

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Diseño de trituradora de bajo costo para tapas de botellas de
polipropileno y propileno**

Trabajo de graduación presentado por Jose Pablo Ruiz Fajardo para
optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica

Guatemala,
2024

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería

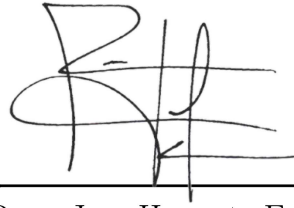


**Diseño de trituradora de bajo costo para tapas de botellas de
polipropileno y propileno**

Trabajo de graduación presentado por Jose Pablo Ruiz Fajardo para
optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica

Guatemala,
2024

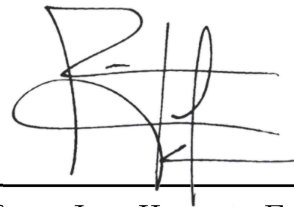
Vo.Bo.:



(f)

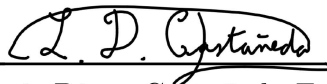
Ing. Rony Jose Herrarte Estevez

Tribunal Examinador:



(f)

Ing. Rony Jose Herrarte Estevez



(f)

Ing. Luis Diego Castañeda Fernández



(f)

MBA Gustavo Adolfo Barrera Noriega

Fecha de aprobación: Guatemala, 05 de Diciembre de 2024.

Lista de figuras	XI
Lista de cuadros	XIII
Resumen	XV
1. Introducción	1
2. Antecedentes	3
2.1. Plástico reciclado	3
2.2. Peligro por manejo inadecuado de desechos plásticos	3
2.3. Beneficios externos del reciclaje	3
2.4. Composición de tapaderas plásticas	4
2.5. Uso de pulidora para triturar tapaderas plásticas	4
2.6. Herramienta para cortar las tapaderas	4
3. Justificación	5
4. Objetivos	7
4.1. Objetivo general	7
4.2. Objetivos específicos	7
5. Marco teórico	9
5.1. Tipos de polímeros más comunes en las botellas plásticas	9
5.1.1. Comportamiento mecánico de los polímeros	9
5.1.2. Comportamiento térmico de los polímeros	10
5.1.3. Polietileno de alta densidad	10
5.2. Tipos de trituradoras en la industria del plástico	10
5.2.1. Molinos	11
5.2.2. Trituradoras	11
5.3. Máquinas de corte compactas	11
5.4. Uso de materiales según la clasificación de insulación de un motor eléctrico . .	12
5.5. Discos de corte para herramientas de corte rotativo	13

5.5.1.	Cuchillas segmentadas compactas	15
5.5.2.	Composición de discos de corte segmentado	15
5.5.3.	Composiciones y propiedades de discos de corte segmentados	15
5.5.4.	Seguridad en el uso de discos de corte	15
6.	Metodología	17
6.1.	Descripción de metodología	17
6.2.	Definición de requisitos	17
6.3.	Diseño de estructura	18
6.3.1.	Diseño preeliminar	18
6.4.	Rediseño del prototipo	26
6.5.	Diseño final	35
6.6.	Selección de trituración de materiales para la estructura	37
6.7.	Selección de componentes mecánicos y de corte	38
6.7.1.	Componentes de corte	40
6.8.	Componentes de seguridad	42
6.9.	Cálculo	44
6.9.1.	Cálculo de fuerza de doblado	44
6.9.2.	Simulación de doblado de disco de corte	46
6.9.3.	Prueba física	48
6.9.4.	Cálculo de falla por rotación con segmentos doblados a 45 °	52
6.9.5.	Cálculo de falla por rotación con segmentos extendidos y doblados a 20 °	54
6.9.6.	Cálculo de impacto de un objeto en movimiento horizontal	55
6.9.7.	Cálculo de impacto de un diente de corte	60
6.9.8.	Simulación de sistema eléctrico	64
6.9.9.	Cálculo de la eficiencia de trituración	65
7.	Resultados	69
7.1.	Requisitos	70
7.2.	Diseño final	71
7.3.	Costos	73
7.4.	Cálculos	74
7.4.1.	Cálculo de fuerzas y esfuerzos del disco	74
7.4.2.	Cálculo de impacto de un objeto en movimiento horizontal	74
7.5.	Simulaciones	75
7.5.1.	Simulación de doblado de disco de corte	75
7.5.2.	Simulación estructural estática del diente del disco de corte	75
7.5.3.	Simulación estructural estática del diente del disco de corte a 20°	76
7.5.4.	Simulación de sistema eléctrico	77
7.5.5.	Pruebas del sistema	78
7.5.6.	Cálculo de la eficiencia de trituración	83
8.	Discusión de resultados	84
8.1.	Requisitos	84
8.2.	Diseño final	85
8.3.	Análisis de costos	86
8.4.	Cálculos	86

8.5. Simulaciones	87
8.6. Pruebas de sistema	88
8.6.1. Iteración 1	88
8.6.2. Iteración 2	88
8.6.3. Iteración 3	89
8.7. Cálculos de eficiencia del sistema	89
8.7.1. Eficiencia de reducción	89
8.7.2. Rendimiento de la trituradora	90
8.7.3. Consumo de energía	90
8.7.4. Eficiencia energética	90
9. Conclusiones	93
10.Recomendaciones	95
11.Bibliografía	97
12.Anexos	99
12.1. Índice de anexos	99

Lista de figuras

1.	Disco de corte de banda continua	13
2.	Disco de corte segmentado	14
3.	Disco de corte turbo	14
4.	Primera iteración de la estructura	19
5.	Cantidad de tableros para estructura	19
6.	Segunda iteración de la estructura	20
7.	Cantidad de tableros para segunda iteración	21
8.	Tercera iteración de la estructura	22
9.	Vista interior de la cámara de trituración	22
10.	Vista lateral de la estructura	23
11.	Cuña para nivelar la trituradora	23
12.	Tercera iteración con sus ejes de posición	24
13.	Vista superior de la cámara de trituración	24
14.	Llave modificada	25
15.	Cantidad de tableros para tercera iteración	25
16.	Agujeros de sujeción a la esmeriladora	27
17.	Abrazadera para sujeción	27
18.	Bisagras para vaciar la recámara de trituración	28
19.	Posicionamiento de los botones de control	28
20.	Agujero de salida para cable de potencia	29
21.	Posicionamiento de contactor en la caja eléctrica	30
22.	Ubicación de sensor	31
23.	Accionamiento de sensor	32
24.	Rediseño prototipo	33
25.	Cantidad de tableros para rediseño	33
26.	Reductor de volumen	35
27.	Disco con segmentos alargados a 20°	36
28.	Diseño final	36
29.	Test de dureza Rockwell tipo B en la cubeta metálica	38
30.	Dureza del disco de corte	41
31.	Diseño 3D de disco segmentado	42
32.	Hongo de emergencia NC	43

33.	Sensor de puerta	43
34.	Contactador NC	44
35.	Dimensiones de disco de corte	45
36.	Asignación de material al disco	46
37.	Asignación de soporte fijo	47
38.	Desplazamiento remoto	47
39.	Esfuerzo equivalente ocasionado por el dobléz en el diente de 2561.5MPa	47
40.	Factor de seguridad 0.1	48
41.	Agujero en prensa tipo C	48
42.	Prensa tipo C	49
43.	Perno colocado en prensa tipo C	49
44.	Disco sujetado por prensa tipo C	49
45.	Dobléz por medio del torquímetro	50
46.	Medición de fuerza	50
47.	Diagrama de mecanismo	51
48.	Soporte fijo disco de 45°	52
49.	Velocidad rotacional en el eje Y	53
50.	Deformación total de 0.08939mm en rotación con segmentos doblados a 45°	53
51.	Esfuerzo equivalente de 45.299 MPa en rotación con segmentos doblados a 45°	53
52.	Factor de seguridad de 6.84 en rotación con segmentos doblados a 45°	54
53.	Disco con dientes a 20° y alargados	54
54.	Deformación total de 0.14108mm en rotación con segmentos doblados a 45°	55
55.	Esfuerzo equivalente de 141.4 MPa en rotación con segmentos doblados a 20°	55
56.	Factor de seguridad de 2.19 en rotación con segmentos doblados a 20°	55
57.	DCL de rotación del disco de corte	56
58.	Diagrama eléctrico	64
59.	Simulación eléctrica	64
60.	Botón de paro de emergencia activado	65
61.	Selector en posición de apagado	65
62.	Tapadera no colocada	65
63.	Diseño final	71
64.	Descomposición de elementos de diseño final	72
65.	Esfuerzo equivalente ocasionado por el dobléz en el diente de 2561.5MPa	75
66.	Factor de seguridad 0.1	75
67.	Deformación total de 0.08939mm en rotación con segmentos doblados a 45°	75
68.	Esfuerzo equivalente de 45.299 MPa en rotación con segmentos doblados a 45°	76
69.	Factor de seguridad de 6.84 en rotación con segmentos doblados a 45°	76
70.	Deformación total de 0.14108mm en rotación con segmentos doblados a 20°	76
71.	Esfuerzo equivalente de 141.4 MPa en rotación con segmentos doblados a 20°	77
72.	Factor de seguridad de 2.19 en rotación con segmentos doblados a 20°	77
73.	Simulación eléctrica	77
74.	Botón de paro de emergencia activado	78
75.	Selector en posición de apagado	78
76.	Tapadera no colocada	78
77.	Prueba 1 No hubo trituración	79
78.	Prueba 2 trituración de hasta 7 x 7 mm	80
79.	Prueba 3 trituración de hasta 5 x 5 mm	81

80.	Prueba 4 trituración de hasta 3 x 5 mm	82
81.	Prueba 5 trituracion de hasta 3 x 5 mm y refuerzo en pared	83

Lista de cuadros

1.	Propiedades mecánicas del polietileno de alta densidad	10
2.	Limites de temperatura para los aislamientos	12
3.	Propiedades discos de corte	15
4.	Identificación de códigos	18
5.	Requisitos	18
6.	Costo con madera	20
7.	Costo con plywood	21
8.	Costo	26
9.	Costo de materiales	34
10.	Tabla de componentes	37
11.	Propiedades mecánicas del acero 1045	38
12.	Propiedades esmeriladora angular ESMA-4-1/2A12	39
13.	Propiedades esmeriladora angular DWE4010-B3	39
14.	Propiedades esmeriladora angular ESMA-4580PN	39
15.	Propiedades esmeriladora angular ESMA-4590N	40
16.	propiedades del disco de corte DW47452HP	42
17.	Datos para cálculo de masa	60
18.	Datos para cálculo de velocidad angular a lineal	61
19.	Requisitos	70
20.	Tabla de componentes	73
21.	Costo de materiales	73
22.	Impacto de un objeto en movimiento horizontal	74
23.	Resumen de los cálculos de esfuerzo, energía y fuerza de impacto para la lámina de acero de 3 mm de espesor.	74
24.	Resultado de pruebas	78
25.	Resultado de pruebas	79
26.	Resultados de pruebas de eficiencia de trituración	83
27.	Rendimiento y eficiencia energética	83

Este trabajo abordó la necesidad de una solución económica para el reciclaje eficiente de tapaderas plásticas de polipropileno y polietileno en comunidades de bajos recursos y áreas turísticas de Guatemala, donde el acceso a tecnologías adecuadas de procesamiento era limitado.

El objetivo principal fue diseñar una trituradora de bajo costo, con un presupuesto inferior a Q2,000.00, que fuera capaz de reducir el tamaño de las tapaderas plásticas, facilitando su posterior uso en procesos de moldeo. El diseño de la máquina se centró en ofrecer una solución funcional, segura y económica que pudiera replicarse en diversas comunidades.

Para resolver el problema, se seleccionaron componentes como discos de corte y una esmeriladora angular de 4 1/2 pulgadas, que permitieron un proceso eficiente de trituración. Se integraron medidas de seguridad, tales como un botón de emergencia y un microswitch, que aseguraron que la máquina no funcionara si no se cumplían las condiciones de seguridad. Además, se elaboraron manuales detallados de fabricación, operación y mantenimiento, con el fin de facilitar su replicación y uso seguro.

Como resultado, se diseñó y fabricó una trituradora funcional, cuyo costo total fue de Q1,218.51, cumpliendo con los requisitos de eficiencia y seguridad. Esta solución ofrece una herramienta viable para el reciclaje de tapaderas plásticas, promoviendo prácticas sostenibles y fomentando el desarrollo socioeconómico en las comunidades locales.

La acumulación de plásticos es uno de los problemas medioambientales más grandes a nivel global. En Guatemala, este problema se agrava en zonas turísticas como los volcanes, donde no existen medidas efectivas para el manejo de residuos, y los desechos plásticos se acumulan sin control. A pesar de los esfuerzos por reciclar, solo un pequeño porcentaje de los plásticos desechados anualmente se recupera para su reutilización. En el caso del polipropileno, por ejemplo, únicamente se recicla el 3% de este material (Chasan et al., 2019), mientras que para el polietileno, solo un 9% de lo producido globalmente llega a ser reciclado (Latham, 2021). Este problema no solo radica en la falta de educación sobre la gestión de desechos, sino también en la carencia de tecnologías asequibles para el reciclaje de plásticos. Las trituradoras y plantas de reciclaje suelen ser costosas, limitando su accesibilidad a pequeñas empresas y comunidades locales, como aquellas que habitan las cercanías del Volcán de Agua.

El reciclaje de tapaderas plásticas, aunque es una opción viable para reducir el impacto ambiental de los plásticos, presenta desafíos debido a la falta de infraestructura adecuada y el elevado costo de las máquinas trituradoras disponibles en el mercado. La mayoría de estas tecnologías están fuera del alcance de comunidades de bajos recursos, lo que agrava la acumulación de desechos plásticos (de Plástico, 2023). Además, las tapaderas plásticas, compuestas principalmente de polipropileno y polietileno, requieren equipos especializados para su procesamiento eficiente (Paúl, 2013).

Este trabajo tiene como objetivo principal diseñar una trituradora de bajo costo, capaz de procesar tapaderas plásticas de polipropileno y polietileno, que permita a las comunidades locales tener acceso a tecnologías de reciclaje más asequibles. El proyecto se enfoca en la creación de una solución económicamente viable para procesar estos desechos, con un costo estimado inferior a Q2,000.00, que pueda ser utilizada en áreas turísticas de Guatemala, como los volcanes de Agua y Fuego.

El diseño de la trituradora busca integrar varios componentes clave que aseguren un funcionamiento seguro y eficiente. Entre los objetivos específicos destacan la especificación de requisitos de diseño para un proceso de trituración en dos etapas, la selección de componentes

críticos como la fuente de potencia y los discos de corte, y la incorporación de mecanismos de seguridad para proteger tanto a los operadores como a la integridad de la máquina. Además, se pretende que el diseño facilite el mantenimiento y la limpieza de los componentes para prolongar su vida útil. La elaboración de manuales de fabricación, ensamble, mantenimiento y operación también será una parte crucial del proyecto.

Aparte de los beneficios medioambientales, la implementación de tecnologías como esta también puede generar un impacto positivo a nivel socioeconómico. Según un informe de Gestores de Residuos (2016), la industria del reciclaje genera alrededor de 25 mil empleos directos y 100 mil empleos indirectos (de Residuos, 2016). Esto sugiere que la creación de soluciones tecnológicas de bajo costo para el reciclaje puede no solo ayudar a reducir los desechos plásticos, sino también abrir nuevas oportunidades de empleo y desarrollo económico para las comunidades locales.

El desarrollo de esta trituradora de bajo costo contribuirá de manera significativa al reciclaje de tapaderas plásticas, ayudando a reducir la contaminación en áreas turísticas clave y ofreciendo una herramienta accesible para las comunidades. Se espera que esta solución fomente un cambio en la gestión de desechos plásticos y promueva la adopción de prácticas sostenibles en el país.

En resumen, este proyecto no solo busca crear una trituradora eficiente y económica, sino que también aspira a generar un impacto a largo plazo en la forma en que las comunidades guatemaltecas gestionan sus residuos plásticos, fomentando una cultura de reciclaje y cuidado del medio ambiente.

2.1. Plástico reciclado

La acumulación de plásticos se ha convertido en uno de los principales problemas medioambientales a nivel mundial. Cada año, toneladas de plásticos son desechadas, y solo un pequeño porcentaje es recuperado para su reciclaje. De hecho, apenas el 9 % de los plásticos que se desechan anualmente en el mundo llegan a ser reciclados. Esto implica que una gran mayoría termina en vertederos, océanos o como desechos en el entorno natural, agravando los problemas de contaminación y degradación ambiental (OpenMind, 2021).

2.2. Peligro por manejo inadecuado de desechos plásticos

En muchas regiones, los desechos plásticos no son tratados adecuadamente. Las personas, al no contar con infraestructura ni educación sobre el manejo de residuos, utilizan fuentes hídricas, suelos y áreas verdes como vertederos improvisados. Este mal manejo no solo impacta el ambiente, sino que también genera problemas de salud pública debido a la proliferación de enfermedades y la contaminación de los ecosistemas (Forum, 2016).

2.3. Beneficios externos del reciclaje

El reciclaje de plásticos no solo contribuye a la reducción del impacto ambiental. A nivel socioeconómico, ofrece una fuente importante de empleo y desarrollo. La industria del reciclaje, al transformar plásticos en nuevos productos, genera miles de puestos de trabajo. Además, promueve la economía circular, en la que los desechos se convierten en recursos para la creación de nuevos productos, cerrando el ciclo de vida de los materiales y reduciendo la necesidad de nuevas materias primas (Especial, 2019).

2.4. Composición de tapaderas plásticas

Las tapaderas plásticas, presentes en muchos productos de uso diario, están fabricadas principalmente de polímeros como el polipropileno y el polietileno. Estos polímeros, obtenidos a través de un proceso químico llamado polimerización, permiten que las tapaderas sean moldeadas mediante calor o presión, adaptándose a las necesidades de diseño. Sin embargo, su estructura química también presenta retos para su reciclaje eficiente, ya que requieren tecnologías específicas para su procesamiento (de Plástico, 2023).

2.5. Uso de pulidora para triturar tapaderas plásticas

Una de las soluciones propuestas para reducir el tamaño de las tapaderas plásticas y facilitar su reciclaje es la utilización de una pulidora equipada con discos de corte específicos. En estudios anteriores, se ha demostrado que los discos de ladrillo, diseñados para cortar materiales duros, pueden ser efectivos para triturar tapaderas plásticas, ya que su resistencia es suficiente para fragmentar los polímeros sin dañar el equipo utilizado (Paúl, 2013).

2.6. Herramienta para cortar las tapaderas

El uso de discos para concreto también ha sido evaluado como una alternativa viable para el corte de tapaderas plásticas. Estos discos, que están diseñados para materiales mucho más duros que los plásticos, han mostrado un buen rendimiento en pruebas de corte de tapaderas, permitiendo fragmentar el material con precisión y minimizando los riesgos de daños a la herramienta o a los operadores. Esto hace que el disco de concreto sea una opción atractiva para aquellos que buscan una solución rápida y eficiente para el procesamiento de plásticos duros.

En la actualidad, las tapaderas plásticas constituyen una gran parte de los desechos plásticos generados, sin embargo, el problema radica en la ausencia de opciones asequibles y eficientes para un procesamiento adecuado lo cual dificulta su reciclaje y su reutilización. En el caso del polipropileno, únicamente se recicla un 3% de este material (Chasan et al., 2019). El polietileno, de igual forma, es un plástico que no se recicla de gran manera, siendo únicamente el 9% del total producido el que se recicla (Latham, 2021). El problema se debe a la complejidad y el alto costo de tecnologías como trituradoras y plantas de reciclaje para plásticos disponibles en el mercado, lo cual limita de sobremanera a las pequeñas empresas o incluso a negocios locales como los que se encuentran en el Volcán de Agua.

Este trabajo busca resolver la problemática de la falta de una solución económicamente viable para el procesamiento de tapaderas plásticas de polipropileno y polietileno. En segundo lugar, la elaboración de una trituradora de bajo costo y eficiente permitirá obtener acceso a tecnologías útiles para el reciclaje, fomentando de esta forma la adopción de prácticas sostenibles para comunidades y áreas cuyos recursos económicos son limitados. Además de los beneficios mencionados, también se lograría un impacto socioeconómico positivo. La industria del reciclaje es una fuente grande e importante de empleo, la cual genera 25 mil empleos directos y hasta 100 mil empleos indirectos, por lo cual el desarrollo de tecnologías de bajo costo aumentará las oportunidades de negocio (de Residuos, 2016). Además, se generarían oportunidades de empleo en cuanto a la fabricación y operación de la máquina. Este trabajo tiene la posibilidad de generar un impacto positivo en cuanto a sostenibilidad no solo a nivel local, sino también como país. Esto es debido a que Guatemala es un país que posee muchos volcanes, lo cual permitiría que este proyecto se expandiera a un gran número de áreas. De esta manera, se puede promover la importancia del reciclaje y la reducción de residuos plásticos en estas áreas turísticas del país.

Este trabajo busca abordar la problemática de falta de soluciones económicas para el reciclaje de tapaderas plásticas con el diseño y desarrollo de una trituradora económicamente viable, capaz de procesar tapaderas plásticas de polipropileno y polietileno de manera precisa y eficiente, preparando el material para un posterior moldeo. Como resultado del proyecto,

se da la creación de una trituradora funcional, con un costo estimado inferior a Q2,000.00. Se espera que esta solución contribuya a un manejo más efectivo de los desechos plásticos en la región del Volcán de Agua. Asimismo, se espera que otras áreas turísticas, como el Volcán de Fuego y otras, adopten este tipo de proyectos que ayuden con la sostenibilidad.

4.1. Objetivo general

Diseñar una trituradora de menos de Q2,000.00 que sea capaz de reducir el tamaño de las tapaderas plásticas para un posterior moldeo.

4.2. Objetivos específicos

1. Especificar los requisitos de diseño del proceso de trituración de tapaderas plásticas para un reciclaje de dos etapas.
2. Seleccionar los componentes como fuente de potencia, discos de corte, y protección para la máquina en base a los requisitos de diseño.
3. Integrar características de seguridad en el diseño de forma que se proteja a los operadores y se mantenga la integridad de la máquina.
4. Realizar un diseño que facilite el mantenimiento y la limpieza de los componentes en la máquina.
5. Diseñar los manuales de fabricación, ensamble, mantenimiento y operación del sistema.

5.1. Tipos de polimeros más comunes en las botellas plásticas

De los diferentes polímeros que existen, los termoplásticos cumplen con las propiedades adecuadas para la manufactura completa de las botellas. En esta división existen dos plásticos los cuales son los más característicos para el uso de fabricación de envases de bebidas plásticas. El PP o polipropileno el cual es un plástico cristalino, con buena resistencia, baja densidad. Este plástico posee un bajo costo y buenas propiedades. Por otro lado, el PE o polietileno es un plástico parcialmente cristalino, flexible con una alta resistencia obtenida de la polimerización del etileno. El polietileno de alta densidad es un material utilizado frecuentemente en la fabricación de tapaderas plásticas.(Jachs, 2020)

5.1.1. Comportamiento mecánico de los polímeros

La naturaleza del plástico determina que este posee una estructura con menor grado de compactación en relación con los metales.

Los plásticos tienen como propiedades:

- Resistencia mecánica menor a los metales.
- Módulo de rigidez menor a los metales.
- Tiene dependencia de sus propiedades mecánicas respecto al tiempo, con mayor relevancia en los termoplásticos.
- Dependencia en la temperatura de igual forma con mayor relevancia en los termoplásticos.
- Sensibilidad al impacto.

El comportamiento mecánico de los plásticos varía dependiendo del material de refuerzo que se utilice. (Castaño, 2022)

5.1.2. Comportamiento térmico de los polímeros

Debido a que el plástico se va a someter a una etapa de calentamiento para poder moldear y tener un producto final. Hay que tomar en cuenta el comportamiento térmico de los plásticos. El comportamiento de estos varía según el arquetipo que se esté trabajando. Los termoestables son aquellos plásticos que no pueden obtener otra forma por medio del moldeo con calor ya que estos entran en un estado de descomposición al llegar a temperaturas altas. El HDPE el cual es un plástico termoplástico del cual están formadas las tapaderas plásticas poseen una temperatura de reblandecimiento, en la cual por medio de esfuerzos leves se puede cambiar su forma, sin embargo, si se excede la temperatura se llega a su temperatura de descomposición. De esta forma hay que asegurarse que al ser triturado tampoco se alcancen temperaturas muy altas ya que puede dañar el producto final. (Castaño, 2022)

5.1.3. Polietileno de alta densidad

El HDPE o polietileno de alta densidad es un polímero utilizado en las tapaderas de bebidas plásticas, las propiedades mecánicas de este polímero son:

Cuadro 1: Propiedades mecánicas del polietileno de alta densidad

Propiedad	valor	Unidades
Coefficiente de fricción	0.29	
Dureza	D60-73	
Módulo de tracción	0.5-1.2	GPa
Relacion de Poisson	0.46	
Relación de tracción	40	MPa
Resistencia al impacto (IZOD TEST)	210	J/m

Fuente: (M.P, 2020)

La resistencia al impacto es una propiedad bastante importante debido a que nos permite conocer mucho sobre el comportamiento del material, la resistencia al impacto se entiende como la resistencia de un material a la fractura por el choque de una carga. Esta se puede determinar de varias maneras, una de estas es por medio de la prueba Izod. Con esta propiedad se calcula la potencia necesaria para poder triturar el HDPE. (M.P, 2020)

5.2. Tipos de trituradoras en la industria del plástico

Una trituradora se le conoce como una máquina que procesa un material de forma que esta produce el mismo material con trozos de un tamaño menor al tamaño original al que fue introducido a esta. En la industria de reciclaje del plástico hay varios tipos de trituradoras/molinos utilizados:

5.2.1. Molinos

Estas son máquinas utilizadas para la reducción del volumen del material a procesar. En este caso los molinos más utilizados para botellas plásticas son:

Molino de martillos

El cual funciona por medio del impacto, compresión del material con otro cuerpo. En este caso la máquina consiste en martillos sujetos a pivotes en un eje rotatorio. Las botellas ingresan por la tolva y son impactadas por los martillos donde luego pasan las botellas a la criba. El tamaño de salida del material depende de la velocidad del eje, y el tamaño del tamiz por el que se separa el material.(A, 2013)

Molino de cuchillas

Este tiene un funcionamiento muy similar al de martillos, con la diferencia que a este se le pueden colocar varios tipos de cuchillas. De igual forma se introduce el material por la tolva, donde luego el material es impactado por las cuchillas y finalmente el tamiz es el que controla el tamaño por lo cual al tener el tamaño correcto el material va a salir. En este caso es muy importante un correcto mantenimiento de las cuchillas, y se recomienda que el material no sobrepase el tamaño de las cuchillas y la carga introducida no supere la mitad de su capacidad.(A, 2013)

5.2.2. Trituradoras

Trituradora de cuchillas

Estas tienen un funcionamiento similar al molino de cuchillas, las cuchillas pueden tener configuraciones tanto circulares como triangulares.(A, 2013)

Trituradora de martillos

Su funcionamiento es muy similar a un molino de martillos, sin embargo, la diferencia se encuentra en que los martillos no tienen pivote en el mismo eje rotatorio por lo cual la fuerza es mucho mayor. Esta se utiliza tanto para materiales duros como frágiles. (A, 2013)

5.3. Máquinas de corte compactas

Para cortar tapaderas de botella de HDPE de una forma segura se pueden utilizar las siguientes herramientas:

- Esmeriladora angular
- Sierra de mano
- Sierra de cinta.
- Router CNC
- Licuadora

Sin embargo, el uso de una sierra de mano hace del proceso muy poco eficiente teniendo que cortar las tapaderas de HDPE de manera individual. La sierra de cinta es una máquina con alto costo y que no se puede utilizar en las circunstancias requeridas al igual que un router CNC. De esta forma una esmeriladora angular posee la versatilidad y las herramientas necesarias para hacer el proceso más rápido. Como otra herramienta está el uso de una licuadora, las licuadoras poseen un motor y cuchilla que podría realizar el trabajo de trituración del HDPE, no obstante, estas no están diseñadas para uso continuo ni para trituración de materiales robustos. Al observar un manual de operación de una esmeriladora angular esta se puede exponer a ciclos de trabajo de 20 minutos por cada 10 de descanso hasta un total de 1 hora 30 minutos (este intervalo varía según el fabricante y el modelo que se utilice), sin embargo, las esmeriladoras angulares pueden estar sometidas en estos ciclos de trabajo realizando un trabajo con materiales más duros y demandantes para estas, aparte la esmeriladora angular es capaz de adaptarse a discos de corte y las dimensiones de la máquina permiten una mejor manipulación de esta. (Truper, 2021)

5.4. Uso de materiales según la clasificación de insulación de un motor eléctrico

Los aislantes eléctricos se utilizan para prevenir un malfuncionamiento como: descargas eléctricas, cortocircuito, sobrecalentamiento en equipos electricos, como motores, cables, etc. Estos aislantes eléctricos tienen distintas clasificaciones de temperatura, que indican el calor que puede soportar antes de perder su funcionamiento. Estas clases se dividen en Y,A,E,B,F,H,C. Cada una de estas tiene un límite de temperatura. (Skipper, 2023)

Cuadro 2: Límites de temperatura para los aislamientos

Clase	Temperatura máx, C	Temperatura máx, F	Temperatura máx, K
Y	90	194	363.15
A	105	221	378.15
E	120	248	393.15
B	130	266	403.15
F	155	311	428.15
H	180	356	453.15
C	180+	356+	453.15+

Fuente: (Skipper, 2023)

Estas diferentes clases de aislamientos están asociadas con diferentes tipos de materiales. Materiales asociados con las diferentes clases de aislamiento:

- Clase Y (90 °C): seda, algodón, ciertos termoplásticos que se ablandan por encima de 90 °C.
- Clase A (105 °C): seda reforzada, algodón y papel (con barniz o aceite de aislamiento impregnado).
- Clase E (120 °C): plásticos en polvo, poliuretano, resinas epoxi de poliéster moldeado, tereftalato de polietileno.
- Clase B (130 °C): Materiales inorgánicos como asbesto, fibras de vidrio, mica con barniz.
- Clase F (155 °C): Mica, materiales de clase B que funcionan bien a temperaturas más altas.
- Clase H (180 °C): Fibra de vidrio, mica, asbesto impregnado en caucho de silicona.
- Clase C (180 °C+): Películas de poliamida, cuarzo, mica, teflón, esmalte de poliamida.

5.5. Discos de corte para herramientas de corte rotativo

Existen varios tipos de discos de corte, cada uno de estos está diseñado para distintas aplicaciones y materiales.

- Discos de corte para metal
- Discos de corte para piedra
- Discos de corte para hormigón
- Discos de corte diamantados
 - De banda continua

Figura 1: Disco de corte de banda continua



- Segmentados

Figura 2: Disco de corte segmentado



- Turbo



Figura 3: Disco de corte turbo

Entre los diferentes discos de corte para distintos materiales el único que no posee un filo continuo es el disco de corte diamantado segmentado, estos discos se utilizan para materiales como concreto, granito, asfalto, y demás. (Simasa, 2021)

5.5.1. Cuchillas segmentadas compactas

Disco diamantado segmentado y cuchilla de licuadora, en cuanto a estos dos componentes ambos están hechos de acero inoxidable, sin embargo, el disco diamantado está hecho de acero reforzado además existe una diferencia en cuanto al grosor de la cuchilla, y el propósito para el cual están diseñados. De esta manera, la cuchilla de licuadora es un acero cuyo espesor es menor al de un disco diamantado, un disco diamantado tiene un espesor promedio de (2 mm) (Simasa, 2021), y una cuchilla de licuadora tiene un espesor promedio de (0.8 mm) y el propósito es triturar alimentos y demás con consistencia blanda o líquida.

5.5.2. Composición de discos de corte segmentado

Los discos de corte segmentados están compuestos por segmentos metálicos los cuales contienen diamantes. Los segmentos de cada disco tiene una composición metálica diferente al resto del disco, esta varía según el material que se desea cortar. Las combinaciones de distintos metales pueden ser neutros (hierro, cobalto, níquel), metales duros (tungsteno, carburo), o blandos (bronce, latón). (Simasa, 2020)

5.5.3. Composiciones y propiedades de discos de corte segmentados

El disco DeWalt consta de una composición de cobalto por lo cual las propiedades que se van a tomar en cuenta son las de tipo HP2 que cuenta con una composición de cobalto. Estas propiedades se utilizan para análisis de elementos finitos. (P: densidad, HV: dureza de Vickers, E: módulo de elasticidad, o: Esfuerzo de ruptura, m: módulo de dureza). (Ternero, 2021)

Cuadro 3: Propiedades discos de corte

Compuesto	Composición	p g/cm ³	HV MPa	E GPa	o MPa	m MPa
HP1	Co, Cu, Fe	8.08	2533	195	832.9	28.61
HP2	Co	8.93	2639	215	932.8	17.34
HP3	Co, Cu, Fe	7.97	2707	211	1000.5	8.79
HP4	Co, Cu, Fe	7.94	2796	217	713.7	22.15
HP5	Co, Cu, Fe	8.29	2744	217	989	9.71
HP6	Co, Cu, Fe	8.26	2683	186	625.3	1.12
HP7	Co, Cu, Fe, Sn	8.45	2559	175	702.8	1.57
HP8	Co, Cu, Fe	8.44	2919	181	783.9	2.30
HP9	Co, Cu, Fe	8.37	2840	175	468	0.61

Fuente: (Ternero, 2021)

5.5.4. Seguridad en el uso de discos de corte

La elección y manipulación de discos es fundamental para la seguridad del operario. Es de suma importancia revisar que el disco de corte no tenga ningún daño (incluso si el

disco es nuevo). Es importante recalcar que no se puede utilizar cualquier disco en cualquier herramienta, el RPM del disco debe de coincidir con el de la máquina a utilizar. Es sugerido que el disco rote por al menos 1 minuto antes de su operación para observar que tenga un funcionamiento correcto.(Simasa, 2021)

6.1. Descripción de metodología

Este trabajo buscó construir una trituradora de bajo costo para tapaderas de polietileno de alta densidad, para esto se dividió el proceso en múltiples etapas.

En la primera etapa, la cual consta de recopilación de datos y generación de ideas, se investigaron modelos de trituradoras de bajo costo ya existentes. De esta forma, se obtuvieron ideas de los distintos modelos para aplicar según la necesidad del proyecto. También se investigaron distintos mecanismos a utilizar para la trituración, tomando en cuenta las condiciones de uso, como el tiempo de trabajo que tiene la máquina, la fuerza de corte. De la misma manera se investigaron posibles materiales a utilizar para la estructura.

En cuanto a la segunda etapa, la cual consta del diseño del sistema de trituración, se realizaron diferentes modelos los cuales fueron teniendo variaciones según material, estructura, esto para llegar a un diseño concreto.

En la tercera etapa, luego de la selección de los materiales, herramientas, estructuras y demás. Se realizó un ensamble físico del mecanismo. De este se realizó pruebas de prototipo para determinar que el modelo del prototipo se apegaba a los resultados teóricos de la mejor manera posible, esto para evitar cualquier tipo de falla técnica.

6.2. Definición de requisitos

Definición de los códigos de identificación para los requisitos.

Cuadro 4: Identificación de códigos

ID	Significado
GEN	General
SEG	Sistema de seguridad
POT	Sistema de potencia
EST	Estructura
DIS	Disco

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 5: Requisitos

Código	Descripción
GEN01	Costo del sistema inferior a Q2000.
GEN02	Compatible con esmeriladoras angulares de discos 4 1/2 pulg.
GEN03	Presentar manual de operación y fabricación.
GEN04	Manual de operación debe indicar ciclo de trabajo.
GEN05	Fabricación viable en taller de carpintería.
GEN06	Dimensiones menores a 60cm x 65cm.
GEN07	Tritura tapaderas de hasta 5cm x 2cm.
GEN08	Debe de triturar hasta el tamaño solicitado en la fundición
GEN09	Manual debe indicar tipo de disco.
GEN10	Componentes de proveedores locales.
GEN11	No exceder 25 kg peso máximo.
GEN12	Paro de emergencia accesible en la base.
SEG01	Manual debe indicar equipo mínimo de seguridad.
SEG02	Manual debe explicar uso de herramienta de instalación.
SEG03	Botón de paro de emergencia requerido.
SEG04	Interruptor de encendido y apagado accesible.
SEG05	No funciona sin tapadera de la cámara.
SEG06	Componentes eléctricos protegidos contra el agua.
EST01	Elementos filosos solo dentro de la estructura.
POT01	Aislamiento eléctrico clase E requerido.
DIS01	Disco debe cortar plástico.
DIS02	Disco segmentado requerido.
DIS03	Disco permite dobles a 45° de segmentos.

Fuente: Elaboración propia

6.3. Diseño de estructura

6.3.1. Diseño preliminar

La estructura está basada en prototipos investigados, y en los componentes tanto mecánicos como de corte seleccionados, de igual forma se realizó basada en la disponibilidad de materiales y al requisito de diseño que menciona un presupuesto por debajo de los Q2000, se realizó múltiples diseños donde cada uno presentó sus limitaciones, en cuanto a material

Cuadro 6: Costo con madera

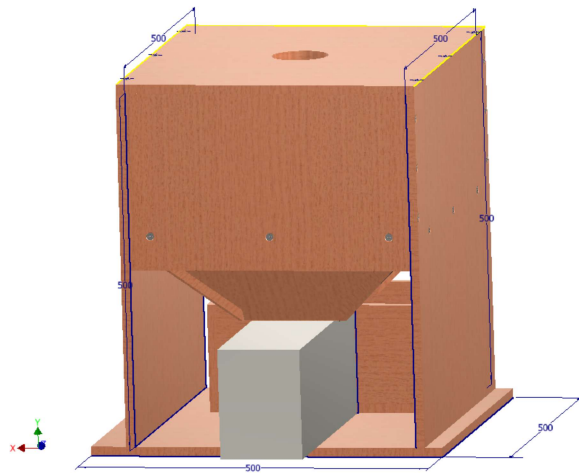
Placas	Medidas	cantidad	valor
Placa base/laterales	20 x 20 x $\frac{1}{2}$ inches	3	Q125.00
Placa frontal/trasera	13 x 10 x $\frac{1}{2}$ inches	2	Q0.00
Placa superior/malla	13 x 20 x $\frac{1}{2}$ inches	2	Q0.00
Placa base caja de recolección	13 x 9 x $\frac{1}{2}$ inches	1	Q125.00
Placa frontal/trasera recolección	6 x 13 x $\frac{1}{2}$ inches	2	Q0.00
Placas laterales caja de recolección	6 x 9 x $\frac{1}{2}$ inches	2	Q0.00
TOTAL			Q250.00

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en el cuadro 9, únicamente la placa utilizada en la base, paredes laterales y en la base de la caja de recolección tienen un precio, esto ya que las demás piezas salen de estas mismas tablas de madera, es decir, la placa base, laterales, frontal, trasera y superior salen de las 5 tablas y las demás placas salen de las otras 5 tablas.

De esta forma se comprobó como los requisitos necesarios no se ven cumplidos con este diseño. Esto debido a la cantidad de piezas a ensamblar ya que estas por la presentación del material se encuentran con múltiples divisiones.

Figura 6: Segunda iteración de la estructura

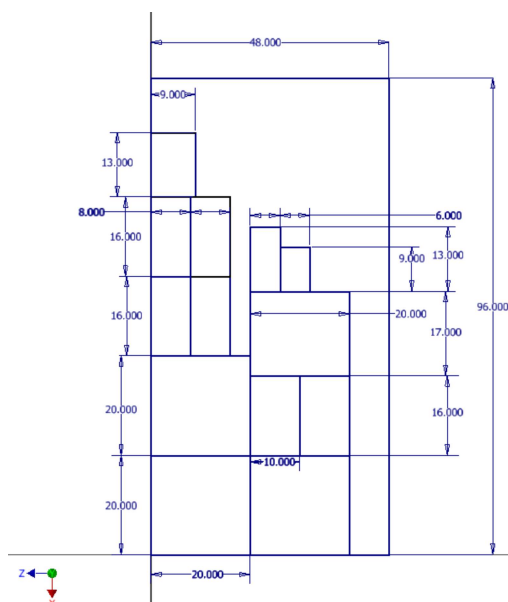


Captura de pantalla de Autodesk inventor[®] reimpressa por cortesía de Autodesk Inc.

Fuente: Elaboración propia

Respecto a la segunda iteración, se consideró aspectos no únicamente del presupuesto, también aspectos como la acumulación de tapaderas no trituradas dentro de la recámara que no podían ser alcanzadas por las cuchillas. De esta forma para la segunda iteración se tomó en cuenta la acumulación de material no triturado y se colocó 4 tablas a 45° grados. En diseño estructural, no se observa mucha diferencia, sin embargo, en esta segunda iteración el material que se consideró es Plywood. De la misma manera, se realizó un pequeño análisis económico para ver que este cumpla con los requisitos planteados.

Figura 7: Cantidad de tableros para segunda iteración



Captura de pantalla de Autodesk Inventor[®] reimpressa por cortesía de Autodesk Inc.
Fuente: Elaboración propia

De igual forma, con ayuda del programa Autodesk inventor[®] se realizó un cálculo para observar la cantidad de material demandada por el diseño para obtener costos de estructura. chat

Cuadro 7: Costo con plywood

Placas	Medidas	cantidad	valor
Placa base/laterales	20 x 20 x $\frac{1}{2}$ inches	3	Q275.00
Placa frontal/trasera	16 x 10 x $\frac{1}{2}$ inches	2	Q0.00
Placa superior	17 x 20 x $\frac{1}{2}$ inches	2	Q0.00
Placas inclinadas	8 x 16 x $\frac{1}{2}$ inches	1	Q0.00
Placa base caja de recolección	13 x 9 x $\frac{1}{2}$ inches	2	Q0.00
Placa frontal/trasera recolección	6 x 13 x $\frac{1}{2}$ inches	2	Q0.00
Placas laterales caja de recolección	6 x 13 x $\frac{1}{2}$ inches	2	Q0.00
TOTAL			Q275.00

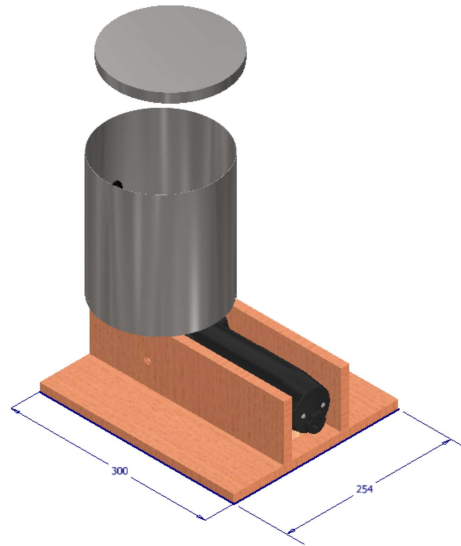
Fuente: Elaboración propia

En el Cuadro 10 únicamente la primer placa cuenta con un valor, esto se debe a la presentación del material en el cual únicamente se requiere de una plancha para todas las piezas, por lo cual, las demás piezas no agregan un valor extra.

Como se puede observar, los costos se mantienen similares al Cuadro 7, sin embargo, la presentación de este material permite que las piezas se puedan cortar en su tamaño completo y que estas no tengan subdivisiones debido al alto de las tablas. El problema que se encontró con este diseño es la dificultad en su construcción, al ser un mecanismo que se desea replicar de la forma más sencilla posible, la utilización de equipo como sierras circulares y este tipo

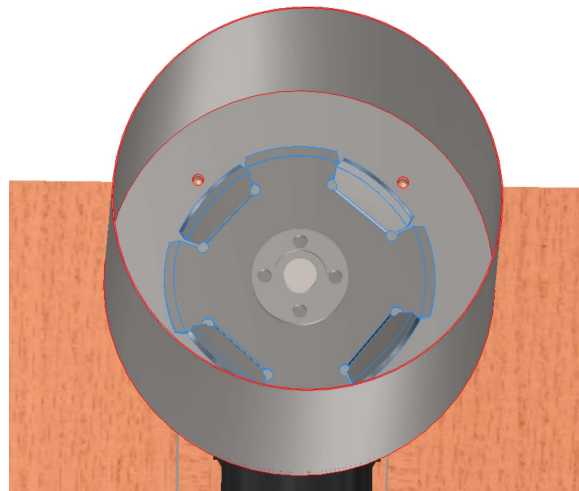
de herramientas son costosas y no se encuentran con fácil acceso. De esta forma, se consideró un diseño aún más sencillo que involucre la menor cantidad de herramientas posibles.

Figura 8: Tercera iteración de la estructura



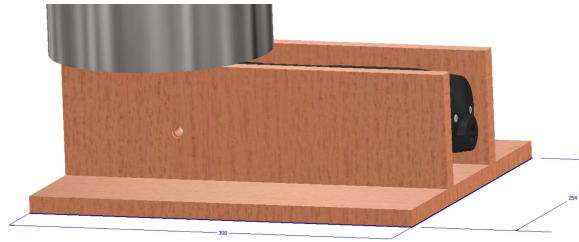
Captura de pantalla de Autodesk Inventor[®] reimpressa por cortesía de Autodesk Inc.
Fuente: Elaboración propia

Figura 9: Vista interior de la cámara de trituración



Captura de pantalla de Autodesk Inventor[®] reimpressa por cortesía de Autodesk Inc.
Fuente: Elaboración propia

Figura 10: Vista lateral de la estructura



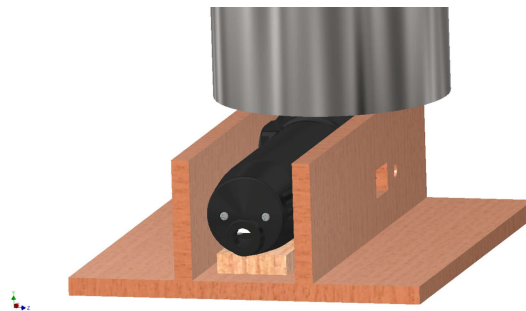
Captura de pantalla de Autodesk Inventor[®] reimpressa por cortesía de Autodesk Inc.
Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la tercera iteración, se tomó en cuenta distintos aspectos como la dificultad para replicar el modelo y la seguridad necesaria para realizar su función. La dificultad en el modelo se da debido a dimensiones de las distintas placas, al igual que en la dificultad de la obtención de las herramientas necesarias para realizar tanto los cortes necesarios como la construcción. De esta forma, se realizó un modelo cuya cantidad de material es reducido y los cortes necesarios no requieren de herramientas difíciles de obtener.

Para este modelo se utilizará madera como fuente primaria a la base de todo el sistema. Esto debido a la versatilidad, disponibilidad y facilidad de trabajo. Para la cámara de trituration se utilizará una cubeta de galón metálica comúnmente utilizada para almacenar pintura.

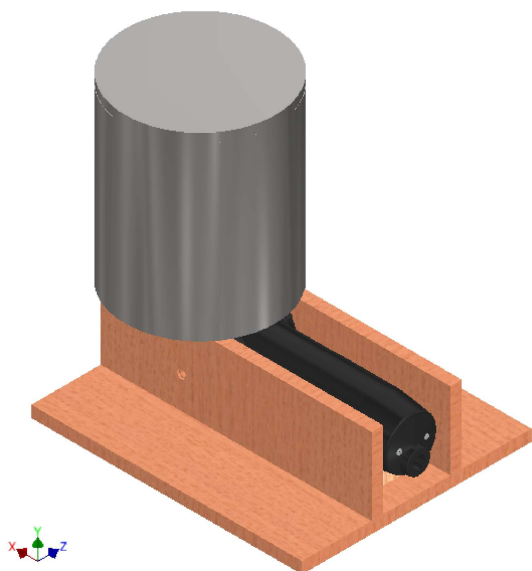
Para que el sistema se encuentre correctamente sujetado, la esmeriladora se ancla a las paredes laterales de madera por medio de tornillos 1/4 pulgada. La esmeriladora se le colocará una cuña en la parte inferior de forma que la esmeriladora se encuentre nivelada. De igual forma, se le colocará una placa que no permita movimientos en el eje Z. En cuanto a la cámara de trituration se observa en la Figura 9 que esta va atornillada a las placas de madera evitando cualquier tipo de movimiento.

Figura 11: Cuña para nivelar la trituration



Captura de pantalla de Autodesk Inventor[®] reimpressa por cortesía de Autodesk Inc.
Fuente: Elaboración propia

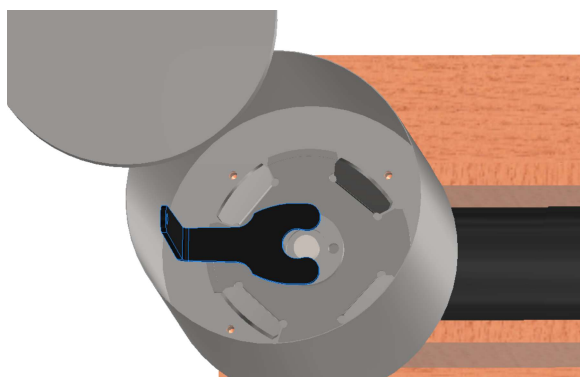
Figura 12: Tercera iteración con sus ejes de posición



Captura de pantalla de Autodesk Inventor® reimpressa por cortesía de Autodesk Inc.
Fuente: Elaboración propia

En cuanto al tema de seguridad al usuario. Este modelo cuenta con multiples sistemas de seguridad. Como primer punto la implementación de un sensor de puerta que al momento de destapar el sistema, este se dispara y detiene su funcionamiento o no permite su arranque. Esto permite tener un sistema seguro al momento de introducir material y reduce significativamente cualquier accidente o daño que se pueda generar debido a la exposición del disco de corte al usuario. Como segunda medida de seguridad, se agregará un botón de paro de emergencia que se encuentre al alcance del usuario y con el mejor acceso posible. Este botón detiene el funcionamiento cortando la corriente. Como tercer medida de seguridad, se colocó un contactor con interruptor manual, de esta forma no se debe de manipular la esmeriladora angular para ponerla en funcionamiento o detener su funcionamiento y permite una interfaz más amigable con el usuario.

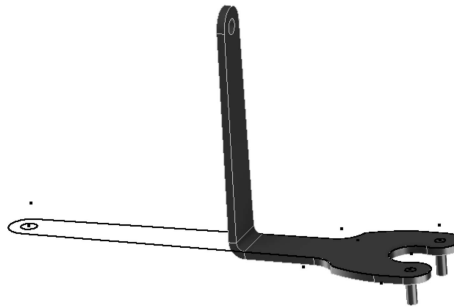
Figura 13: Vista superior de la cámara de trituración



Captura de pantalla de Autodesk Inventor® reimpressa por cortesía de Autodesk Inc.
Fuente: Elaboración propia

Para poder apretar el disco de trituración en el sistema, se utilizará la llave original, sin embargo, esta llave es muy grande para poder acceder a apretar el disco. Por lo que, se le realizará un doblé de manera que la llave se pueda introducir en la cubeta y así poder apretar el disco.

Figura 14: Llave modificada



Captura de pantalla de Autodesk Inventor® reimpressa por cortesía de Autodesk Inc.
Fuente: Elaboración propia

Figura 15: Cantidad de tableros para tercera iteración



Captura de pantalla de Autodesk Inventor® reimpressa por cortesía de Autodesk Inc.
Fuente: Elaboración propia

Con ayuda del programa Autodesk Inventor®, se realizó la distribución de las piezas necesarias en la madera a utilizar. Por medio de la Figura 15, se puede observar que se redujo significativamente el uso de madera, de la misma forma se redujo la dificultad en los cortes debido a que únicamente se realizaran cortes rectos. Por otro lado, el diseño cuenta con agujeros para la sujeción de la esmeriladora

Cuadro 8: Costo

Pieza	Medidas	cantidad	valor
Estructura de madera	10 x 12 x 1 Pulgadas	1	Q125.00
Pegamento madera	16 onz	1	Q39.95
Esmeriladora angular		1	Q430.00
Disco segmentado 4 1/2		1	Q55.00
Tornillos esmeriladora M8 de 1 in		4	Q1.25
Tornillos sujeción 3/8 de 1 in		4	Q2.00
Cubeta metálica		1	Q62.50
Cable 12AWG TSJ		3	Q12.00
Contactador normalmente cerrado		1	Q166.00
<i>Microswitch</i>		1	Q38.50
Botón emergencia		1	Q72.00
Selector		1	Q83.00
Caja eléctrica		1	Q115.77
TOTAL			Q1236.72

Fuente: Elaboración propia

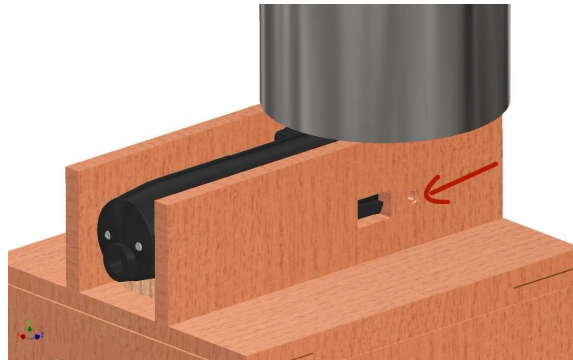
6.4. Rediseño del prototipo

En cuanto al rediseño del prototipo se tomó en cuenta distintos aspectos que no se consideraron en la 3era iteración. Entre estos aspectos se incluye el poder vaciar la recámara sin tener contacto directo, asegurarse de que la recámara se encuentre tapada adecuadamente e incluso un sistema que no permita su funcionamiento a la hora de no estar tapada. De igual manera, se realizó un diseño más ergonómico que permite una mayor facilidad a la hora de transportar. Esto se logra debido a que no se utilizará la caja eléctrica con el selector y demás componentes eléctricos separada a la trituradora. En este caso se realizará una caja eléctrica de madera en la parte inferior de la trituradora, esto permite que todo este en un mismo sistema, por ende tiene un acceso más cercano a los botones de accionamiento y de parado de emergencia. De igual forma, hay una mejora en cuanto al espacio que el sistema ocupa.

Para este modelo se utilizó madera como fuente primaria a la base de todo el sistema, incluyendo la caja eléctrica.

Para sujetar correctamente la esmeriladora y evitar movimientos en cualquier dirección, se colocaron los pernos laterales sujetos hacia la esmeriladora y se colocó una abrazadera para pared de 2 pulgadas. Esto permite una mejor sujeción de la esmeriladora evitando que en ambos extremos exista movimiento.

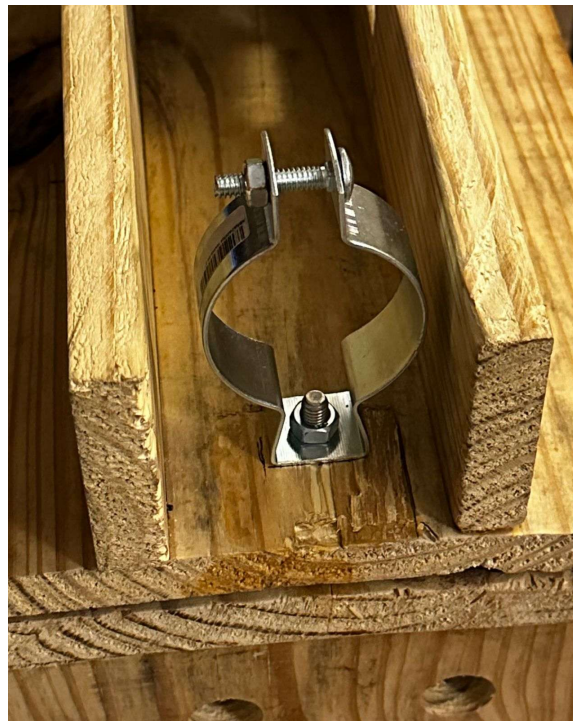
Figura 16: Agujeros de sujeción a la esmeriladora



Captura de pantalla de Autodesk Inventor® reimpressa por cortesía de Autodesk Inc.
Fuente: Elaboración propia

De igual forma para lograr una mejor sujeción se utilizó una abrazadera de tubo de anclaje a pared de 2 pulgadas de forma que esta se anclara a la base de madera y permita una sujeción del otro extremo de la esmeriladora.

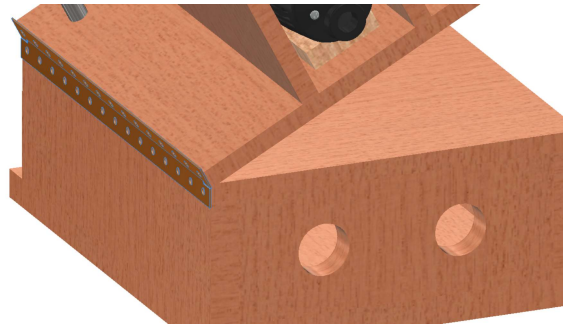
Figura 17: Abrazadera para sujeción



Fuente: Elaboración propia

En el rediseño también se consideró de qué forma se retiraba el material de la recámara de trituración. Al esta ser una parte que únicamente se debe de retirar a la hora de colocar la esmeriladora en su lugar. Se le agregó bisagras tipo piano a lo largo de la cara lateral. Estas bisagras permiten tener una asistencia a la hora de extraer el material y al mismo tiempo, evitan que se corra peligro debido a la manipulación de partes móviles de esta.

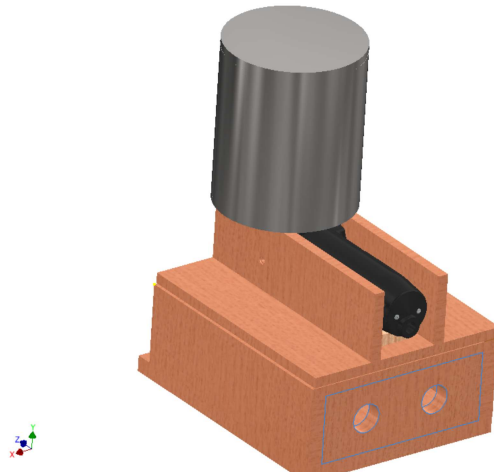
Figura 18: Bisagras para vaciar la recámara de trituración



Captura de pantalla de Autodesk Inventor® reimpressa por cortesía de Autodesk Inc.
Fuente: Elaboración propia

Otro punto que se tomó en cuenta fue el alcance de los botones de accionamiento del sistema. En la tercera iteración se colocaron en una caja eléctrica separada del sistema de trituración, esto daba lugar a una menor seguridad por mal posicionamiento de los botones, al igual que, hacía de este sistema un sistema más complejo para mobilizar. De esta forma se realizó la caja eléctrica de madera que va en la parte inferior de todo el sistema, la cual se le agregaron dos agujeros que permiten posicionar los botones de control en un lugar más accesible, visible y seguro para el operador.

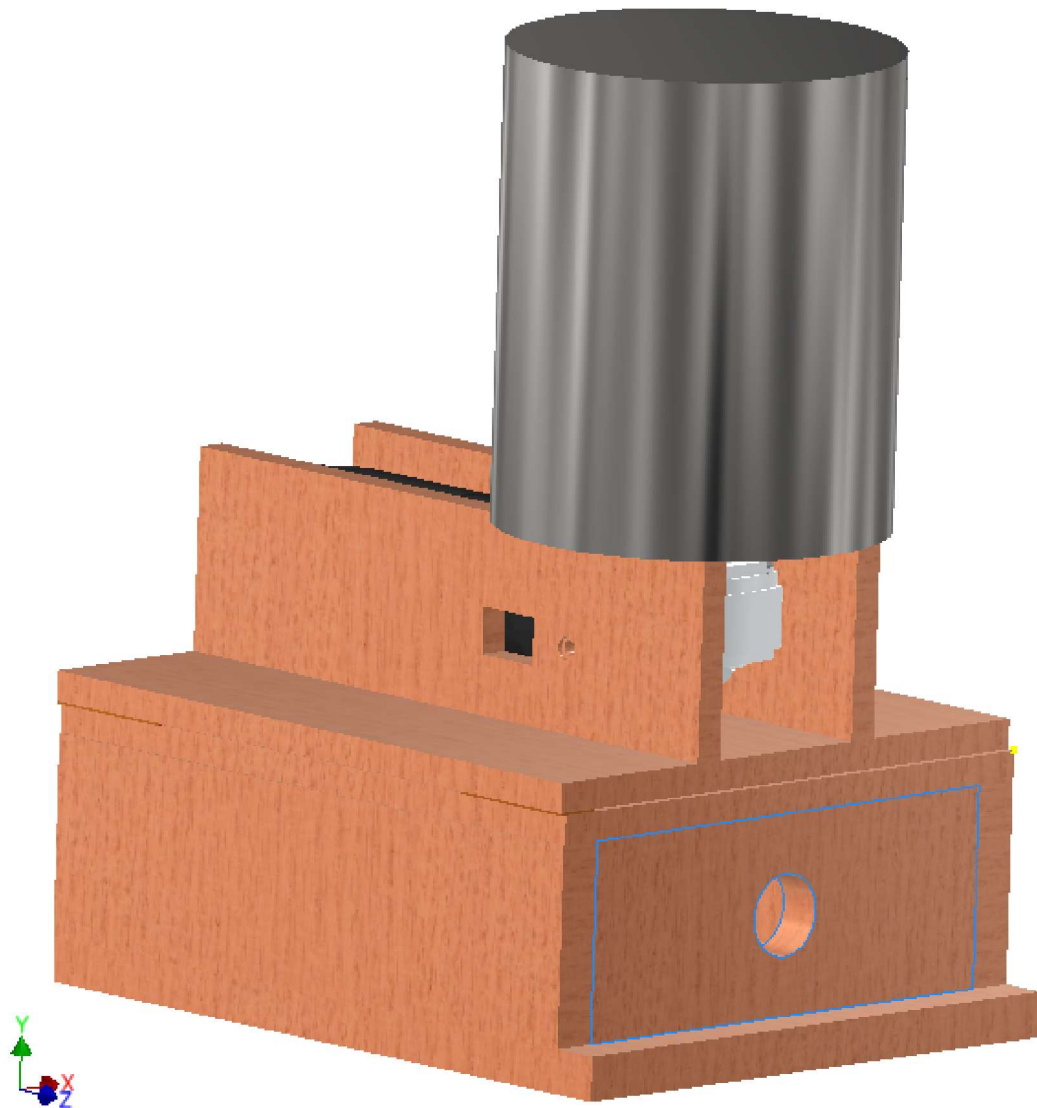
Figura 19: Posicionamiento de los botones de control



Captura de pantalla de Autodesk Inventor® reimpressa por cortesía de Autodesk Inc.
Fuente: Elaboración propia

En la parte trasera, se incorporó un agujero destinado al paso del cable de alimentación principal del sistema, asegurando así un posicionamiento seguro del cable de energía eléctrica necesaria para su funcionamiento.

Figura 20: Agujero de salida para cable de potencia



Captura de pantalla de Autodesk Inventor® reimpressa por cortesía de Autodesk Inc.
Fuente: Elaboración propia

Otro aspecto que se tomo en cuenta, fue la altura del contactor que se adquirió, en este caso es un componente eléctrico cuyas dimensiones son de 11 cm de altura por 7 cm de ancho. De esta forma, se colocó el contactor en la caja electrica en posición horizontal, de forma que la altura bajara y asi tener un diseño más compacto. En la parte interior de la caja eléctrica se ancló el contactor a la pared lateral de forma que este se mantenga en una posición fija.

Figura 21: Posicionamiento de contactor en la caja eléctrica

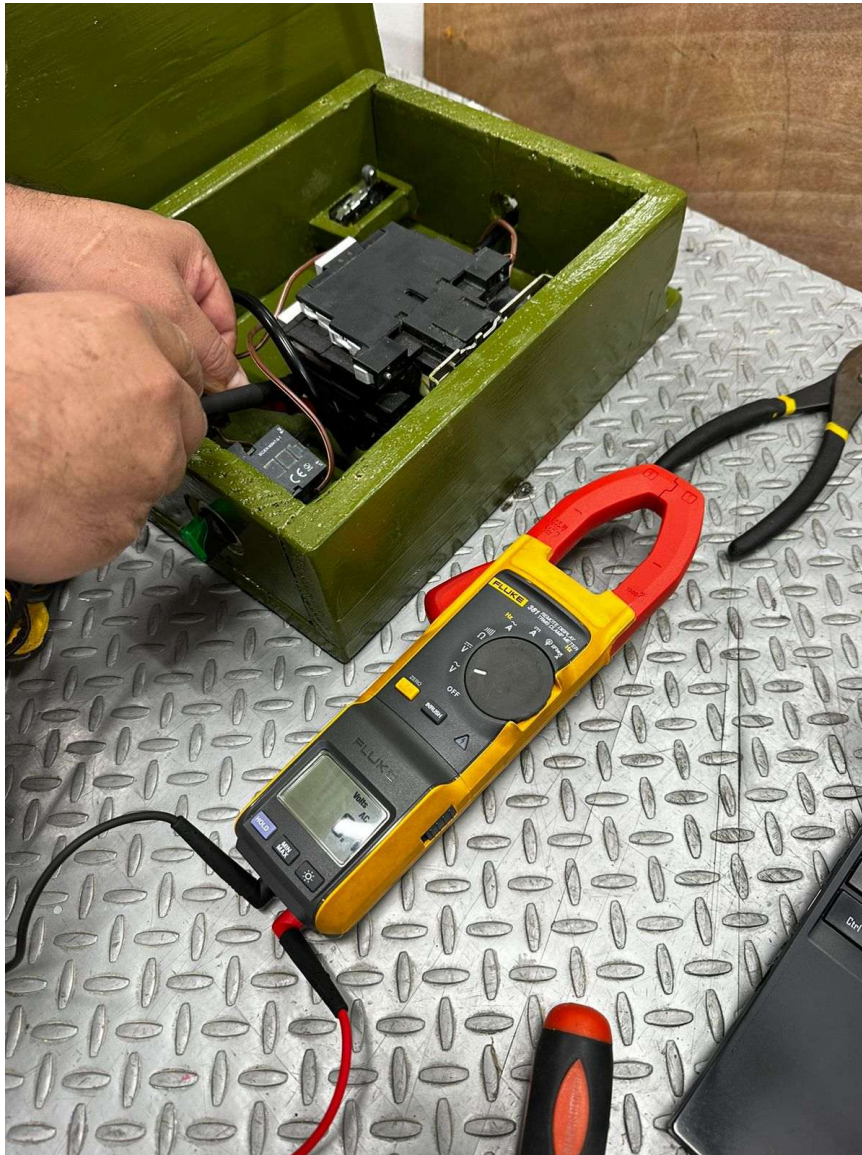


Fuente: Elaboración propia

Por último, se diseñó un mecanismo que no permita el funcionamiento de la trituradora

en caso que la tapadera no se encuentre colocada. Para esto se colocó dos varillas roscadas las cuales sujetan la tapadera y el colocar en su posición correcta activa el sensor para poder utilizar la trituradora.

Figura 22: Ubicación de sensor



Fuente: Elaboración propia

El sensor se encuentra en la parte superior izquierda del sistema. Cuando se presiona, permite el paso de la electricidad para energizar la bobina del contactor, como se muestra en la figura siguiente.

Figura 23: Accionamiento de sensor



Fuente: Elaboración propia

Cuadro 9: Costo de materiales

Pieza	Cantidad	Valor Unitario (Q)	Valor Total (Q)
Estructura de madera 10 x 12 x 1 pulg.	1	Q107.00	Q107.00
Pegamento para madera 16 onzas	1	Q39.95	Q39.95
Esmeriladora angular	1	Q430.00	Q430.00
Disco segmentado de 4 1/2 pulgadas	1	Q55.00	Q55.00
Tornillos M8 para esmeriladora de 1 pulgada	4	Q1.28	Q5.12
Tornillos de tablayeso de 1 pulgada de largo	20	Q0.15	Q3.00
Cubeta metálica	1	Q62.50	Q62.50
Cable 14AWG TSJ	3	Q9.50	Q28.50
Contactador normalmente cerrado	1	Q236.00	Q236.00
Microswitch	1	Q55.25	Q55.25
Botón de emergencia	1	Q55.25	Q55.25
Selector	1	Q83.00	Q83.00
Varilla roscada de 1/2 pulgada	1	Q26.50	Q26.50
Bisagra tipo piano	1	Q30.40	Q30.40
Tuerca mariposa de acero zinc	2	Q0.52	Q1.04
TOTAL			Q1,218.51

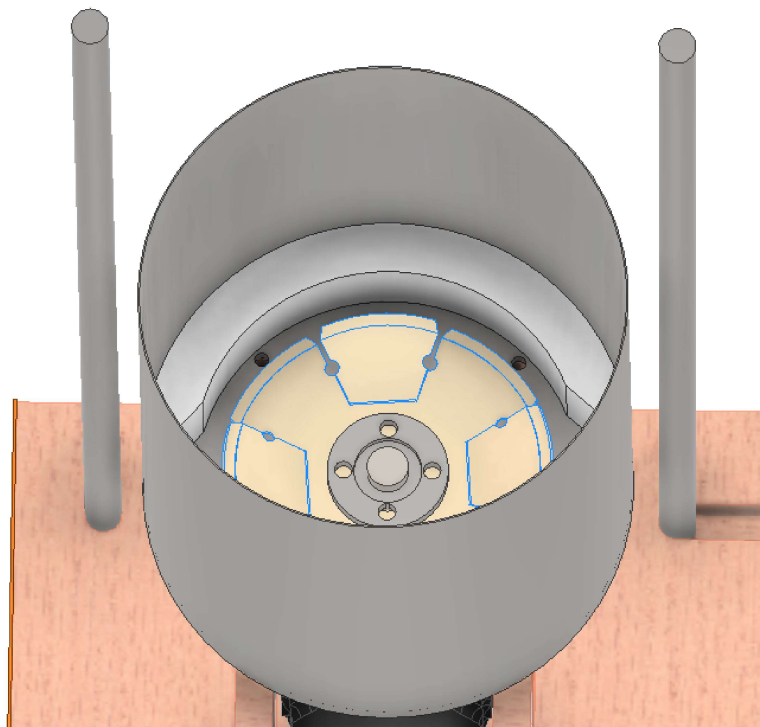
Fuente: Elaboración propia

6.5. Diseño final

El diseño final se completó tras una serie de pruebas del prototipo. A medida que se realizaron estas pruebas, se implementaron diversas modificaciones para optimizar el rendimiento. De esta forma, se redujo el espacio entre el disco de trituración y la recámara. Cada ajuste se hizo con el objetivo de perfeccionar el diseño y asegurar su funcionalidad óptima.

Para mejorar la resistencia y durabilidad de la cubeta, se diseñó una chaqueta de refuerzo a partir de una cubeta metálica adicional, cortada con tijeras de lámina para ajustarse a la forma original. Este refuerzo incrementa el espesor de las paredes, reduciendo la deformación por impactos durante la trituración y aumentando el factor de seguridad.

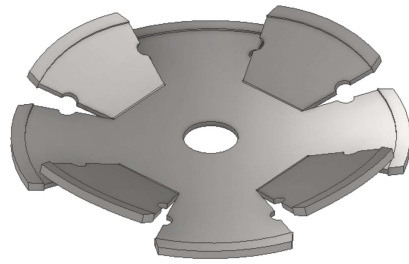
Figura 26: Reductor de volumen



Captura de pantalla de Autodesk Inventor[®] reimpressa por cortesía de Autodesk Inc.
Fuente: Elaboración propia

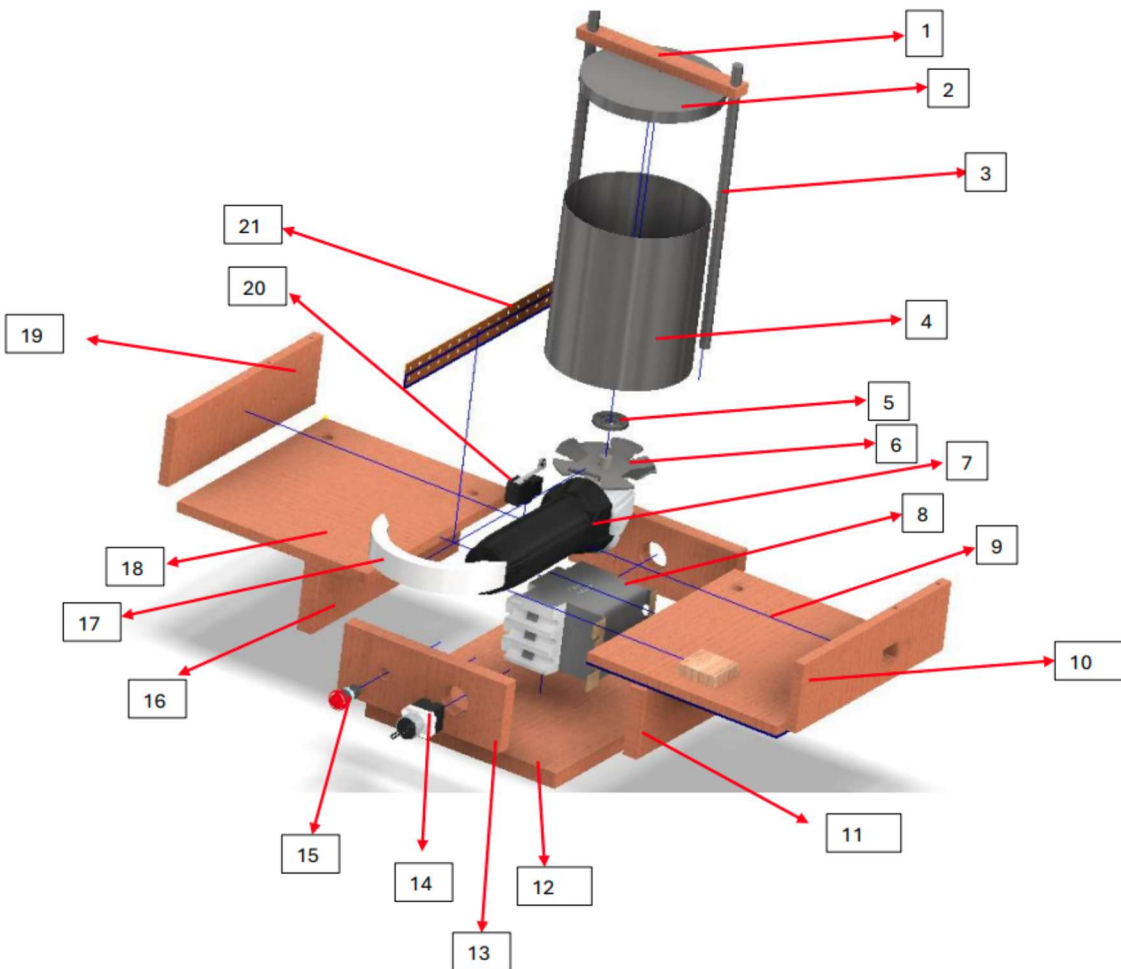
Además, se llevó a cabo una modificación en el disco de corte. Esta modificación incluyó la extensión del segmento levantado del disco, lo que contribuyó a mejorar su capacidad de corte. Este ajuste, junto con los demás cambios, ayudó a optimizar el rendimiento del diseño final.

Figura 27: Disco con segmentos alargados a 20°



Captura de pantalla de Autodesk Inventor® reimpressa por cortesía de Autodesk Inc.
Fuente: Elaboración propia

Figura 28: Diseño final



Captura de pantalla de Autodesk Inventor® reimpressa por cortesía de Autodesk Inc.
Fuente: Elaboración propia

Cuadro 10: Tabla de componentes

Número	Componente
1	Seguro de tapadera
2	Tapadera metálica
3	Rieles
4	Cubeta metálica
5	Seguro de disco
6	Disco segmentado a 20°
7	Esmeriladora angular
8	Contactora
9	Base de esmeriladora
10	Pared lateral derecha de soporte
11	Pared lateral derecha de sistema eléctrico
12	Base de sistema eléctrico
13	Pared frontal de sistema eléctrico
14	Selector de dos posiciones
15	Botón paro de emergencia
16	Pared lateral izquierda de sistema eléctrico
17	Reductor de volumen para la cámara de trituración
18	Tapadera de sistema eléctrico
19	Pared lateral izquierda de soporte
20	<i>Microswitch</i> de pulsación
21	Bisagra

Fuente: Elaboración propia

6.6. Selección de trituración de materiales para la estructura

Para la construcción de la estructura, se consideraron dos materiales: madera y aluminio. En cuanto al uso de la madera para la estructura, esta cumple con la función de proporcionar una estructura con medidas específicas. Sin embargo, basado en los requisitos de costo y dimensionamiento del mecanismo, las iteraciones 1 y 2 de madera presentaron limitaciones en cuanto a tamaño, además de una mayor dificultad en la elaboración debido a la disponibilidad de herramientas de corte. Además, estas iteraciones carecían de cualquier sistema de seguridad. Debido a estas razones, se descartó la posibilidad de construir el mecanismo únicamente con madera.

Por lo tanto, se decidió utilizar aluminio para la cámara de trituración y madera para el resto de la estructura. Para los componentes estructurales de bajo costo, se optó por el uso de botes de aluminio laminado, comúnmente utilizados para cubetas metálicas, envases de pintura y envases de alimentos enlatados. Esta decisión se tomó considerando varios aspectos, incluida la facilidad para replicar el modelo. El uso exclusivo de madera como material para el modelo presentaría posibles limitaciones, como la obtención del material y la disponibilidad de herramientas necesarias para realizar todos los cortes requeridos para un ensamblaje correcto. Por esta razón, se redujo la cantidad de madera necesaria para el modelo y se decidió utilizar un recipiente metálico cuya dimensión de la parte inferior se

definió en los requisitos. En estas cubetas metálicas, se utilizó acero tipo 10XX, determinado mediante una prueba de dureza superficial Rockwell tipo B, la cual arrojó una dureza de 115.6.

Figura 29: Test de dureza Rockwell tipo B en la cubeta metálica



Fuente: Elaboración propia

Cuadro 11: Propiedades mecánicas del acero 1045

Propiedades mecánicas	Valor
Densidad	7.85 g/cc
Modulo de elasticidad	206 GPa
Razón de poisson	0.29
Resistencia a la fluencia	530 MPa
Resistencia última a la tensión	625 MPa

Fuente:(MatWeb, 2023)

6.7. Selección de componentes mecánicos y de corte

En cuanto a los componentes mecánicos se realizó la selección de este tomando en consideración elementos de trituración como sierras de mano, esmeriladoras angulares, sierras de cinta.

Luego de la investigación mencionada en la sección 1.3 de los componentes mecánicos

capaces de cortar polietileno de alta densidad, se llevó a cabo la selección del mecanismo de trituración a utilizar, en este caso la esmeriladora angular. Esta selección se debe a los tiempos de trabajo y el tamaño al que se desea trabajar. Para realizar una selección entre los distintos modelos de esmeriladoras, se consideró temas como los periodos de trabajo al que se puede someter los mecanismos, el consumo del mecanismo y el precio. Dicha información se encuentra en los siguientes cuadros. Luego de tomar en cuenta estos criterios de selección, se concluyó que la esmeriladora angular era el mejor mecanismo para dicha tarea, ya que este brinda periodos de trabajo de incluso 30 minutos por cada 15 minutos de descanso, así como la capacidad de cortar incluso concreto.

Cuadro 12: Propiedades esmeriladora angular ESMA-4-1/2A12

Propiedades	Valor
Peso	1.8 kg
Consumo	5A
Velocidad angular	11000 rpm
Potencia	700W
Ciclo de trabajo	30 min x 15 descanso
Clase de insulación	B
Precio	Q300.00

Fuente: (TruperA12, 2023)

Cuadro 13: Propiedades esmeriladora angular DWE4010-B3

Propiedades	Valor
Peso	N/A
Consumo	5.8A
Velocidad angular	11000 rpm
Potencia	700W
Ciclo de trabajo	N/A
Clase de insulación	N/A
Precio	Q826.50

Fuente: (DeWaltB3, 2023)

Cuadro 14: Propiedades esmeriladora angular ESMA-4580PN

Propiedades	Valor
Peso	2 kg
Consumo	6.3A
Velocidad angular	11000 rpm
Potencia	850W
Ciclo de trabajo	50 min x 20 descanso
Clase de insulación	E
Precio	Q430.00

Fuente: (Truper45110, 2023)

Cuadro 15: Propiedades esmeriladora angular ESMA-4590N

Propiedades	Valor
Peso	2.2 kg
Consumo	7A
Velocidad angular	11000 rpm
Potencia	900W
Ciclo de trabajo	50 min x 20 descanso
Clase de insulación	E
Precio	Q799.99

Fuente: (Truper-4590N, 2023)

Con la selección de esmeriladora angular como componente mecánico para la trituración de tapaderas plásticas, se realizó otro análisis en el cual se buscó diversos modelos que se encontraran en un rango de precio entre Q300.00 - Q1,000.00 y cuyas características fueran especificadas de la mejor manera y sobresalientes entre los diversos modelos. De esta forma se eligió la esmeriladora angular Truper ESMA-4580PN. Esta esmeriladora se encuentra entre el intervalo de precio preferido, de igual forma, consta de una ficha técnica que brinda especificaciones como el consumo, peso, ciclo de trabajo, clase de insulación; características las cuales se compararon entre los distintos modelos. Teniendo las tablas de especificaciones de los modelos se comparo el precio y lo que los modelos ofrecían, de esta forma al observar que la Truper ESMA-4580PN tiene un precio medio entre los distintos modelos, pero ciclos de trabajo por encima a las otras opciones, se puede determinar que esta puede realizar trabajos mas demandantes a otros modelos, al igual que, una mayor duración realizando los trabajos. Para realizar la selección basada en los requisitos, se investigaron los tipos de aislamiento en motores eléctricos, considerando los materiales utilizados. Se observó que solo el modelo ESMA-4580PN cuenta con aislamiento de clase E, un aspecto crucial ya que elegir una clase inadecuada para la aplicación prevista puede causar daños en el equipo o fallos. Asimismo, seleccionar una clase de aislamiento superior a la necesaria puede aumentar el costo del equipo de manera innecesaria. (Skipper, 2023)

6.7.1. Componentes de corte

Para los componentes de corte se consideró utilizar algo que ya existiera y pudiera ser modificado a la forma útil para poder triturar, de igual forma, se consideró que debía tener dientes para poder realizar la función de trituración.

Para esto se analizaron varios tipos de disco de corte por lo cual se realizó una investigación de los tipos de discos de corte para una esmeriladora angular. En este caso, se obtuvo discos de corte para metal, piedra, hormigón y diamantados, pese a las diferentes categorías estos discos poseen banda continua por lo cual no son útiles para realizar una trituración ya que el filo únicamente está en una dirección. La categoría de discos diamantados posee discos de banda continua, segmentados y turbo. En este caso se analizó de qué forma se podría realizar una mejor trituración por lo cual un disco segmentado tiene la flexibilidad para poder doblar los segmentos de este por lo cual se crea una cuchilla que funciona en más direcciones permitiendo así tener la geometría de cuchillas de trituración. A uno de los

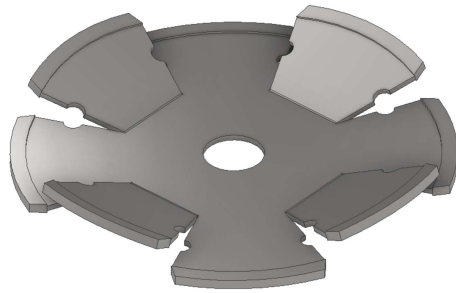
segmentos del disco de corte se les realiza un doblé a 45 grados y al otro no, y se hace así sucesivamente con todos los segmentos del disco. Esto se realiza para obtener más ángulos de corte y poder tirturar una mayor cantidad de tapaderas. El disco de corte se seleccionó en base a la velocidad angular máxima que se puede alcanzar por la esmeriladora. De esta manera se concluyó con la utilización de un disco DW47452HP, el cual soporta velocidades de hasta 13,000 rpm lo cual se encuentra por encima de la velocidad de operación de la esmeriladora angular la cual es de 11,000 rpm. Las herramientas de corte están elaborados de HSS (aceros de alta velocidad). Sin embargo, se realizó un análisis superficial rockwell tipo B. Con este análisis se concluyó que el acero del disco de corte está hecho de un acero de la clasificación 10XX. La dureza según esta clasificación es de 122.2.

Figura 30: Dureza del disco de corte



Fuente: Elaboración propia

Figura 31: Diseño 3D de disco segmentado



Captura de pantalla de Autodesk Inventor[®] reimpressa por cortesía de Autodesk Inc.
Fuente: Elaboración propia

Cuadro 16: propiedades del disco de corte DW47452HP

Propiedades	Valor
Densidad	7.85 g/cc
Módulo de elasticidad	206 GPa
Razón de poisson	0.29
Resistencia al corte	80 GPa
Resistencia a la tensión	530 MPa
Resistencia última a la tensión	625 MPa

Fuente: (MatWeb, 2023)

6.8. Componentes de seguridad

Se requiere de un sistema que tenga medidas de seguridad industrial. Para esto, se analizó diseños de trituradoras industriales y se implementó las medidas de seguridad respectivas. En cuanto a la selección para los componentes y el cable se utilizó el manual de información de la esmeriladora angular. En este manual se utilizó el amperaje para obtener las condiciones de trabajo. Como medidas de seguridad se colocó un sistema de paro de emergencia, un sistema que no permita el funcionamiento si no se encuentra tapado el mecanismo y un último sistema que permita el accionamiento de una manera más accesible es decir un selector. Para los distintos mecanismos se utilizó un contactor normalmente cerrado, hongo de emergencia normalmente cerrado y un interruptor de puerta. Estos componentes son normalmente cerrado ya que al tomar cualquier medida de seguridad los componentes de deben de encargar de detener el mecanismo por completo. La esmeriladora unicamente tiene dos fases por lo cual se seleccionó cable 16 AWG y para mantenerlo aislado y protegido TSJ. Esta selección se realizó en base al cable utilizado originalmente en la esmeriladora angular.

Figura 32: Hongo de emergencia NC



Fuente: Elaboración propia

El hongo de emergencia detiene por completo su funcionamiento al ser accionado, esto evitando que la electricidad circule por el mecanismo.

Figura 33: Sensor de puerta



Fuente: Elaboración propia

El sensor de puerta limita el funcionamiento si la recámara de trituración está abierta. En otras palabras, no permite la operación de la esmeriladora si la compuerta está abierta o si se está agregando material, reduciendo así los riesgos de operación al añadir material para triturar.

Figura 34: Contactor NC



Fuente: Elaboración propia

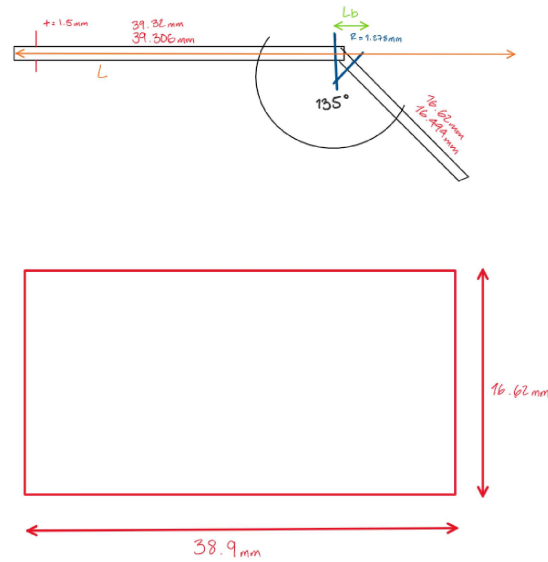
El contactor es el que recibe las indicaciones del sensor de puerta y del selector para cortar su funcionamiento.

6.9. Cálculo

6.9.1. Cálculo de fuerza de doblado

Se determinó la fuerza necesaria para doblar los segmentos diamantados del disco de corte, utilizando la ecuación de la fuerza de doblado. En este caso, se tomó en cuenta aspectos como el material del cual está hecho el componente, el radio de doblado que se realizó, la distancia del doblado, entre otros factores. Estos se determinaron con ayuda de Autodesk Inventor[®], realizando una simulación del disco elegido para obtener dimensiones reales.

Figura 35: Dimensiones de disco de corte



Fuente: Elaboración propia

Para este cálculo se tomó el factor $kb = 0.33$, esto se debe a que se tomó como un doblado de bordes ya que el doblado de bordes permite obtener en láminas ángulos de 90° e inferiores. (Team, 2017) Para el cálculo se utilizó la resistencia a la tensión del disco de corte DW47452HP, las propiedades del disco están definidas en el cuadro 8. Para determinar que se utilizó las medidas correctas, se realizó el siguiente cálculo:

- L_b es la longitud agregada según el ángulo de los dientes
- L es la longitud de la pieza sin dobleces.
- R es el radio según el doblado

$$L_b = \alpha * (R + kb * t) \quad (1)$$

$$L_b = 135 * \frac{\pi}{180} * (1.278 + 0.33 * 1.5) = 4.178 \text{ mm} \quad (2)$$

$$L = 39.306 + 3.7181 + 16.494 = 59.51 \text{ mm} \quad (3)$$

Para el ángulo se utilizó el restante de los 45° , ya que este es el ángulo de apertura desde la superficie del disco hacia el extremo del segmento. Luego, se determinó la fuerza de doblado para el disco diamantado segmentado.

La ecuación que se utilizó es:

$$F = \frac{kb * S_y * w * t^2}{d} \quad (4)$$

Para determinar la fuerza de doblado, se utilizó el criterio de doblado, al igual que las propiedades que se definieron. En este caso:

- kb = factor por doblado
- Sy = esfuerzo de fluencia del disco
- w = longitud del doblado
- t = espesor de la lámina
- d = dimensión de apertura.

De esta forma:

$$F = \frac{0.33 * 530 \text{ MPa} * 38.9 \text{ mm} * 1.5 \text{ mm}^2}{16.494 \text{ mm}} \quad (5)$$

$$F = \frac{1 \text{ N}}{\text{mm}^2} = 1 \text{ MPa} \quad (6)$$

$$F = \frac{15308.12 \text{ N} * \text{mm}^3}{16.494 \text{ mm}^3} \quad (7)$$

$$F = 928.10 \text{ N} = 208.65 \text{ lbf} \quad (8)$$

6.9.2. Simulación de doblado de disco de corte

Se realizó una simulación para determinar la integridad física del disco a la hora de realizar un doblado por medio del software de Ansys.

Este se analizó mediante una análisis estático estructural y luego se definió el material a utilizar, de esta forma se creó el material y se le agregó todas sus propiedades.

Figura 36: Asignación de material al disco

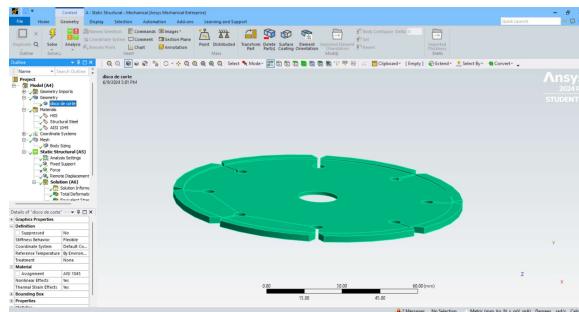


Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc. Fuente: Elaboración propia

Luego, se creó el mallado y se le asignó el tamaño de la malla de 3.0mm. Al analisis se le aplicó dos condiciones. La primera, un soporte fijo en la parte del disco donde no queremos la deformación. Y segundo, un desplazamiento remoto en el segmento a doblar.

Figura 37: Asignación de soporte fijo

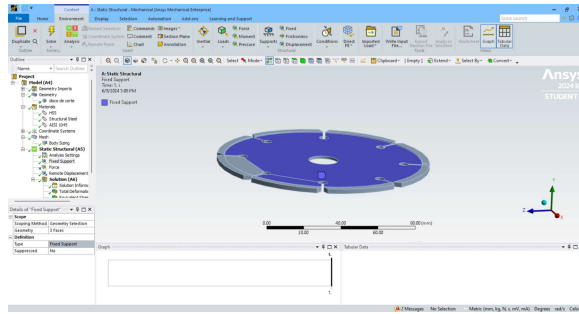


Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc. Fuente: Elaboración propia

En el caso del desplazamiento remoto, el segmento se llegó a 45° grados. Por lo cual se colocó pasos de 5° en 5° grados.

Figura 38: Desplazamiento remoto

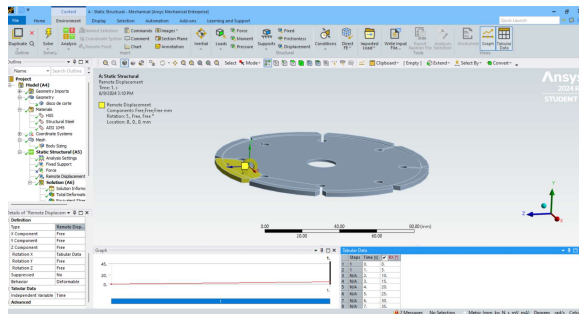


Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc. Fuente: Elaboración propia

Figura 39: Esfuerzo equivalente ocasionado por el doblez en el diente de 2561.5MPa

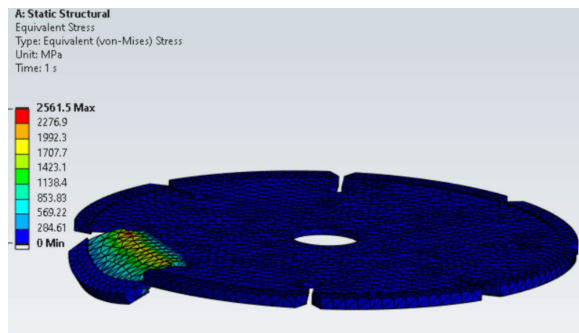


Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc. Fuente: Elaboración propia

Figura 40: Factor de seguridad 0.1

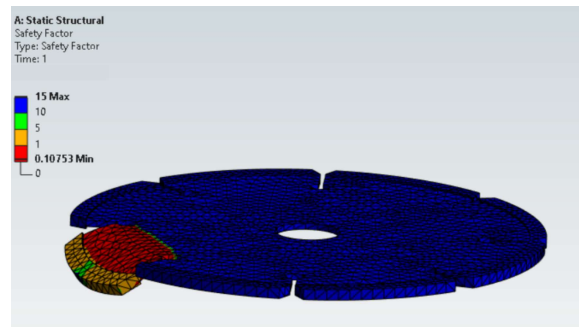


Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc.. Fuente: Elaboración propia

Las figuras 34 y 35 muestran una deformación aumentada en un factor de 5.9 mediante \textit{autoscale} para una mejor representación visual. Sin embargo, se observó que la fuerza aplicada causó una deformación real de 1.3879 mm. También se determinó que el factor de seguridad obtenido al aplicar esta fuerza es de 0.1, indicando que el disco cede bajo la fuerza aplicada. Es importante recalcar que este factor de seguridad se refiere a la fluencia del material. Debido a que los resultados de la simulación indicaban que el disco cedería, se realizaron pruebas físicas para verificar estos datos.

6.9.3. Prueba física

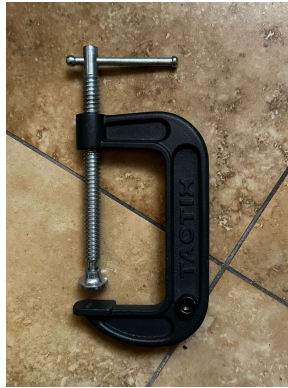
Se realizó una prueba física para determinar si el disco es capaz de soportar la fuerza necesaria sin obtener una falla en este. Para esto se llevó a cabo una prueba utilizando una prensa de banco para sujetar el disco, un torquímetro y un perno que se introdujo en una perforación realizada en la parte inferior de la prensa tipo C de 4" pulgadas.

Figura 41: Agujero en prensa tipo C



Fuente: Elaboración propia

Figura 42: Prensa tipo C



Fuente: Elaboración propia

Figura 43: Perno colocado en prensa tipo C



Fuente: Elaboración propia

La prensa tipo C se sujetó al diente a doblar del disco de corte, y el torquímetro se sujetó a la copa anclada a la prensa C.

Figura 44: Disco sujetado por prensa tipo C



Fuente: Elaboración propia

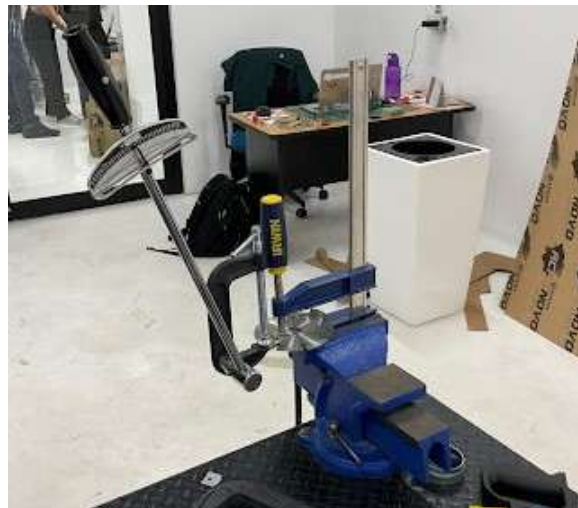
Figura 45: Doblez por medio del torquímetro



Fuente: Elaboración propia

Se utilizó este torquímetro para doblar el disco, lo que permitió obtener información sobre la fuerza necesaria para doblarlo.

Figura 46: Medición de fuerza

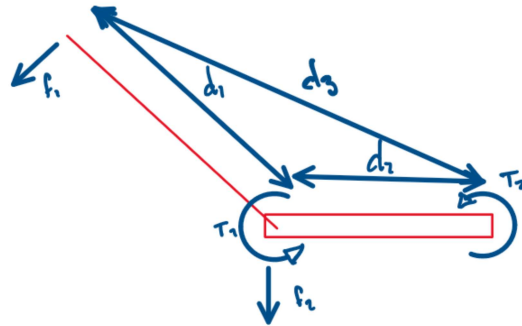


Fuente: Elaboración propia

El sistema se colocó como se muestra en la figura anterior. Esto para obtener los datos de fuerza específica requerida para el doblar del mismo y para corroborar que el material permitía este tipo de modificaciones.

Luego, se realizó un diagrama teórico del mecanismo para determinar la fuerza necesaria para poder doblar los segmentos y de esta forma poder determinar si la simulación realizada mostraba el ejemplo real.

Figura 47: Diagrama de mecanismo



Fuente: Elaboración propia

El diagrama del mecanismo muestra de que forma se realizó el doblado y los diferentes aspectos que se deben de tomar en cuenta para su análisis. Las medidas se tomaron en el modelo físico al igual que el T2 el cual es el que se determinó con ayuda del torquímetro de aguja.

- D1 = 48.7 cm
- D2 = 8.0 cm
- D3 = 51 cm
- T2 = 5 Lb-ft

El cálculo de fuerza se realizó por medio de la ecuación:

$$\sigma = \frac{F2 * D2 * t/2}{I} \quad (9)$$

$$F1 = T2/D1 \quad (10)$$

$$I = \frac{b * A^3}{12} \quad (11)$$

$$I = \frac{0.0385 * 0.002^3}{12} = 2.566 * 10^{-11} m^4 \quad (12)$$

$$F1 = \frac{5 Lb - ft * 1.35 \frac{N-m}{Lb-ft}}{0.487 m} \quad (13)$$

$$F1 = 13.86 N = 3.115 lb \quad (14)$$

$$T3 = F1 * d3 \quad (15)$$

$$T3 = 13.86 N * 0.51 m = 7.0686 N - m \quad (16)$$

$$\sigma = \frac{7.0686 \text{ N} - m * 0.0015/2}{2.566 * 10^{-11} \text{ m}^4} = 275.47 \text{ MPa} \quad (17)$$

Esto se debe a que el torquímetro se sujetó a 8 cm del área donde se sujeto el diente del disco. De esta forma para calcular la fuerza necesaria para doblar el disco se debe de considerar esta distancia entre componentes. De manera física se obtuvo una fuerza necesaria de 3.115 lb y en ninguno de los casos ocurrieron fallas, según la simulación realizada en ansys en la sección 2.5.2 el disco fallaba al doblarlo a 45 grados. Al comparar esto con las pruebas físicas se observa que la fuerza necesaria no es alta y el disco si soporta un doblez a 45 grados.

6.9.4. Cálculo de falla por rotación con segmentos doblados a 45 °

Debido a que el disco se manipuló y los segmentos se colocaron a un ángulo de 45°, se realizó una simulación en la cual el disco gira a la velocidad de trabajo de la esmeriladora angular la cual es de 11,000 rpm, sin ningún tipo de carga. Esto permitió obtener el comportamiento del disco a la velocidad de operación con las condiciones requeridas.

Luego de tener el disco con esta geometría se le asignó el material por medio del programa, por lo cual se consiguió las propiedades y comportamiento del material utilizado un acero 1045.

Una vez se determinó esta información se simuló las condiciones a las que se va a operar el disco. De esta forma se le aplicó un soporte fijo en el anillo central.

Figura 48: Soporte fijo disco de 45°

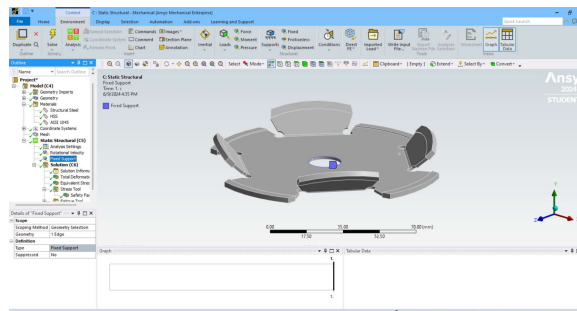


Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc. Fuente: Elaboración propia

y se colocó una velocidad rotacional de 11,000 rpm.

Figura 49: Velocidad rotacional en el eje Y

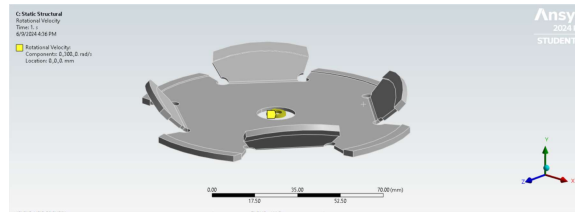


Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc. Fuente: Elaboración propia

De esta forma, se realizó la simulación del disco a 45° para determinar el comportamiento del mismo.

Figura 50: Deformación total de 0.08939mm en rotación con segmentos doblados a 45°

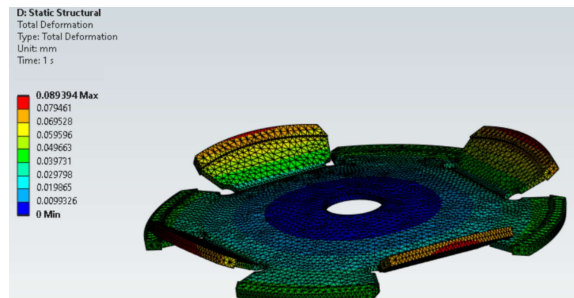


Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc. Fuente: Elaboración propia

Figura 51: Esfuerzo equivalente de 45.299 MPa en rotación con segmentos doblados a 45°

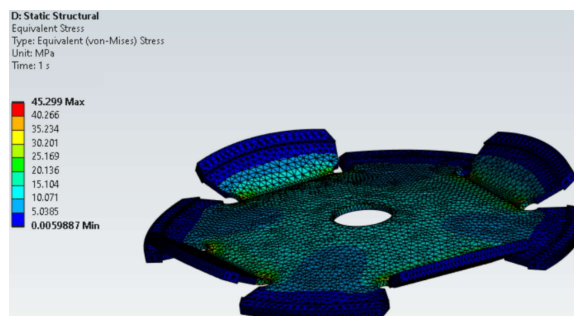


Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc. Fuente: Elaboración propia

Figura 52: Factor de seguridad de 6.84 en rotación con segmentos doblados a 45°

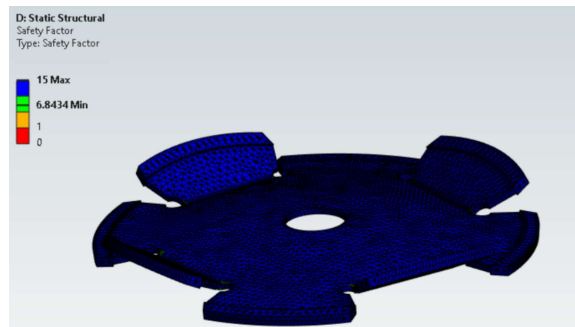


Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc. Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo una deformación máxima de 0.08939 mm en el disco ocasionado por la rotación de trabajo de 11,000 rpm. Un esfuerzo equivalente máximo de 45.299 MPa y un factor de seguridad mínimo de 6.84. Con base en estos resultados, se determinó que el disco con las modificaciones realizadas, es capaz de ser utilizado en la misma velocidad de operación sin tener algún daño o peligro debido a estas modificaciones. Es importante destacar que el factor de seguridad se realizó con base a fatiga y que el valor de resistencia a la tensión se determinó en base a cálculos realizados de doblez de los dientes.

6.9.5. Cálculo de falla por rotación con segmentos extendidos y doblados a 20 °

Debido a que los segmentos o dientes del disco se les realizó un corte mas profundo y se colocaron a un angulo de 20°, se realizó una simulación siguiendo los pasos de la sección anterior con estas nuevas condiciones en la cual el disco aun gira a la velocidad de trabajo de la esmeriladora angular la cual es de 11,000 rpm, sin ningún tipo de carga. Esto permitió obtener el comportamiento del disco a la velocidad de operación con las condiciones requeridas.

Figura 53: Disco con dientes a 20° y alargados

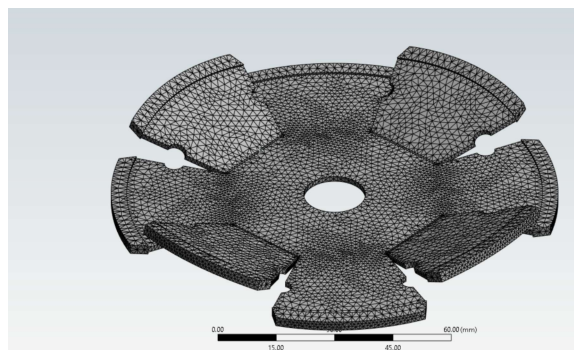


Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc. Fuente: Elaboración propia

Una vez colocados tanto los parámetros como la nueva geometría, se realizó la simulación

para determinar su comportamiento.

Figura 54: Deformación total de 0.14108mm en rotación con segmentos doblados a 45°

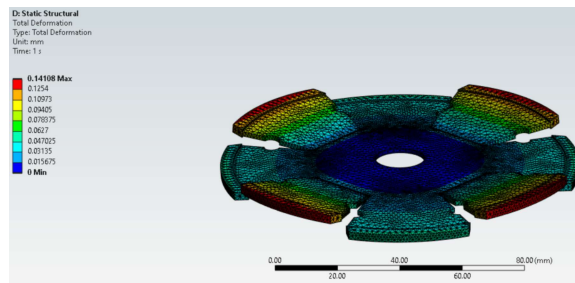


Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc. Fuente: Elaboración propia

Figura 55: Esfuerzo equivalente de 141.4 MPa en rotación con segmentos doblados a 20°

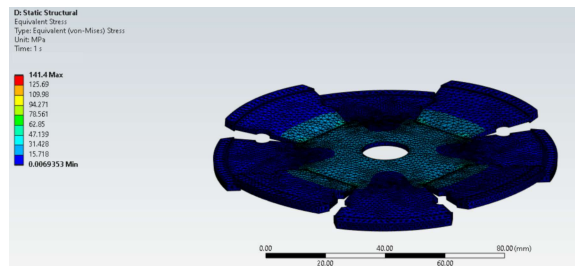


Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc. Fuente: Elaboración propia

Figura 56: Factor de seguridad de 2.19 en rotación con segmentos doblados a 20°

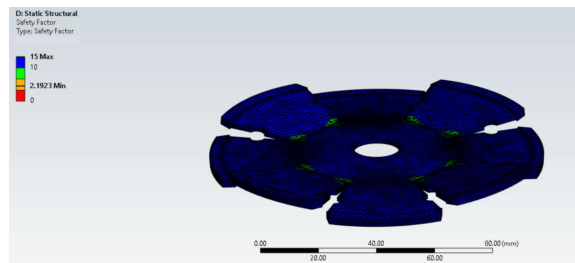


Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc. Fuente: Elaboración propia

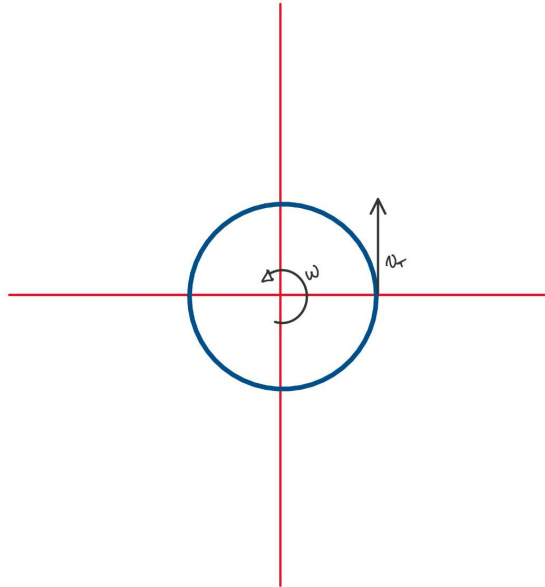
6.9.6. Cálculo de impacto de un objeto en movimiento horizontal

Para determinar la fuerza con la que un proyectil de polietileno de alta densidad impacta las paredes de la cámara de trituración, se analizó como un impacto de un objeto en movimiento horizontal. Este cálculo permite tener conocimiento sobre el daño que podría causar a la recámara de trituración. Una tapadera plástica pesa aproximadamente 2 gramos. (Envaselia, s.f.), por esto mismo se realizó el cálculo de impacto en 4 situaciones. 1era situación asumiendo un peso completo de la tapadera. 2do asumiendo 3/4 del peso debido a que estuvo en la recámara de trituración en la cual ya se le eliminó un pedazo. 3ero asumiendo 1/2 de

su peso y 4to asumiendo 1/4 de su peso total. Esto para obtener los distintos escenarios de impacto de proyectil en debido a la trituración.

Velocidad a la que se dispara el proyectil debido a la esmeriladora angular:

Figura 57: DCL de rotación del disco de corte



Fuente: Elaboración propia

$$V = 2 \times \pi \times r \times \frac{w}{t} \quad (18)$$

La velocidad angular se divide dentro de 60 ya que esta en revoluciones por minuto.

$$V = 2 \times \pi \times 0.057503 \text{ mm} \times \frac{11000 \text{ rpm}}{60 \text{ s}} \quad (19)$$

$$V = 66.239 \text{ m/s} \quad (20)$$

- w = velocidad angular de la esmeriladora en rpm
- r = radio del disco de corte en mm

Cálculo por esfuerzo

Datos iniciales:

- Masa de los proyectiles:
 - Proyectil 1: $m_1 = 0.002 \text{ kg}$
 - Proyectil 2: $m_2 = 0.0015 \text{ kg}$

- Proyectil 3: $m_3 = 0.001$ kg
 - Proyectil 4: $m_4 = 0.0005$ kg
- Velocidad del proyectil: $v = 66.239$ m/s
 - Área de impacto:
 - Proyectil 1: $A_1 = 8.04 \times 10^{-4}$ m²
 - Proyectil 2: $A_2 = 4.52 \times 10^{-4}$ m²
 - Proyectil 3: $A_3 = 2.01 \times 10^{-4}$ m²
 - Proyectil 4: $A_4 = 5.03 \times 10^{-5}$ m²
 - Distancia recorrida antes de impactar la lámina: $d = 0.027723$ m

Cálculo de la energía cinética:

$$EC = \frac{1}{2}mv^2 \quad (21)$$

$$EC_1 = \frac{1}{2} \times 0.002 \text{ kg} \times (66.239 \text{ m/s})^2 \approx 4.38 \text{ J} \quad (22)$$

$$EC_2 = \frac{1}{2} \times 0.0015 \text{ kg} \times (66.239 \text{ m/s})^2 \approx 3.29 \text{ J} \quad (23)$$

$$EC_3 = \frac{1}{2} \times 0.001 \text{ kg} \times (66.239 \text{ m/s})^2 \approx 2.19 \text{ J} \quad (24)$$

$$EC_4 = \frac{1}{2} \times 0.0005 \text{ kg} \times (66.239 \text{ m/s})^2 \approx 1.10 \text{ J} \quad (25)$$

Cálculo de la fuerza utilizando $F = \frac{EC}{d}$:

$$F = \frac{EC}{d} \quad (26)$$

$$F_1 = \frac{4.38 \text{ J}}{0.027723 \text{ m}} \approx 158.00 \text{ N} \quad (27)$$

$$F_2 = \frac{3.29 \text{ J}}{0.027723 \text{ m}} \approx 118.50 \text{ N} \quad (28)$$

$$F_3 = \frac{2.19 \text{ J}}{0.027723 \text{ m}} \approx 78.70 \text{ N} \quad (29)$$

$$F_4 = \frac{1.10 \text{ J}}{0.027723 \text{ m}} \approx 39.67 \text{ N} \quad (30)$$

Cálculo del esfuerzo:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (31)$$

$$\sigma_1 = \frac{158.00 \text{ N}}{8.04 \times 10^{-4} \text{ m}^2} \approx 196,517 \text{ Pa} = 0.197 \text{ MPa} \quad (32)$$

$$\sigma_2 = \frac{118.50 \text{ N}}{4.52 \times 10^{-4} \text{ m}^2} \approx 262,611 \text{ Pa} = 0.263 \text{ MPa} \quad (33)$$

$$\sigma_3 = \frac{78.70 \text{ N}}{2.01 \times 10^{-4} \text{ m}^2} \approx 391,045 \text{ Pa} = 0.391 \text{ MPa} \quad (34)$$

$$\sigma_4 = \frac{39.67 \text{ N}}{5.03 \times 10^{-5} \text{ m}^2} \approx 788,288 \text{ Pa} = 0.788 \text{ MPa} \quad (35)$$

- Para 0.002 kg: $0.197 \text{ MPa} < 625 \text{ MPa} \Rightarrow$ **No perfora**
- Para 0.0015 kg: $0.263 \text{ MPa} < 625 \text{ MPa} \Rightarrow$ **No perfora**
- Para 0.001 kg: $0.391 \text{ MPa} < 625 \text{ MPa} \Rightarrow$ **No perfora**
- Para 0.0005 kg: $0.788 \text{ MPa} < 625 \text{ MPa} \Rightarrow$ **No perfora**

Cálculo por energía

La energía cinética de los proyectiles con la energía necesaria para perforar la lámina.

Datos de la lámina:

- Espesor E de la lámina: $E = 0.003 \text{ m}$

Cálculo de la energía necesaria para perforar:

$$E_p = \sigma \cdot A \cdot E \quad (36)$$

$$E_{p1} = 625 \times 10^6 \text{ Pa} \times 8.04 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \times 0.003 \text{ m} = 1.5075 \text{ kJ} \quad (37)$$

$$E_{p2} = 625 \times 10^6 \text{ Pa} \times 4.52 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \times 0.003 \text{ m} = 847.5 \text{ J} \quad (38)$$

$$E_{p3} = 625 \times 10^6 \text{ Pa} \times 2.01 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \times 0.003 \text{ m} = 376.88 \text{ J} \quad (39)$$

$$E_{p4} = 625 \times 10^6 \text{ Pa} \times 5.03 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \times 0.003 \text{ m} = 94.31 \text{ J} \quad (40)$$

Comparación de energía cinética vs energía necesaria para perforar:

- Para 0.002 kg: $4.38 \text{ J} < 1507.5 \text{ J} \Rightarrow$ **No perfora**

- Para 0.0015 kg: $3.29 \text{ J} < 847.5 \text{ J} \Rightarrow$ **No perfora**
- Para 0.001 kg: $2.19 \text{ J} < 376.88 \text{ J} \Rightarrow$ **No perfora**
- Para 0.0005 kg: $1.10 \text{ J} < 94.31 \text{ J} \Rightarrow$ **No perfora**

Cálculo de la fuerza necesaria para perforar

Vamos a calcular la fuerza necesaria para perforar la lámina, basada en la resistencia al corte del material y el área de impacto.

$$F_p = \sigma \cdot A \quad (41)$$

$$F_{p1} = 650 \times 10^6 \text{ Pa} \times 8.04 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 522.6 \text{ kN} \quad (42)$$

$$F_{p2} = 650 \times 10^6 \text{ Pa} \times 4.52 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 293.8 \text{ kN} \quad (43)$$

$$F_{p3} = 650 \times 10^6 \text{ Pa} \times 2.01 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 130.65 \text{ kN} \quad (44)$$

$$F_{p4} = 650 \times 10^6 \text{ Pa} \times 5.03 \times 10^{-5} \text{ m}^2 = 32.67 \text{ kN} \quad (45)$$

Cálculo por fuerza de impacto

Finalmente, recalculamos la fuerza de impacto utilizando el tiempo de contacto basado en la distancia.

Cálculo del Tiempo de Contacto:

$$\Delta t = \frac{d}{v} \quad (46)$$

$$\Delta t = \frac{0.027723 \text{ m}}{66.239 \text{ m/s}} \approx 0.0004186 \text{ s} \quad (47)$$

Cálculo de la fuerza de impacto:

$$F = \frac{m \cdot v}{\Delta t} \quad (48)$$

$$F_1 = \frac{0.002 \text{ kg} \times 66.239 \text{ m/s}}{0.0004186 \text{ s}} \approx 316.48 \text{ N} \quad (49)$$

$$F_2 = \frac{0.0015 \text{ kg} \times 66.239 \text{ m/s}}{0.0004186 \text{ s}} \approx 237.36 \text{ N} \quad (50)$$

$$F_3 = \frac{0.001 \text{ kg} \times 66.239 \text{ m/s}}{0.0004186 \text{ s}} \approx 158.24 \text{ N} \quad (51)$$

$$F_4 = \frac{0.0005 \text{ kg} \times 66.239 \text{ m/s}}{0.0004186 \text{ s}} \approx 79.12 \text{ N} \quad (52)$$

Comparación con la fuerza necesaria para perforar:

- Para 0.002 kg: $316.48 \text{ N} < 522.6 \text{ kN} \Rightarrow$ **No perfora**
- Para 0.0015 kg: $237.36 \text{ N} < 293.8 \text{ kN} \Rightarrow$ **No perfora**
- Para 0.001 kg: $158.24 \text{ N} < 130.65 \text{ kN} \Rightarrow$ **No perfora**
- Para 0.0005 kg: $79.12 \text{ N} < 32.67 \text{ kN} \Rightarrow$ **No perfora**

6.9.7. Cálculo de impacto de un diente de corte

Para determinar la fuerza que puede ejercer un diente del disco de corte de acero 1045, se analizó como un impacto de un objeto en movimiento horizontal. Para esto se utilizó la energía cinética generada por el proyectil y la distancia recorrida. Luego para determinar el esfuerzo que se crea debido a esto se determinó el área en la cual se distribuye la fuerza generada. Esto permite considerar el daño potencial causado por una falla en el disco de corte.

Utilizando Autodesk Inventor[®], se calculó el volumen de un diente del disco de corte. Conociendo el material del que está hecho el disco, se determinó su masa a partir del volumen y la densidad del material.

Cálculo de masa a partir de la densidad y el volumen

Cuadro 17: Datos para cálculo de masa

Magnitud	Variables	Unidades	valor
volúmen	v	m ³	0.000016144
Densidad	d	kg/m ³	7850

Fuente: Elaboración propia

$$m = 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.000016144 \text{ m}^3 = 0.127 \text{ kg} \quad (53)$$

Cuadro 18: Datos para cálculo de velocidad angular a lineal

Magnitud	Variables	Unidades	valor
Masa del diente	m	kg	0.127
Espesor del diente	E	m	0.003
Radio del disco	r	m	0.039306

Fuente: Elaboración propia

Cálculo de velocidad lineal

$$v = 2 * \pi * r * \frac{w}{60} \quad (54)$$

r = radio desde el centro hasta la horilla del dobléz.

$$v = 2 * \pi * 0.039306 \text{ m} * \frac{11000}{60} = 45.278 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (55)$$

Cálculo de fuerza generada por desprendimiento de un diente del disco a 11000rpm

Cálculo por esfuerzo

El esfuerzo (σ) se calcula utilizando la fuerza (F) obtenida a partir de la energía cinética (EC), dividida por el espesor total del material (E):

$$F = \frac{EC}{E} \quad (56)$$

Primero, se calcula la energía cinética (EC) del diente del disco de corte, dado que su masa es $m = 0.127$ kg y su velocidad es $v = 45.278$ m/s:

$$EC = \frac{1}{2} \times m \times v^2 \quad (57)$$

$$EC = \frac{1}{2} \times 0.127 \text{ kg} \times (45.278 \text{ m/s})^2 \approx 130.18 \text{ J} \quad (58)$$

Luego, se calcula la fuerza resultante utilizando el espesor total del material ($E = 0.003$ m):

$$F = \frac{130.18 \text{ J}}{0.003 \text{ m}} \approx 43393.73 \text{ N} \quad (59)$$

El esfuerzo generado se analiza en dos escenarios:

- Escenario 1: El diente impacta frontalmente con un área $A_1 = 7.7 \times 10^{-5} \text{ m}^2$:

$$\sigma_1 = \frac{43393.73 \text{ N}}{7.7 \times 10^{-5} \text{ m}^2} \approx 563.55 \text{ MPa} \quad (60)$$

- Escenario 2: El diente impacta con su cara lateral más pequeña, con un área $A_2 = 9 \times 10^{-6} \text{ m}^2$:

$$\sigma_2 = \frac{43393.73 \text{ N}}{9 \times 10^{-6} \text{ m}^2} \approx 4821.53 \text{ MPa} \quad (61)$$

Comparación con la resistencia al corte:

La resistencia al corte del material, teniendo en cuenta el espesor total de 3 mm, se calcula como:

Para calcular el esfuerzo necesario para perforar la lámina en el caso del diente del disco de corte, se relacionó con la resistencia última del material la cual es de 625 MPa.

Conclusión

- Escenario 1 (Impacto frontal): El esfuerzo calculado (563.55 MPa) es mucho menor que el esfuerzo necesario para perforar (625 MPa). El material no se perfora.
- Escenario 2 (Impacto lateral): El esfuerzo calculado (4821.53 MPa) es mayor que el esfuerzo necesario para perforar (625 MPa). El material se perfora.

Cálculo por energía

La energía necesaria para perforar el material (E_p) se calcula usando la resistencia al corte (σ) y el espesor del material (E):

$$E_p = \sigma \times A \times E \quad (62)$$

- Escenario 1: La energía necesaria para perforar cuando el diente impacta frontalmente con un área $A_1 = 7.7 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ es:

$$E_{p1} = 650 \times 10^6 \text{ Pa} \times 7.7 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \times 0.003 \text{ m} \approx 150.15 \text{ J} \quad (63)$$

- Escenario 2: La energía necesaria para perforar cuando el diente impacta con su cara lateral más pequeña, con un área $A_2 = 9 \times 10^{-6} \text{ m}^2$, es:

$$E_{p2} = 650 \times 10^6 \text{ Pa} \times 9 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \times 0.003 \text{ m} \approx 17.55 \text{ J} \quad (64)$$

Comparación con la energía cinética:

La energía cinética calculada previamente es:

$$EC = 130.18 \text{ J} \quad (65)$$

Conclusión:

- Escenario 1: La energía cinética (130.18 J) es menor que la energía necesaria para perforar (150.15 J). El material no se perfora.
- Escenario 2: La energía cinética (130.18 J) es mayor que la energía necesaria para perforar (17.55 J). El material se perfora.

Cálculo por fuerza de impacto

La fuerza de impacto se calcula utilizando la masa (m) y la velocidad (v) del diente del disco. Primero, se determina el tiempo de contacto (Δt):

$$\Delta t = \frac{d}{v} = \frac{0.027723 \text{ m}}{45.278 \text{ m/s}} \approx 0.000612 \text{ s} \quad (66)$$

La fuerza de impacto resultante es:

$$F_{\text{impacto}} = \frac{m \times v}{\Delta t} = \frac{0.127 \text{ kg} \times 45.278 \text{ m/s}}{0.000612 \text{ s}} \approx 9395.92 \text{ N} \quad (67)$$

Comparación con la fuerza necesaria para perforar:

$$F_p = \sigma \cdot A \quad (68)$$

- Escenario 1: La fuerza necesaria para perforar cuando el diente impacta frontalmente con un área $A_1 = 7.7 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ es:

$$F_{\text{corte1}} = 650 \times 10^6 \text{ Pa} \times 7.7 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \approx 50050 \text{ N} = 50.05 \text{ kN} \quad (69)$$

- Escenario 2: La fuerza necesaria para perforar cuando el diente impacta con su cara lateral más pequeña, con un área $A_2 = 9 \times 10^{-6} \text{ m}^2$, es:

$$F_{\text{corte2}} = 650 \times 10^6 \text{ Pa} \times 9 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \approx 5850 \text{ N} = 5.85 \text{ kN} \quad (70)$$

Conclusión:

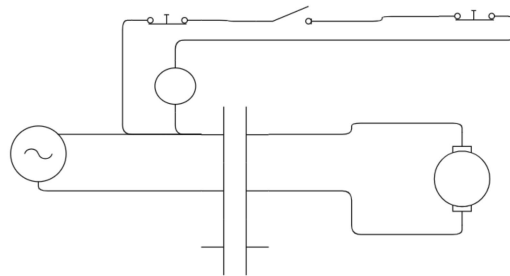
- Escenario 1: La fuerza de impacto (9.321 kN) es mucho menor que la fuerza necesaria para perforar (50.05 kN). El material no se perfora.
- Escenario 2: La fuerza de impacto (9.321 kN) es mayor que la fuerza necesaria para perforar (5.85 kN). El material se perfora.

6.9.8. Simulación de sistema eléctrico

El sistema eléctrico se realizó y se simuló en *MastersPLC simulator*. Para el circuito se utilizó:

- 1 Fuente de corriente AC
- 1 Contactor con bobina
- 1 boton de paro de emergencia
- 1 Interruptor ON/OFF
- 1 *Push button*

Figura 58: Diagrama eléctrico

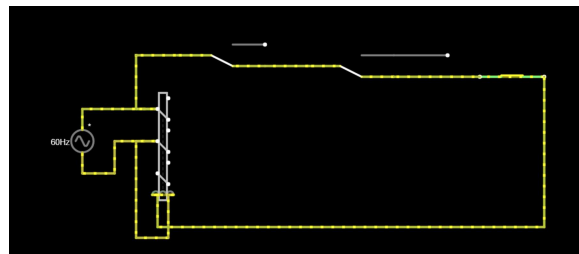


Fuente: Elaboración propia

Se realizó este diagrama con base en el sistema real.

De esta forma en *MastersPLC simulator* se realizó una simulación para determinar que las conexiones esten realizadas adecuadamente.

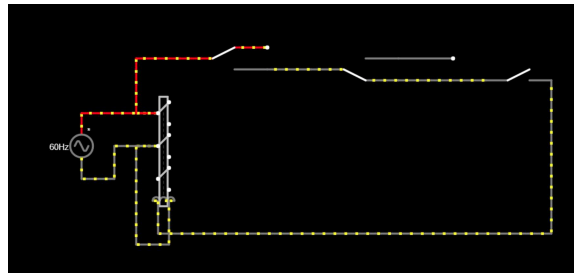
Figura 59: Simulación eléctrica



Imágen utilizada por cortesía de Masters PLC Fuente: Elaboración propia

Se realizó 3 distintos escenarios, el primer escenario donde se activa el boton de emergencia el cual corta la corriente a todo el circuito, siendo este el primer componente de la conexión hacía la bobina.

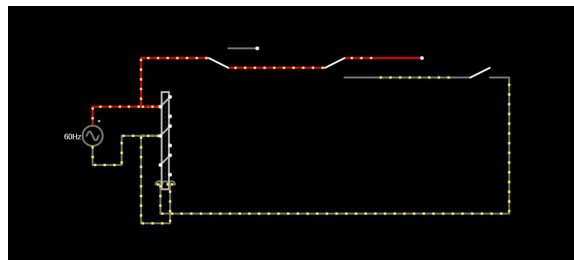
Figura 60: Botón de paro de emergencia activado



Imágen utilizada por cortesía de Masters PLC Fuente: Elaboración propia

El segundo escenario representa un funcionamiento normal en el boton de paro de emergencia y se coloca el selector en posición de apagado.

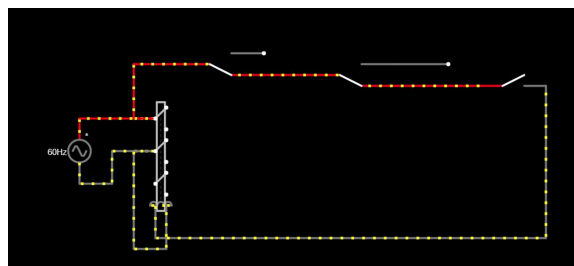
Figura 61: Selector en posición de apagado



Imágen utilizada por cortesía de Masters PLC Fuente: Elaboración propia

Por último, el tercer escenario representa cuando la tapadera no este colocada en su posición y en este caso la varilla roscada no esta presionando el sensor.

Figura 62: Tapadera no colocada



Imágen utilizada por cortesía de Masters PLC Fuente: Elaboración propia

6.9.9. Cálculo de la eficiencia de trituración

En el proceso de calentado y moldeado, es fundamental que el material de entrada tenga un tamaño de grano inferior a 6 mm para asegurar la calidad del producto final. Además, se debe considerar la cantidad de material necesario por molde, la cual es de 0.065 kg. Para evaluar la eficiencia de la trituradora en este contexto, se llevaron a cabo varias pruebas

utilizando una cantidad en kg de tapaderas, con un tiempo de operación de 3 y 5 minutos. A continuación, se detallan los cálculos de eficiencia de trituración basados en los resultados obtenidos.

Eficiencia de reducción

La eficiencia de reducción mide el porcentaje de la masa inicial que se ha reducido a un tamaño deseado después del proceso de trituración.

$$\text{Eficiencia de reducción (\%)} = \frac{\text{Masa final}}{\text{Masa inicial}} \times 100 \quad (71)$$

Primer conjunto de datos: Masa inicial: 0.114 kg, Masa final: 0.023 kg

$$\text{Eficiencia de reducción (\%)} = \frac{0.023 \text{ kg}}{0.114 \text{ kg}} \times 100 = 20.18 \% \quad (72)$$

Segundo conjunto de datos: Masa inicial: 0.089 kg, Masa final: 0.019 kg

$$\text{Eficiencia de reducción (\%)} = \frac{0.019 \text{ kg}}{0.089 \text{ kg}} \times 100 = 21.35 \% \quad (73)$$

Tercer conjunto de datos: Masa inicial: 0.146 kg, Masa final: 0.014 kg

$$\text{Eficiencia de reducción (\%)} = \frac{0.014 \text{ kg}}{0.146 \text{ kg}} \times 100 = 9.59 \% \quad (74)$$

Cuarto conjunto de datos: Masa inicial: 0.129 kg, Masa final: 0.015 kg

$$\text{Eficiencia de reducción (\%)} = \frac{0.015 \text{ kg}}{0.129 \text{ kg}} \times 100 = 11.63 \% \quad (75)$$

Rendimiento de la trituradora

El rendimiento de la trituradora indica la cantidad de material procesado por minuto de operación.

$$\text{Rendimiento (kg/minuto)} = \frac{\text{Masa inicial (kg)}}{\text{Tiempo de operación (min)}} \quad (76)$$

Primer conjunto de datos: Masa inicial: 0.114 kg, Tiempo: 5 min

$$\text{Rendimiento (kg/minuto)} = \frac{0.114 \text{ kg}}{5 \text{ min}} = 0.0228 \text{ kg/minuto} \quad (77)$$

Segundo conjunto de datos: Masa inicial: 0.089 kg, Tiempo: 5 min

$$\text{Rendimiento (kg/minuto)} = \frac{0.089 \text{ kg}}{5 \text{ min}} = 0.0178 \text{ kg/minuto} \quad (78)$$

Tercer conjunto de datos: Masa inicial: 0.146 kg, Tiempo: 3 min

$$\text{Rendimiento (kg/minuto)} = \frac{0.146 \text{ kg}}{3 \text{ min}} = 0.0487 \text{ kg/minuto} \quad (79)$$

Cuarto conjunto de datos: Masa inicial: 0.129 kg, Tiempo: 3 min

$$\text{Rendimiento (kg/minuto)} = \frac{0.129 \text{ kg}}{3 \text{ min}} = 0.043 \text{ kg/minuto} \quad (80)$$

Consumo de energía

El consumo de energía refleja la cantidad de energía utilizada por la trituradora durante el tiempo de operación. Este cálculo se basa en la potencia del motor de la trituradora y el tiempo de operación.

Explicación de valores:

Potencia del motor (0.8 kW): Valor al que opera el modelo de esmeriladora angular utilizada. Tiempo de operación: Este valor se obtiene directamente de las pruebas realizadas (5 minutos o 3 minutos). El consumo de energía se calcula con la fórmula:

$$\text{Energía consumida (kWh)} = \text{Potencia (kW)} \times \frac{\text{Tiempo (min)}}{60} \quad (81)$$

Primer y segundo conjuntos de datos: Potencia: 0.8 kW, Tiempo: 5 min

$$\text{Energía consumida (kWh)} = 0.8 \text{ kW} \times \frac{5 \text{ min}}{60} = 0.06664 \text{ kWh} \quad (82)$$

Tercer y cuarto conjuntos de datos: Potencia: 0.8 kW, Tiempo: 3 min

$$\text{Energía consumida (kWh)} = 0.8 \text{ kW} \times \frac{3 \text{ min}}{60} = 0.04 \text{ kWh} \quad (83)$$

Eficiencia energética

La eficiencia energética mide la cantidad de material procesado por cada unidad de energía consumida.

$$\text{Eficiencia energética (kg/kWh)} = \frac{\text{Masa final (kg)}}{\text{Energía consumida (kWh)}} \quad (84)$$

Primer conjuntos de datos: Masa final: 0.023 kg, Energía consumida: 0.06664 kWh

$$\text{Eficiencia energética (kg/kWh)} = \frac{0.023 \text{ kg}}{0.06664 \text{ kWh}} = 0.345 \text{ kg/kWh} \quad (85)$$

Segundo conjunto de datos: Masa final: 0.019 kg, Energía consumida: 0.06664 kWh

$$\text{Eficiencia energética (kg/kWh)} = \frac{0.019 \text{ kg}}{0.06664 \text{ kWh}} = 0.285 \text{ kg/kWh} \quad (86)$$

Tercer conjunto de datos: Masa final: 0.014 kg, Energía consumida: 0.04 kWh

$$\text{Eficiencia energética (kg/kWh)} = \frac{0.014 \text{ kg}}{0.04 \text{ kWh}} = 0.35 \text{ kg/kWh} \quad (87)$$

Cuarto conjunto de datos: Masa final: 0.015 kg, Energía consumida: 0.04 kWh

$$\text{Eficiencia energética (kg/kWh)} = \frac{0.015 \text{ kg}}{0.04 \text{ kWh}} = 0.375 \text{ kg/kWh} \quad (88)$$

7.1. Requisitos

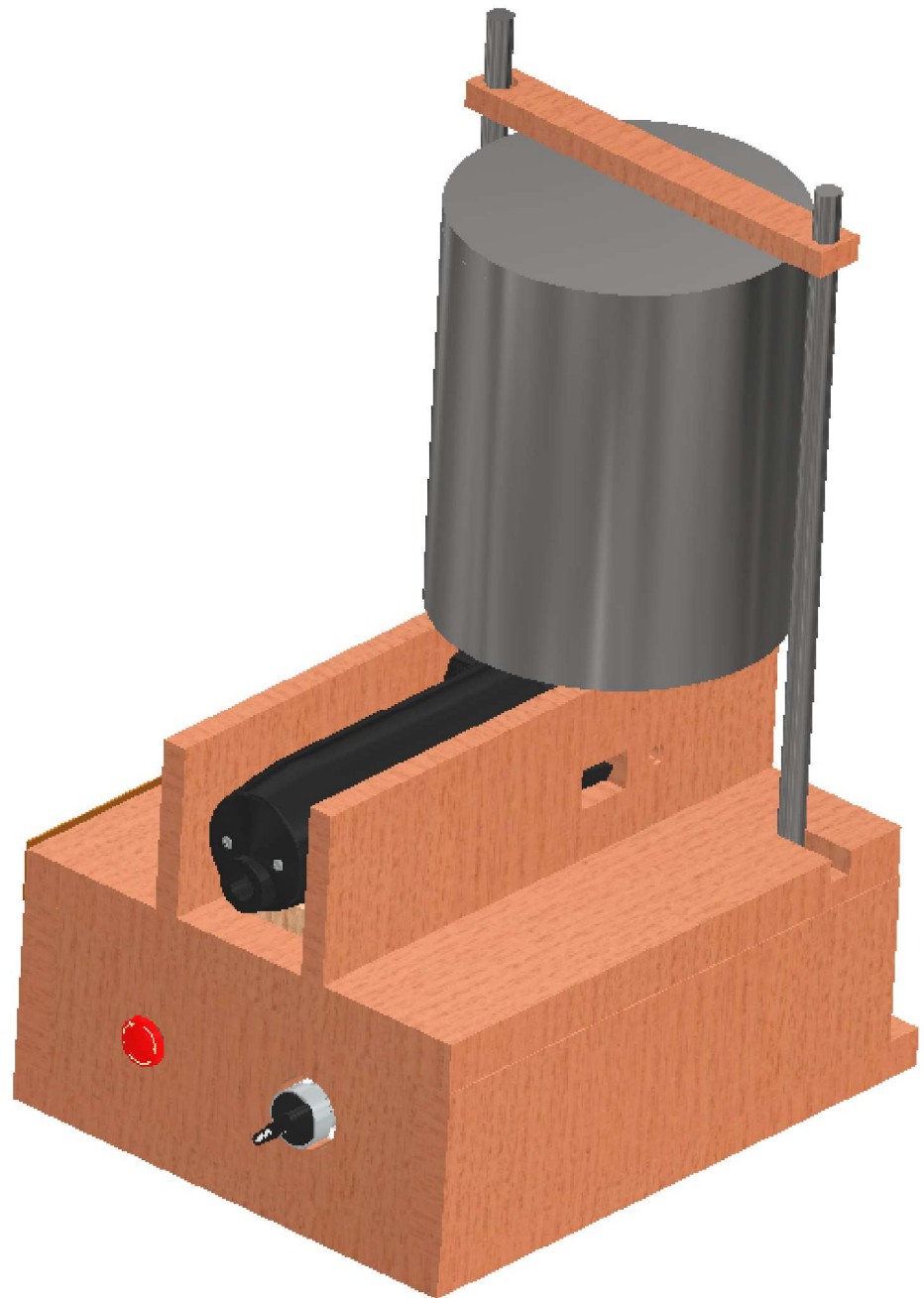
Cuadro 19: Requisitos

Código	Descripción	Verificación
GEN01	Costo del sistema inferior a Q2000.	Sí
GEN02	Compatible con esmeriladoras angulares de discos 4 1/2 pulg.	Sí
GEN03	Presentar manual de operación y fabricación.	Sí
GEN04	Manual de operación debe indicar ciclo de trabajo.	Sí
GEN05	Fabricación viable en taller de carpintería.	Sí
GEN06	Dimensiones menores a 60cm x 65cm.	Sí
GEN07	Tritura tapaderas de hasta 5cm x 2cm.	Sí
GEN08	Debe de triturar hasta el tamaño solicitado en la fundición	Sí
GEN09	Manual debe indicar tipo de disco.	Sí
GEN10	Componentes de proveedores locales.	Sí
GEN11	No exceder 25 kg peso máximo.	Sí
GEN12	Paro de emergencia accesible en la base.	Sí
SEG01	Manual debe indicar equipo mínimo de seguridad.	Sí
SEG02	Manual debe explicar uso de herramienta de instalación.	Sí
SEG03	Botón de paro de emergencia requerido.	Sí
SEG04	Interruptor de encendido y apagado accesible.	Sí
SEG05	No funciona sin tapadera de la cámara.	Sí
SEG06	Componentes eléctricos protegidos contra el agua.	Sí
EST01	Elementos filosos solo dentro de la estructura.	Sí
POT01	Aislamiento eléctrico clase E requerido.	Sí
DIS01	Disco debe cortar plástico.	Sí
DIS02	Disco segmentado requerido.	Sí
DIS03	Disco permite dobles a 45° de segmentos.	Sí

Fuente: Elaboración propia

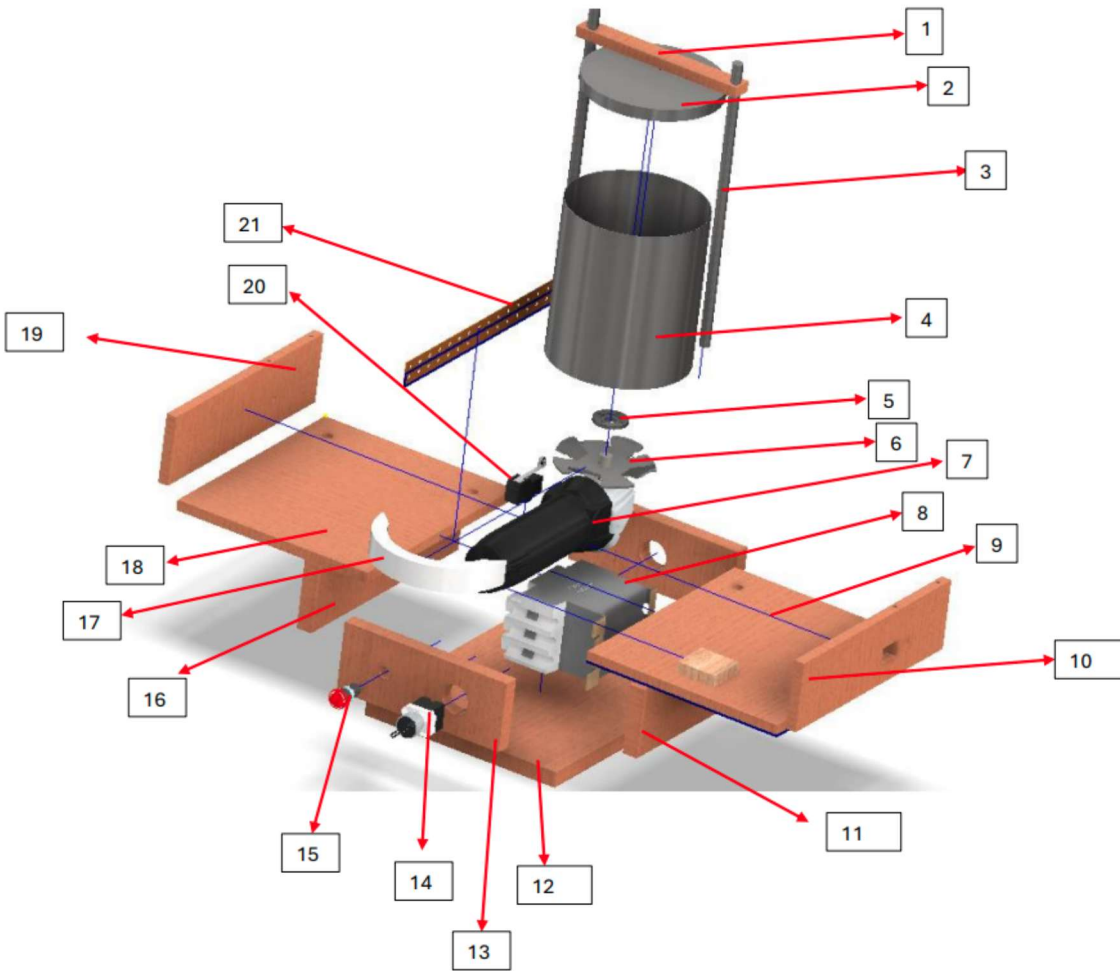
7.2. Diseño final

Figura 63: Diseño final



Captura de pantalla de Autodesk Inventor[®] reimpresa por cortesía de Autodesk Inc.
Fuente: Elaboración propia

Figura 64: Descomposición de elementos de diseño final



Captura de pantalla de Autodesk Inventor® reimpressa por cortesía de Autodesk Inc.
Fuente: Elaboración propia

Cuadro 20: Tabla de componentes

Número	Componente
1	Seguro de tapadera
2	Tapadera metálica
3	Varilla roscada de 1/2
4	Cubeta metálica
5	Seguro de disco
6	Disco segmentado a 20°
7	Esmeriladora angular
8	Contactador
9	Base de esmeriladora
10	Pared lateral derecha de soporte
11	Pared lateral derecha de sistema eléctrico
12	Base de sistema eléctrico
13	Pared frontal de sistema eléctrico
14	Selector de dos posiciones
15	Botón paro de emergencia
16	Pared lateral izquierda de sistema eléctrico
17	Reductor de volumen para la cámara de trituración
18	Tapadera de sistema eléctrico
19	Pared lateral izquierda de soporte
20	<i>Microswitch</i> de pulsación
21	Bisagra tipo piano

Fuente: Elaboración propia

7.3. Costos

Cuadro 21: Costo de materiales

Pieza	Cantidad	Valor Unitario (Q)	Valor Total (Q)
Estructura de madera 10 x 12 x 1 pulg.	1	Q107.00	Q107.00
Pegamento para madera 16 onzas	1	Q39.95	Q39.95
Esmeriladora angular	1	Q430.00	Q430.00
Disco segmentado de 4 1/2 pulgadas	1	Q55.00	Q55.00
Tornillos M8 para esmeriladora de 1 pulgada	4	Q1.28	Q5.12
Tornillos de tablayeso de 1 pulgada de largo	20	Q0.15	Q3.00
Cubeta metálica	1	Q62.50	Q62.50
Cable 14AWG TSJ	3	Q9.50	Q28.50
Contactador normalmente cerrado	1	Q236.00	Q236.00
Microswitch	1	Q55.25	Q55.25
Botón de emergencia	1	Q55.25	Q55.25
Selector	1	Q83.00	Q83.00
Varilla roscada de 1/2 pulgada	1	Q26.50	Q26.50
Bisagra tipo piano	1	Q30.40	Q30.40
Tuerca mariposa de acero zinc	2	Q0.52	Q1.04
TOTAL			Q1,218.51

Fuente: Elaboración propia

7.4. Cálculos

7.4.1. Cálculo de fuerzas y esfuerzos del disco

Cuadro 22: Impacto de un objeto en movimiento horizontal

Descripción	Fuerza	Torque	Esfuerzo
Disco de corte	3.115 lb	7.0686 N·m	275.47 MPa

Fuente: Elaboración propia

7.4.2. Cálculo de impacto de un objeto en movimiento horizontal

Cuadro 23: Resumen de los cálculos de esfuerzo, energía y fuerza de impacto para la lámina de acero de 3 mm de espesor.

Valores obtenidos			
Objeto/Escenario	σ_p [MPa]	E_p [J]	F_{impacto} [N]
Tapadera 2 g	0.197	4.38	316.48
Tapadera 1.5 g	0.263	3.29	237.36
Tapadera 1 g	0.391	2.19	158.24
Tapadera 0.5 g	0.788	1.10	79.12
Impacto frontal (Diente)	563.55	130.18	9395.92
Impacto lateral (Diente)	4821.53	130.18	9395.92
Valores necesarios			
Objeto/Escenario	σ_p [MPa]	Energía necesaria [J]	Fuerza necesaria [kN]
Tapadera 2 g	625	1507.5	522.6
Tapadera 1.5 g	625	847.5	293.8
Tapadera 1 g	625	376.88	130.65
Tapadera 0.5 g	625	94.31	32.67
Impacto frontal (Diente)	625	150.15	50.5
Impacto lateral (Diente)	625	17.55	5.85

Fuente: Elaboración propia

7.5. Simulaciones

7.5.1. Simulación de doblez de disco de corte

Figura 65: Esfuerzo equivalente ocasionado por el doblez en el diente de 2561.5MPa

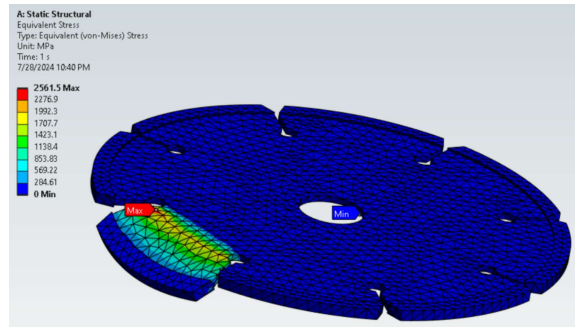


Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc. Fuente: Elaboración propia

Figura 66: Factor de seguridad 0.1

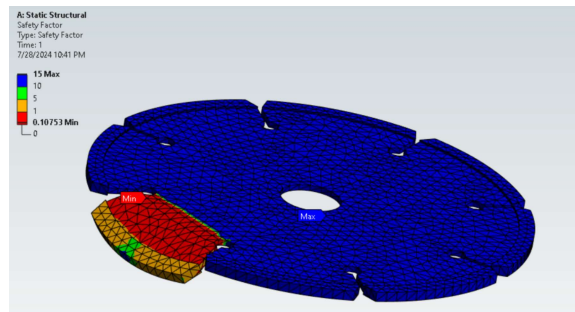


Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc.. Fuente: Elaboración propia

7.5.2. Simulación estructural estática del diente del disco de corte

Figura 67: Deformación total de 0.08939mm en rotación con segmentos doblados a 45°

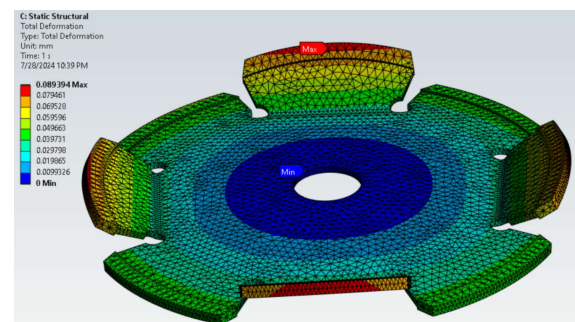


Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc. Fuente: Elaboración propia

Figura 68: Esfuerzo equivalente de 45.299 MPa en rotación con segmentos doblados a 45°

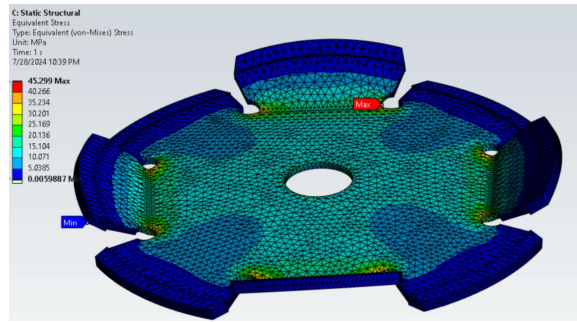


Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc. Fuente: Elaboración propia

Figura 69: Factor de seguridad de 6.84 en rotación con segmentos doblados a 45°

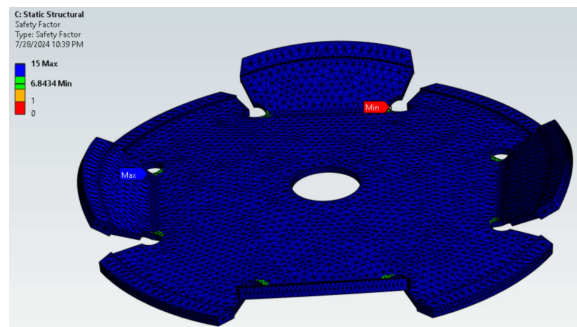


Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc. Fuente: Elaboración propia

7.5.3. Simulación estructural estática del diente del disco de corte a 20°

Figura 70: Deformación total de 0.14108mm en rotación con segmentos doblados a 20°

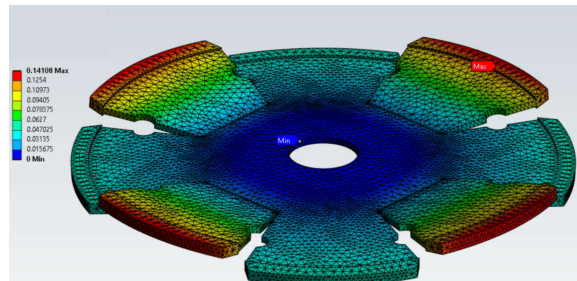


Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc. Fuente: Elaboración propia

Figura 71: Esfuerzo equivalente de 141.4 MPa en rotación con segmentos doblados a 20°

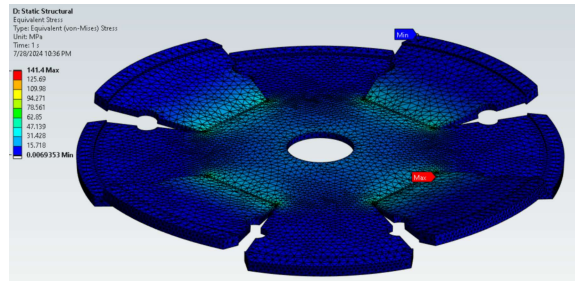


Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc. Fuente: Elaboración propia

Figura 72: Factor de seguridad de 2.19 en rotación con segmentos doblados a 20°

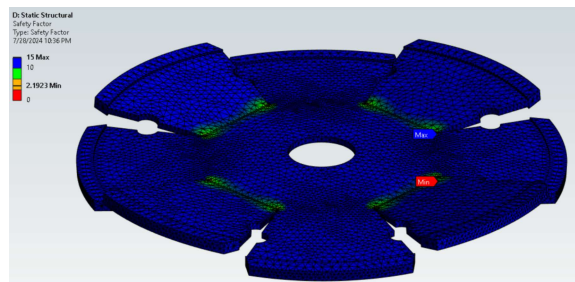


Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc. Fuente: Elaboración propia

7.5.4. Simulación de sistema eléctrico

Figura 73: Simulación eléctrica

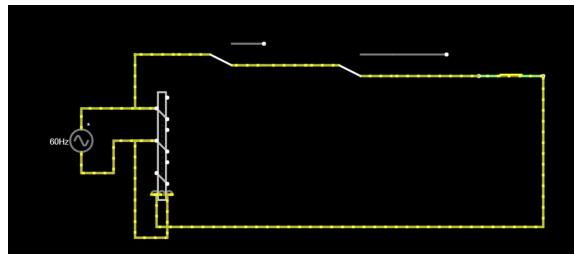
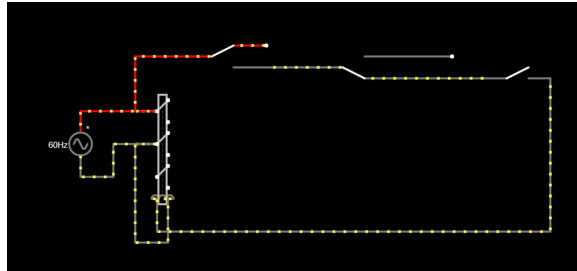


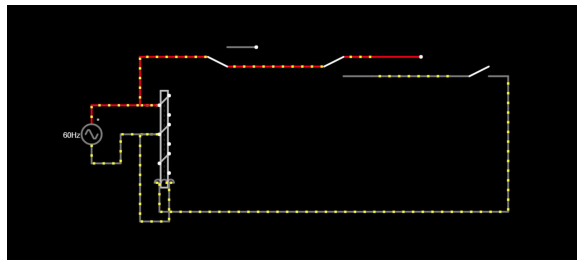
Imagen utilizada por cortesía de Masters PLC Fuente: Elaboración propia

Figura 74: Botón de paro de emergencia activado



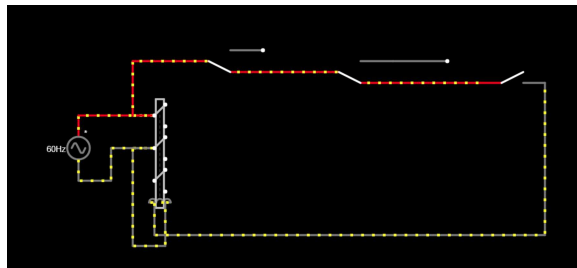
Imágen utilizada por cortesía de Masters PLC Fuente: Elaboración propia

Figura 75: Selector en posición de apagado



Imágen utilizada por cortesía de Masters PLC Fuente: Elaboración propia

Figura 76: Tapadera no colocada



Imágen utilizada por cortesía de Masters PLC Fuente: Elaboración propia

7.5.5. Pruebas del sistema

Cuadro 24: Resultado de pruebas

Iteración	Resultado	Descripción
PRUEBA 1	No hubo trituración	Disco a 45° sin reductor de volúmen
PRUEBA 2	7 x 7 mm	Disco a 45° con más material
PRUEBA 3	5 x 5 mm	Disco a 45° con reductor de volúmen

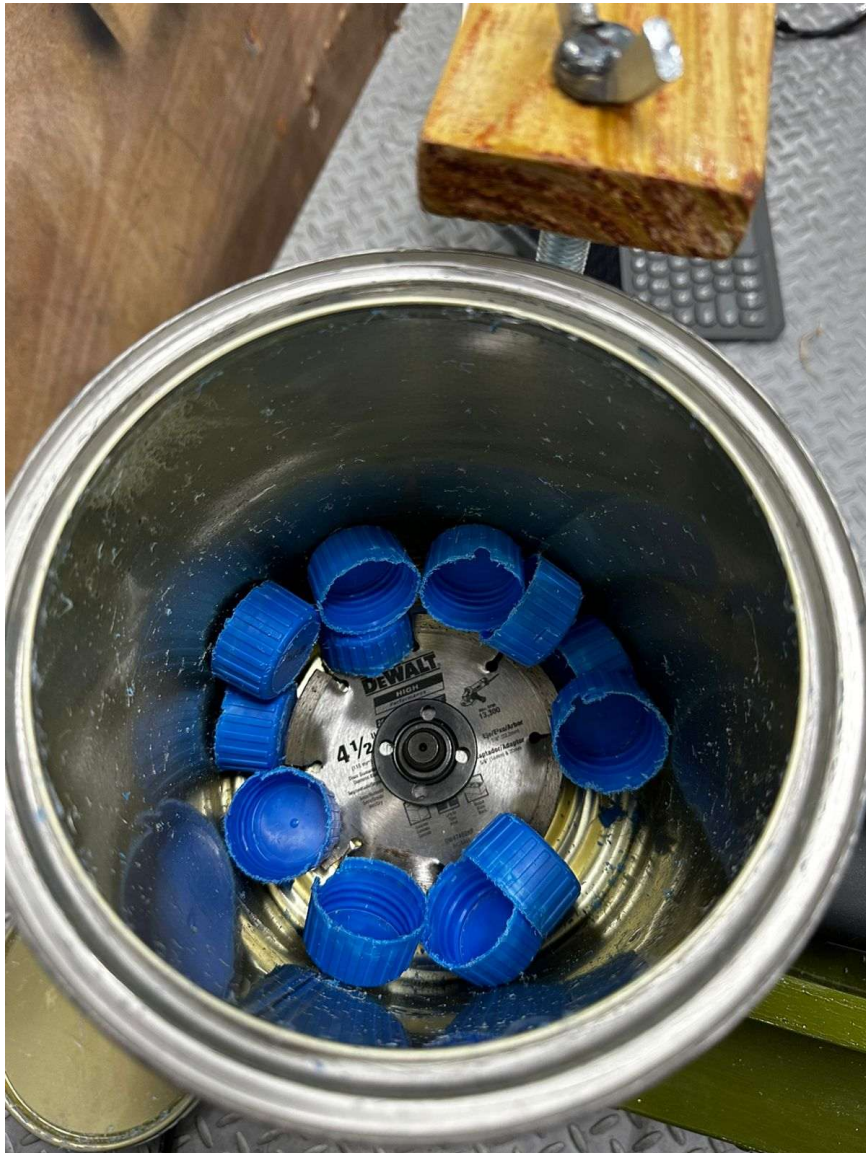
Fuente: Elaboración propia

Cuadro 25: Resultado de pruebas

Iteración	Resultado	Descripción
PRUEBA 4	3 x 5 mm	Disco a 10° con corte entre dientes con reductor de volúmen
PRUEBA 5	3 x 5 mm	Disco a 10° con corte, reductor y refuerzo en paredes

Fuente: Elaboración propia

Figura 77: Prueba 1 No hubo trituración



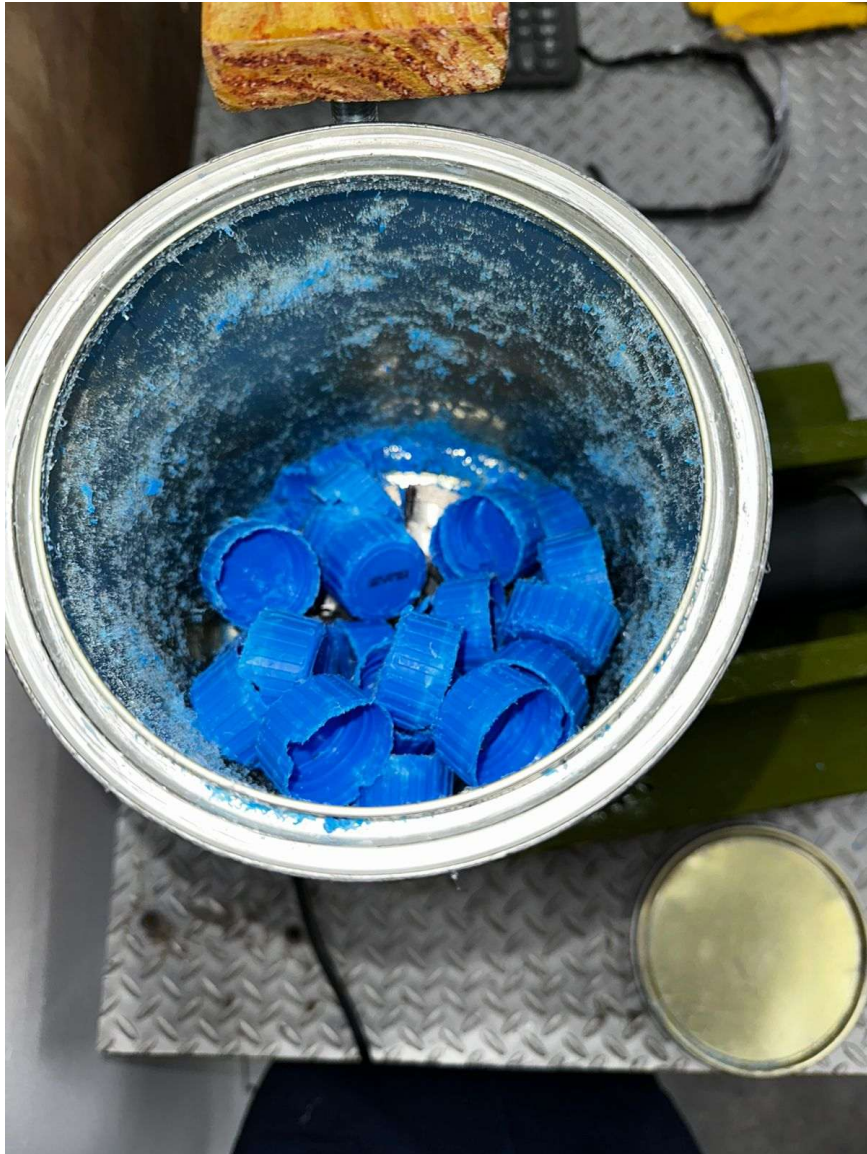
Fuente: Elaboración propia

Figura 78: Prueba 2 trituración de hasta 7 x 7 mm



Fuente: Elaboración propia

Figura 79: Prueba 3 tirturación de hasta 5 x 5 mm



Fuente: Elaboración propia

Figura 80: Prueba 4 trituración de hasta 3 x 5 mm



Fuente: Elaboración propia

Figura 81: Prueba 5 trituración de hasta 3 x 5 mm y refuerzo en pared



Fuente: Elaboración propia

7.5.6. Cálculo de la eficiencia de trituración

Cuadro 26: Resultados de pruebas de eficiencia de trituración

Parámetro	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
Eficiencia de reducción (%)	20.18	21.35	9.59	11.63
Rendimiento (kg/minuto)	0.0228	0.0178	0.0487	0.043
Consumo de energía (kWh)	0.06664	0.06664	0.04	0.04
Eficiencia energética (kg/kWh)	0.345	0.285	0.35	0.375

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 27: Rendimiento y eficiencia energética

Parámetro	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
Rendimiento (tapaderas/minuto)	11.4	8.9	24.35	21.5
Eficiencia energética (tapaderas/kWh)	172.57	142.5	175	187.5

Fuente: Elaboración propia

8.1. Requisitos

Los resultados obtenidos en este proyecto demostraron que todos los requisitos establecidos fueron cumplidos satisfactoriamente. El costo total del sistema fue de Q1,218.51, lo que garantiza el cumplimiento del requisito **GEN01** de mantener el costo por debajo de Q2,000. La máquina fue diseñada para ser compatible con una esmeriladora angular de discos de 4 1/2 pulgadas, cumpliendo con el requisito **GEN02**, utilizando discos segmentados de 11,000 RPM, tal como indica el requisito **GEN09**.

Se desarrollaron manuales completos de fabricación y operación, cumpliendo con los requisitos **GEN03** y **GEN04**, los cuales incluyen detalles del ciclo de trabajo de la esmeriladora. El proceso de fabricación se pudo realizar en un taller de carpintería utilizando herramientas básicas como sierras de mano y desatornilladores, cumpliendo con el requisito **GEN05**. El diseño de la trituradora resultó con dimensiones de 33 cm x 24 cm, cumpliendo con el requisito **GEN06** de mantenerse por debajo de 60 cm x 65 cm, y su peso final fue de 8.35 kg, por lo que cumple con el requisito **GEN11** de mantener el peso por debajo de 25 kg.

El sistema fue capaz de triturar tapaderas de hasta 5 cm x 2 cm, cumpliendo con el requisito **GEN07**, aunque mostró una mejor eficiencia con tapaderas de menor tamaño. En cuanto al requisito **GEN08**, el sistema fue capaz de triturar el material hasta el tamaño solicitado en la fundición. Para asegurar esto, se utilizó un tamiz de 5 mm x 5 mm, por el cual los pedazos que cumplen con las dimensiones pasan. Cabe recalcar que no se puede obtener un cuadrado perfecto en el material triturado, por lo que algunas hojuelas pasan por el tamiz debido a su orientación, logrando una dimensión de largo mayor, pero con un ancho de 5 mm y un espesor de 1 mm o inferior, dependiendo de la tapadera utilizada. Este material fue aprobado por la fundición, dado que el requerimiento era una dimensión de 5

mm. Es importante destacar que este material triturado no puede ser comparado con los *pellets* procesados para inyectoras de plástico, ya que estos últimos han pasado por procesos adicionales para alcanzar condiciones óptimas de moldeo. En este caso, el material triturado es adaptado de la mejor manera para la fundición.

Todos los componentes fueron adquiridos localmente, cumpliendo con **GEN10**, y el peso total de 8.35 kg está dentro del límite de 25 kg especificado en el requisito **GEN11**.

En términos de seguridad, el sistema cuenta con un botón de paro de emergencia ubicado en la parte frontal, cumpliendo con **SEG03** y **GEN12**, y un microswitch de pulsación que detiene la máquina si se retira la tapa de la cámara de trituración, cumpliendo con **SEG05**. El selector de encendido y apagado también fue ubicado de forma accesible en la parte frontal de la máquina, cumpliendo con **SEG04**. El manual de operación detalla el equipo de seguridad mínimo requerido, como guantes A3 y gafas de protección, cumpliendo con el requisito **SEG01**. Además, el manual indica las herramientas necesarias para su replicación, facilitando un proceso más sencillo, lo cual cumple con **SEG02**. Los componentes están protegidos contra salpicaduras, pero no son completamente a prueba de agua, cumpliendo parcialmente con **SEG06**.

El aislamiento eléctrico de clase E requerido por el requisito **POT01** fue cumplido en teoría, aunque, debido a un error externo, se utilizó un aislamiento de clase B en el prototipo sin presentar inconvenientes significativos. El disco utilizado cumplió con los requisitos **DIS01**, **DIS02** y **DIS03**, siendo un disco segmentado capaz de cortar plásticos y soportar dobleces de hasta 45 grados entre segmentos.

Finalmente, en cuanto al requisito **EST01**, todos los elementos filosos de la máquina se encuentran dentro de la estructura, y cualquier borde expuesto fue redondeado para evitar superficies filosas y riesgos de cortes.

Por lo tanto, se puede concluir que el diseño de la trituradora cumplió con todos los requisitos funcionales, de seguridad y de costo establecidos para el proyecto.

8.2. Diseño final

El diseño final de la trituradora se caracteriza por su modularidad y facilidad de ensamblaje, aspectos que fueron prioritarios durante el desarrollo. La estructura se construyó utilizando una combinación de madera y una cubeta metálica de acero 1045, materiales que ofrecieron un balance óptimo entre costo y durabilidad. La cámara de trituración se diseñó con una cubeta metálica reforzada para asegurar su resistencia al desgaste y al impacto. Además, se incluyeron mejoras ergonómicas y de seguridad, como la implementación de un sistema de paro de emergencia y un sensor que impide el funcionamiento de la trituradora si la tapa de la cámara no está correctamente instalada. Estas mejoras no solo garantizaron el cumplimiento de los requisitos de seguridad, sino que también facilitaron el uso y mantenimiento del equipo.

8.3. Análisis de costos

El análisis detallado de los costos reflejó una gestión eficiente del presupuesto disponible, con un total de Q1,218.51, lo que está significativamente por debajo del límite de Q2,000, cumpliendo así con el requisito **GEN01**. Este presupuesto incluye todos los componentes necesarios para el funcionamiento de la trituradora, como la estructura de madera, la esmeriladora angular, el disco segmentado, y los sistemas eléctricos de control y seguridad. Los costos estimados se mantuvieron arriba de los costos reales por lo cual el proyecto final se mantuvo dentro de un rango aceptable, logrando una solución económica sin comprometer la calidad ni la seguridad del producto final.

8.4. Cálculos

Se realizaron varios cálculos para asegurar la viabilidad y seguridad del diseño. En primer lugar, se calculó la fuerza necesaria para doblar los segmentos del disco de corte, obteniéndose un valor de 3.115 lbf mediante pruebas físicas con un torquímetro, que permitió medir el torque exacto. Paralelamente, se llevó a cabo un cálculo teórico, determinando que la fuerza requerida para doblar el disco a 45° sería de 208.65 lbf, un valor considerablemente alto. Si este valor teórico hubiese sido real, el disco no habría soportado el doblaje. Sin embargo, las 3.115 lbf generaron un esfuerzo de 275.47 MPa, comparado con el límite de tensión del material del disco, que es de 625 MPa. Esto confirmó que el disco es capaz de soportar el doblaje sin fallar, lo cual fue crucial para determinar la viabilidad del uso del disco.

Además, se realizó un cálculo de impacto para un objeto en movimiento horizontal, considerando cuatro escenarios en el proceso de trituración: una tapadera completa, una tapadera reducida a la mitad, una a $3/4$ de su tamaño y una a $1/4$ de su tamaño original. Estos escenarios se utilizaron para evaluar el esfuerzo producido y determinar si la cámara de trituración era una opción viable. Se llevó a cabo una prueba de material para la cámara, obteniéndose las propiedades necesarias del material utilizado, lo que permitió realizar comparaciones precisas. En los análisis de los cuatro escenarios, se observó que el menor tamaño de tapadera generaba el mayor esfuerzo debido a la concentración de fuerza en un área reducida.

El cálculo por esfuerzo mostró que para las tapaderas, los valores de esfuerzo obtenidos, como 0.197 MPa para la tapadera de 2 g y 0.788 MPa para la tapadera de 0.5 g, eran significativamente menores que los esfuerzos necesarios para perforar la lámina, que son de 625 MPa en todos los casos. Es importante destacar que, en escenarios donde el área de impacto es menor, el esfuerzo generado es mayor, concentrando así la fuerza en una zona más pequeña.

Por otro lado, el análisis de energía demostró de manera más efectiva que la energía cinética de los proyectiles, como 4.38 J para la tapadera de 2 g y 1.10 J para la tapadera de 0.5 g, era insuficiente para perforar la lámina, donde la energía necesaria es de 1,507.5 J y 94.31 J, respectivamente. Confirmando que, incluso en el peor escenario de impacto, la lámina no se perforará. El cálculo de la fuerza de impacto apoyó esta conclusión, mostrando que las fuerzas calculadas, como 316.57 N para la tapadera de 2 g y 79.14 N para la tapadera

de 0.5 g, eran considerablemente menores que las necesarias para perforar, que son de 522.6 kN y 4.024 kN, respectivamente.

Para aumentar la seguridad del sistema, se decidió aplicar un recubrimiento adicional utilizando dos láminas del mismo material, lo que incrementa tanto la resistencia mecánica como la capacidad de absorción de energía de impacto. Con este refuerzo, incluso en los escenarios más críticos, se garantiza que el sistema no sufra perforaciones ni fallas catastróficas.

En conclusión, los cálculos indican que el sistema es seguro y resistente a los impactos esperados durante la operación. El análisis comparativo entre los valores obtenidos y los necesarios confirma que la lámina no se perforará bajo condiciones normales de operación, mientras que el refuerzo adicional proporciona una capa extra de seguridad, asegurando la integridad del sistema y la seguridad del operador.

Este mismo análisis se realizó para el disco de corte, considerando el peor de los escenarios posibles. En el caso del impacto frontal del diente del disco, se obtuvo un esfuerzo de 563.55 MPa, mientras que el esfuerzo necesario era de 625 MPa, demostrando que no se perforaría. Para el impacto lateral, el esfuerzo obtenido fue de 4,821.53 MPa, significativamente mayor que el esfuerzo necesario de 625 MPa, indicando que el material se perforaría en este caso.

En cuanto al análisis por energía, la energía cinética calculada para ambos escenarios fue de 130.18 J, mientras que la energía necesaria para perforar es de 1,507.5 J en el impacto frontal y de 17.55 J en el impacto lateral, lo que confirma que en el impacto lateral podría ocurrir una perforación. En el análisis por fuerza de impacto, la fuerza calculada fue de 9,395.92 N, considerablemente menor que la fuerza necesaria de 18.48 kN para el impacto frontal y mayor que la fuerza necesaria de 5.85 kN para el impacto lateral, demostrando que la lámina se perforaría bajo el impacto lateral pero no bajo el impacto frontal.

Se tomaron en cuenta dos formas potenciales de impacto y se realizaron análisis mediante esfuerzo, energía y fuerza de impacto, lo que permitió concluir que el sistema es seguro en la mayoría de los escenarios, y que el disco de corte no perforará la lámina bajo condiciones normales de operación, salvo en el caso específico de un impacto lateral extremo.

A pesar del resultado obtenido en el impacto lateral, es importante destacar que este escenario es altamente improbable. Esto se debe a los diversos análisis realizados al disco, los cuales confirman que, bajo las condiciones de operación normales, el disco no presenta fallas estructurales. Estos estudios aseguran que el disco es capaz de soportar las exigencias de funcionamiento sin comprometer su integridad.

8.5. Simulaciones

Las simulaciones estructurales y de corte proporcionaron una validación crítica para el diseño. En particular, las simulaciones del disco segmentado, modificado con un ángulo de 45°, mostraron que bajo condiciones de operación a 11,000 rpm, el disco mantiene su integridad estructural, con una deformación mínima de 0.08939 mm y un factor de seguridad de 6.84. Esto indica que no se produce una falla debido a las modificaciones y las condiciones de operación. Para el diseño final, se utilizó un disco con un ángulo de 20° y una modificación que alarga el diente del disco mediante un corte profundo. Se realizó una simulación de este

disco y se determinaron los puntos más críticos y menos críticos, obteniéndose un esfuerzo equivalente de 141.4 MPa. Este esfuerzo, generado bajo condiciones de operación en las cuales el disco gira a 11,000 rpm, muestra que no ocurre una falla en el disco durante su uso. Esto permitió corroborar que las modificaciones realizadas son seguras.

Además, se realizaron simulaciones de todo el sistema eléctrico para asegurar que este cumpliera su función desde un inicio, sin posibles fallas que pudieran ser críticas. Estas simulaciones se llevaron a cabo en Masters PLC, un software que permitió representar completamente el sistema, incluyendo el interruptor ON/OFF, el botón de paro de emergencia, el microswitch, y las conexiones correctas en el contactor. Se realizaron diversas pruebas, como activar el interruptor pero dejar el botón de paro en su posición de cierre y el microswitch abierto. Esto permitió determinar que, en esta configuración, el circuito no activaba el contactor, lo que confirmó su correcto funcionamiento. Posteriormente, se liberó el botón de paro de emergencia para verificar que el microswitch impedía el funcionamiento del sistema cuando la tapa de seguridad no estaba colocada. Esta prueba también fue exitosa, confirmando que el circuito operaba correctamente y cumplía todas las funciones requeridas.

Estas simulaciones, complementadas con pruebas físicas, aseguraron que el diseño final es robusto y fiable, cumpliendo con los criterios de seguridad y rendimiento establecidos desde el inicio del proyecto.

8.6. Pruebas de sistema

8.6.1. Iteración 1

En la primera iteración, el sistema de trituración no logró cortar las tapaderas de polietileno, ya que estas simplemente rebotaban en el disco. Este resultado demostró que el diseño inicial del disco no era adecuado para la tarea, ya que carecía de la capacidad de corte suficiente. Sin embargo, al realizar modificaciones menores, se observó una mejora parcial, donde las partículas más pequeñas obtenidas alcanzaron un tamaño de 7 x 7 mm. No obstante, la mayoría de las tapaderas continuaban rebotando, lo que indicaba que las mejoras introducidas no eran suficientes para cumplir con los objetivos de trituración.

8.6.2. Iteración 2

En respuesta a los problemas identificados en la primera iteración, se implementó un reductor de volumen en la segunda iteración. Esta modificación resultó en una mejora significativa en la capacidad de la trituradora para procesar las tapaderas de polietileno, logrando reducir el tamaño de las partículas a 5 x 5 mm. Este resultado demostró que la restricción del espacio aumentó la eficacia del contacto entre el disco y las tapaderas, lo que mejoró la eficiencia del corte. Adicionalmente, se realizaron cambios en el diseño del disco, incluyendo el afilado de los dientes y el alargamiento de los mismos, junto con una reducción del ángulo de corte a 20 grados. Estas modificaciones permitieron mantener el tamaño de las partículas en 5 x 5 mm, lo que evidenció una mejora sustancial en la capacidad de trituración.

8.6.3. Iteración 3

En la tercera iteración, se logró una mayor reducción en el tamaño de las partículas, alcanzando un tamaño de 3 x 5 mm. Sin embargo, surgió un nuevo desafío: las tapaderas completas de polietileno tenían dificultades para pasar a la zona de trituración debido a la reducción excesiva del espacio entre el disco y la pared de la recámara. Para solucionar este problema, se amplió ligeramente el espacio entre el disco y la pared, lo que facilitó la entrada de las tapaderas y permitió mantener la eficiencia del sistema de trituración.

El proceso iterativo de diseño y pruebas fue esencial para identificar y resolver problemas en el sistema de trituración. Las modificaciones, especialmente en el diseño del disco y la configuración de la recámara, resultaron en una mejora considerable en la capacidad de la trituradora para procesar tapaderas de polietileno. Las pruebas demostraron que cada iteración aportó mejoras significativas, culminando en una máquina capaz de triturar de manera efectiva las tapaderas en partículas más uniformes y de menor tamaño. Estos resultados subrayan la importancia del enfoque iterativo en el desarrollo de maquinaria, donde cada ciclo de pruebas proporciona información valiosa que permite optimizar el diseño final.

8.7. Cálculos de eficiencia del sistema

Para evaluar la eficiencia global del sistema de trituración, se realizaron cálculos detallados que abarcan cuatro métricas clave: eficiencia de reducción, rendimiento de la trituradora, consumo de energía y eficiencia energética. Estas métricas proporcionan una visión integral del desempeño de la trituradora bajo diferentes condiciones operativas.

8.7.1. Eficiencia de reducción

La eficiencia de reducción se calculó como el porcentaje de la masa inicial que se redujo al tamaño deseado de menos de 6 mm. Los resultados mostraron variaciones significativas entre las pruebas, con la prueba 2 mostrando la mayor eficiencia de reducción (21.35 %) y la prueba 3 la más baja (9.59 %). Esta métrica fue crucial para determinar la capacidad del sistema de trituración para cumplir con los requisitos del proceso posterior de calentado y moldeado.

Un factor importante que afectó la eficiencia de reducción es el tamaño de las tapaderas procesadas. Se observó que las tapaderas de diámetros superiores a 4 cm tienden a rebotar debido a que no caben adecuadamente entre el disco y la pared de la cámara de trituración. Este rebote se produce porque el espacio entre el disco y la pared de la cámara es insuficiente para permitir que las tapaderas más grandes ingresen correctamente en la zona de corte. Como resultado, estas tapaderas no se Trituran de manera eficiente, lo que disminuye significativamente la eficiencia de reducción.

Dado este comportamiento, es recomendable utilizar tapaderas más pequeñas, preferiblemente de menos de 4 cm de diámetro, para maximizar la eficiencia del proceso de trituración. Las tapaderas más pequeñas son más fáciles de manejar por la trituradora, lo que mejora

la probabilidad de que sean capturadas y trituradas correctamente en la primera pasada, asegurando un mejor rendimiento del equipo.

8.7.2. Rendimiento de la trituradora

El rendimiento de la trituradora, expresado en kg/minuto, mide la cantidad de material procesado en un tiempo dado. En este aspecto, la prueba 3 presentó el rendimiento más alto (0.0487 kg/minuto) o (24.35 tapaderas/minuto), lo que indica una mayor velocidad de procesamiento. Sin embargo, este alto rendimiento no siempre se correlacionó con una alta eficiencia de reducción, lo que resalta la importancia de considerar el tamaño del material para mantener un rendimiento óptimo.

El rendimiento también se ve afectado por el tamaño de las tapaderas. Como se mencionó anteriormente, las tapaderas más grandes tienden a rebotar porque no logran entrar efectivamente en la zona de trituración debido a la restricción del espacio entre el disco y la pared de la cámara de trituración, lo que no solo reduce la eficiencia de reducción sino que también ralentiza el proceso general. Esto ocurre porque el disco de corte no puede atrapar y triturar rápidamente las tapaderas grandes debido a esta limitación de espacio. Por lo tanto, el uso de tapaderas más pequeñas no solo mejora la eficiencia de reducción sino que también mantiene un rendimiento más alto y constante.

8.7.3. Consumo de energía

El consumo de energía se mantuvo constante en las pruebas con tiempos de operación idénticos, siendo 0.06664 kWh para las pruebas con 5 minutos de duración y 0.04 kWh para las de 3 minutos. Este parámetro es fundamental para evaluar el costo operativo del sistema y su sostenibilidad a largo plazo.

Aunque el consumo de energía es constante para un tiempo de operación dado, su efectividad se mide en función de la cantidad de material procesado y la calidad de la trituración. Como se observó, las tapaderas más pequeñas permiten un uso más eficiente de la energía, ya que son más fáciles de triturar y no requieren múltiples intentos para ser procesadas adecuadamente. Esto reduce el tiempo y la energía necesarios para lograr el tamaño de partícula deseado, haciendo el proceso más económico y sostenible.

8.7.4. Eficiencia energética

Finalmente, la eficiencia energética, que relaciona la cantidad de material triturado con la energía consumida, fue más alta en la prueba 4 (0.375 kg/kWh) o (187.5 tapaderas/kWh) . Esto sugiere que, bajo ciertas configuraciones y condiciones operativas, la trituradora puede maximizar el uso de energía, lo que es esencial para mantener bajos los costos de operación y minimizar el impacto ambiental.

El uso de tapaderas más pequeñas no solo mejora la eficiencia de reducción y el rendimiento, sino que también optimiza la eficiencia energética del sistema. Las tapaderas grandes,

debido a su tendencia a rebotar y no entrar en la zona de trituración por la falta de espacio adecuado entre el disco y la pared de la cámara, requieren más energía para ser procesadas, lo que reduce la eficiencia energética general del sistema. Al enfocarse en tapaderas de menor tamaño, es posible maximizar la cantidad de material triturado por unidad de energía consumida, lo que resulta en un proceso más eficiente y rentable.

- Se diseñó una trituradora que cumple con el objetivo de ser económica, con un costo total de materiales de Q1,218.51. La máquina es capaz de reducir eficientemente el tamaño de las tapaderas plásticas de polipropileno y polietileno, cumpliendo con el propósito de preparar el material para su posterior moldeo.
- Se especificaron los requisitos necesarios para el diseño de una trituradora que permite un reciclaje en dos etapas, cumpliendo con el objetivo de reducir eficazmente el tamaño de tapaderas plásticas para su posterior moldeo. La selección de componentes adecuados y las medidas de seguridad implementadas garantizan un proceso eficiente y seguro.
- Se diseñó una trituradora que cumple con el objetivo de triturar el material al tamaño solicitado en la fundición. El sistema es capaz de reducir las tapaderas plásticas hasta un tamaño de 5 mm, utilizando un tamiz que asegura que el material triturado cumpla con las dimensiones requeridas para el proceso de fundición.
- Se seleccionaron componentes que cumplieron el objetivo de triturar, como discos de corte y fuentes de potencia, para lograr un proceso eficiente de trituración. Estos componentes aseguran que el equipo pueda manejar tapaderas plásticas de manera efectiva, sin comprometer la calidad del corte ni la seguridad del operador.
- El diseño de la trituradora incluyó medidas de seguridad, tales como un botón de emergencia y un sistema si la tapadera no está colocada, lo que garantiza la protección del operador durante el uso de la máquina.
- La máquina ha sido diseñada para facilitar las tareas de mantenimiento y limpieza, lo cual asegura que el equipo pueda ser utilizado y mantenido de manera sencilla por los operadores, aumentando su longevidad y eficacia.
- Se han desarrollado manuales detallados para la fabricación, ensamblaje, mantenimiento y operación de la trituradora, lo que facilita la replicación del proyecto y asegura su correcta implementación por parte de los usuarios.

- Se recomienda a futuros investigadores explorar mejoras en el sistema de extracción del material triturado. Un diseño que facilite la extracción del material sin necesidad de intervenciones manuales frecuentes reduciría el tiempo de inactividad y aumentaría la productividad del equipo, mejorando la experiencia del usuario y la eficiencia del proceso de reciclaje.
- Otra línea de investigación podría centrarse en el análisis de la eficiencia energética del equipo. Evaluar alternativas para reducir el consumo energético o incorporar fuentes de energía renovable, como paneles solares, haría el sistema más sostenible y adecuado para su uso en zonas rurales.
- Se recomienda realizar un análisis sobre las posibles aplicaciones del material triturado, investigando qué otros productos o subproductos se pueden fabricar a partir del plástico procesado. Este análisis podría incluir la fabricación de nuevos artículos plásticos reciclados, como piezas moldeadas, componentes para la construcción o productos de uso cotidiano. Evaluar el valor económico de estos productos finales puede expandir las oportunidades de negocio y promover una economía circular dentro de las comunidades que adopten esta tecnología.
- Finalmente, se recomienda explorar la viabilidad de utilizar la trituradora para procesar otros tipos de plásticos, ampliando el alcance y versatilidad del proyecto en comunidades que necesitan gestionar diversos tipos de desechos plásticos.

- A, P. (2013). Diseño y simulacion de una maquina trituradora de plasticos. *Escuela Politécnica Nacional*, 1(26-30), 143.
- Castaño, C. (2022). Diseño y simulación de una extrusora para potenciar la investigación en el aprovechamiento de residuos plásticos comunes. *N/A*, *N/A*(1), 1.
- Chasan, R., et al. (2019). The Recycling of Polypropylene and its Impact on the Environment. *Journal of Sustainable Development*, 12(3), 45-60.
- de Plástico, T. (2023). Tapas de plástico. *Tapas de Plástico*. %5Curl%7Bhttps://tapasdeplastico.mx/#:~:text= Materiales%20de%20las%20Tapas%20de%20P%C3%A1stico%7D
- de Residuos, G. (2016). The Economic Impact of Recycling in Developing Countries. *Gestores de Residuos*.
- DeWaltB3. (2023). DWE4010-B3. *DeWaltB3*, 1(1), 3.
- Envaselia. (s.f.). TAPA Envaselia. *Envaselia*. %5Curl%7Bhttps://www.ensavelia.com/tapa-simple-rosca-28-410-id994.htm%7D
- Especial. (2019). PET: el mejor aliado del medio ambiente, ¿lo sabías? *National Geographic en Español*. %5Curl%7Bhttps://www.ngenespanol.com/ecologia/pet-el-mejor-aliado-del-ambiente-ecoce/%7D
- Forum, W. E. (2016). The New Plastics Economy: Rethinking the future of plastics. *World Economic Forum*. %5Curl%7Bhttps://www3.weforum.org/docs/WEF_The_New_Plastics_Economy.pdf%7D
- Jachs, G. (2020). Plastic Bottle Cap Recycling—Characterization of Recyclate Composition and Opportunities for Design for Circularity. *MDPI*, 1(2), 21.
- Latham, J. (2021). Global Plastic Waste and Recycling: Challenges and Opportunities. *Environmental Science and Technology*, 55(4), 112-130.
- MatWeb. (2023). Acero 1045. *MatWeb*, 1(1), 1.
- M.P. (2020). Polyethylene | Density, Strength, Melting Point, Thermal Conductivity. *material-properties.org*, 1(1), 1.
- OpenMind. (2021). Nuevas soluciones al problema de los plásticos. *OpenMind*. %5Curl%7Bhttps://www.bbvaopenmind.com/ciencia/medioambiente/nuevas-soluciones-problema-de-los-plasticos/%7D

- Paúl, A. (2013). Diseño y simulación de una máquina trituradora de plásticos de 15 kg/h para el Laboratorio de Conformado de la Facultad de Ingeniería Mecánica. *EPN*. %5Curl%7Bhttps://doi.org/T-IM/1600/CD4717%7D
- Simasa. (2020). Discos de Diamante. Criterios para una buena elección. *simasa*, 1(1), 1.
- Simasa. (2021). Tipos de discos para cortar con amoladora y su elección. *simasa*, 1(1), 1.
- Skipper. (2023). Electrical Insulation Classes. *Skippertrans.org*. <https://skippertrans.org/blog/electrical-insulation-classes/>
- Team, S. (2017). force to bend metal. *Sciencing*. <https://sciencing.com/how-8114314-calculate-force-bend-metal.html>
- Ternero, F. (2021). Evaluation of Wear Behaviour in Metallic Binders Employed in Diamond Tools for Cutting Stone. *wearbehaviour*, 1(1), 17.
- Truper. (2021). 24305-02 instructivo. *Truper*, 1(3), 11.
- Truper45110. (2023). ESMA-45110 instructivo. *Truper*, 1(1), 2.
- Truper-4590N. (2023). ESMA-4590N instructivo. *Truper*, 1(1), 3.
- TruperA12. (2023). ESMA-4-1/2A12 instructivo. *Truper*, 1(1), 3.

12.1. Índice de anexos

Anexo A: Protocolo de seguridad y pruebas físicas

Este anexo contiene el protocolo de seguridad implementado para el manejo de la trituradora, incluyendo las precauciones necesarias para garantizar la seguridad del operador. También incluye las pruebas físicas realizadas para validar el desempeño de la máquina en condiciones de operación normales.

Anexo B: Manual de operación

En este anexo se presenta el manual de operación de la trituradora, detallando paso a paso el proceso de encendido, uso, y apagado de la máquina. Además, se incluyen los procedimientos para la resolución de problemas comunes que puedan surgir durante su operación.

Anexo C: Manual de fabricación

Este anexo cubre el manual de fabricación de la trituradora, proporcionando instrucciones detalladas sobre el ensamblaje de cada componente. Incluye planos y una lista de materiales necesarios para la construcción de la máquina, facilitando su replicación.

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Protocolo de pruebas

Trituradora de bajo costo para tapaderas plásticas de polipropileno y polietileno para moldes con forma de volcán de Agua de Guatemala

Elaborado por:
José Pablo Ruiz Fajardo
20195

Departamento de Ingeniería Mecánica

Guatemala, mayo de 2024

1. Introducción

El objetivo principal es llevar a cabo una evaluación exhaustiva del sistema eléctrico con el fin de garantizar su correcto funcionamiento. Esto implica verificar minuciosamente los circuitos y asegurarse de la ausencia de fallos relacionados con cuestiones eléctricas. Además, se pretende garantizar el correcto funcionamiento de los botones de seguridad, asegurando que tengan la capacidad de controlar el sistema y detenerlo por completo en caso necesario.

Asimismo, se busca asegurar un ensamblaje seguro del sistema, donde todas las piezas estén correctamente colocadas y sujetas de manera adecuada. Por último, se pretende verificar que el sistema de trituración sea capaz de cumplir eficientemente su función de triturar tapaderas de polietileno de alta densidad.

2. Especificaciones técnicas

- Dimensiones generales del sistema:
 - Altura: 417.50 mm
 - Ancho: 235.0 mm
 - Profundidad: 327.000mm
- Dimensiones de cámara de trituración:
 - Altura: 200.0 mm
 - Diámetro: 169.0 mm
- Materiales
 - Madera
 - Acero 1045
- Fuente de energía
 - Eléctrica
 - Potencia: 800 W
 - Corriente: 5.9 A
 - Voltaje: 120 V
- Capacidad de almacenamiento: 3.7854 Litros

3. Equipo de medición

Equipo de mediciones			
No.	Descripción	Especificaciones	Observaciones
1	Pesa medidora	Medición en gramos	Este equipo debe de poder hacer mediciones en gramos.
2	Vernier	Utilización de vernier para cumplir con 5mm	Las partículas trituradas deben de tener un tamaño inferior a 5mm.

4. Identificación de peligros

Identificación de peligros				
No.	Tipo	Descripción	Control(es)	Instrumento/equipo
1	Riesgos físicos	Exposición a ruido y vibraciones.	Administrativo	Seguir pasos en Anexos
		La exposición se reducirá por medio del interruptor ya que evita que se tenga contacto directo de forma constante.	EPP	Protectores auditivos
			Sustitución	Sujetar esmeril con base de madera y operar con interruptor
2	Riesgos físicos	Posibilidad de cortes o lesiones durante el uso de la máquina	Administrativo	Iluminación artificial e Iluminación natural
			EPP	Guantes resistentes a cortes ANSI A3
4	Riesgos ergonómicos	Lesiones musculares debido a las posturas inadecuadas, movimientos repetitivos durante el uso de la esmeriladora o por transportar el sistema a diferentes lados.	Administrativo	Colocar el sistema a una altura que permita un uso cómodo. No mayor a 90 cm
5	Riesgos de seguridad	Posibilidad de accidentes como caídas	EPP	Calzado de seguridad antideslizante
			Administrativo	Área de trabajo limpia y libre de obstáculos.
6	Riesgos de seguridad	Contacto con partes móviles de la máquina	EPP	Guantes resistentes a cortes, ropa ajustada, bata con manga corta.
			Administrativo	Procedimientos de bloqueo y etiquetado
7	Riesgos de seguridad	Riesgos eléctricos	EPP	Guantes aislantes
			Administrativo	Desconexión segura

8	Riesgos de seguridad	Riesgos de incendio	EPP	Extintores portátiles
			Administrativo	Plan de acción
9	Riesgos de seguridad	Riesgos de partículas voladoras	EPP	Gafas de seguridad,
			Administrativo	Inspección de resguardos

5. Equipo de protección personal (EPP) y equipo de mitigación

Equipo de protección personal (EPP) y de mitigación		
Cant.	Descripción	Verificado
1	Guantes resistentes a cortes según norma ANSI A3	SI
1	Guantes con aislamiento eléctrico	SI
1	Bata de trabajo con manga corta	SI
1	Gafas de seguridad con lentes de policarbonato	SI
1	Zapatos de cuero tipo bota con punta de acero	SI
1	Pantalón de lona sin rasgaduras	SI
1	Protectores auditivos tipo desechable	SI
1	Extintor tipo ABC	SI

6. Documentación requerida previo a iniciar una prueba

La documentación listada en esta sección debe estar disponible en formato impreso en todo momento durante la realización de toda prueba y las verificaciones y firmas requeridas se deberán llenar a mano previo al inicio de dichas pruebas.

Es importante hacer notar que esta documentación tiene validez solo durante el día en que se llena, por lo que si la prueba toma más de un día entonces la misma deberá volver a llenarse ya que implica el reconocimiento y compromiso de cumplimiento de los procedimientos de seguridad que dicha documentación contiene. Esto deberá ser realizado por todas las personas que participen en las pruebas sin excepción; y a la vez implica que ninguna persona que no firme los compromisos podrá participar de dichas pruebas.

Esta documentación incluye:

1. Compromiso de conocimiento y cumplimiento del protocolo de seguridad. Se llena un documento con formato de lista para todos los participantes.
2. Reconocimiento de estado y disponibilidad para poder realizar la prueba. Se llena una copia por cada participante.
3. Verificación de EPP y del de equipo de mitigación necesario. Se llena una copia por parte del estudiante a cargo y la misma debe contar con el visto bueno de todos los participantes.

4. Protocolo de emergencia presentando todos los números telefónicos de emergencia. Se llena una copia con formato de lista para todos los participantes.
5. Procedimiento de pruebas y mediciones.

ANEXO 1

CONOCIMIENTO Y CUMPLIMIENTO DEL PROTOCOLO DE PRUEBAS

Instrucciones:

El presente documento deberá ser llenado por todas las personas que participarán de las pruebas del prototipo elaborado en el trabajo de graduación o proyecto “Nombre del trabajo/proyecto” y su firma implica su conformidad con el siguiente enunciado:

“Como firmante del presente documento declaro que he tenido a la vista el protocolo de pruebas del trabajo arriba nombrado; que soy consciente de los peligros identificados y plenamente detallados en el protocolo en cuestión, asociados a las pruebas a realizarse en la fecha indicada en este documento y que conozco los procedimientos y acciones a tomar para mitigar dichos peligros. Así mismo declaro tener conocimiento del procedimiento de pruebas y medición, y del protocolo de emergencia en caso de incidentes, anexo 2 y que los mismos se encuentra en formato impreso en el lugar de las pruebas. Declaro también que la información proporcionada por mi parte en los anexos 1 y 2 son verídicos y que he tomado el tiempo de verificar la información contenida en el anexo 2 por lo que he firmado los mismos. Habiendo declarado lo anterior, asumo la responsabilidad de mis actos y cualquier consecuencia o implicación que se desprenda de ellos.”

Listado de personas		
Carné	Nombre	Firma
20195	José Pablo Ruiz Fajardo	20195

Guatemala, 20 de mayo de 2024

DECLARACIÓN DE ESTADO Y DISPONIBILIDAD

Instrucciones:

Evalúe su estado y disponibilidad para participar de las pruebas teniendo conciencia de que su indisponibilidad en uno solo de las condiciones evaluadas inhabilitará en su participación ya que las mismas influyen en su seguridad personal y la de los demás participantes. Llenar una copia por cada participante.

Marque con una X la casilla correspondiente sin salirse del espacio.

No.	Condición evaluada	SI	NO
1	He ingerido bebidas alcohólicas o sustancias alucinógenas que alteran mi estado de percepción durante las últimas 72 hrs.		X
2	Me siento agotado física o mentalmente por lo que mi concentración o habilidades físicas pueden verse comprometidas.		X
3	Tengo un problema personal/laboral que altera mi estado de ánimo.		X
4	Me siento incómodo con, o indispuesto hacia alguno de los otros participantes de las pruebas por cualquier circunstancia.		X
5	Mi estado de ánimo y mi disposición son positivos por lo que considero que mi participación será de aporte para las pruebas.	X	
6	Puedo proporcionar el nombre y número telefónico de una persona a la que contactar en caso de emergencia por cualquier incidente que se presente durante las pruebas.	X	

Declaro que las respuestas a los aspectos evaluados en la tabla anterior son verdaderas por lo que me declaro habilitado para participar en las pruebas de la presente fecha.

Fecha: 20 de mayo de 2024

Nombre: José Pablo Ruiz Fajardo

Firma: Jose Ruiz

Contacto para caso de emergencia:

Nombre: Cindy Fajardo

Número(s) telefónico(s): 4211-4632

Correo electrónico: Cymaft@gmail.com

ANEXO 2

VERIFICACIÓN DE EPP Y EQUIPO DE MITIGACIÓN REQUERIDO

Instrucciones:

El estudiante a cargo de las pruebas marcará con una X la casilla de verificación para cada uno de los equipos listados. La necesidad de la disponibilidad de este equipo fue determinada durante el proceso de identificación de peligros por lo que es de carácter obligatorio. No se permite el uso de equipo que no cumpla con las especificaciones declaradas en el listado.

Los demás participantes deberán declarar su visto bueno mediante su firma en el listado mostrado abajo.

Equipo de protección personal (EPP) y de mitigación		
Cant.	Descripción	Verificado
	Guantes resistentes a cortes según norma ANSI A3	X
	Guante con aislamiento eléctrico	X
	Bata de trabajo con manga corta	X
	Gafas de seguridad con lentes de policarbonato	X
	Zapatos de cuero tipo bota con punta de acero	X
	Pantalón de Lona sin rasgaduras	X
	Protectores auditivos tipo desechable	X
	Extintor tipo ABC	X

Fecha: 20 de mayo de 2024

Estudiante a cargo: José Pablo Ruiz Fajardo

Firma: José Ruiz

PROTOCOLO DE EMERGENCIA

1. En caso de un accidente:

- i. Conservar la calma en todo momento.
- ii. Apague la máquina si la misma aún se encuentra encendida.
- iii. Asegure que las necesidades físicas y emocionales de la persona son atendidas.
- iv. No intente brindar primeros auxilios para los que no cuenta con formación previa.
- v. Coordine con los demás participantes de las pruebas la atención médica necesaria para la persona accidentada contactando a las instituciones correspondientes.
- vi. Si las pruebas se están realizando dentro de las instalaciones de la universidad comuníquese a los números y personas indicadas en la siguiente sección.
- vii. Informe al contacto proporcionado para casos de emergencia.
- viii. Informe al asesor del trabajo de graduación o proyecto una vez la situación se encuentre controlada.

2. Contactos de emergencia.

- i. Bomberos voluntarios: 122
- ii. Bomberos municipales (ciudad capital): 123
- iii. Bomberos municipales departamentales: 1554

Dentro de la UVG tome en cuenta los siguientes contactos:

- i. Alerta Médica: 1711
- ii. Clínica Médica UVG: extensión 21312, edificio F, oficina F119-F120 (debajo de la plaza Paiz Riera)
- iii. Jefe de seguridad UVG, Lic. Nelson Aldana: 59781736, Sótano 1 CIT, oficina 8S1, según lo amerite el accidente.
- iv. Secretaría General: 2369-8333, oficina F-205, según lo amerite el accidente.

Visto bueno de participantes		
Carné	Nombre	Firma
20195	José Pablo Ruiz Fajardo	José Ruiz

PROCEDIMIENTO DE PRUEBAS Y MEDICIONES

Procedimiento de pruebas		
Paso	Descripción	Verificado (✓/X)
1.	Comprobación de fijación de esmeriladora - Inspección visual de los componentes de fijación: Examinar los tornillos y la abrazadera en busca de desgaste, corrosión o daño. Herramientas: linterna.	✓
Desviación del procedimiento:		
2.	Obtener herramienta: Obtener el destornillador tipo cruz.	✓
Desviación del procedimiento:		
3.	Comprobación de fijación de esmeriladora - Apriete de los tornillos: Asegurarse de que los tornillos estén correctamente apretados con el destornillador tipo cruz. Herramientas: destornillador tipo cruz.	✓
Desviación del procedimiento:		
4.	Comprobación de fijación de esmeriladora - Compatibilidad de los materiales: Verificar si los tornillos y la abrazadera son compatibles con la madera y la superficie de anclaje.	✓
Desviación del procedimiento:		
5.	Obtener herramienta: Obtener el nivel de burbuja.	
Desviación del procedimiento:		

6.	Comprobación de fijación de esmeriladora - Verificación de nivelación: Utilizar el nivel para asegurar que la esmeriladora esté nivelada y correctamente alineada. Herramientas: nivel de burbuja.	✓
Desviación del procedimiento:		
7.	Comprobación de fijación de esmeriladora - Inspección de la base y abrazadera: Examinar la base y la abrazadera en busca de grietas, roturas o desgaste que puedan comprometer la fijación. Herramientas: linterna.	✓
Desviación del procedimiento:		
8.	Comprobación de fijación de cámara de trituración - Inspección visual de los componentes de fijación: Examinar los cuatro tornillos que atraviesan la base del bote y pasan por las paredes laterales en busca de desgaste, corrosión o daño. Herramientas: linterna.	✓
Desviación del procedimiento:		
9.	Obtener herramienta: Obtener el destornillador tipo cruz.	✓
Desviación del procedimiento:		
10.	Comprobación de fijación de cámara de trituración - Apriete de los tornillos: Asegurarse de que los cuatro tornillos estén correctamente apretados utilizando el	✓


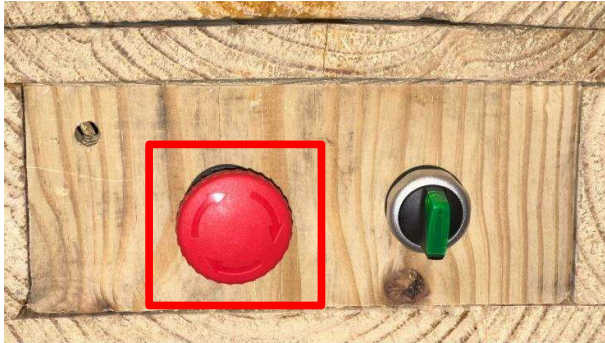
	destornillador tipo cruz para garantizar una sujeción firme y segura. Herramientas: destornillador tipo cruz.	
Desviación del procedimiento:		
11.	Comprobación de fijación de cámara de trituración - Compatibilidad de los materiales: Verificar si los tornillos son adecuados para fijar la cámara de trituración a las paredes laterales y la base del bote, asegurando una sujeción adecuada.	✓
Desviación del procedimiento:		
12.	Obtener herramienta: Obtener el nivel de burbuja.	✓
Desviación del procedimiento:		
13.	Comprobación de fijación de cámara de trituración - Verificación de nivelación: Utilizar el nivel para asegurar que la cámara de trituración esté nivelada y correctamente alineada con respecto a las paredes laterales del bote. Herramientas: nivel de burbuja.	✓
Desviación del procedimiento:		
14.	Comprobación de fijación de cámara de trituración - Inspección de la base y los tornillos: Examinar la base del bote y los tornillos en busca de grietas, roturas o desgaste que puedan comprometer la fijación de la cámara de trituración. Herramientas: linterna.	✓
Desviación del procedimiento:		


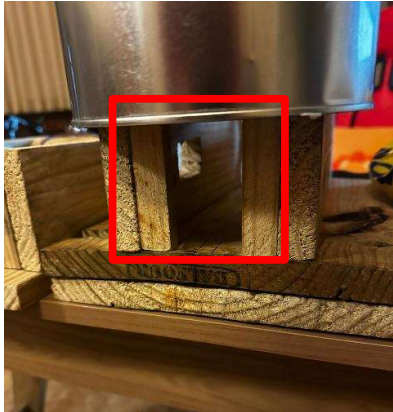
15.	Comprobación de fijación estructural - Inspección visual de los componentes estructurales: Examinar la base principal, las 4 paredes, la base superior y las paredes laterales en busca de grietas, deformaciones, desgaste o daños que puedan comprometer la integridad estructural. Herramientas: linterna.	✓
Desviación del procedimiento:		
16.	Obtener herramienta: Obtener el destornillador tipo cruz.	✓
Desviación del procedimiento:		
17.	Comprobación de fijación estructural - Apriete de los tornillos y elementos de fijación: Verificar que todos los tornillos que sujetan las diferentes partes de la estructura estén correctamente apretados utilizando el destornillador tipo cruz. Esto incluye los tornillos que unen la base principal con las paredes, los que aseguran la base superior a las paredes, así como los que sujetan la cámara de trituración, la abrazadera y la esmeriladora a las paredes laterales. Herramientas: destornillador tipo cruz.	✓
Desviación del procedimiento:		
18.	Obtener herramienta: Obtener el nivel de burbuja.	✓
Desviación del procedimiento:		



19.	Comprobación de fijación estructural - Verificación de nivelación: Utilizar el nivel para verificar que la estructura esté nivelada y correctamente alineada en todas sus partes, incluyendo la base principal, la base superior y las paredes laterales. Asegurarse de que no haya inclinaciones o desalineaciones que puedan afectar el funcionamiento de la máquina. Herramientas: nivel de burbuja.	✓
Desviación del procedimiento:		
20.	Comprobación de fijación estructural - Inspección de la bisagra: Examinar la bisagra que conecta la base superior con la base principal para asegurarse de que esté en buen estado y permita un movimiento suave y sin obstrucciones de la base superior. Asegurarse de que los tornillos que sujetan la bisagra estén firmes y bien apretados. Herramientas: linterna, destornillador tipo cruz.	✓
Desviación del procedimiento:		
21.	Obtener herramienta: Obtener el multímetro y el amperímetro.	✓
Desviación del procedimiento:		
22	Obtener protección: Antes de realizar las comprobaciones, se debe colocar guantes con aislamiento eléctrico.	✓
Desviación del procedimiento:		
23.	Acceso al sistema eléctrico: Quitar los 4 tornillos para acceder al sistema eléctrico de la trituradora: Utilizar el destornillador tipo cruz para retirar los tornillos que	✓

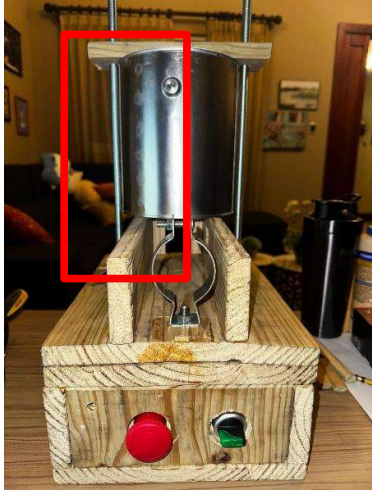

	aseguran la cubierta del sistema eléctrico de la trituradora. Herramientas: destornillador tipo cruz.	
Desviación del procedimiento:		
23.	Comprobación del sistema eléctrico - Alimentación del contactor: Verificar que el contactor recibe energía eléctrica adecuadamente desde la fuente de alimentación. Herramientas: multímetro, amperímetro (sin que el sistema esté en funcionamiento).	✓
Desviación del procedimiento:		
24.	Obtener herramienta: Obtener el destornillador tipo cruz.	✓
Desviación del procedimiento:		
25.	Comprobación del sistema eléctrico - Conexiones principales: Revisar todas las conexiones principales para asegurarse de que estén bien conectadas y no haya conexiones sueltas o dañadas. Herramientas: destornillador tipo cruz, linterna, amperímetro (sin que el sistema esté en funcionamiento).	✓
Desviación del procedimiento:		
26.	Comprobación del sistema eléctrico - Funcionamiento del botón de paro: Después de revisar las conexiones principales, presionar el botón de paro de emergencia para asegurarse de que el sistema eléctrico se detiene correctamente. Verificar con un amperímetro que se corte correctamente la corriente (sin que el sistema esté en funcionamiento).	✓
Desviación del procedimiento:		
27.	Comprobación del sistema eléctrico - Funcionamiento del selector: Posteriormente a la	✓



	revisión de las conexiones, probar el selector de encendido y apagado para confirmar que el sistema se puede activar y desactivar según sea necesario. Verificar con un amperímetro que se corte correctamente la corriente (sin que el sistema esté en funcionamiento).	
Desviación del procedimiento:		
28.	Obtener herramienta: Obtener el destornillador tipo cruz.	✓
Desviación del procedimiento:		
29.	Comprobación del sistema eléctrico - Operación del <i>microswitch</i>: Luego de verificar las conexiones, retirar la tapadera para comprobar que el <i>microswitch</i> detiene el funcionamiento del sistema de manera efectiva. Herramientas: destornillador tipo cruz, amperímetro (sin que el sistema esté en funcionamiento).	✓
Desviación del procedimiento:		
30.	Comprobación del sistema eléctrico - Conexión a la trituradora: Confirmar que la conexión eléctrica desde el contactor hasta la trituradora esté realizada correctamente después de revisar las conexiones principales. Herramientas: destornillador tipo cruz, linterna, amperímetro (sin que el sistema esté en funcionamiento).	✓
Desviación del procedimiento:		
31.	Comprobación del sistema eléctrico - Inspección visual de los cables y conexiones: Realizar una inspección visual de los cables y conexiones después de revisar las conexiones principales para detectar signos de desgaste, daño o conexiones sueltas. Herramientas: linterna.	✓

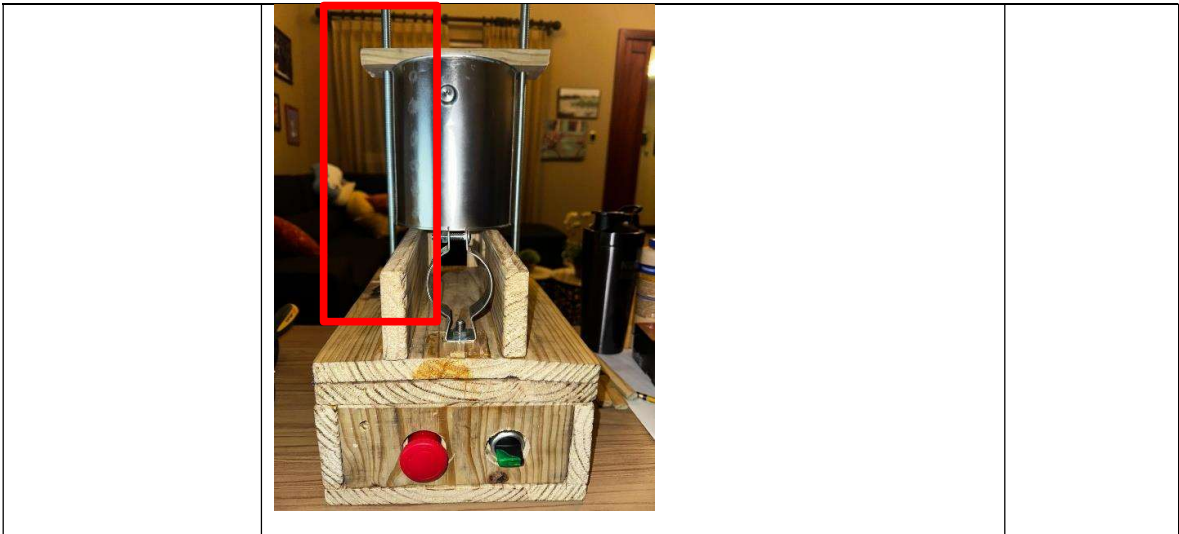
Desviación del procedimiento:		
32.	<p>Para iniciar la máquina - Verificar selector principal: Verificar que el selector principal de la máquina esté en posición de apagado (posición totalmente horizontal).</p> 	✓
Desviación del procedimiento:		
33.	<p>Para iniciar la máquina - Verificar botón de paro: Verificar que el botón de paro de emergencia esté desactivado.</p>	✓
Desviación del procedimiento:		
34.	<p>Para iniciar la máquina - Identificar botón de paro: Identificar y ubicar el botón de paro de emergencia (parte frontal del sistema).</p> 	✓
Desviación del procedimiento:		

<p>35.</p>	<p>Para iniciar la máquina – Asegurar disco: Presionar el botón de la esmeriladora angular y asegurar el disco utilizando la llave de seguridad.</p> 	<p>✓</p>
<p>Desviación del procedimiento:</p>		
<p>36.</p>	<p>Asegurar el disco – Acceso a botón de seguridad: Acceder al botón de seguridad para apretar el disco en esta parte del sistema.</p> 	<p>✓</p>
<p>37.</p>	<p>Asegurar el disco – Utilización de herramienta: La herramienta esta adaptada para poder apretar el disco sin ninguna limitante.</p>	<p>✓</p>

		
38.	<p>Para iniciar la máquina - Verificar conexión eléctrica: Verificar que la máquina esté correctamente conectada a una fuente de alimentación.</p>	✓
Desviación del procedimiento:		
39.	<p>Para iniciar la máquina - Colocar material: Pesar 0.065kg de tapaderas de polietileno de alta densidad para llenar 1 molde y colocar el material en la cámara de trituración.</p>	✓
39.	<p>Para iniciar la máquina - Colocar tapadera: Girar el mecanismo e introducir la varilla roscada por ambos agujeros.</p> 	✓
Desviación del procedimiento:		

40.	<p>Para iniciar la máquina – Activar <i>microswitch</i>: Girar la varilla roscada hasta topar con la tabla que sostiene la tapadera y así activar la corriente por medio del <i>microswitch</i>.</p> 	✓
41.	<p>Para iniciar la máquina - Colocar selector en encendido: Colocar el selector en posición de encendido (botón rojo, posición de encendido y selector girado en posición de encendido).</p> 	✓
Desviación del procedimiento:		
42.	<p>Iniciada la máquina: Una vez iniciada la máquina se debe de trabajar por ciclos de 30 segundos para observar el tamaño de partícula.</p>	✓

43.	<p>Para detener la máquina - Paro de emergencia: En caso de emergencia, presionar el botón de paro de emergencia para detener por completo su funcionamiento.</p> 	✓
Desviación del procedimiento:		
44.	<p>Para detener la máquina - Selector en apagado: Colocar el selector en posición de apagado.</p> 	✓
Desviación del procedimiento:		
45.	<p>Para detener la máquina - activar botón de paro: Activar el botón de paro de emergencia, si no se ha utilizado.</p>	✓
Desviación del procedimiento:		
46.	<p>Para detener la máquina – Retirar varilla roscada: Localizar la varilla roscada del lado izquierdo y desenroscar hasta retirarla de ambas tablas.</p>	✓




Desviación del procedimiento:

47. **Para detener la máquina – Abrir la cámara de trituración:** Una vez se retira de ambas tablas la varilla roscada, se debe de girar y destapar la cámara de trituración. ✓



Desviación del procedimiento:

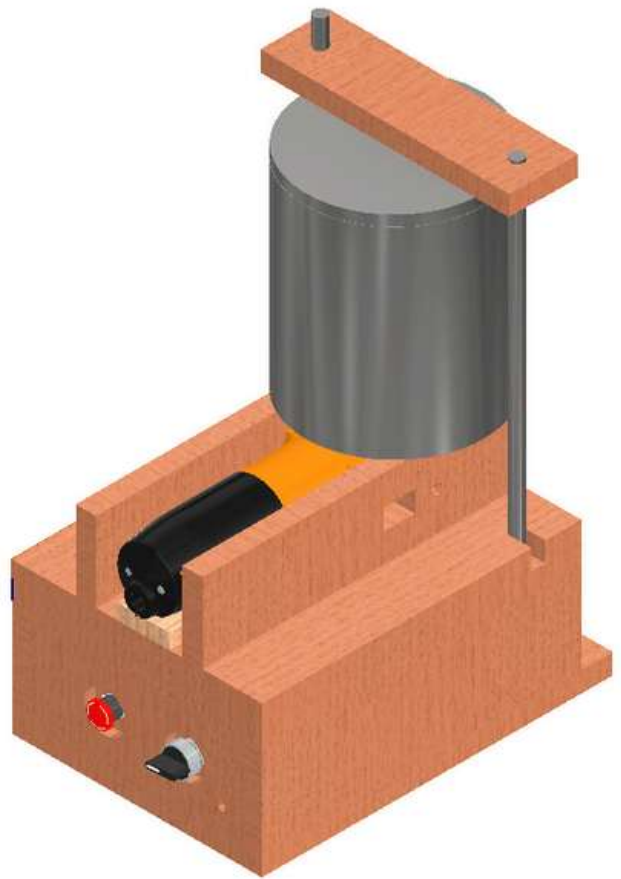
<p>48.</p>	<p>Para detener la máquina - Retirar material restante: Retirar cualquier material restante utilizando las bisagras de la cámara de trituración y de esta forma evitar obstrucciones futuras.</p> 	<p>✓</p>
<p>Desviación del procedimiento:</p>		
<p>49.</p>	<p>Analizar la partícula - Medir: Se debe de utilizar un vernier para tener una medida exacta de la partícula. En caso de ser mayor a 5mm, repetir desde paso 38.</p>	<p>✓</p>
<p>Desviación del procedimiento:</p>		
<p>50.</p>	<p>Analizar la partícula - Pesaje: Al tener la medida deseada se retira todo el material se coloca en la pesa y se determina el peso total de lo triturado para determinar que tan eficiente fue la trituración.</p>	<p>✓</p>
<p>Desviación del procedimiento:</p>		

MANUAL DE OPERACIÓN

Trituradora de tapaderas de
polietileno

UNIVERSIDAD DEL VALLE
DE GUATEMALA

PREPARADO POR
José Pablo Ruiz Fajardo



ÍNDICE

Manual de operación para trituradora de tapaderas de polietileno	1
1. Especificaciones técnicas	3
2. Requerimientos eléctricos	3
3. Equipo recomendado.....	3
4. Advertencias generales de seguridad para herramientas eléctricas	4
5. Advertencias de seguridad para el uso de la trituradora	4
6. Partes del equipo	5
7. Montaje	5
8. Operación del equipo	8
9. Mantenimiento	9

1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- MODELO: TRITURADORA ESMA-4-1/2A9
- DIMENSIONES: 60 CM X 65 CM
- PESO: 25 KG
- CAPACIDAD DE TRITURACIÓN: TRITURA TAPADERAS DE HASTA 5 CM X 2 CM
- POTENCIA DEL MOTOR: 800 W
- VELOCIDAD DEL DISCO: 11,000 RPM
- MATERIAL DEL DISCO DE CORTE: DISCO DIAMANTADO SEGMENTADO A 20°.
- CICLO DE TRABAJO: 30 MINUTOS DE TRABAJO POR 15 MINUTOS DE DESCANSO.

2. REQUERIMIENTOS ELÉCTRICOS

- TENSIÓN DE ALIMENTACIÓN: 127 V
- FRECUENCIA: 60 HZ
- CORRIENTE NOMINAL: 5.7 A
- CLASE DE AISLAMIENTO DEL MOTOR: CLASE B
- CONEXIÓN ELÉCTRICA: CABLE 18 AWG X 2C CON TEMPERATURA DE AISLAMIENTO DE 105 °C

3. EQUIPO RECOMENDADO

- PARA TRABAJAR CON LA TRITURADORA, SE RECOMIENDA EL SIGUIENTE EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL (EPP):
- GUANTES DE PROTECCIÓN: PARA EVITAR CORTES Y ABRASIONES AL MANIPULAR MATERIALES Y MAQUINARIA.
- GAFAS DE SEGURIDAD: PARA PROTEGER LOS OJOS DE POSIBLES PARTÍCULAS VOLADORAS DURANTE LA TRITURACIÓN.
- MASCARILLA O RESPIRADOR: PARA EVITAR LA INHALACIÓN DE POLVO GENERADO DURANTE EL PROCESO.
- PROTECCIÓN AUDITIVA: AURICULARES O TAPONES PARA PROTEGER LOS OÍDOS DEL RUIDO ELEVADO DE LA TRITURADORA EN CASO DE ENCONTRARSE EN UN AMBIENTE CERRADO.





4. ADVERTENCIAS GENERALES DE SEGURIDAD PARA HERRAMIENTAS ELÉCTRICAS

- MANTENGA EL ÁREA DE TRABAJO LIMPIA Y BIEN ILUMINADA. LAS ÁREAS DESORDENADAS Y OSCURAS SON PROPENSAS A ACCIDENTES.
- NO OPERE LA HERRAMIENTA EN AMBIENTES EXPLOSIVOS O EN PRESENCIA DE LÍQUIDOS INFLAMABLES. LAS HERRAMIENTAS ELÉCTRICAS PRODUCEN CHISPAS QUE PUEDEN ENCENDER EL MATERIAL INFLAMABLE.
- MANTENGA ALEJADOS A LOS NIÑOS Y CURIOSOS MIENTRAS OPERE LA HERRAMIENTA. LAS DISTRACCIONES PUEDEN CAUSAR LA PÉRDIDA DE CONTROL.
- UTILICE EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL ADECUADO. SIEMPRE USE PROTECCIÓN PARA LOS OJOS, MASCARILLA ANTIPOLVO, ZAPATOS ANTIDESLIZANTES Y PROTECCIÓN AUDITIVA.
- NO FUERCE LA HERRAMIENTA. USE LA HERRAMIENTA ADECUADA PARA EL TRABAJO A REALIZAR, MANTENIENDO UN RITMO APROPIADO.
- DESCONECTE LA HERRAMIENTA ANTES DE REALIZAR AJUSTES O CAMBIAR ACCESORIOS. ESTO REDUCE EL RIESGO DE ARRANQUES ACCIDENTALES.
- REVISE QUE TODOS LOS COMPONENTES DE LA HERRAMIENTA ESTÉN BIEN FIJADOS. LA CARCASA NO DEBE ESTAR DAÑADA.



5. ADVERTENCIAS DE SEGURIDAD PARA EL USO DE LA TRITURADORA

- ELIJA EL DISCO APROPIADO PARA LA TAREA. UTILICE DISCOS DE CORTE ESPECÍFICOS PARA EL MATERIAL A TRABAJAR Y QUE SOPORTEN LA VELOCIDAD DE 11,000 RPM O MAYOR.
- INSPECCIONE EL DISCO ANTES DE CADA USO. ASEGÚRESE DE QUE NO ESTÉ ROTO O CUARTEADO. REEMPLACE INMEDIATAMENTE CUALQUIER DISCO DAÑADO.
- MANTENGA EL DISCO BIEN MONTADO Y ASEGÚRESE DE QUE LA CÁMARA DE PROTECCIÓN ESTÉ EN SU LUGAR. NUNCA OPERE LA ESMERILADORA SIN LA CÁMARA DE PROTECCIÓN.
- NO APRIETE DEMASIADO EL DISCO. ESTO PODRÍA CAUSAR QUE SE ROMPA DURANTE LA OPERACIÓN.



ADVERTENCIA: SE DEBE DE REVISAR EL DISCO DE CORTE PREVIO A CADA USO PARA EVITAR FALLAS EN EL SISTEMA



6. PARTES DEL EQUIPO

- ESTRUCTURA DE SOPORTE
- CÁMARA DE TRITURACIÓN
- ESMERILADORA ANGULAR ESMA-4-1/2A9
- DISCO DE CORTE SEGMENTADO
- CONTACTOR Y SISTEMA ELÉCTRICO
- BOTÓN DE PARO DE EMERGENCIA
- SENSOR DE PUERTA
- CUBETA DE RECOLECCIÓN

7. MONTAJE

- MONTAJE DE LA ESTRUCTURA
 - FIJE LA ESMERILADORA ANGULAR A LAS PAREDES LATERALES DE LA ESTRUCTURA UTILIZANDO PERNOS M8 DE 1 PULGADA.



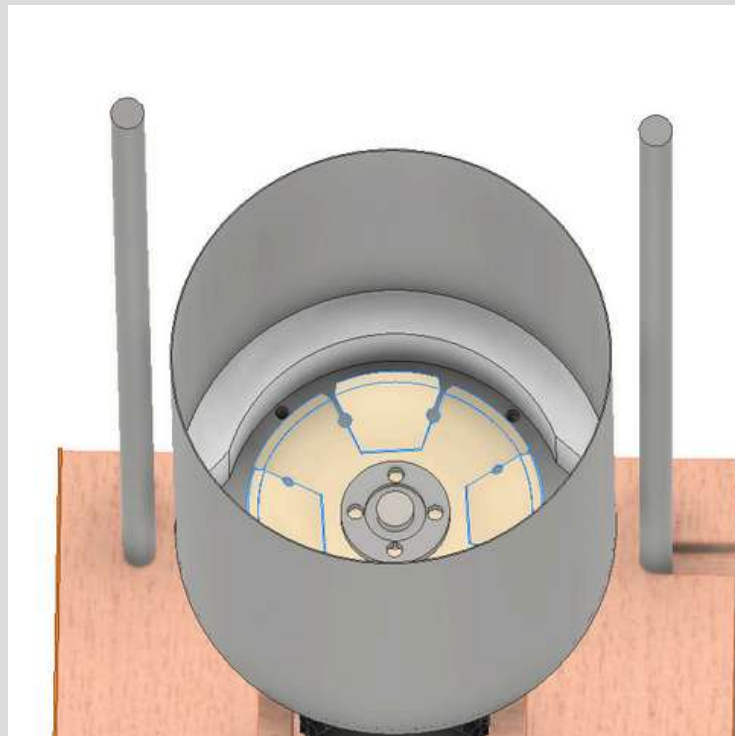
- AJUSTE LA CUÑA DE NIVELACIÓN DEBAJO DE LA ESMERILADORA PARA ASEGURAR QUE QUEDE NIVELADA.



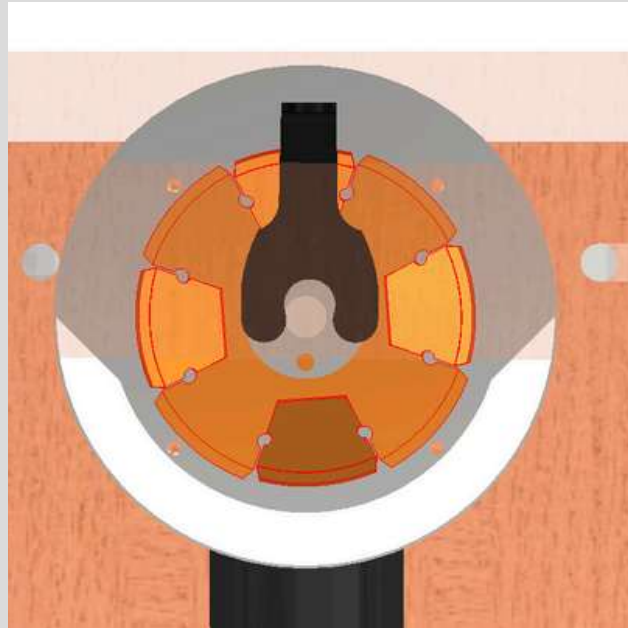
- ATORNILLE LA CÁMARA DE TRITURACIÓN POR MEDIO DE 4 TORNILLOS A LAS PLACAS DE MADERA PARA EVITAR CUALQUIER TIPO DE MOVIMIENTO.



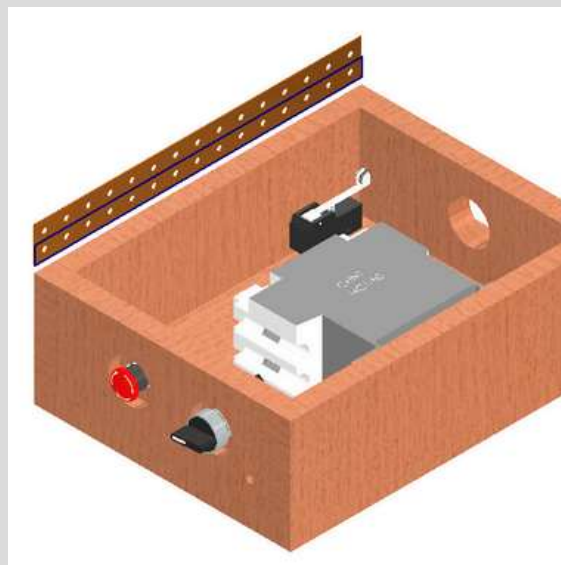
- INSTALACIÓN DEL DISCO DE CORTE, MONTE EL DISCO DE CORTE EN LA ESMERILADORA, ASEGURÁNDOSE DE QUE LOS DIENTES DEL DISCO ESTÉN ORIENTADOS CORRECTAMENTE.



- UTILICE LA LLAVE MODIFICADA PARA APRETAR EL DISCO FIRMEMENTE EN SU LUGAR.



- CONEXIÓN ELÉCTRICA



- CONECTE LOS CABLES SEGÚN EL DIAGRAMA ELÉCTRICO PROPORCIONADO EN EL MANUAL DE FABRICACIÓN.

- ASEGÚRESE DE QUE EL BOTÓN DE PARO DE EMERGENCIA Y EL SENSOR DE PUERTA ESTÉN CORRECTAMENTE INSTALADOS Y FUNCIONANDO.



8. OPERACIÓN DEL EQUIPO

- ASEGÚRESE DE QUE EL SELECTOR DE ENCENDIDO ESTÉ EN LA POSICIÓN DE APAGADO ANTES DE CUALQUIER OPERACIÓN.

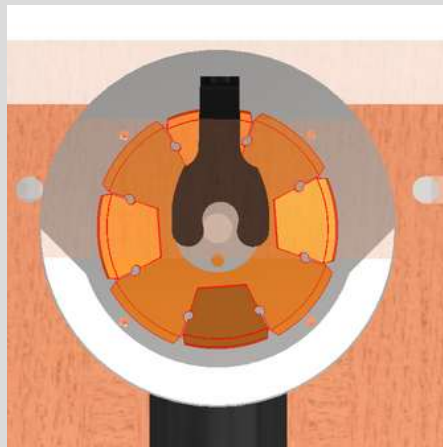


APAGADO



ENCENDIDO

- ASEGÚRESE DE QUE EL DISCO ESTÉ BIEN APRETADO ANTES DE INICIAR LA OPERACIÓN.



- Retire el seguro de la manivela y gírela para abrir la cámara de trituración.



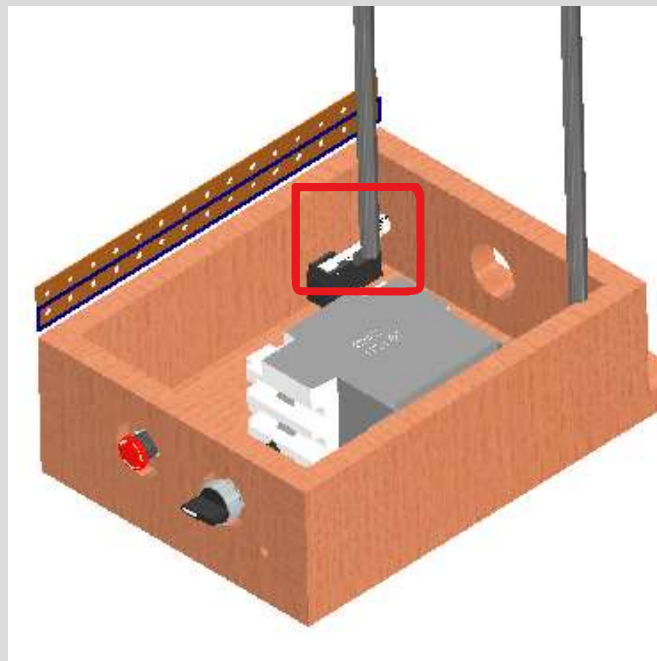
- Destape la cámara de trituración y coloque las tapaderas de polietileno en la cámara.



- Cierre la cámara de trituración y ajuste firmemente la tapa.



- Asegure la tapa de la cámara apretando la manivela hasta que escuche un "click", asegurándose de que esté bien cerrada.



- Conecte el equipo a la fuente de alimentación de la pared.



- Ponga el selector en posición de encendido para iniciar la operación.



- Monitoree el proceso de trituración, asegurándose de que no ocurra nada inusual.



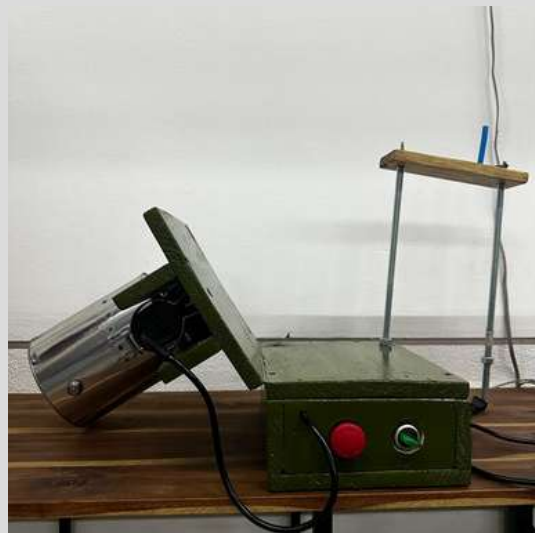
- Si observa alguna anomalía o emergencia, presione inmediatamente el botón de paro de emergencia.



- Al terminar el proceso de trituración, coloque el selector en posición de apagado y desconecte el equipo de la fuente de alimentación.



- Realice los mismos pasos para abrir la cámara de trituración y poder retirar el material deseado.



9.MANTENIMIENTO

- INSPECCIÓN VISUAL DEL DISCO DE LA ESMERILADORA ANGULAR:
 - FRECUENCIA: DESPUÉS DE CADA CICLO DE OPERACIÓN.
 - ACCIÓN: VERIFICA LA INTEGRIDAD FÍSICA DEL DISCO. REvisa que no haya rajaduras, grietas o golpes. Si el disco está dañado, reemplázalo inmediatamente para evitar accidentes o un mal rendimiento.
- LIMPIEZA DEL SISTEMA DE TRITURACIÓN:
 - FRECUENCIA: DESPUÉS DE CADA USO.
 - ACCIÓN: LIMPIA LA CÁMARA DE TRITURACIÓN PARA ELIMINAR RESIDUOS DE MATERIALES QUE PUEDAN AFECTAR EL SIGUIENTE CICLO. Asegúrate de que no haya acumulación de partículas que puedan obstruir el funcionamiento.
- VERIFICACIÓN DE LAS CONEXIONES ELÉCTRICAS:
 - FRECUENCIA: MENSUALMENTE O DESPUÉS DE LARGOS PERIODOS DE USO INTENSIVO.
 - ACCIÓN: REvisa las conexiones del contactor, microswitch y botón de emergencia. Asegúrate de que no haya cables flojos o conexiones deterioradas.
- REVISIÓN DE LOS TORNILLOS Y PERNOS:
 - FRECUENCIA: CADA USO
 - ACCIÓN: Asegúrate de que todos los tornillos, pernos y tuercas estén bien apretados. Reajusta si es necesario para evitar vibraciones o movimientos inusuales.

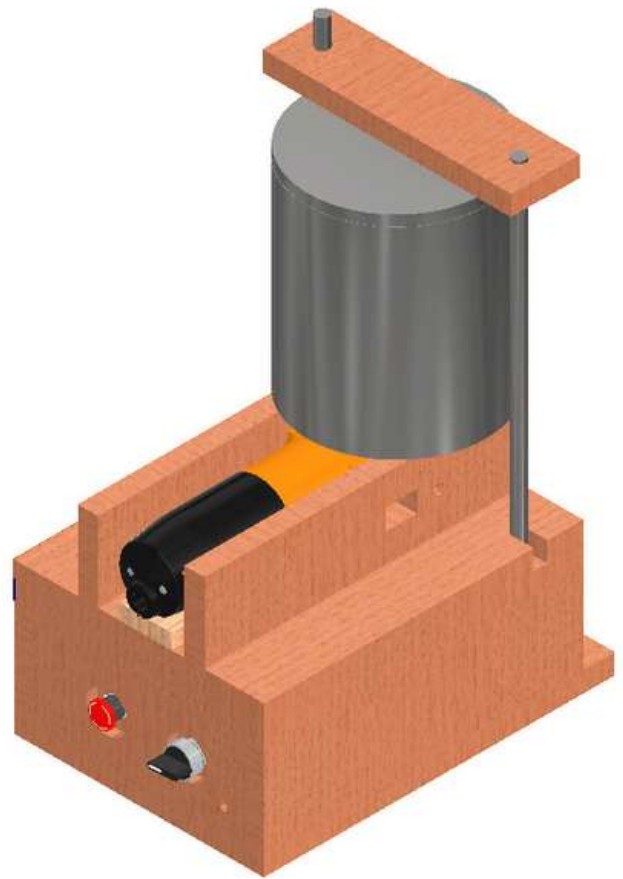
- VERIFICACIÓN DE LA BISAGRA TIPO PIANO:
 - FRECUENCIA: MENSUALMENTE.
 - ACCIÓN: REvisa que la bisagra tipo piano funcione correctamente y que no haya desalineación o desgaste.
- REEMPLAZO DEL DISCO DE LA ESMERILADORA:
 - FRECUENCIA: DEPENDIENDO DEL USO, PERO ES IMPORTANTE REEMPLAZARLO SI EL DISCO MUESTRA SIGNOS DE DESGASTE SIGNIFICATIVO O DAÑOS.
 - ACCIÓN: CAMBIA EL DISCO SI NOTAS QUE LA EFICIENCIA DE CORTE DISMINUYE O SI DETECTAS DAÑOS ESTRUCTURALES.
- REVISIÓN DEL SISTEMA DE SEGURIDAD:
 - FRECUENCIA: ANTES DE CADA USO.
 - ACCIÓN: VERIFICA QUE EL BOTÓN DE PARADA DE EMERGENCIA Y EL MICROSWITCH ESTÉN FUNCIONANDO CORRECTAMENTE PARA GARANTIZAR LA SEGURIDAD DEL OPERADOR.

MANUAL DE FABRICACIÓN

Trituradora de tapaderas de
polietileno

UNIVERSIDAD DEL VALLE
DE GUATEMALA

PREPARADO POR
José Pablo Ruiz Fajardo



ÍNDICE

ÍNDICE

MANUAL DE FABRICACIÓN	1
MATERIALES	3
HERRAMIENTAS.....	10
CREANDO COMPONENTES	15
ENSAMBLE	22

MATERIALES

- COMO PREPARACIÓN PARA FABRICAR UNA TRITURADORA, NECESITARÁS ADQUIRIR LOS SIGUIENTES MATERIALES:
- ESTRUCTURA DE MADERA 10 X 12 X 1 PULG. - 1 UNIDAD (Q107.00)



FIGURA 1: DIMENSIONES DE LA ESTRUCTURA DE MADERA PARA SOPORTE DE COMPONENTES.

- PEGAMENTO PARA MADERA 16 ONZAS - 1 UNIDAD (Q39.95)



FIGURA 2: EJEMPLO DE PEGAMENTO PARA FIJAR COMPONENTES DE MADERA EN LA ESTRUCTURA.

- **ESMERILADORA ANGULAR – 1 UNIDAD (Q430.00)**



FIGURA 3: HERRAMIENTA CLAVE PARA TRABAJAR EN EL DESBASTE Y CORTE DE MATERIALES.

- **DISCO SEGMENTADO DE 4 1/2 PULGADAS – 1 UNIDAD (Q55.00)**



FIGURA 4: DISCO PARA CORTAR MATERIALES EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE LA TRITURADORA.

- TORNILLOS M8 PARA ESMERILADORA DE 1 PULGADA - 4 UNIDADES (Q1.28 UNI)



FIGURA 5: TORNILLOS PARA ENSAMBLAR COMPONENTES DE LA ESMERILADORA EN LA ESTRUCTURA.

- TORNILLOS DE TABLAYESO DE 1 PULGADA DE LARGO - 20 UNIDADES (Q0.15 UNI)



FIGURA 6: TORNILLOS ADICIONALES PARA ASEGURAR COMPONENTES DE LA ESTRUCTURA DE LA TRITURADORA.

- CUBETA METÁLICA – 1 UNIDAD (Q62.50)

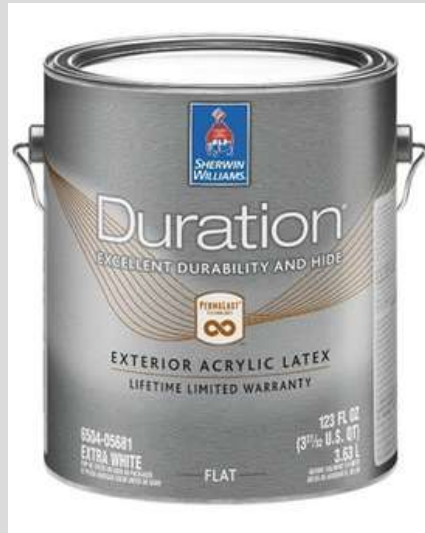


FIGURA 7: CONTENEDOR METÁLICO PARA RECOGER EL MATERIAL TRITURADO.

- CABLE 14AWG TSJ – 3 METROS (Q9.50 M)



FIGURA 8: CABLE ELÉCTRICO PARA LAS CONEXIONES DE ENERGÍA DE LA TRITURADORA.

- CONTACTOR NORMALMENTE CERRADO - 1 UNIDAD (Q236.00 UNI)



FIGURA 9: CONTACTOR PARA CONTROLAR EL FLUJO DE ENERGÍA HACIA EL MOTOR DE LA TRITURADORA.

- MICROSWITCH - 1 UNIDAD (Q55.25)



FIGURA 10: INTERRUPTOR PARA CONTROL DE SEGURIDAD EN EL MECANISMO DE LA TRITURADORA.

- **BOTÓN DE EMERGENCIA - 1 UNIDAD (Q55.25)**



FIGURA 11: BOTÓN PARA DETENER RÁPIDAMENTE LA TRITURADORA EN CASO DE EMERGENCIA.

- **SELECTOR - 1 UNIDAD (Q83.00)**



FIGURA 12: DISPOSITIVO PARA CAMBIAR ENTRE DIFERENTES MODOS DE OPERACIÓN DE LA TRITURADORA.

- **VARILLA ROSCADA DE 1/2 PULGADA - 1 UNIDAD (Q26.5)**

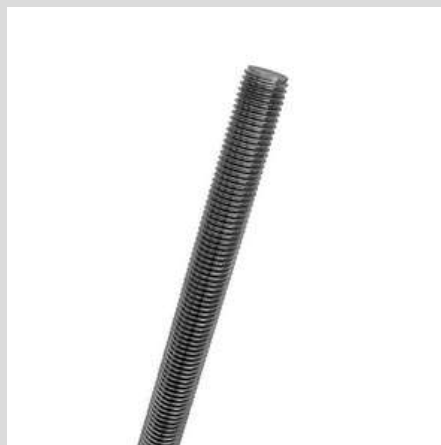


FIGURA 13: VARILLA PARA SUJETAR PIEZAS CRÍTICAS DEL ENSAMBLAJE DE LA TRITURADORA.

- **BISAGRA TIPO PIANO - 1 UNIDAD (Q30.40 UNI)**



FIGURA 14: BISAGRA PARA LA APERTURA Y CIERRE DE TAPAS DE MANTENIMIENTO O ACCESO.

- **TUERCA MARIPOSA DE ACERO ZINC - 2 UNIDAD (Q0.52 UNI)**



FIGURA 15: TUERCA TIPO MARIPOSA.

CON ESTA LISTA, TENDRÁS LOS MATERIALES NECESARIOS PARA LA CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE TU TRITURADORA, ASEGURANDO QUE ESTÉ BIEN ENSAMBLADA Y SEGURA PARA SU OPERACIÓN.

HERRAMIENTAS

COMO PREPARACIÓN PARA LA FABRICACIÓN DE LA TRITURADORA, NECESITARÁS LAS SIGUIENTES HERRAMIENTAS:

- DESARMADOR DE ESTRELLA (PHILLIPS) - 1 UNIDAD



FIGURA 1: HERRAMIENTA MANUAL PARA APRETAR Y AJUSTAR TORNILLOS.

- SIERRA DE MANO - 1 UNIDAD



FIGURA 2: HERRAMIENTA PARA CORTAR MADERA Y OTROS MATERIALES NECESARIOS EN LA ESTRUCTURA.

- **SOLDADORA - 1 UNIDAD**



FIGURA 3: HERRAMIENTA PARA REALIZAR SOLDADURAS EN LAS UNIONES METÁLICAS.

- **LIJADORA ORBITAL - 1 UNIDAD**



FIGURA 4: PARA LIJAR Y PULIR SUPERFICIES DE MADERA O METAL, DEJANDO UN ACABADO SUAVE.

-

BROCHA - 1 UNIDAD



FIGURA 5: HERRAMIENTA PARA APLICAR PEGAMENTO O PINTURA EN LAS SUPERFICIES DE LA ESTRUCTURA.

-

LLAVE AJUSTABLE (O SET DE LLAVES) - 1 UNIDAD



FIGURA 6: PARA AJUSTAR TUERCAS Y TORNILLOS EN LAS PIEZAS METÁLICAS DE LA TRITURADORA.

- **TALADRO ELÉCTRICO - 1 UNIDAD**



FIGURA 7: HERRAMIENTA PARA PERFORAR AGUJEROS EN LAS PIEZAS DE MADERA O METAL.

- **CINTA MÉTRICA - 1 UNIDAD**



FIGURA 8: PARA MEDIR CON PRECISIÓN LAS DIMENSIONES DE LOS MATERIALES ANTES DEL CORTE Y ENSAMBLAJE.

-

NIVEL DE BURBUJA - 1 UNIDAD

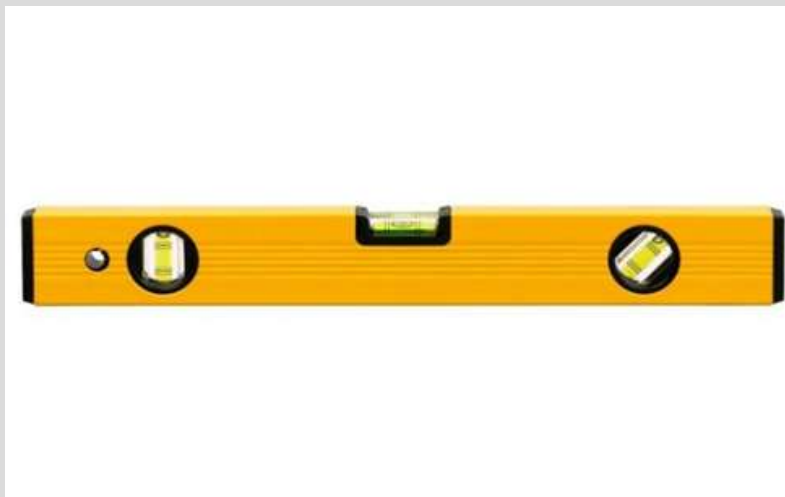
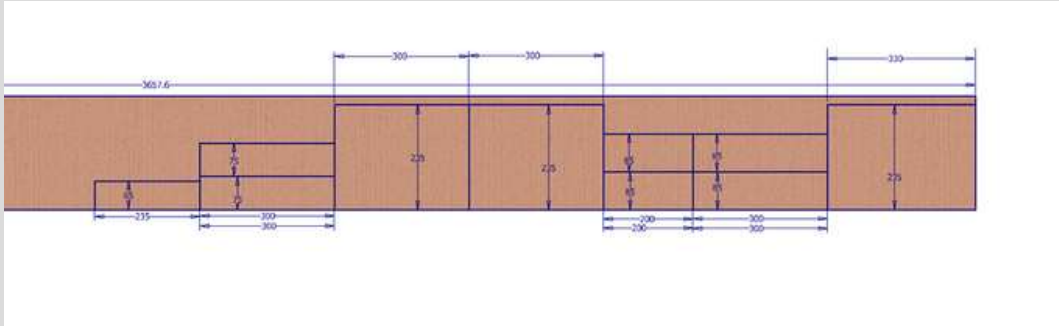


FIGURA 9: PARA ASEGURARSE DE QUE LA ESTRUCTURA ESTÉ NIVELADA Y ALINEADA CORRECTAMENTE.

CON ESTAS HERRAMIENTAS, ESTARÁS BIEN PREPARADO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE TU TRITURADORA, ASEGURANDO UN ENSAMBLAJE PRECISO Y UN ACABADO ADECUADO.

CREANDO COMPONENTES

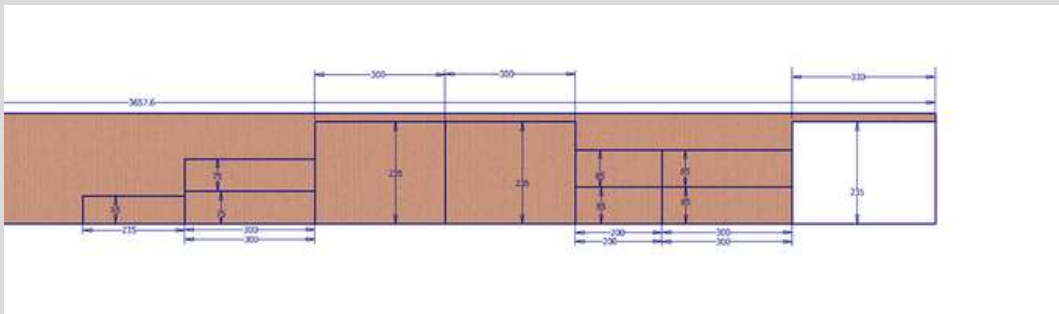
1. SE SUJETA LA TABLA DE 1 X 10 X 12 CON ABRAZADERAS O SARGENTOS EN UNA SUPERFICIE DE TRABAJO ESTABLE, Y SE PROCEDE A REALIZAR EL ESQUEMA DE LAS PIEZAS A CORTAR.



- CORTE DE LA BASE INFERIOR:

A. NOMBRE DE LA PIEZA: BASE INFERIOR (1 PIEZA)

MEDIDAS: 330 MM X 235 MM

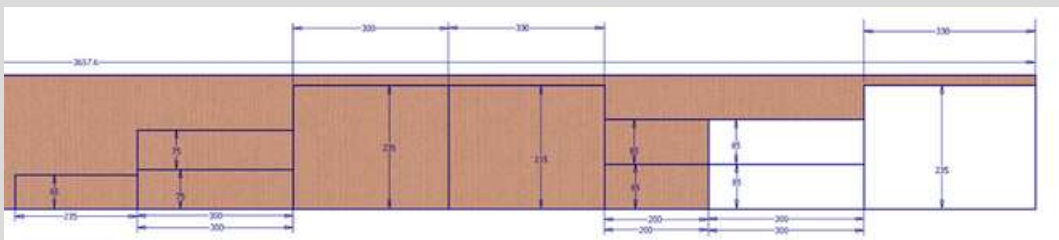


ESTA PIEZA CONFORMA LA BASE DE LA TRITURADORA

- CORTE DE LOS SOPORTES LATERALES:

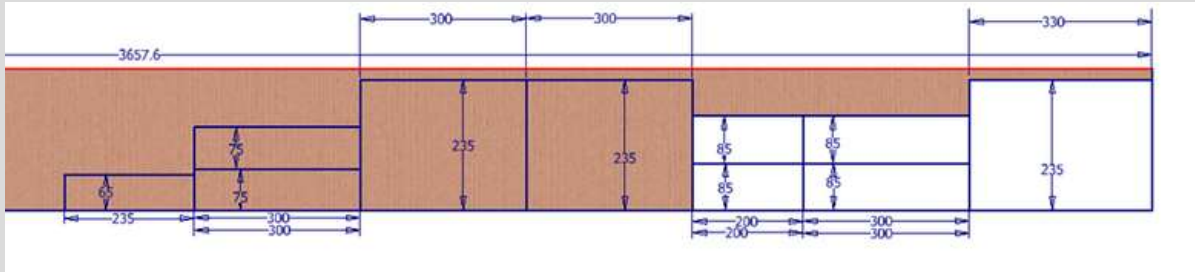
A. NOMBRE DE LA PIEZA: SOPORTES LATERALES DE LA CAJA ELÉCTRICA (2 PIEZAS)

MEDIDAS: 300 MM X 85 MM



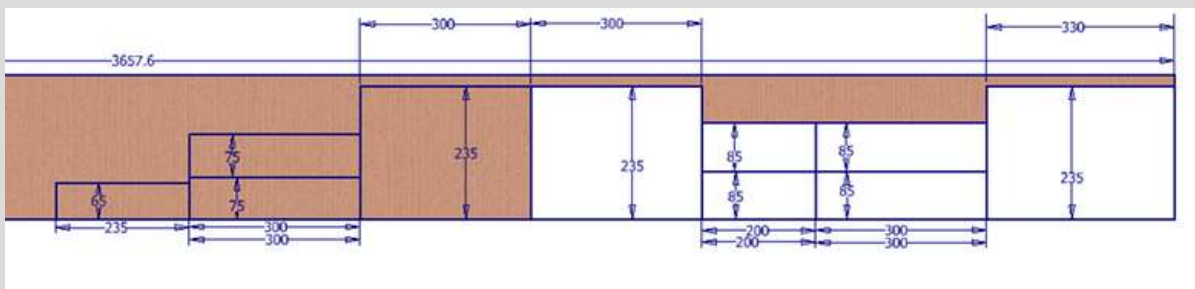
ESTOS SOPORTES PROPORCIONAN ESTABILIDAD VERTICAL PARA EL MONTAJE DE LA CÁMARA DE TRITURACIÓN Y LA ESMERILADORA.

- CORTE DE LOS SOPORTES FRONTAL Y TRASERO:
A. NOMBRE DE LA PIEZA: SOPORTE FRONTAL Y TRASERO (1 PIEZA)
MEDIDAS: 200 MM X 85 MM



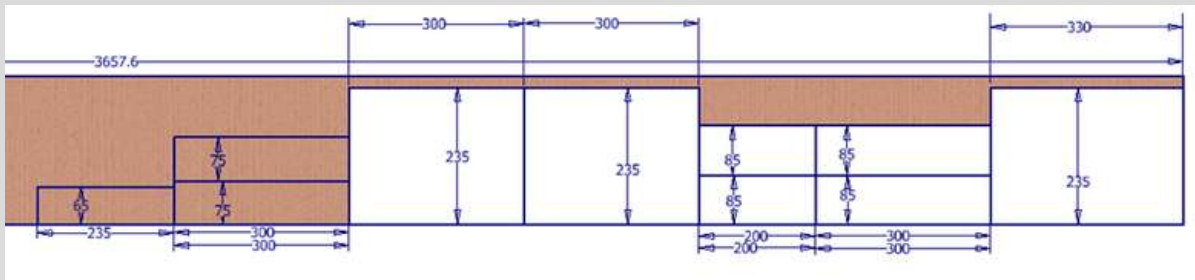
ESTA PIEZA LARGA SE UTILIZARÁ COMO LA CUBIERTA SUPERIOR DE LA TRITURADORA, DONDE ESTARÁ EL CILINDRO METÁLICO.

- CORTE DE LA TAPADERA DE LA CAJA ELÉCTRICA
A. NOMBRE DE LA PIEZA: TAPADERA CAJA ELÉCTRICA (1 PIEZAS)
MEDIDAS: 300 MM X 235 MM



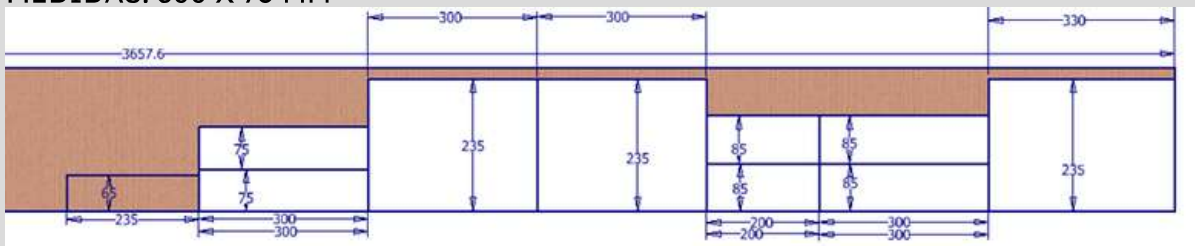
ESTOS REFUERZOS DIAGONALES ASEGURARÁN LA ESTABILIDAD DE LOS SOPORTES VERTICALES.

- CORTE DE LA PLACA BASE DE LA TRITURADORA:
A. NOMBRE DE LA PIEZA: PLACA BASE DE TRITURADORA (1 PIEZA)
MEDIDAS: 300 MM X 235 MM



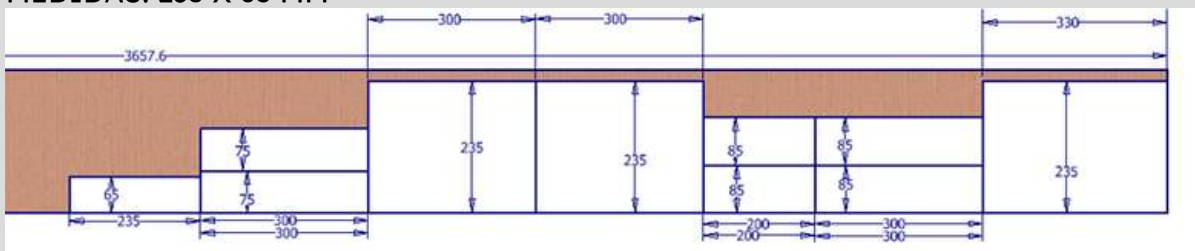
ESTA PIEZA SERÁ COLOCADA EN LA PARTE FRONTAL DE LA BASE DE LA TRITURADORA. TAMBIÉN SERVIRÁ PARA COLOCAR LOS BOTONES Y EL SELECTOR DE CONTROL.

- CORTE DE LOS SOPORTES ESMERILADORA:
A. NOMBRE DE LA PIEZA: SOPORTES ESMERILADORA (2 PIEZAS)
MEDIDAS: 300 X 75 MM



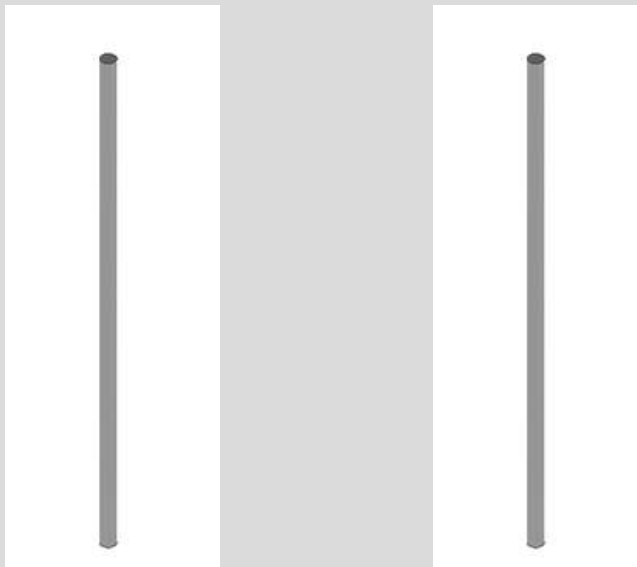
ESTAS PIEZAS MÁS PEQUEÑAS VAN EN LA PARTE MEDIA DE LA ESTRUCTURA, PROPORCIONANDO SOPORTE ADICIONAL PARA LA ESMERILADORA.

- CORTE DE LA PARTE SUPERIOR PARA CÁMARA DE TRITURACIÓN
A. NOMBRE DE LA PIEZA: PARTE SUPERIOR PARA CÁMARA DE TRITURACIÓN (1 PIEZA)
MEDIDAS: 235 X 65 MM



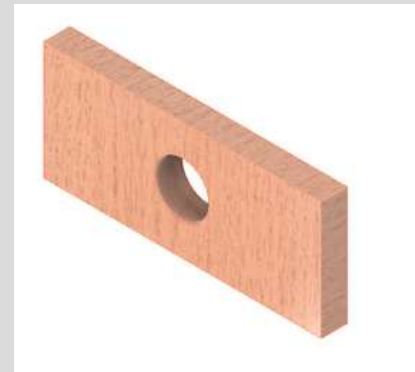
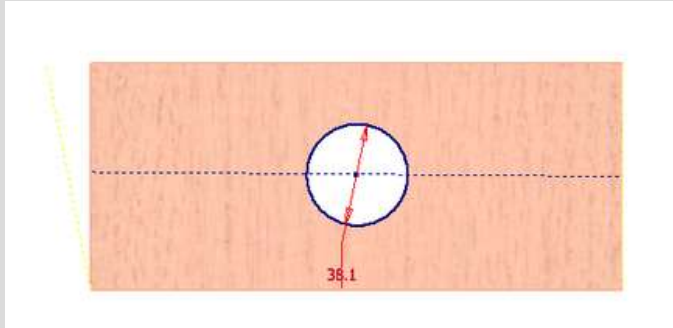
ESTE CORTE CONECTA LA PARTE SUPERIOR TRASERA DE LA TRITURADORA, ESTABILIZANDO LA ESTRUCTURA GENERAL.

- CORTE DE LA VARILLA ROSCADA:
NOMBRE DE LA PIEZA: VARILLA ROSCADA (2 PIEZAS)
MEDIDAS: 430 MM (43 CM) CADA UNA



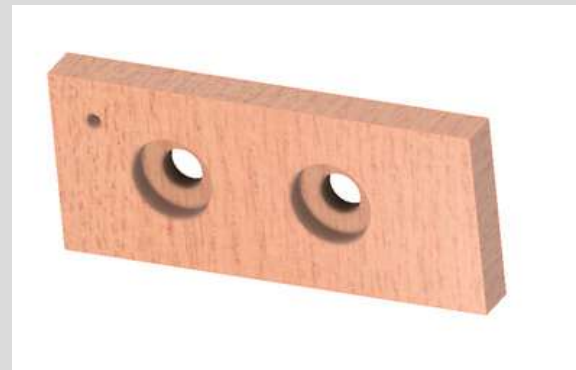
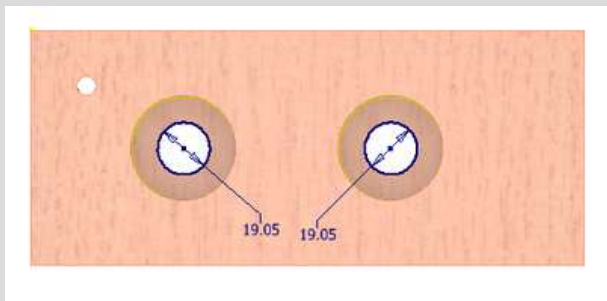
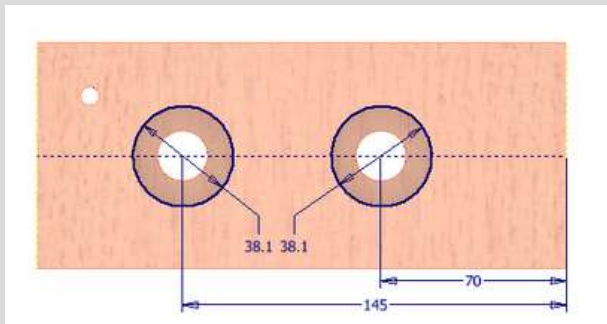
LA VARILLA ROSCADA SE DIVIDIRÁ EN DOS PIEZAS DE 43 CM CADA UNA. ESTAS SE UTILIZARÁN PARA SUJETAR EL CILINDRO DE TRITURACIÓN EN SU LUGAR.

- AGUJEROS EN LA TAPADERA FRONTAL Y TRASERA DE LA CAJA ELÉCTRICA
- TAPADERA TRASERA:



Dimensiones utilizadas

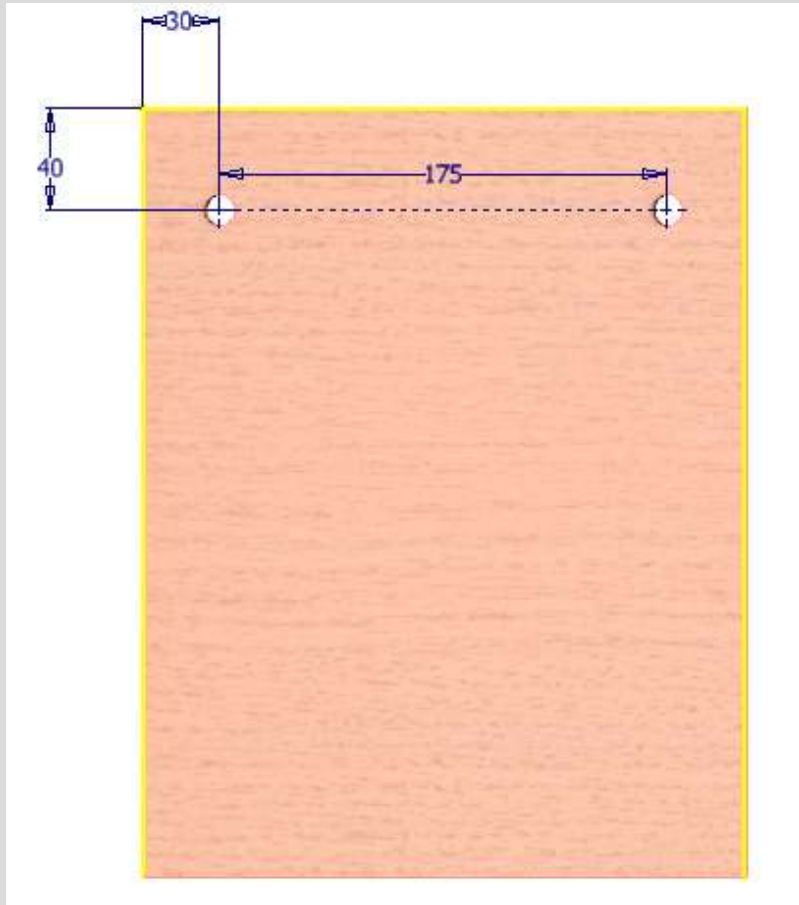
- AGUJERO DE 38.1 MM (1.5 PULGADAS) DE DIÁMETRO COMPLETAMENTE PASADO.
- TAPADERA FRONTAL:



Dimensiones utilizadas

- DOS AGUJEROS DE 38.1 MM (1.5 PULGADAS) CON UNA PROFUNDIDAD DE 8 MM.
- LUEGO, REDUCIR EL DIÁMETRO A 19.05 MM (0.75 PULGADAS) CON PROFUNDIDAD COMPLETA PARA EL PASO DE LOS BOTONES DE CONTROL.
- UN AGUJERO ADICIONAL DE 20 MM (0.79 PULGADAS) PARA EL PASO DEL CABLE.

- AGUJEROS EN LA TAPADERA DE LA CAJA ELÉCTRICA
- CORTE DE LA TAPADERA DE LA CAJA ELÉCTRICA:



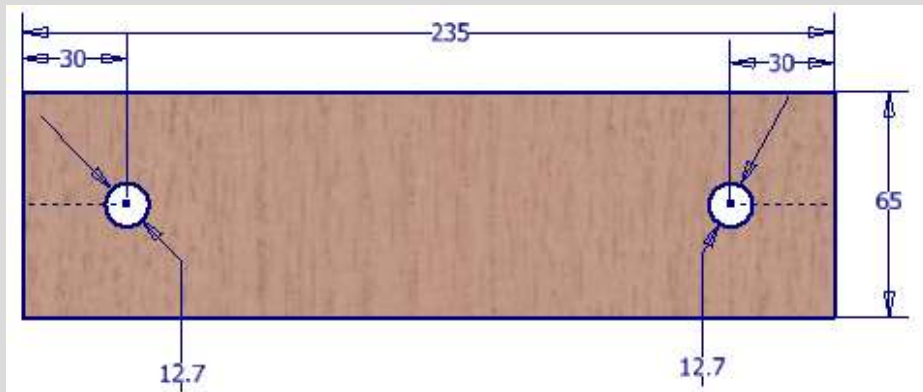
NOMBRE DE LA PIEZA: TAPADERA DE LA CAJA ELÉCTRICA

CANTIDAD: 1 PIEZA

MEDIDAS: 300 MM X 235 MM

- REALIZAR DOS AGUJEROS DE 1/2 PULGADA (12.7 MM) DE DIÁMETRO A 40 MM DE ALTO Y 30 MM DE ANCHO DE SEPARACIÓN DESDE LOS BORDES.
- FUNCIÓN: ESTOS AGUJEROS SE UTILIZAN PARA LAS CONEXIONES DE LOS COMPONENTES ELÉCTRICOS Y LA VENTILACIÓN.

- AGUJEROS EN LA PARTE SUPERIOR PARA LA CÁMARA DE TRITURACIÓN
CORTE DE LA PARTE SUPERIOR PARA CÁMARA DE TRITURACIÓN:



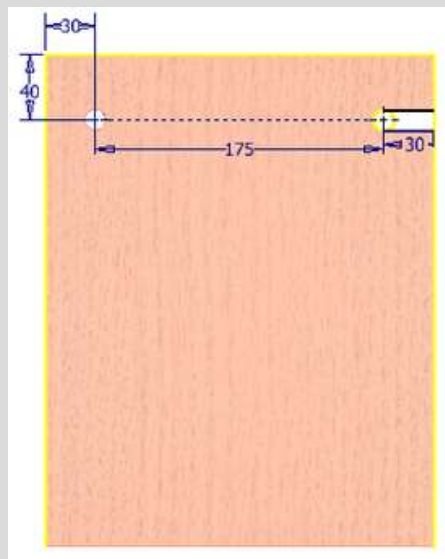
NOMBRE DE LA PIEZA: PARTE SUPERIOR PARA CÁMARA DE TRITURACIÓN

CANTIDAD: 1 PIEZA

MEDIDAS: 235 MM X 65 MM

- REALIZAR DOS AGUJEROS DE 1/2 PULGADA (12.7 MM) DE DIÁMETRO A 25 MM DESDE LAS PAREDES LATERALES Y COLOCADOS A LA MITAD DEL ALTO DE LA PIEZA.

- AGUJEROS EN LA PLACA BASE DE LA ESMERILADORA
CORTE DE LA PLACA BASE DE LA ESMERILADORA:



NOMBRE DE LA PIEZA: PLACA BASE DE LA ESMERILADORA

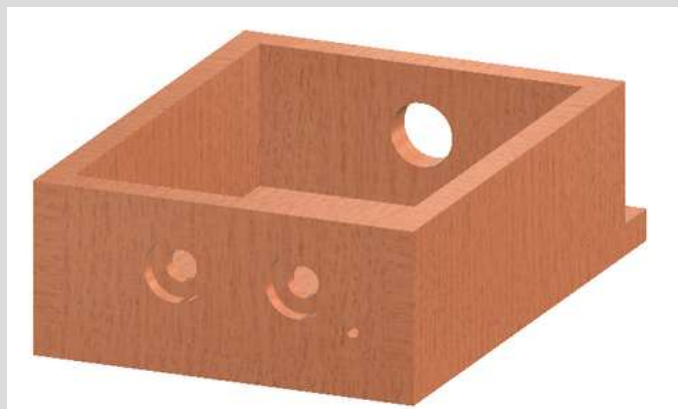
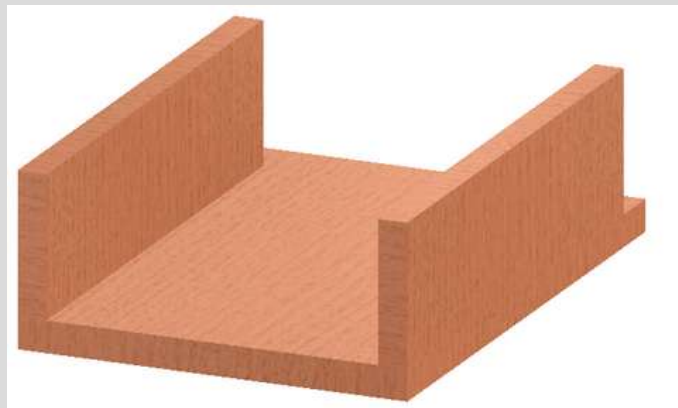
CANTIDAD: 1 PIEZA

- REALIZAR DOS AGUJEROS DE 1/2 PULGADA (12.7 MM) CON LAS MISMAS ESPECIFICACIONES QUE EN LA TAPADERA.
- AGUJERO DERECHO: REALIZAR UN BOCADO CON EL MISMO DIÁMETRO PARA PERMITIR QUE LA BISAGRA FUNCIONE CORRECTAMENTE.

INSTRUCCIONES DE ENSAMBLAJE DE LA TRITURADORA

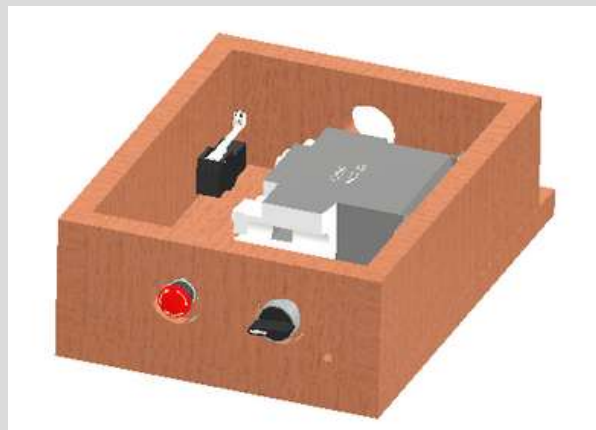
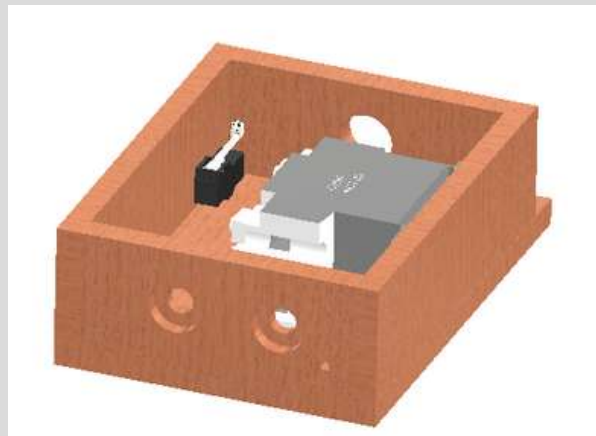
1. MONTAJE DE LA PLACA BASE Y PAREDES LATERALES

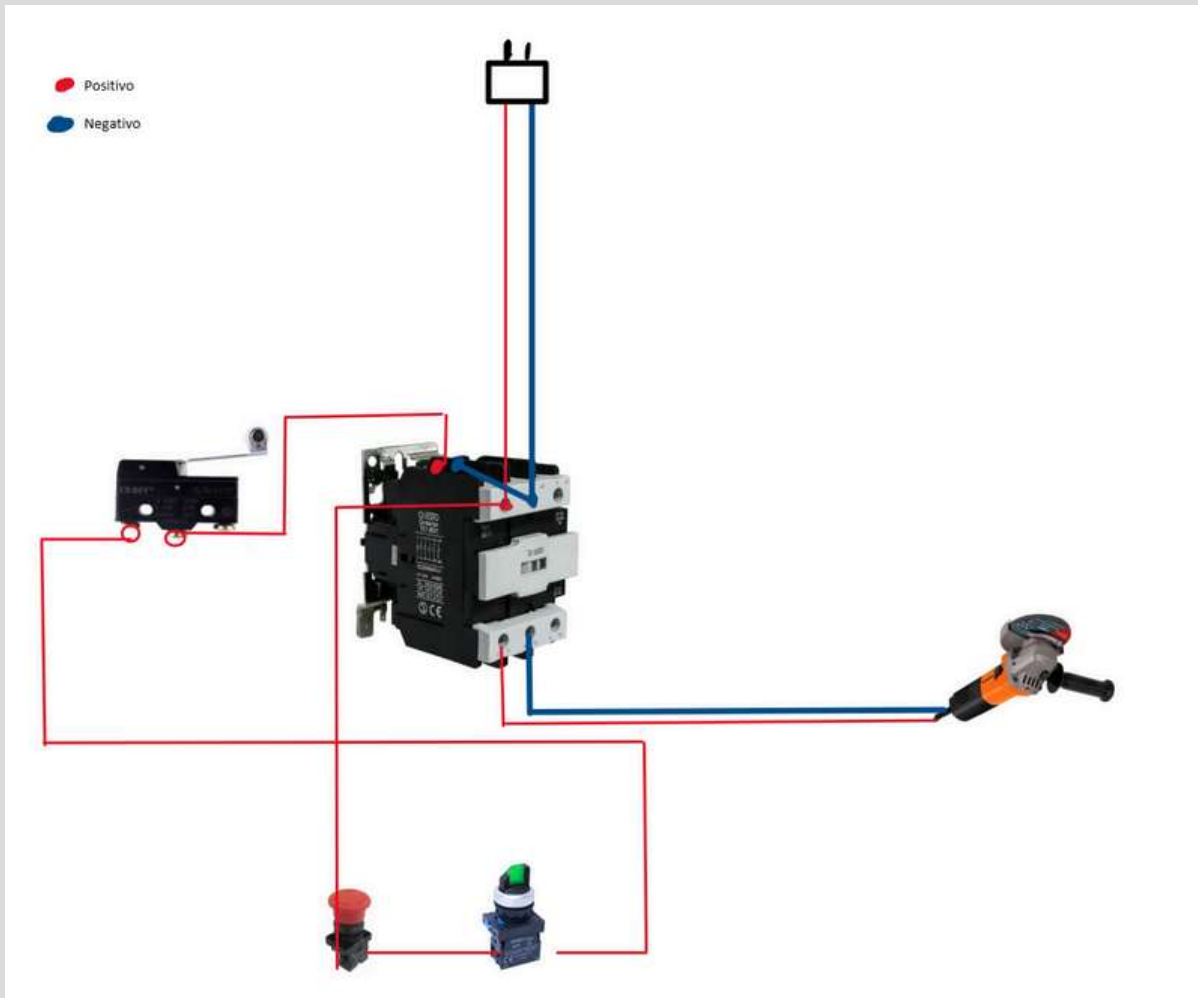
- COLOCA LA PLACA BASE (330 MM X 235 MM) EN UNA SUPERFICIE ESTABLE.
- ENSAMBLA LAS PAREDES LATERALES DE LA CAJA ELÉCTRICA (300 MM X 85 MM) A LA PLACA BASE USANDO TORNILLOS DE FIJACIÓN. ASEGÚRATE DE QUE ESTÉN BIEN ALINEADAS Y FIRMES.
- A CONTINUACIÓN, MONTA LAS TAPADERAS FRONTAL Y TRASERA DE LA CAJA ELÉCTRICA (200 MM X 85 MM) ASEGURÁNDOSE DE QUE LOS AGUJEROS PARA LOS BOTONES Y CABLES YA ESTÉN PERFORADOS.



2. INSTALACIÓN DEL CONTACTOR, MICROSWITCH Y BOTÓN DE EMERGENCIA

- DENTRO DE LA CAJA ELÉCTRICA, INSTALA EL CONTACTOR EN LA PARTE CENTRAL DE LA PARED TRASERA.
- COLOCA EL MICROSWITCH JUNTO AL CONTACTOR Y ASEGÚRATE DE QUE ESTÁ BIEN SUJETO.
- EN LA PARED FRONTAL, INSTALA EL BOTÓN DE EMERGENCIA EN UNO DE LOS AGUJEROS PERFORADOS. EL OTRO AGUJERO SERÁ PARA EL SELECTOR DE ENCENDIDO Y APAGADO.
- REALIZA LAS CONEXIONES ELÉCTRICAS:
 - CORTA EL CABLE DE LA ESMERILADORA EN DOS TROZOS.
 - UN EXTREMO VA A ALIMENTAR LA BOBINA DEL CONTACTOR.
 - CUANDO SE ENERGICE LA BOBINA, ALIMENTARÁ EL TERMINAL L1.
 - DE L1, LLEVA LA CORRIENTE HACIA EL BOTON DE EMERGENCIA, SELECTOR, Y LUEGO PASA POR EL MICROSWITCH PARA EVITAR EL FUNCIONAMIENTO SI ESTÁ ABIERTO.
 - EL NEUTRO (CABLE DE RETORNO) DEBE IR A A2 EN LA BOBINA.





ESQUEMA ELÉCTRICO

3. COLOCACIÓN DE LA TAPADERA DE LA CAJA ELÉCTRICA

- UNA VEZ QUE TODOS LOS COMPONENTES ELÉCTRICOS ESTÉN INSTALADOS Y CONECTADOS CORRECTAMENTE, COLOCA LA TAPADERA DE LA CAJA ELÉCTRICA (300 MM X 235 MM).
- FIJA LA TAPADERA CON TORNILLOS EN LAS PAREDES LATERALES, FRONTAL Y TRASERA.



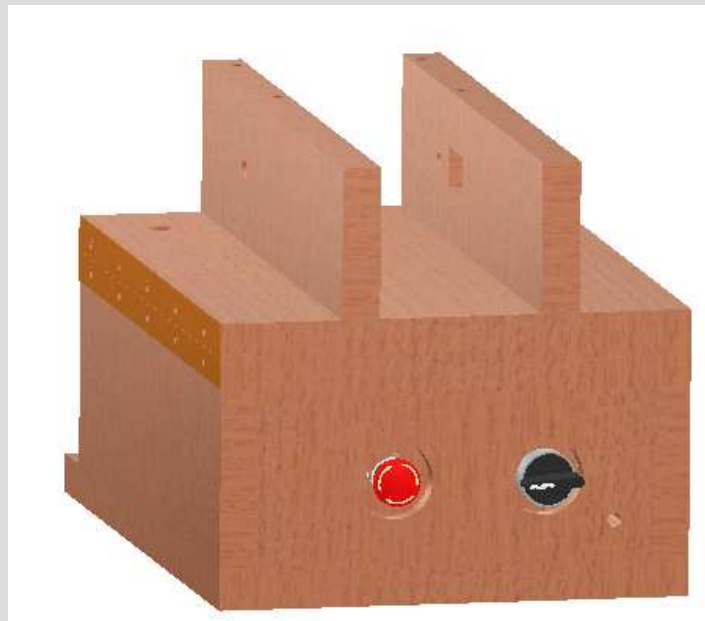
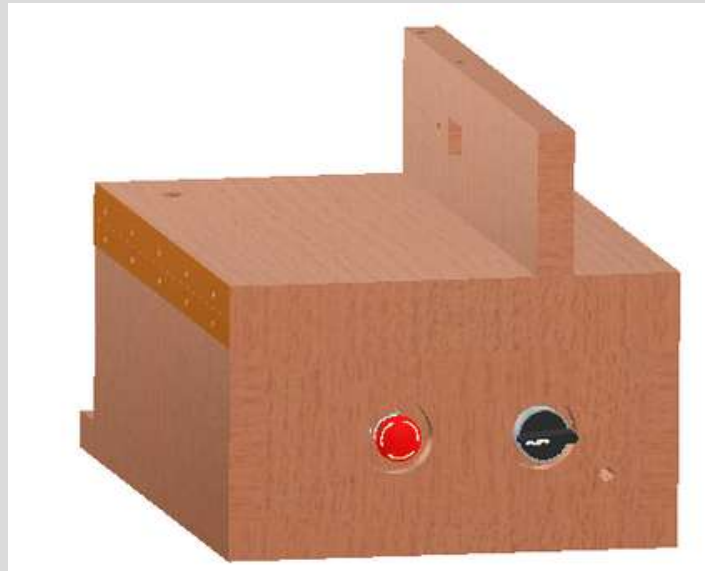
4. INSTALACIÓN DE LA BISAGRA TIPO PIANO

- EN EL LADO IZQUIERDO DE LA PLACA BASE DE LA TRITURADORA, INSTALA LA BISAGRA TIPO PIANO CON 5 TORNILLOS EN LA PLACA BASE Y 5 TORNILLOS EN LA TAPADERA DE LA CAJA ELÉCTRICA. ESTO PERMITIRÁ UN FÁCIL ACCESO A LA CAJA ELÉCTRICA PARA FUTURAS REVISIONES O REPARACIONES.



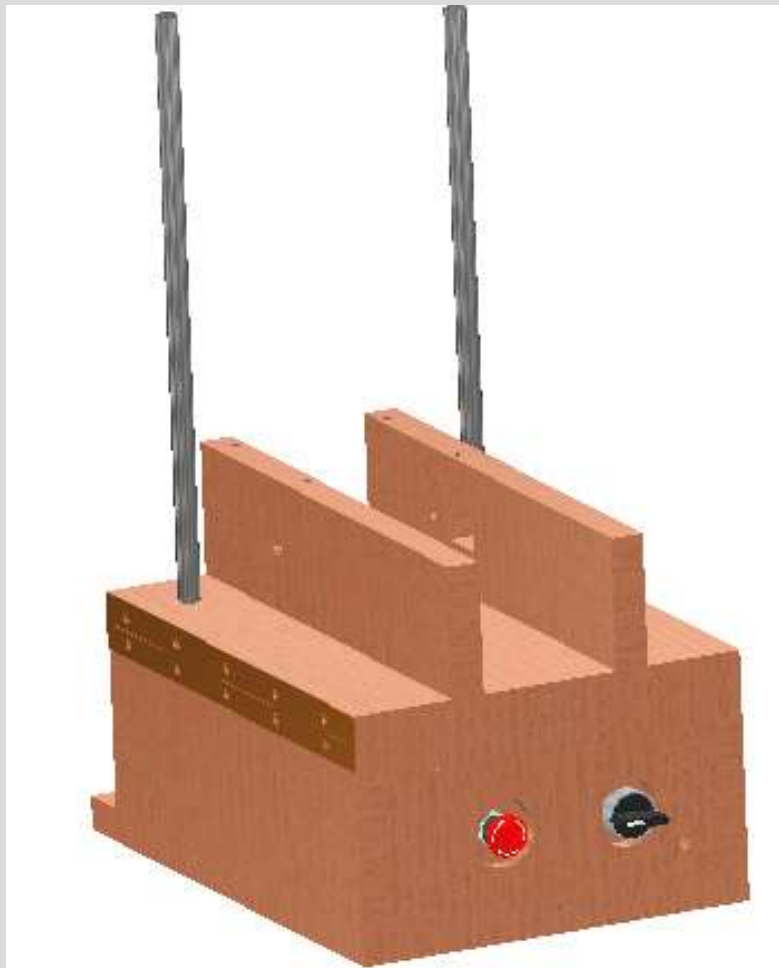
5. MONTAJE DE LOS SOPORTES LATERALES DE LA TRITURADORA

- FIJA LOS SOPORTES LATERALES DE LA TRITURADORA (300 MM X 75 MM) SOBRE LA PLACA BASE DE LA TRITURADORA. ASEGÚRATE DE QUE LOS SOPORTES ESTÉN ALINEADOS PARA QUE LA CÁMARA DE TRITURACIÓN PUEDA AJUSTARSE CORRECTAMENTE.



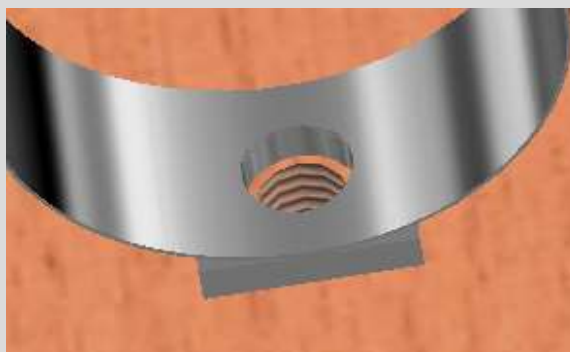
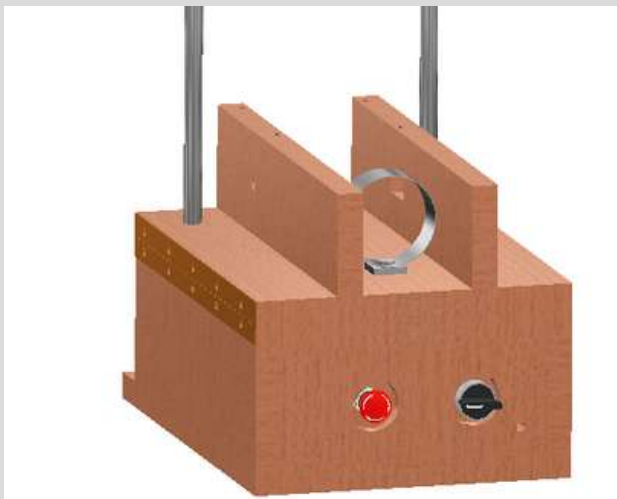
6. FIJACIÓN DE LA TUERCA DE SUJECIÓN Y MONTAJE DE LA VARILLA ROSCADA

- COLOCA LA TUERCA DE SUJECIÓN EN LA PARTE INFERIOR DE LA TAPADERA DE LA CAJA ELÉCTRICA PARA ASEGURAR LA ESTRUCTURA.
- LUEGO, INSERTA AMBAS VARILLAS ROSCADAS (40 CM CADA UNA) POR LOS AGUJEROS CORRESPONDIENTES EN LA ESTRUCTURA.
- MONTA LA PARTE SUPERIOR PARA LA CÁMARA DE TRITURACIÓN (235 MM X 65 MM), ASEGURÁNDOTE DE QUE LAS VARILLAS ESTÉN BIEN AJUSTADAS Y FIJAS.



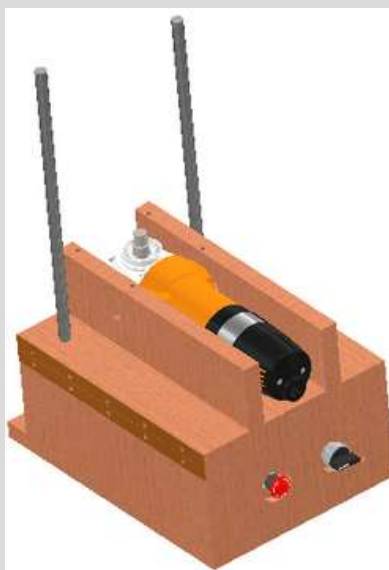
7. INSTALACIÓN DE LA ABRAZADERA (HANGER)

- EN LA PLACA BASE DE LA ESMERILADORA, INSTALA UNA ABRAZADERA HANGER DE 2 PULGADAS. ESTA DEBE SUJETARSE CON UN PERNO Y SU RESPECTIVA TUERCA A 55 MM DE LA CARA FRONTAL.
- LA ABRAZADERA ASEGURARÁ QUE LA ESMERILADORA SE MANTENGA EN SU LUGAR DURANTE LA OPERACIÓN.



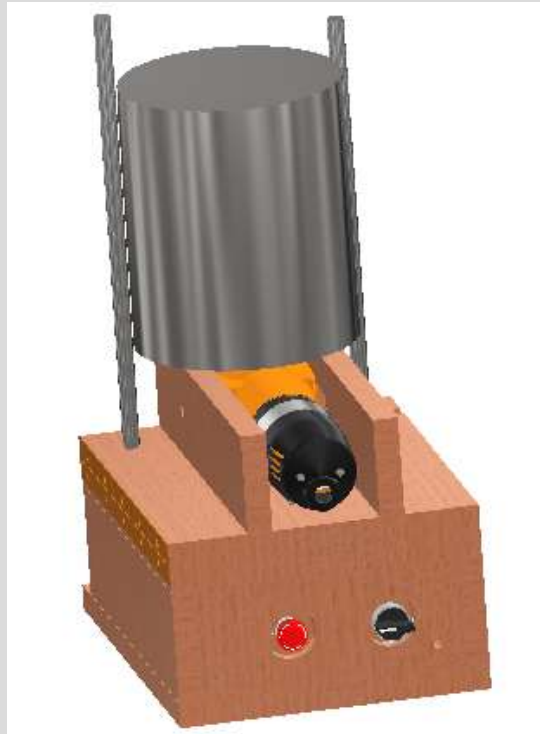
8. INSTALACIÓN DE LA ESMERILADORA

- ANTES DE MONTAR LA CÁMARA DE TRITURACIÓN, FIJA LA ESMERILADORA EN SU LUGAR.
- USA 2 PERNOS M8 EN DIAGONAL PARA ANCLAR LA ESMERILADORA A LOS SOPORTES LATERALES DE LA TRITURADORA.



9. INSTALACIÓN CÁMARA DE TRITURACIÓN

- Centrar la cámara de trituración con la esmeriladora angular.
- Usa 4 tornillos para anclar la cámara de trituración a las placas laterales de la esmeriladora.



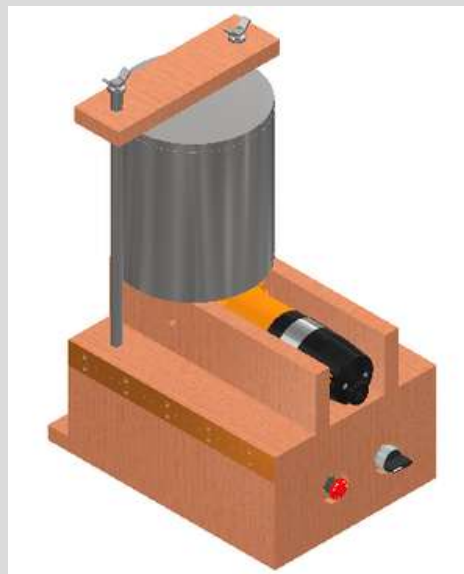
10. INSTALACIÓN DE TOPE PARA LA CÁMARA DE TRITURACIÓN

- Alinear los agujeros del soporte de la cámara de trituración con las varillas roscadas para alinear.



11. INSTALACIÓN DE ARANDELAS PARA VARILLAS ROSCADAS

- POR MEDIO DE SOLDADURA SE COLOCAN EN LAS VARILLAS ROSCADAS DE FORMA QUE SE VUELVAN UN TORNILLO GIGANTE.



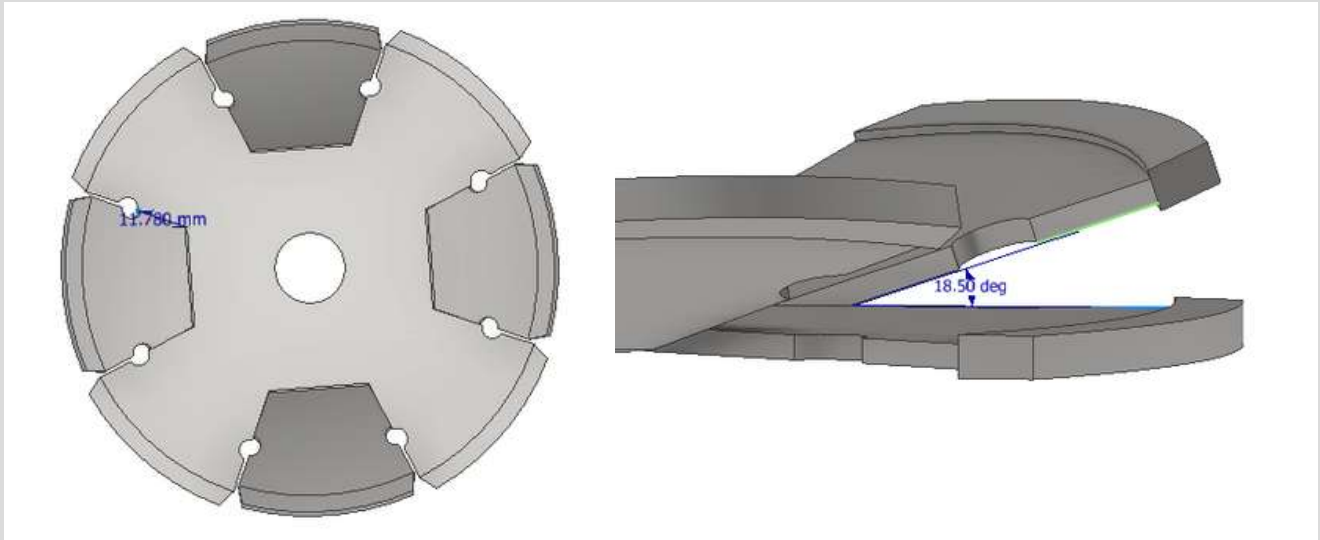
12. INSTALACIÓN DE ARANDELAS PARA VARILLAS ROSCADAS

- POR MEDIO DE SOLDADURA SE COLOCAN EN LAS VARILLAS ROSCADAS DE FORMA QUE SE VUELVAN UN TORNILLO GIGANTE.



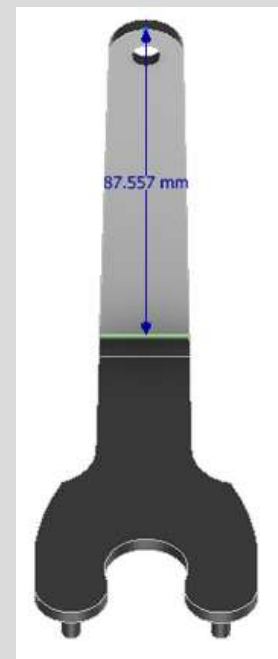
13. MODIFICACIÓN DEL DISCO DE CORTE

- POR MEDIO DE UNA PULIDORA O SIERRA DE MANO SE LE REALIZA AL DISCO UN CORTE ENTRE SEGMENTOS DE 11mm
- CON AYUDA DE UNA PRENSA DE BANCO SUJETAR DEL DIENTE QUE SE DESEA DOBLAR Y REALIZAR FUERZA HASTA QUE TENGA UN ANGULO DE 18.5 GRADOS.



13. MODIFICACIÓN DE LLAVE DE SEGURIDAD

- CON AYUDA DE UNA PRENSA DE BANCO SUJETAR DEL DIENTE A 87MM DEL AGARRADOR Y REALIZAR FUERZA HASTA QUE TENGA UN ANGULO DE 90 GRADOS.



14. VERIFICACIÓN FINAL

- ASEGÚRATE DE QUE TODOS LOS COMPONENTES ELÉCTRICOS ESTÁN CONECTADOS CORRECTAMENTE Y FUNCIONAN.
 - COMPRUEBA QUE LA BISAGRA FUNCIONE SIN PROBLEMAS.
 - ASEGÚRATE DE QUE LAS VARILLAS ROSCADAS Y LA CÁMARA DE TRITURACIÓN ESTÉN BIEN AJUSTADAS Y SEGURAS.
 - ASEGÚRATE DE QUE EL DISCO SE ENCUENTRE CORRECTAMENTE APRETADO.
 - ASEGURATE QUE LOS PERNOS SUJETADORES DE LA ESMERILADORA SE ENCUENTREN CORRECTAMENTE AJUSTADOS.
- SE RECOMIENDA REALIZAR REVISIONES PERIÓDICAS DEL DISCO DE CORTE ANTES DE CADA CICLO DE OPERACIÓN, ASEGURANDO QUE NO PRESENTE DAÑOS, GRIETAS O DESGASTE EXCESIVO. EL BUEN ESTADO DEL DISCO ES FUNDAMENTAL PARA EVITAR FALLAS MECÁNICAS Y GARANTIZAR UN RENDIMIENTO ÓPTIMO DE LA MÁQUINA, ADEMÁS DE ASEGURAR LA SEGURIDAD DEL OPERADOR.