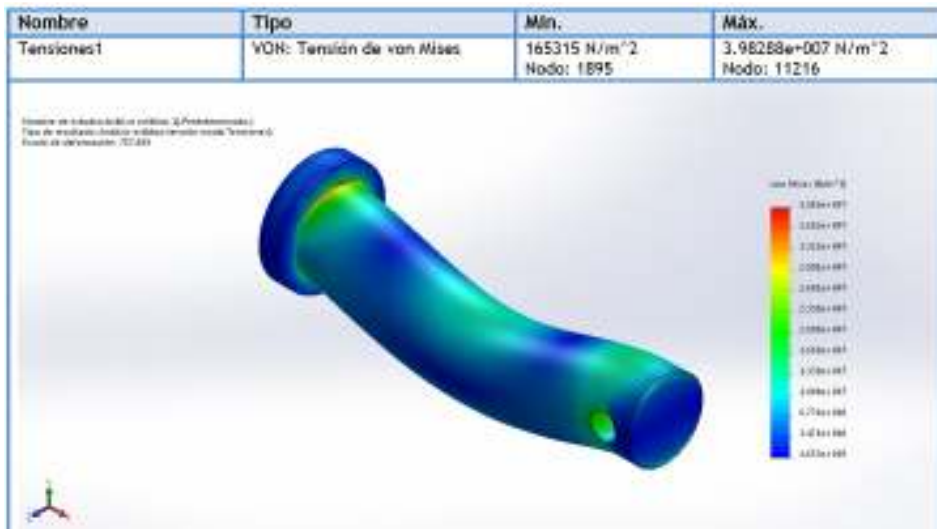


Figura 157. Análisis de esfuerzos.

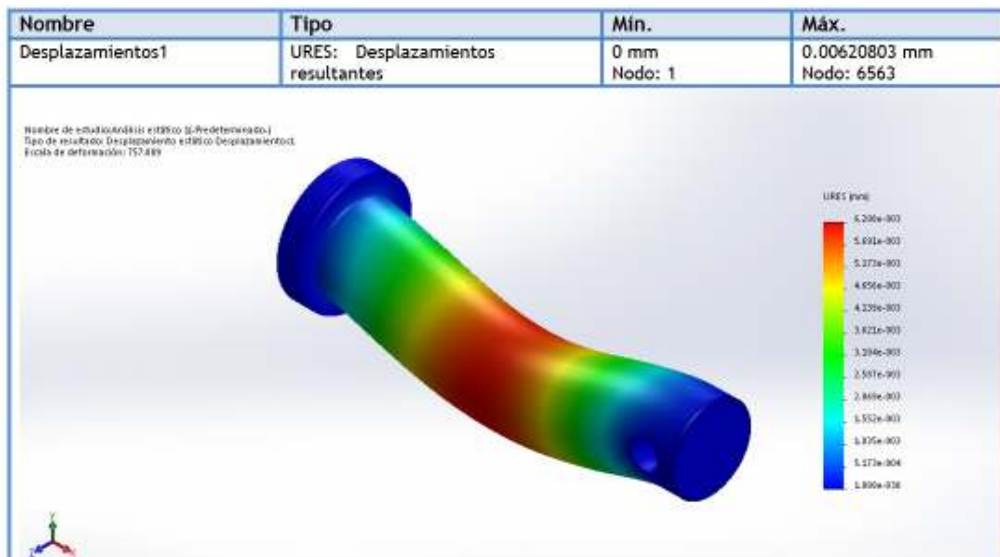


Figura 158. Análisis de desplazamientos resultantes.



Figura 159. Análisis del factor de seguridad.

Como se aprecia en la figura anterior el factor de seguridad mínimo para esta pieza es 2.7, lo que significa que la pieza es completamente segura, duradera y desempeñará correctamente su función.

7.12.19. Perno para mecanismo de la base del motor.



Figura 160. Perno para la base del motor.

7.12.19.1. Análisis mediante software de diseño.

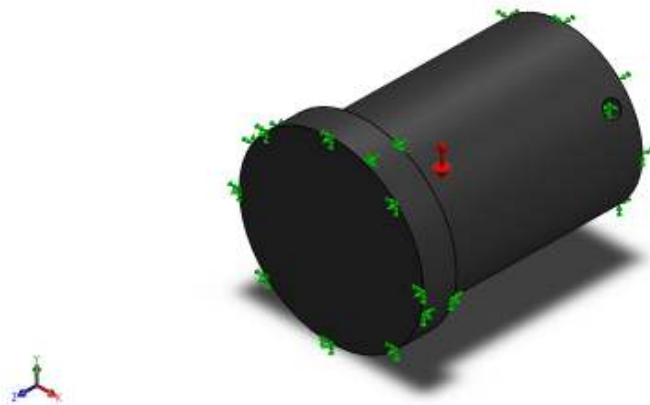


Figura 161. Colocación de cargas.

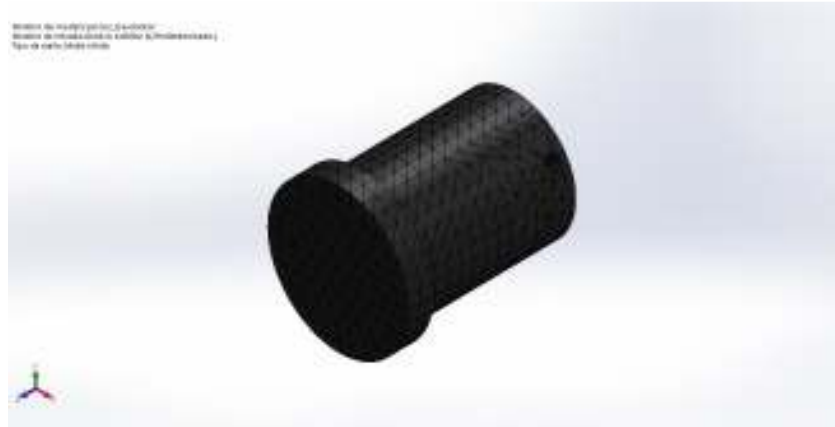


Figura 162. Generación de malla estándar con elementos cuadráticos de alto orden.

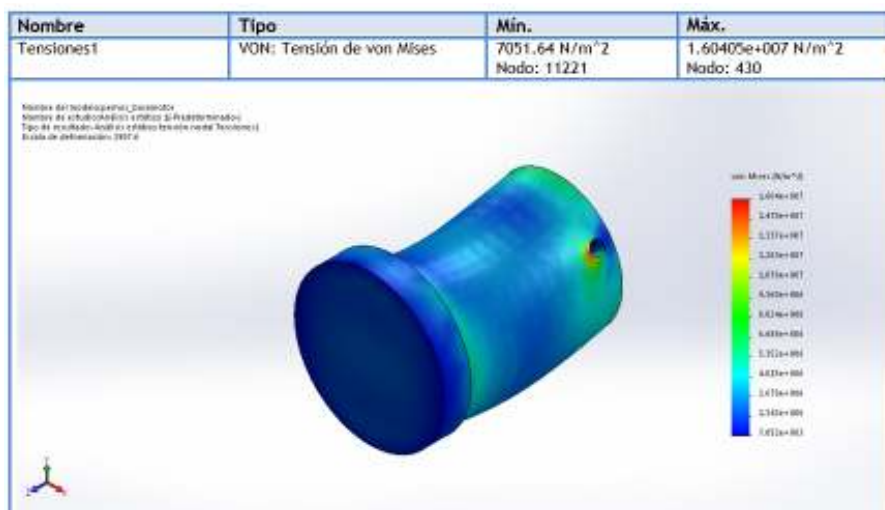


Figura 163. Análisis de esfuerzos.

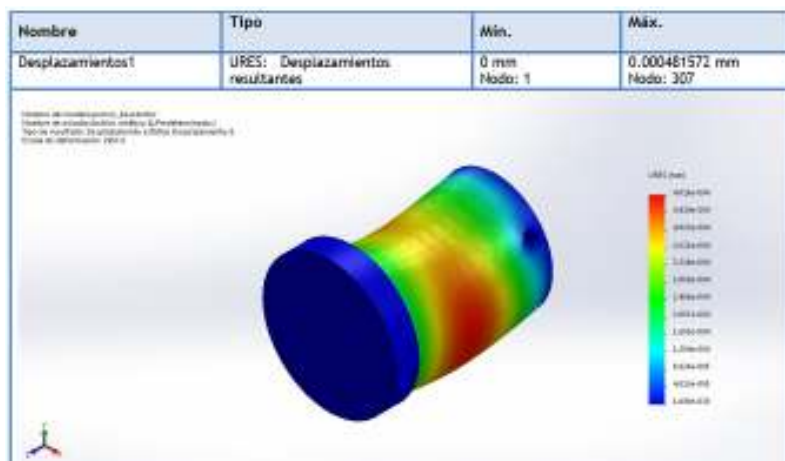


Figura 164. Análisis de desplazamientos resultantes.

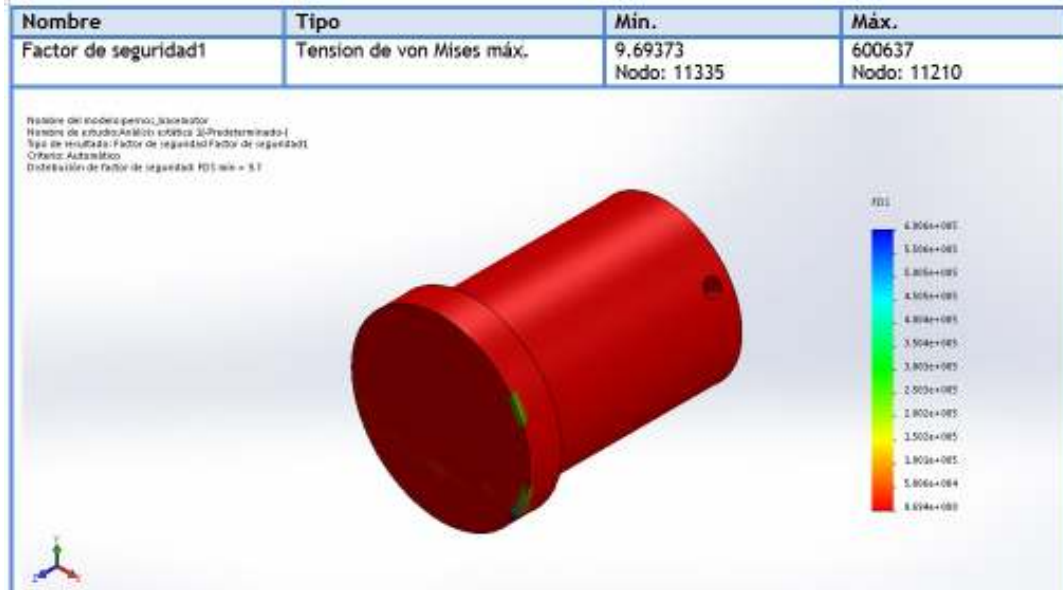


Figura 165. Análisis de esfuerzos.

Como se aprecia en la figura anterior el factor de seguridad mínimo para esta pieza es 9.7, lo que significa que la pieza es completamente segura, duradera y desempeñará correctamente su función.

7.12.20. Puño o empuñadura de tubo de sujeción.

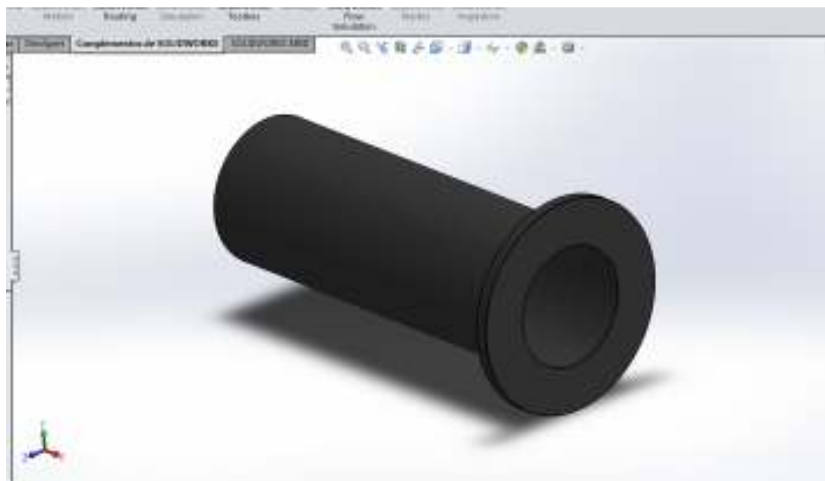


Figura 166. Empuñadura de tubo de sujeción.

Nota: Dado que este elemento no está soportando cargas considerables no se realiza un análisis en solidworks. Asumiendo con esto que es totalmente seguro, dado que es solo para mejor agarre y comodidad del usuario.

8. ENSAMBLAJE DE COMPONENTES.

8.1. Ensamblado de los elementos de corte.

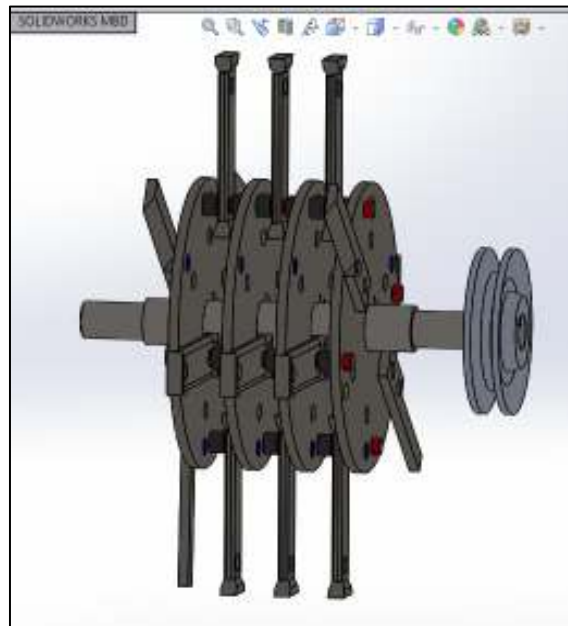


Figura 167. Ensamblaje de elementos internos o de corte del equipo mecánico (17 martillos).

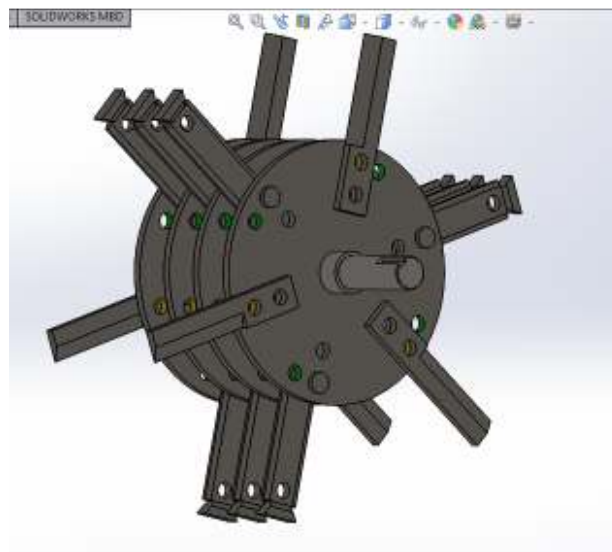


Figura 168. Ensamblaje de elementos internos o de corte del equipo mecánico (15 martillos).

Nota: Las dos figuras anteriores muestran la versatilidad con la que cuenta el diseño de los disco porta martillos ya que es posible configurarlo de distintas maneras según sean los requisitos de la molienda. Destacando por ello el uso de 17 o 15 martillos montados para ejemplificar la correcta ubicación de cada uno de ellos.

8.1.2. Análisis de elementos de corte mediante software de diseño.

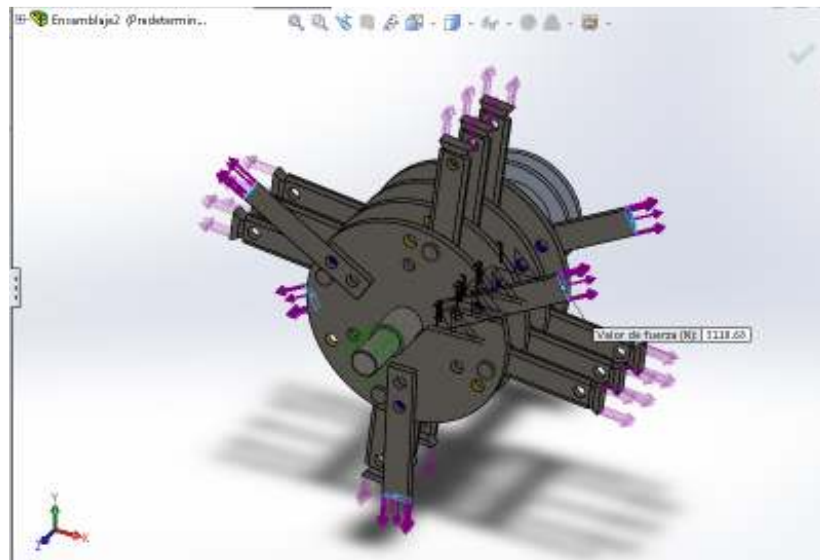


Figura 169. Colocación de cargas.

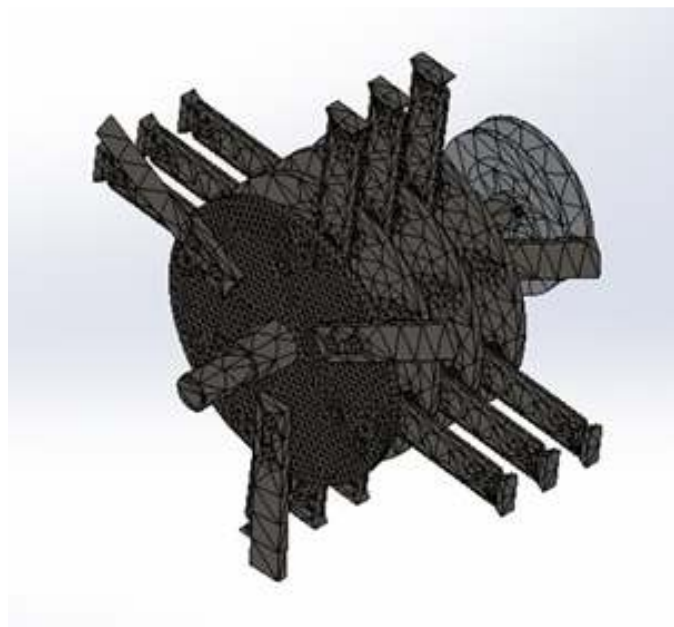


Figura 170. Generación de mallado solido estándar con elementos cuadráticos de alto orden.

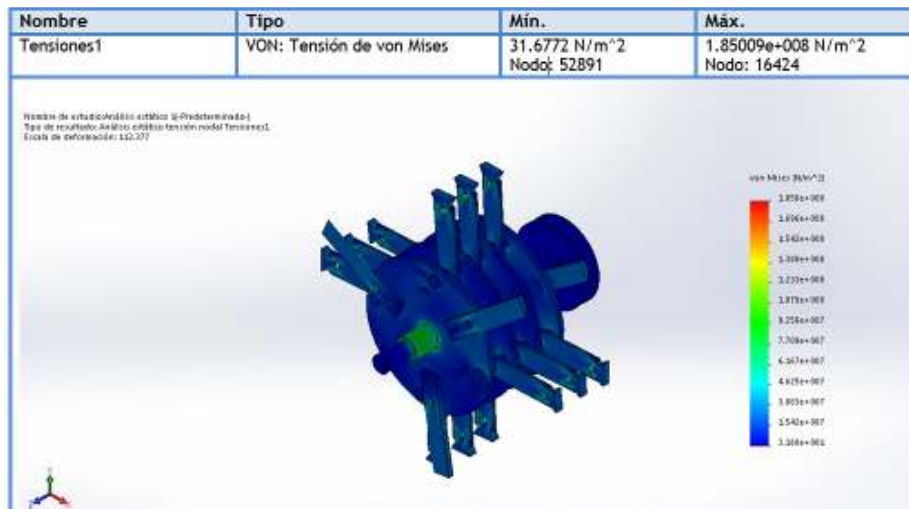


Figura 171. Análisis de esfuerzos.

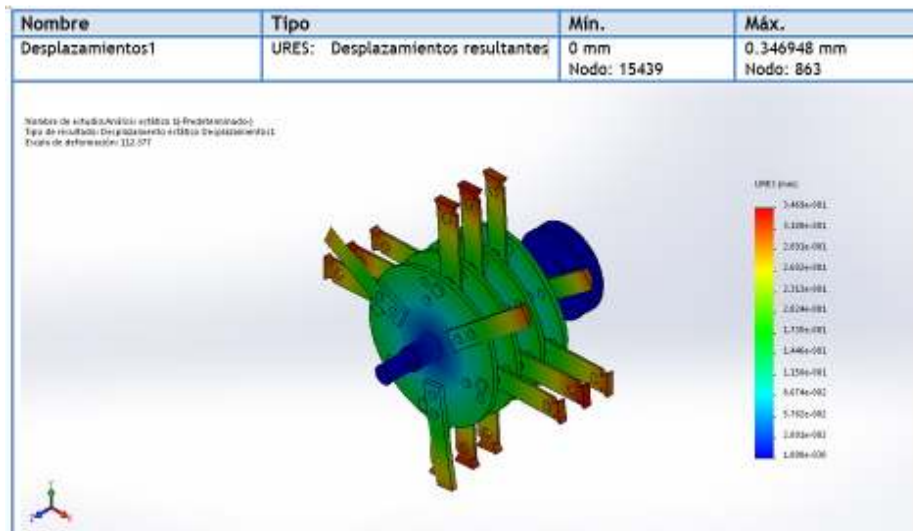


Figura 172. Análisis de desplazamientos resultantes.

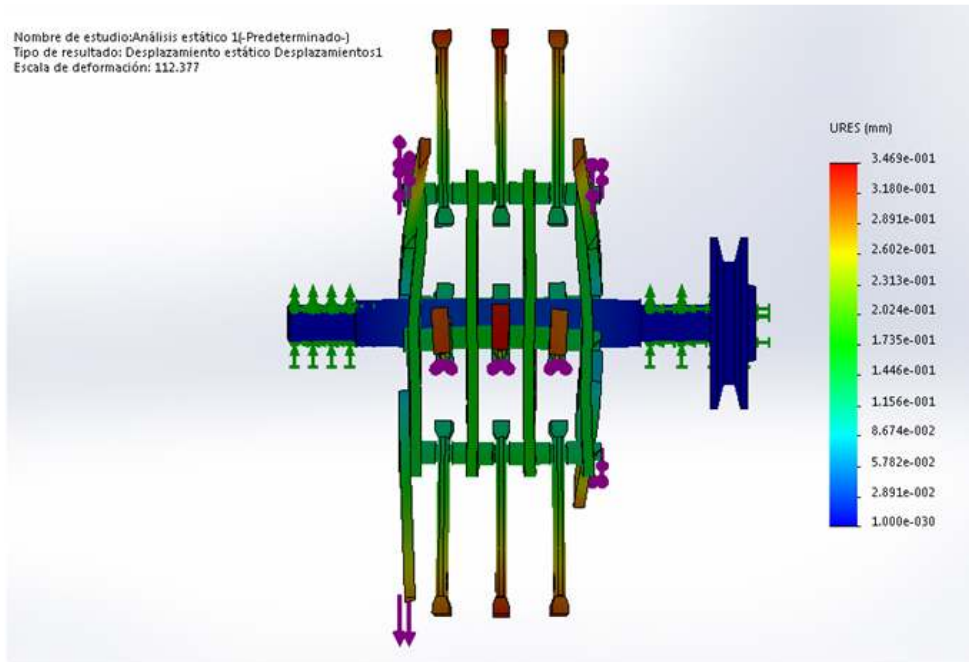


Figura 173. Análisis desplazamientos resultantes de elementos de corte y perno de sujeción.

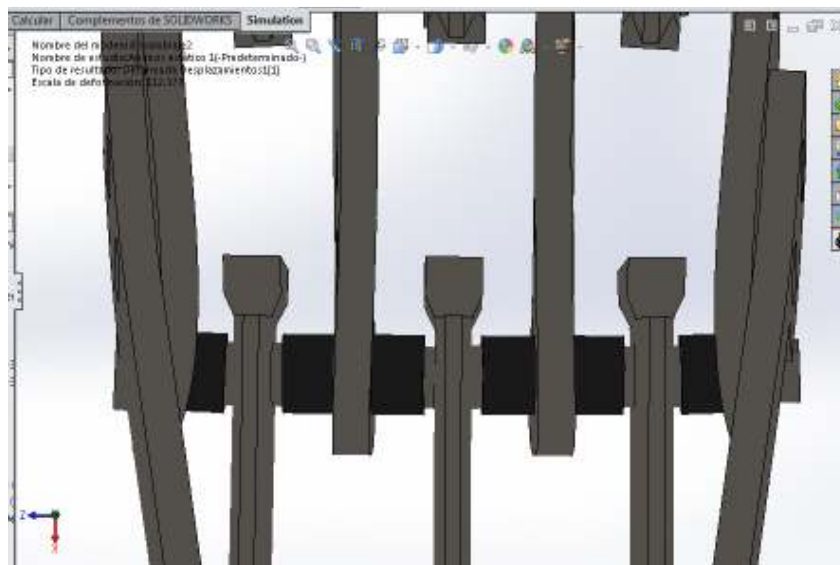


Figura 174. Perno de sujeción deformado.

Con base a los esfuerzos presentes en el ensamblaje se aprecia claramente que todos están por debajo del límite elástico del material y los desplazamientos resultantes son bastante razonables para determinar que no sufrirá ninguna falla.

8.2. Ensamblaje general del equipo mecánico.



Figura 175. Ensamblaje general y usando herramientas de renderizado de solidworks para una mejor calidad en la figura.

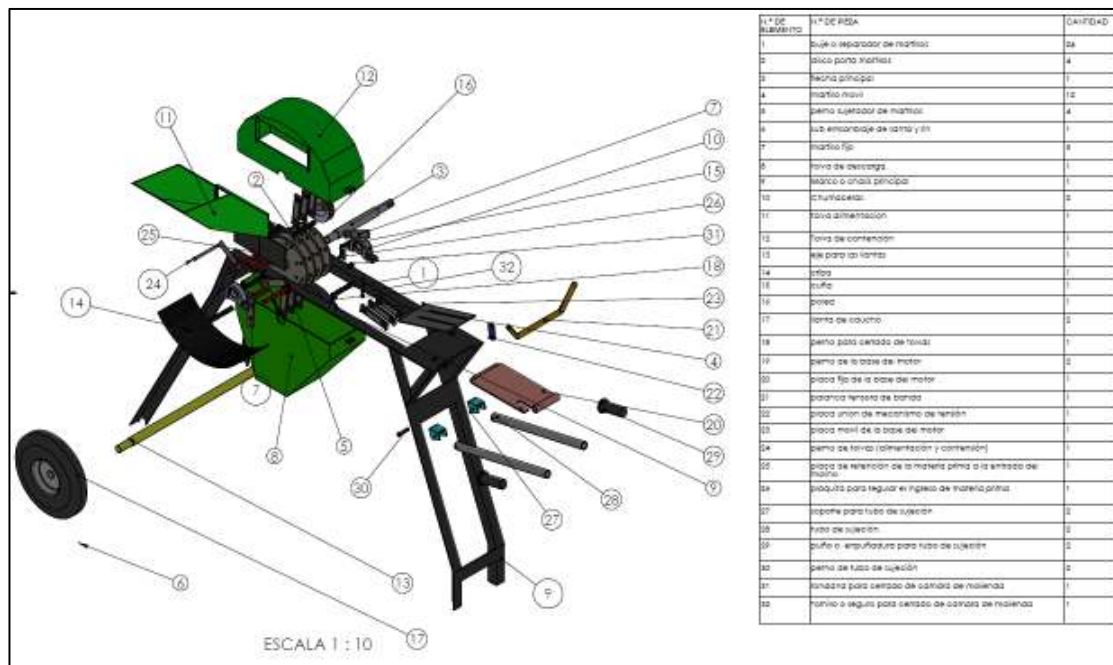


Figura 176. Ensamblaje general con vista explosionada de todos los componentes.

Nota: El ensamblaje no cuenta con el motor debido a que el siguiente punto será determinada la potencia y como tal se presentaran varias opciones que pueden suplir las necesidades requeridas para la molienda.

9. CALCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR.

$$H = T \times \omega \quad (19)$$

Donde:

H = Potencia

T = Torque

ω = Velocidad angular

Para conocer el valor del torque se utiliza la siguiente ecuación:

$$T = F_{corte} \times R_g \quad (20)$$

Donde:

F_{corte} = Fuerza de corte

R_g = Radio de giro

Sustituyendo los valores previamente calculados en el punto número 5.

$$F_{corte} = 120.86 \text{ N}$$

$$R_g = 0.18 \text{ m}$$

$$\omega = 345.576 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 3300 \text{ rpm}$$

$$T = 120.86 \text{ N} \times 0.18 \text{ m} = \mathbf{21.7548 \text{ Nm}}$$

$$H = 21.7548 \text{ Nm} \times 345.576 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$H = 7517.94 \frac{\text{Nm}}{\text{s}}$$

$$\therefore H = 7517.94 \text{ W.}$$

Usando el factor de conversión de $1 \text{ Hp} = 745.7 \text{ W}$ se obtiene que:

$$H = 7517.94 \text{ W} \left(\frac{1 \text{ Hp}}{745.7 \text{ W}} \right) = \mathbf{10.0817 \text{ Hp} \approx 10 \text{ Hp}}$$

9.1. Presentación de motores a gasolina del mercado local.

Para el correcto funcionamiento del equipo mecánico se presentan algunos motores que son recomendables para tenerlos en cuenta en el momento de la fabricación y ensamblado real. Las placas base del equipo fueron diseñadas tomando en cuenta el tamaño del cárter o culata de estos motores para facilitar la sujeción y el ajuste de la banda de transmisión de potencia.



Figura 177. Motor horizontal OHV de Briggs & Stratton; robusto, versátil y de buen funcionamiento.



Figura 178. Motor horizontal KOHLER command PRO para uso rudo, versátil y compacto.



Figura 179. Motor HONDA 10.7 Hp de potencia neta, ligero de 4 tiempos, excelente fuente de poder para equipos agrícolas, de construcción, generadores y equipos de bombeo.



Figura 180. Motor horizontal OHV de Briggs & Stratton; modelo INTEK PRO 305 de 10 Hp, ligero, versátil y compacto.

NOTA: Los motores presentados en las figuras anteriores trabajan a una velocidad angular máxima de 3600 RPM y nuestro diseño de molino está pensado para funcionar a 3300 RPM por lo que no se exige al máximo de sus capacidades al motor siendo idóneos para realizar el trabajo.

10. RECOMENDACIONES.

10.1. Tornillos, tuercas, arandelas, chavetas y pernos especiales.

Para el ensamblaje de los componentes se descartaron los tornillos, tuercas, arandelas, chavetas y pernos especiales, dado que estos elementos se recomiendan, sean considerados en la construcción y no específicamente en el diseño. Dejando entonces únicamente los barrenados con los diámetro óptimos. Pero para efectos ilustrativos se presentan a continuación algunos ejemplos.

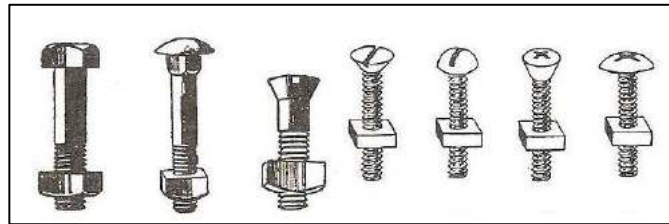


Figura 181. Tipos de tornillos.

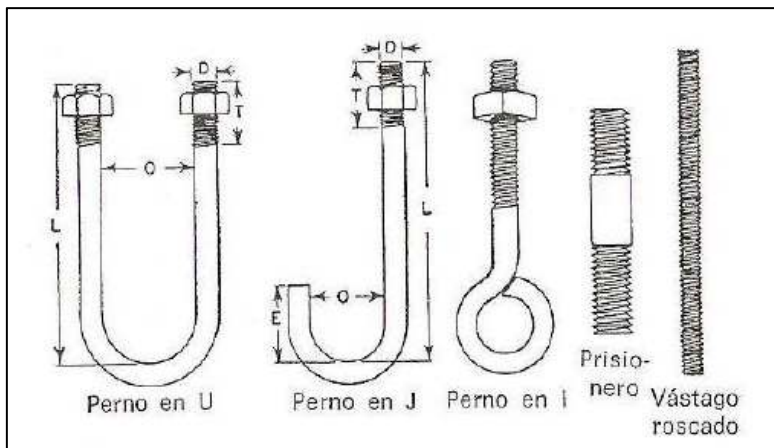


Figura 182. Pernos especiales.



Figura 183. Tuercas más comunes para ensamblado de componentes.



Figura 184. Tornillos más usados en ensamblado de componentes.



Figura 185. Arandelas de seguridad.

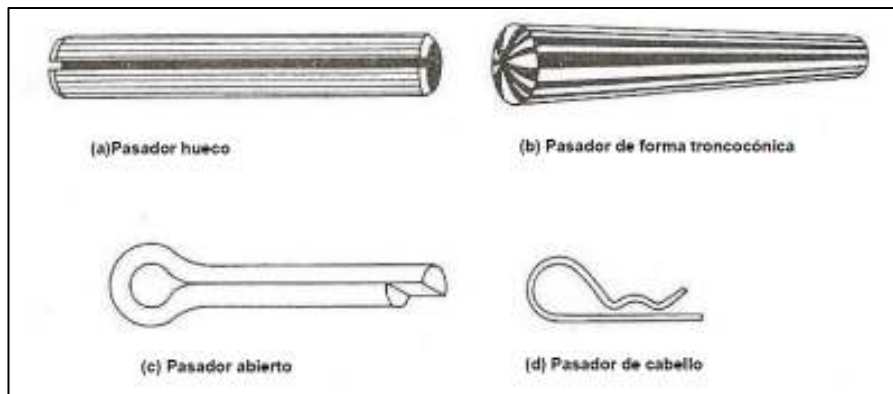


Figura 186. Tipos de pasadores.

10.2. Banda de transmisión de potencia.

Se recomienda que la banda sea del tipo B dado que son las más empleadas en los motores descritos en el punto 8.1 y máquinas de uso rudo. El tamaño no está especificado ya que el diseño de la base del motor es ajustable y se prefiere que en la construcción y ensamblado real sea definido.

10.3. Cribado de la materia prima.

Como ya se describió anteriormente el tamaño de las partículas a la salida del molino debe ser entre 2mm y 3 mm por ello se recomienda el empleo de 3 cribas de distintos tamaños, para alcanzar el tamaño deseado de salida según sean las muestras requeridas para el laboratorio (tipo de materia vegetal).

10.4. Uso del equipo (molino).

Al respecto de todo el equipo se recomienda que no se introduzca materia húmeda o verde dado que ha sido diseñado específicamente para materia seca. Y en cuanto a la configuración de martillos se recomienda colocarlos en la posición correcta tomando en cuenta la dirección de giro del motor para evitar que se dañen o pierdan filo y no realicen su función de manera adecuada.

10.5. Mantenimiento preventivo del motor.

Se recomienda que el motor cuente siempre con su aceite a nivel óptimo para la correcta lubricación de las piezas y evitar cualquier falla. Así también como revisar periódicamente el estado de la bujía y el tanque de gasolina debido a que en condiciones de inoperatividad debe quedar sin combustible previniendo la obstrucción del carburador por gasolina en mal estado.

Con base a las horas de trabajo continuo diario (8 horas) se recomienda su cambio de aceite cada 20 días para mantenerlo en condiciones de operación y prevenir las fallas ocasionadas por la fricción recordando que estará trabajando a 3300 RPM y una falla de este tipo puede dañar seriamente el motor.

10.6. Fabricación y ensamblado.

Para mejorar la fabricación y optimizarla se necesita investigación por parte de quien fabrique y ensamble los componentes. Para esto se recomienda que sea un Ingeniero mecánico quien lo haga de modo que tenga los conocimientos necesarios y el equipo mecánico satisfaga las necesidades correctamente al entrar en operación.

11. CONCLUSIÓN.

La capacidad de producción del molido es de 1000 kg/h, esto puede variar ya que está considerado para un tipo de materia prima específico, además la utilización de cribas de diferentes diámetros de agujero también afecta la cantidad de producción.

Se concluye entonces mediante el desarrollo de los cálculos y materiales seleccionados para los componentes diseñados y posteriormente fabricados son de buena resistencia asegurando con esto el correcto funcionamiento y la durabilidad del molino diseñado.

Este proyecto cumple con los objetivos planteados de un diseño que sea capaz de reducir de tamaño a dos y tres milímetros la materia prima tal como lo es el rastrojo de canavalia, olote de maíz, granos de maíz etc. De una manera sencilla, práctica y adecuada para las condiciones de desarrollo en las instalaciones del instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez en el estado de Chiapas e incluso fuera de ellas por la facilidad de transporte con el que cuenta dicho diseño, apegándose a las necesidades locales existentes.

12. REFERENCIAS.

- Richard G. Budynas. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, 9na Edición: Mexico: Mc Graw Hill.
- James M. Gere y Barry J. Goodno. Mecánica de materiales, 7ma Edición: THOMSON
- Russell C. Hibbeler Mecánica de materiales-. 8va edición: Pearson.
- Hibbeler, R.C. Mecánica Vectorial para ingenieros: Dinámica. México: Pearson, 2004.
- Ramp, Ricardo. Tecnología y Producción de Harinas de Trigo: Quito, 1976.
- Warren L. McCabe, Julian C. Smith y Peter Harriot. Operaciones Unitarias en Ingeniería Química, 7ma Edición. Gupta, A., Yan, D., Mineral Processing and Operation, Elsevier, 2006. Miguel Arriagada. (2013). Molienda en procesos de área seca. 2017, de Educación Sitio web: <https://es.slideshare.net/miguelangelarriagada/molienda-24994633>. S/A.
- (S/A). Apunte Molienda. 2017, de Universidad de Buenos Aires Sitio web: http://materias.fi.uba.ar/7202/MaterialAlumnos/06_Apunte%20Molienda.pdf
- Luis H. Fraçco y Michael Petenji (Agosto de 2007). Canavalia brasiliensis. Una leguminosa multipropósito. 2017, de Centro internacional de agricultura tropical Forrajes Tropicales. Sitio web: http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/Digital/67794C.3_Canavalia_brasiliensis,_una_leguminosa_multiprop%C3%B3sito.pdf
- M.C.Ma. Luisa Colina Irezabal. (2002). Ingeniería de alimentos III. Reducción de tamaño de alimentos. 2017, de UAM Sitio web: http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/mlci/red_tam_solidos_intro.pdf
- (S/A). (S/F). Propiedades físicas del grano y calidad de los grupos. 2017, de revista fitotecnia mexicana Sitio web: <http://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/36-supl-3-A/4a.pdf>

- S/A. (S/F). Olote de maíz granulado. 2017, de Copromex Sitio web: <http://www.copromex.com.mx/pdf/Olote%20de%20maiz.pdf> Armando Robledo Olivo, Cristóbal Noé Aguilar, Julio Cesar Montañez Sáenz.
- (S/A). Usos y propiedades del olote. 2017, de Departamento de Investigación en Alimentos. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Coahuila. Sitio web: <http://www.posgradoeinvestigacion.uadec.mx/AQM/No.%207/7.html>
- S/A. (S/F). Bagazo de caña de azucar. 2017, de ecuRed Sitio web: https://www.ecured.cu/Bagazo_de_ca%C3%B1a
- Aproximación experimental a la combustión del bagazo de caña en lecho fluidizado. Disponible en www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar03/HTML/articulo03.htm
- Método para determinar el calor específico de combustión del bagazo a partir de los principales factores agroindustriales en la industria de la caña de azúcar. Disponible en www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar21/HTML/articulo02.htm
- Uso de la biomasa cañera como alternativa para el incremento de la eficiencia energética y la reducción de la contaminación ambiental. Disponible en www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar05/HTML/articulo01.htm