

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Diseño de sistema de transmisión de potencia para trituradora
de plástico de alta densidad**

Trabajo de graduación presentado por Juan Luis Herrera Ramírez para
optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica
Industrial

Guatemala
2023

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Diseño de sistema de transmisión de potencia para trituradora
de plástico de alta densidad**

Trabajo de graduación presentado por Juan Luis Herrera Ramírez para
optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica
Industrial

Guatemala
2023

Vo.Bo.:



(f)

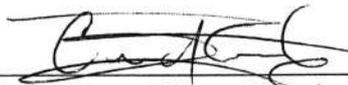
Ingeniero Rony José Herrarte Estevez

Tribunal Examinador:



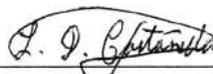
(f)

Ingeniero Rony José Herrarte Estevez



(f)

Ingeniero César Alberto Rosales Gómez



(f)

Ingeniero Luis Diego Castañeda Fernández

Fecha de aprobación: Guatemala, 5 de diciembre de 2023.

Lista de figuras	X
Lista de cuadros	XII
Resumen	XIII
1. Introducción	1
2. Antecedentes	3
3. Justificación	7
4. Objetivos	9
4.1. Objetivo general	9
4.2. Objetivos específicos	9
5. Marco teórico	11
5.1. Ingeniería de sistemas	11
5.1.1. Fases de la ingeniería de sistemas	11
5.2. Sistema de transmisión de potencia en trituradoras	12
5.2.1. Trituradora de quijada	12
5.2.2. Trituradoras cónicas	13
5.2.3. Trituradoras de rodillos o discos	14
5.2.4. Trituradoras de martillo	15
5.2.5. Trituradoras de corte por cuchillas	16
5.3. Motor diésel	18
5.3.1. Ventajas de un motor diésel	18
5.3.2. Desventajas del motor diésel	20
5.4. Mantenimiento del motor diésel	21
5.4.1. Lubricación.	22
5.4.2. Filtro de aceite	22
5.4.3. Filtro de aire	23
5.5. Materiales	23

5.5.1.	Poliuretano de baja (LDPET) y alta densidad HDPET	23
5.5.2.	Aceros de línea ANSI 1020-1050	24
6.	Metodología	27
6.1.	Requisitos del sistema	28
6.2.	Investigación previa sobre los sistemas de transmisión de potencia	30
6.2.1.	Descomposición lógica	30
6.2.2.	Seguridad operacional	31
6.3.	Diseño de transmisión de potencia	42
6.3.1.	Elementos de diseño y parámetros generales	42
6.3.2.	Cálculos y diseño de sistema	42
6.3.3.	Mediciones experimentales, determinación de torque y velocidad rota- cional del motor.	44
6.3.4.	Cálculos de bandas: Tipo y cantidad de fajas	48
6.3.5.	Cálculo de tensiones en las bandas	52
6.3.6.	Cálculo de horas de vida en las bandas	55
6.3.7.	Diseño de volante de inercia	56
6.4.	Diseño y elección de accesorios del sistema de transmisión de potencia	57
6.4.1.	Mecanismo de ajuste de distancia entre centros de poleas	57
6.4.2.	Seguridad industrial: sistema de paro de emergencia de la trituradora .	61
6.4.3.	Accesorio de transmisión de potencia: lector de velocidad angular del motor	62
6.5.	Simulación de operación	63
6.5.1.	Simulación de base de motor y pernos de sujeción	63
6.5.2.	Plan de fabricación	72
6.6.	Protocolo de pruebas	76
6.7.	Alternativa: diseño de un sistema de transmisión de potencia eléctrico	81
6.7.1.	Selección de motor eléctrico	81
6.7.2.	Selección de protecciones eléctricas	82
6.7.3.	Cálculo y selección de cables que conectan al motor y a tierra	83
6.7.4.	Selección de fajas y poleas para transmitir potencia al eje de trituración	85
6.7.5.	Cotización y valoración del módulo eléctrico	87
7.	Resultados	89
8.	Discusión de resultados	99
9.	Conclusiones	105
10.	Recomendaciones	107
11.	Bibliografía	109
12.	Anexos	113
12.1.	Protocolo de pruebas: Imágenes de prueba termográfica	113
12.2.	Registro de cotizaciones	114
12.3.	Manual de mantenimiento del motor	128
12.4.	Guía de operación módulo de transmisión de potencia	145
12.5.	Tablas de levantamiento de NIOSH y Hojas de registro	147

12.6. Planos de construcción	154
--	-----

Lista de figuras

1.	Elementos de una trituradora de quijada	13
2.	Elementos de una trituradora cónica	14
3.	Elementos de una trituradora de rodillo	15
4.	Elementos de una trituradora de martillo	16
5.	Elementos de una trituradora por cuchillas	17
6.	Cuchillas de trituradora de corte	17
7.	Componentes de un cilindro émbolo en un motor	18
8.	Relación de compresión vs Eficiencia de motores diésel	19
9.	Comparación de precio entre diésel y gasolina en Guatemala	20
10.	Filtro de aceite común	22
11.	Filtro de aire en motor diésel	23
12.	Levantamiento 1: Levantar el saco desde el suelo y colocarlo en la plataforma	32
13.	Levantamiento 2: Elevar el saco para introducir material en la tolva de entrada	33
14.	Parámetros de medición en indicadores	35
15.	Orejeras marca Trupper	41
16.	Diseño de la parte posterior de la trituradora	43
17.	Vista ortogonal	44
18.	Vista lateral	44
19.	Uso de sensor e imagen de material producido	45
20.	Eficiencia de Bandas B112 marca Bando vs Potencia de entrada	46
21.	Consideraciones de diseño de polea D	47
22.	Imagen de qué tipo de banda seleccionar según la potencia de diseño y velocidad de rotación del motor (Figura 3, de catálogo de Bando).	50
23.	Imagen de cantidad de bandas en polea D, para trituradora existente.	52
24.	Ubicación de las fuerzas en un sistema de poleas	53
25.	Diseño de volante de inercia	56
26.	Tornillo de potencia de la base de motor	57
27.	Medidas de rosca ACME	59
28.	Sistema de botón de paro de emergencia	62
29.	Tacómetro Hall NPN	63
30.	Ensamble de Motor unido a su base y listado de piezas	64
31.	Aplicación de la masa puntual	65

32.	Contactos generados en perno	66
33.	Distribución de calidad de mallado para segunda iteración	67
34.	Fuerza remota aplicada	68
35.	Momento aplicado al punto remoto	68
36.	Factor de seguridad de soporte de motor	69
37.	Factor de seguridad de perno	70
38.	Esfuerzo von Mises equivalente en perno	70
39.	Esfuerzo cortante máximo	71
40.	Modos naturales de frecuencia del sistema.	71
41.	Elementos que conforman la trituradora.	72
42.	Placa base del motor	75
43.	Placas laterales de la base del motor	75
44.	Unión soldada entre placas laterales y placa base	76
45.	Temperatura máxima de la trituradora	80
46.	Temperatura máxima de la trituradora	81
47.	Factor de seguridad de perno	96
48.	Factor de seguridad de soporte de motor	96
49.	Tornillo de potencia de la base de motor	97
50.	Áreas donde se debe utilizar protección auditiva	98
51.	Temperatura máxima de la trituradora	98

Lista de cuadros

1.	Comparación entre propiedades mecánicas de LDPET y HDPET	24
2.	Resistencia a la tensión de aceros según su tratamiento	25
3.	Requisitos del sistema	29
4.	Requisitos del sistema cont	30
5.	Descomposición lógica del sistema	31
6.	Multiplicadores de NIOSH de levantamiento 1	38
7.	Multiplicadores de NIOSH de levantamiento 2	38
8.	Niveles de ruido permisibles OSHA	40
9.	Tipo de protección auditiva según nivel de ruido	41
10.	Componentes de diseño	42
11.	Medidas de poleas y motor	45
12.	Medidas de velocidad de revolución del eje y producción de material triturado	46
13.	Resultado de velocidad angular, torque del motor y poleas	47
14.	Factor de servicio según tipo de operación de la máquina (Tabla-1 Catálogo Bando)	49
15.	Resultados finales sobre fajas de transmisión	56
16.	Resultados de análisis físico de volante de inercia	57
17.	Condiciones de entrada al tornillo de potencia	58
18.	Cargas que el tornillo de potencia debe ser capaz de mover	58
19.	Resumen de resultados de diseño de tornillo de potencia	61
20.	Materiales de la base del motor	65
21.	Descripción de contactos considerados del sistema	67
22.	Comparación de calidad de mallado por iteraciones	67
23.	Cargas y momentos aplicados	68
24.	Resultados solicitados de la simulación estática estructural de ANSYS	69
25.	Resultados del análisis estructural	69
26.	Resultados del análisis nodal	71
27.	Lista de partes referentes al módulo de potencia de la Figura 41	73
28.	Elementos que se deben comprar	74
29.	Plan de fabricación de elementos con manufactura externa	74
30.	Material y equipo utilizado en la fabricación de la placa base y lateral	76
31.	Prueba de ruido	76

32.	Prueba térmica	78
33.	Especificaciones técnicas de motor eléctrico TE168	82
34.	Condiciones de entrada para selección de tamaño de cable	83
35.	Corriente de cables según su tamaño (NFPA) para cables THHN con rating de temperatura de 90°C.	84
36.	Valores de área de cable según su identificación (NFPA) para cables estándar.	85
37.	Electrodo de conductor a tierra en sistemas de corriente alterna	85
38.	Resultados de sistema de bandas y poleas del motor eléctrico	86
39.	Resultados de sistema de bandas y poleas del motor eléctrico cont.	87
40.	Cotización de módulo eléctrico	87
41.	Verificación de cumplimiento de requisitos del sistema	89
42.	Cotización de módulo de transmisión de potencia	92
43.	Alternativa módulo eléctrico	93
44.	Comparación de costo total de la trituradora según distintos fabricantes	94
45.	Condiciones del módulo de transmisión de potencia que cumplen requisito E103.	95
46.	Factores de seguridad de análisis estructural realizado en ANSYS, de la base del motor.	95
47.	Resultados de análisis nodal del módulo de transmisión de potencia	97
48.	Resumen de resultados de diseño de tornillo de potencia	97
49.	Registro de cambio de temperatura para el protocolo de prueba térmico	113

Los envases agroquímicos o pesticidas deben ser desechados de forma adecuada para evitar intoxicación y enfermedades severas de las personas que los utilizan para plantaciones o tienen contacto seguido con estos productos. La empresa Agrequima, ofrece el servicio gratuito de trituración de Polietileno tereftalato (PET) y el Polietileno de alta densidad (HDPE, por sus siglas en inglés), con el fin de tener un manejo adecuado de desechos y poder vender el material triturado a empresas recicladoras.

Se planteó como solución, el diseño de una trituradora de polietileno de alta densidad (HDPE) con capacidad de al menos 150 kg/h y un costo menor a \$12,000, con el objetivo de facilitar la disponibilidad de trituradoras, en el proceso de recolección de Agrequima. Se trabajó, simultáneamente, el diseño por medio de tres fases; la estructura de la máquina, el sistema de transmisión de potencia y las cuchillas que trituran el material.

En este trabajo solamente se aborda diseño del sistema de transmisión de potencia. Se utilizó el proceso de diseño de ingeniería en sistemas de la National Aeronautics and Space Administration (NASA), se realizó un diseño orientado en la seguridad del operario, se procedió a verificar que se cumplen con los requisitos técnicos y de los inversores, después se creó un manual de operación y mantenimiento del sistema de transmisión de potencia.

El sistema de potencia excede en un 8.08 % el presupuesto establecido y se propone una alternativa con un motor eléctrico que sí se encuentra dentro del monto admitido para este módulo de \$4,000.

Respecto al módulo de transmisión de potencia, utiliza una transmisión por medio de bandas, poleas, volante de inercia y un motor diésel de 25 Hp. Se tiene un factor de seguridad de 1.18 para las fajas, 2.9 para los pernos que sujetan el motor y 3.5 para la base de motor. Se diseñó un tornillo de potencia que es capaz de ajustar la distancia entre centros de las poleas.

El presente proyecto se trabajó en conjunto con la empresa Agrequima. Esta empresa tiene, entre distintos proyectos, un programa social y de impacto ambiental que busca la recolección de envases agroquímicos y pesticidas para ser reciclados de forma segura. Este programa promueve la economía circular de las comunidades agrícolas del país, además de ser el tercer país con mayor recolección de envases vacíos en Lationamérica.

Entre los materiales recolectados se encuentra en su mayoría el tereftalato de polietileno (PET) y el polietileno de alta densidad (HDPE). Los evases deben ser triturados previo a ser reciclados y reutilizados en forma de productos como mesas, sillas, muebles, recipientes, entre otros. Agrequima cuenta con una trituradora de polietileno de alta densidad, sin embargo para continuar con su visión de expansión a largo plazo busca el diseño de otra trituradora para este material. Además, la trituradora actual fue comprada desde China por lo que carecen de manuales e información suficiente para el diseño y construcción en Guatemala.

La investigación y diseño se enfoca específicamente en el módulo de transmisión de potencia de la trituradora, este debe alimentar al eje de cuchillas para poder cumplir con las cuotas de trituración de polietileno. Se prioriza un diseño eficiente según los requisitos de Agrequima, requisitos internos del grupo de trabajo, normas internacionales de salud y seguridad operacional; a través de una metodología de ingeniería en sistemas de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA).

Agrequima es una empresa que se dedica a la recolección de envases que son utilizados en el área agrícola, como envases de pesticidas/y o plaguicidas. En manejo de este tipo de envases agroquímicos después de haber sido utilizado debe de tener un manejo responsable incluyendo el transporte, almacenamiento, aplicación, disposición de envases vacíos, productos no usados y vencidos. Es por estas razones que el proyecto “Campo Limpio”, el cual es dirigido en Guatemala por la empresa Agrequima, están buscando una manera de poder hacerlo autosostenible por medio de una segunda trituradora de plástico de alta densidad HDPE, que sea más eficientes en términos de combustible y con un costo menor de fabricación alrededor de \$12,000. El tema de la recolección de envases ha ido tomando importancia conforme el tiempo. En los años 90’s empezó una iniciativa llamada “Campo Limpio” en Brasil y Guatemala la cual tiene como finalidad afianzar el compromiso y la activa participación de todos los sectores de la cadena agrícola en el proceso de disposición adecuada de los envases para ampliar la cobertura y aumentar la cantidad de material (CropLife, 2005).

El principal problema para este tipo de industrias y las razones por la cual no utilizan este tipo de materiales biodegradables para el uso de envases es por el tipo de químico que llevan dentro, los envases que deben ser usados deben de cumplir con la certificación UN que garantiza que este envase puede contener productos peligrosos y ser transportado con seguridad por vía terrestre, marítima y aérea sin riesgos aparentes (MaxiPet, 2020).

Hay que tener en cuenta que los envases utilizados con este fin son de un solo uso, y por esta razón es que se realiza el triple lavado para que los envases no representen algún peligro para los agricultores, medio ambiente o seres vivos (MaxiPet, 2020). El único manejo responsable que se les ha podido dar, es clasificar el tipo de envases y si puede ser triturado o compactado para usarlos como materia prima que produzcan nuevos productos o de lo contrario si es necesario incinerarlos por ser materiales peligrosos (MaxiPet, 2020).

En diversos países se realizan diferentes tipos de trituradoras para plástico, principalmen-

te porque se busca la manera de darle un mejor manejo a los materiales y ver de qué manera pueden ser reutilizados. En la Universidad Cooperativa de Colombia se realizó una trituradora específicamente para el plástico PET debido a que, aunque se recicla del 20 al 35 % de este plástico, en la Universidad no se lleva a cabo ningún modelo de gestión de residuos sólidos por lo que el PET generado no está siendo reciclado. A pesar de ser diseñada para plástico PET también puede triturar polipropileno, polietileno y poliéster (Vela et al., 2018).

En la realización de esta máquina utilizaron planos de libre acceso obtenidos en una página específica, en la cual se indican las dimensiones de cada pieza y los componentes mecánicos y eléctricos del modelo. Se basa en el tamaño de una botella plástica mediana estándar (Vela et al., 2018). La trituradora diseñada por esta Universidad cuenta con cuatro partes: Caja de cuchillas, estructura, suministro de poder y tolva (Vela et al., 2018).

Al momento de fabricarla se debieron realizar ciertos ajustes en cada parte debido a los materiales disponibles. También se estableció que se podría triturar botellas más grandes que las mencionadas anteriormente, pero era necesario cortarlas para la facilidad de trituración (Vela et al., 2018). El costo de la fabricación de esta máquina fue de cuatro millones de pesos colombianos (\$ 4,000,000) lo cual es aproximadamente siete mil ochocientos quetzales (Q. 7,800).

En general, se pudo encontrar que se han realizado una gran variedad de trituradoras para plásticos, pero la mayoría se enfoca en el material tipo PET, aunque sí hay trituradoras para algunos plásticos de alta densidad como la realizada en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia específicamente para los residuos sólidos de la ciudad de Ibagué (Hernández Moyano & Fonseca La Rotta, 2017).

La trituradora diseñada se hizo para el plástico ABS el cual es un polímero más fuerte que el PET y que se utiliza para aplicaciones electrónicas, sector automotriz y juguetes (Hernández Moyano & Fonseca La Rotta, 2017).

Para la realización de esta máquina se tomó en cuenta la capacidad y la cantidad de residuos sólidos que se presentan en la ciudad, así como también el crecimiento de los desechos conforme pasa el tiempo. También, por el enfoque en el ABS, para el diseño de la máquina se tomó en cuenta los mejores materiales para este tipo de plástico, la cantidad de cuchillas por eje, tipo de corte, fuerza necesaria para corte, tipo de motor, reducciones de velocidad, acoples del sistema completo, entre otros (Hernández Moyano & Fonseca La Rotta, 2017).

La segunda trituradora que Agrequima solicita, debe permitir la sostenibilidad del proyecto “Campo Limpio”, requiere de un diseño de sistema de potencia que aumente la eficiencia respecto al uso del combustible y cumpla con la capacidad mínima de trituración de 200 kg/hora. Entre, otros requisitos, se busca reducir el ruido del motor y tener un conocimiento sobre las piezas que componen el sistema de potencia para buscar repuestos. El reto es poder diseñar un sistema de potencia que cumpla los requisitos definidos por Agrequima, con el

objetivo de que su proyecto pueda ser sostenible.

Las trituradoras de plásticos de alta densidad, tienen el objetivo de reducir el tamaño de los envases plásticos, para que puedan ser reutilizados. El sistema de potencia de estas trituradoras depende de la capacidad de trituración que se suele medir en kilogramos de material triturado por hora de producción. Las partes de una trituradora de plástico son la tolva de alimentación, cuerpo de la máquina, estructura y salida del material triturado(Cori, 2014).

El sistema de potencia en una trituradora consiste en el conjunto de motor y diseño de transmisión de potencia (engranes, fajas o cadenas) que transmiten la potencia necesaria para que las cuchillas giren y puedan triturar el material correctamente. En el caso de las trituradoras, se utilizan dos sistemas de transmisión de potencia; el primero es un sistema de poleas y fajas que transmiten la potencia del motor hacia el eje donde se encuentra una caja reductora que involucra la sección de cuchillas, el segundo sistema es de transmisión es por medio de engranes, que transmiten potencia (dentro de la caja reductora) hacia los ejes de la chuchilla trituradora.

El mecanismo de fajas y engranes, se prefiere debido a las etapas de reducción, donde no suelen ser lo suficientemente altas como para justificar el uso de un tren complejo de engranes(Hernández Moyano & Fonseca La Rotta, 2017). Por el otro lado, se investigó que las bandas o fajas que se conectan a las poleas tienen una eficiencia de transmisión alta, versatilidad de aplicación, rango amplio de velocidades y son reemplazables con facilidad(Morse, 2010). El sistema de fajas, en diseños anteriores de trituradoras de plástico, están conectadas directamente desde el eje del motor, hasta el eje trifásico que involucran a las cuchillas.

El eje trifásico transmite potencia mediante una serie de engranes rectos hasta las cuchillas de trituración, según el diseño de una trituradora de PET de la universidad de San Andrés, Bolivia. El diseño de los ejes debe ser extremadamente preciso, el requisito principal en una trituradora es asegurar la seguridad de los operarios, para esto, es necesario que el eje se encuentre dentro del cuerpo de la trituradora, fuera del alcance de los operarios, en donde se debe garantizar que pueda soportar los esfuerzos radiales y axiales generados en el eje(Okusanya & Ibrahim, 2020).

Los ejes de las trituradoras analizadas, son de acero fundido; el eje de la trituradora diseñada por la Universidad Politécnica de Ilaro, Nigeria, tiene un diámetro de 40 mm y un largo de 539 mm, para una potencia de 10 hp, un sistema de fajas y polea de diámetro 100 mm y 150 mm, para una capacidad de 77.70 kg/h para plásticos de alta densidad.

La trituradora, de la Universidad Politécnica de Ilaro, tiene una salida de material triturado, bastante menor a la solicitada por Agrequima. No obstante, los principios de la máquina se mantienen, con respecto a los materiales y funcionamiento final. Se estudió el caso de la trituradora de la Universidad de San Andrés, Bolivia, este menciona que reco-

miendan el uso de una banda tipo C o V, debido a que son de fácil reemplazo y la distancia entre centros de la trituradora es lo suficientemente corta como para permitir su implementación. Para el funcionamiento de la trituradora (de la Universidad de San Andrés, Bolivia) se utilizaron tres bandas o fajas y un motor de 10 HP para proporcionar una capacidad de trituración de 300kg/h(Cori, 2014).

En las trituradoras analizadas, durante la segunda etapa de reducción, en donde existe un eje y engranes rectos, se propuso la transmisión de potencia del eje al engrane por medio de chaveteros y cuñeros, esto se debe a que es un elemento fácilmente reemplazable que cumple la función de transmitir potencia(Cori, 2014). Finalmente, el diseño de la trituradora PET de la universidad de Colombia utiliza rodamientos de rodillos cónicos, puesto que son capaces de resistir altas cargas axiales y radiales; esto es necesario para garantizar la seguridad del usuario. Ellos utilizaron rodamientos de SKF, con capacidad de carga equivalente de 56 KN, modelo HILERA SKF 33205 BJ2/Q PG 828, con una esperanza de vida de hasta 30,000 horas bajo una confiabilidad del 99% (Hernández Moyano & Fonseca La Rotta, 2017).

Los antecedentes respecto al sistema de transmisión de potencia, se encontró que se utilizaron los programas de Autodesk Inventor, análisis de elementos finitos, ANSYS y Solid Works, con el fin de apoyarse en estos programas en la fase de diseño y pruebas.

Tras analizar e investigar las perspectivas de diseño sobre los sistemas de potencia, se encontró que falta por estudiar la eficiencia del motor o la alternativa de combustibles para alimentar la trituradora; a la vez se identificó como área de mejora, el análisis de rendimiento o trituración por hora (kg/h) en los casos estudiados, principalmente en la diferencia de capacidad de entre la trituradora de la Universidad de San Andrés, Bolivia (300 kg/h) y la Universidad de Ilaro, Nigeria (78 kg/h) para una misma entrada de potencia de 10 HP.

El uso de pesticidas es un producto fundamental en la agricultura, se encarga de proteger las plantaciones de las plagas como insectos, hongos, ratones, arañas, entre otros. Desde su invención, el uso de agroquímicos ha aumentado los niveles de producción de las plantaciones de maíz hasta un 214 % en Estados Unidos desde 1960-2018(Menker, 2018). En Guatemala, la agricultura es una industria de 39,716 millones de quetzales anuales y representa, según datos históricos, el 14 % del PIB del país(Banguat, 2021).

Si bien, los pesticidas tienen beneficios para el cultivo, existen riesgos asociados con la toxicidad de los pesticidas; bajo un manejo irresponsable de los mismos, la bioacumulación de pesticidas afecta el medio ambiente, daña el sistema endocrino, son cancerígenos y intoxican a los trabajadores en los cultivos(Aktar et al., 2009). En 2018, hubo 375 casos de intoxicación en Guatemala, con un aumento del 67 % respecto al año anterior debido a las malas prácticas de desecho(Ola, 2019).

En 1988 inició en Guatemala un proyecto llamado Campo Limpio que se encarga de recolectar el 65 % de los envases de agroquímicos y desecharlos de una manera adecuada. El protocolo de desecho conlleva una trituración de los envases de pesticidas, para posteriormente compactarlo o, según su nivel de toxicidad, incinerar el material triturado(MaxiPet, 2020).

Se decide reducir el impacto de la problemática al trabajar con Agrequima, una empresa de productos químicos en Guatemala que apoya al proyecto Campo Limpio con el servicio de trituración de los envases. Se propone la construcción de una trituradora con capacidad de 150 kg/h así como un manual de mantenimiento y construcción para que pueda ser replicada. El objetivo del proyecto es construir y brindar el equipo necesario para manejar la trituración de los envases de manera responsable y así poder combatir los casos de intoxicación por pesticidas en el país. Para esto, se colocará la trituradora en un centro de acopio donde las personas puedan llegar a dejar sus envases de pesticidas y se pueda decidir si reutilizar el envase o incinerarlo según sea el caso.

El proyecto tiene dos limitaciones principales, se espera que la trituradora tenga un costo menor a 12,000 dólares americanos y que cumpla con la capacidad de trituración. Para desarrollar el proyecto, se procederá a aplicar los conocimientos de diseño mecánico con la finalidad de tener un funcionamiento óptimo del sistema de transmisión de potencia que cumpla con los requisitos de trituración y garantice la seguridad de los operarios de la máquina; también se enlistarán todos los componentes del sistema y un manual de operación, para que la tritura pueda ser replicada por terceros. Finalmente, tras delimitar el alcance del proyecto, se concluye que es una alternativa viable para controlar y promover un desecho responsable de productos agroquímicos.

4.1. Objetivo general

Diseñar un sistema de transmisión de potencia para trituradora de plástico polietileno de alta densidad que tenga un costo menor de \$4,000 y una capacidad de trituración mayor o igual a 150 kg/h.

4.2. Objetivos específicos

1. Definir los requisitos necesarios del sistema de transmisión de potencia, considerando los requerimientos del área de estructura y sistema de trituración.
2. Diseñar el sistema de transmisión de potencia con un factor de seguridad mínimo de 1.3
3. Determinar la potencia del motor necesaria para triturar 150 kg/h.
4. Seleccionar los elementos mecánicos del sistema para que cumplan una vida útil de al menos 4,800 horas.
5. Elaborar una memoria de planos del diseño de transmisión de potencia y su correcta operación.
6. Desarrollar un protocolo de mantenimiento del sistema de transmisión de potencia.

El uso de los sistemas de transmisión de potencia es fundamental en las máquinas trituradoras de todo tipo, este módulo es el que permite transformar la energía disponible en movimiento y trabajo útil que pueda ser aprovechado por las cuchillas para triturar el material.

El módulo de potencia consiste en determinar el flujo de energía requerido para que la máquina pueda funcionar y escoger el equipo necesario que cumpla con los requisitos de producción. Por el otro lado el módulo de transmisión ayuda a trasladar la energía mediante elementos mecánicos usualmente hacia el eje o ejes de del sistema de corte. Ambos sistemas trabajan en conjunto y deben estar cuidadosamente diseñados para que la máquina funcione correctamente.

5.1. Ingeniería de sistemas

La NASA, presenta la ingeniería de sistemas como un enfoque multidisciplinario metódico que involucra y relaciona todos los módulos importantes de un sistema. Este sistema se caracteriza por tener múltiples elementos que deben funcionar correctamente para que el sistema cumpla su objetivo(Shea, 2019)

5.1.1. Fases de la ingeniería de sistemas

Se propone el siguiente proceso de diseño para llevar a cabo el proyecto, este es el método propuesto por la NASA, para completar sus misiones. Si bien, no todos los módulos del proceso completo de la ingeniería de sistemas aplican para el diseño de una trituradora, se utilizarán los siguientes módulos en común.

- Definición de requisitos de inversores.
Esta parte consiste en detallar los aspectos principales que los inversores del proyecto desean y bajo esos parámetros definir el resto de los requisitos de diseño. En el caso de la trituradora a diseñar, los requisitos de los inversores son los siguientes.
- Definición de requisitos técnicos.
Esta fase transforma las expectativas de los inversores, en requisitos técnicos que deben validarse para poder garantizar el cumplimiento de los objetivos del proyecto (Shea, 2019). Este proceso administra y considera todos los aspectos relacionados al proyecto, en este caso se deben considerar los módulos de estructura, transmisión de potencia y diseño de cuchillas.
- Descomposición lógica.
Consiste en una lista de requisitos desglosados de manera aún más detallada, que permiten interrelacionar cada módulo a profundidad.
- Definición de la solución de diseño.
Esta fase consiste en el proceso iterativo de diseño y simulación para obtener resultados confiables de acuerdo con los requisitos establecidos anteriormente.
- Validación de producto.
Esta fase consiste en realizar ensamblar el producto y acoplar todos los módulos del proyecto, para revisar que todos estén funcionando correctamente. Para esto se deben realizar pruebas al modelo (Uribe et al., 2018).

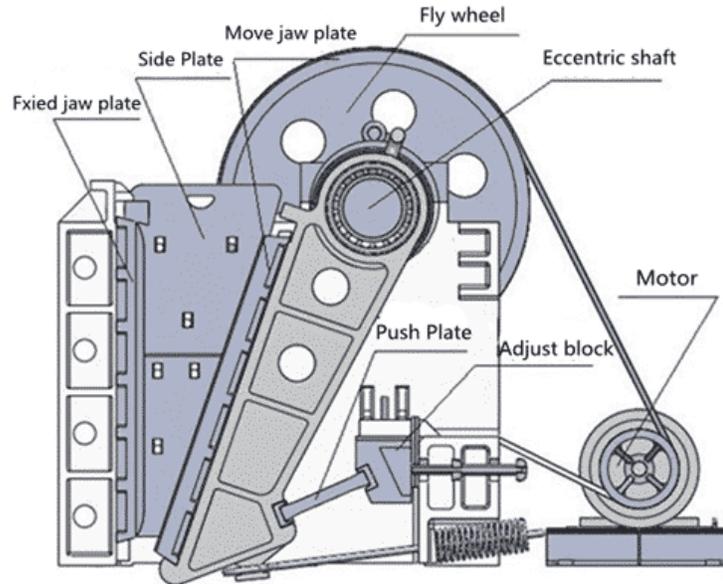
5.2. Sistema de transmisión de potencia en trituradoras

Existen varios tipos de trituradoras según el trabajo a realizar; estas pueden clasificarse en tres grupos según su requerimiento de trituración, el primero son la trituración primaria, estas son las trituradoras giratorias o de mandíbula. El siguiente tipo son las trituradoras intermedias, que están conformadas por mecanismos de rodillos, mecanismos cónicos o de discos. Luego se encuentran las trituradoras de granulado fino, la única clasificación disponible de trituración en esta área son las trituradoras de martillo y de corte. (Cori, 2014). El mecanismo utilizado para transmitir potencia según el tipo de trituradora varía ligeramente, si bien todos consiste en elementos mecánicos comunes como engranes, fajas y cadenas, existen ventajas entre cada tipo de elemento de transmisión de potencia.

5.2.1. Trituradora de quijada

Las trituradoras de quijada trabajan con materiales duros, como rocas o metales directamente, esta trituradora tiene dos caras de trituración, una cara está rígida mientras que la otra se mueve en un movimiento periódico que permite triturar el material al dejar una abertura, que define el granulado final del producto (Cori, 2014).

Figura 1: Elementos de una trituradora de quijada



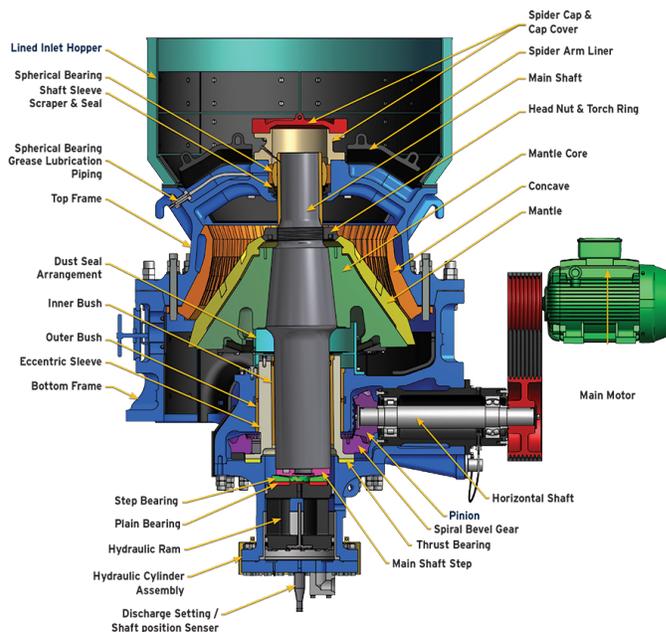
Fuente: (Sa, s.f.)

Como se puede observar en la figura anterior, este sistema utiliza un volante de inercia que mantiene energía cinética rotacional que permite mover el eje, también una transmisión por medio de fajas y al mismo tiempo un sistema de levas que activa el movimiento periódico que genera la trituración del material. La principal ventaja de este sistema es que bastante útil para controlar el tamaño del material triturado puesto que forzosamente la única salida del material es por medio del espacio que queda entre las caras de trituración. Además, no se necesita el uso de cuchillas afiladas, esto representa un ahorro en los costos de operación de la máquina. Por el otro lado, una de las desventajas importantes de este tipo de sistema es que solamente se puede trabajar con materiales que les afecte la presión con otras superficies y estos sean propensos a romperse fácilmente. En el caso de polietileno de alta densidad, no se recomienda este tipo de trituradoras debido a que solamente se comprimiría el envase a diferencia de rocas o minerales que sí se rompen en varios granos.

5.2.2. Trituradoras cónicas

Las trituradoras cónicas, también llamadas trituradoras verticales, mediante un mecanismo de transferencia de potencia por medio de engranes cónicos, generan una trituración similar a las trituradoras de quijadas, ya que tienen superficie cónica fija y otra superficie móvil, que por medio de un movimiento periódico, consiguen triturar el material, este es expulsado hacia abajo de forma natural, gracias a las aperturas cónicas entre las superficies (Cori, 2014).

Figura 2: Elementos de una trituradora cónica



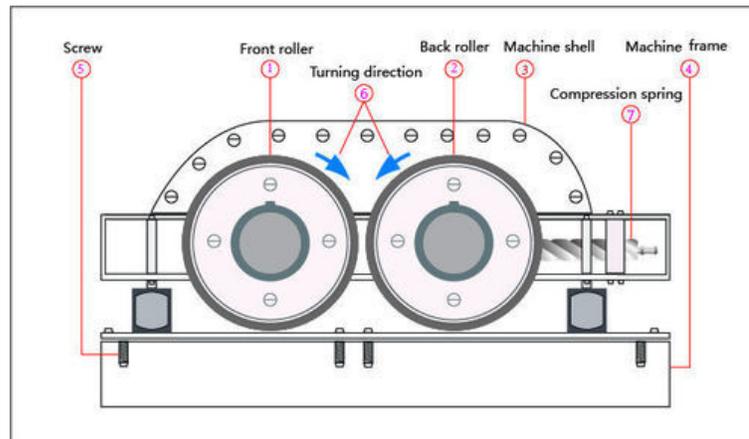
Fuente: (Hazemag, 2021)

Se observa que la transmisión de potencia se genera por medio de fajas y un engrane cónico que permite cambiar la dirección de movimiento perpendicularmente. Es gracias a este elemento que se puede generar el movimiento periódico mediante un seguidor cónico, que comprime las paredes de la trituradora. Las ventajas al igual que con la trituradora de mandíbula, es que no se necesita de cuchillas, aunque esto involucra utilizar materiales duros de trabajo. La desventaja principal es respecto al material triturado ya que no puede trabajar con polímeros, debido a que estos son flexibles y la compresión no tendrá un efecto de ruptura sobre ellos, además debido a la compleja geometría de la trituradora, su limpieza no es sencilla.

5.2.3. Trituradoras de rodillos o discos

Estas trituradoras se caracterizan por tener cilindros giratorios que capturan el material, mientras uno gira el otro se mantiene fijo unido a un resorte para que no se generen esfuerzos de flexión sobre los ejes muy grandes. Los rodillos comprimen el material y lo descargan por la parte de abajo de la trituradora. Además, debido a que el espacio que dejan entre cilindros es bastante reducido, el flujo de material no puede ser muy elevado debido a que generaría un atasco en la caja trituradora y podría dañar los ejes de la máquina (Cori, 2014).

Figura 3: Elementos de una trituradora de rodillo



Fuente: (Indiamart, s.f.)

La ventaja principal de este tipo de trituradora es la calidad del granulado, en este caso al ser rodillos en movimiento constante gracias al motor, engranes rectos o bandas de transmisión, el tamaño del material triturado es bastante fino además en este caso se puede trabajar con materiales duros como roca o con polímeros de alta densidad debido a que estos rodillos pueden ser dentados y afilados para que puedan romper y desgarrar el material. La principal desventaja de los mismos es el flujo de material, como se mencionó anteriormente, estas trituradoras tendrán una producción de material bastante menor que las mencionadas anteriormente.

5.2.4. Trituradoras de martillo

Estas trituradoras consisten en golpear el material hasta superar el límite de elasticidad y provocar una ruptura continua del material hasta que tomar la geometría deseada de salida. Consiste en una serie de martillos que giran y golpean el material, estos deben poder invertirse para tener un desgaste uniforme del mecanismo de trituración(Cori, 2014).

Figura 4: Elementos de una trituradora de martillo



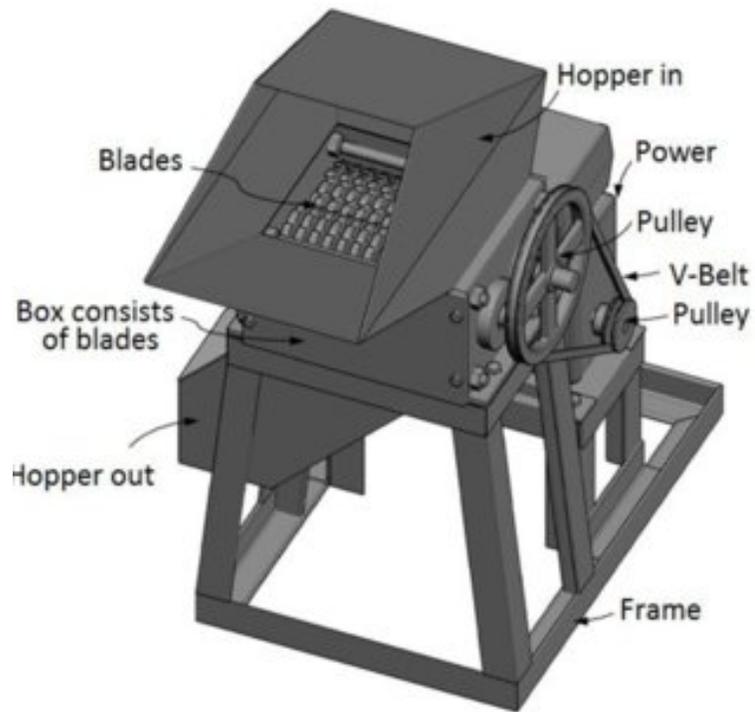
Fuente: (indiamart, s.f.)

La ventaja principal de esta trituradora, es que pueden entregar un granulado bastante fino, debido a que mediante una criba, se logra obtener el tamaño final deseado. Además, no se cuenta con cuchillas ni dentaduras de ningún tipo por lo que no se incurrirá en costos relacionados a afilar las cuchillas o adquirir nuevas. La principal desventaja es el desgaste de los martillos, este suele ser alto ya que los materiales que se trabajan son duros, otra desventaja es que los materiales suaves no podrán ser triturados, al tener un coeficiente de elasticidad muy alto.

5.2.5. Trituradoras de corte por cuchillas

Estas trituradoras de corte funcionan de forma similar a las de martillo, sin embargo, estas se especializan en cortar materiales blandos, como polímeros de alta o baja densidad. El mecanismo de corte consiste en un eje de rotación, que suele tener un volante de inercia a los costados y transmisión por medio de bandas en V desde el motor; unas cuchillas ubicadas de forma paralela al eje de rotación son sujetas por discos similares a la trituradora de rodillos. Mediante una rotación continua del material a través de la cámara de trituración el material se corta constantemente hasta tener la geometría deseada, se logra obtener un granulado fino que cae por la parte de la criba hacia el ducto de salida(Cori, 2014).

Figura 5: Elementos de una trituradora por cuchillas



Fuente:(Andrianto & Fahriansyah, 2019)

Figura 6: Cuchillas de trituradora de corte



Fuente: Elaboración propia

La ventaja principal de esta trituradora es su capacidad de corte de materiales blandos, es capaz de triturar polietileno de alta y baja densidad a velocidades altas de producción de

hasta 300 kg/h con una calidad de granulado alta, ya que se puede acoplar una criba que controle el tamaño del material. La desventaja principal de esta trituradora es el constante desgaste de las cuchillas, estas deben ser afiladas constantemente y sino se tiene un par de repuesto, toda la operación deberá pararse.

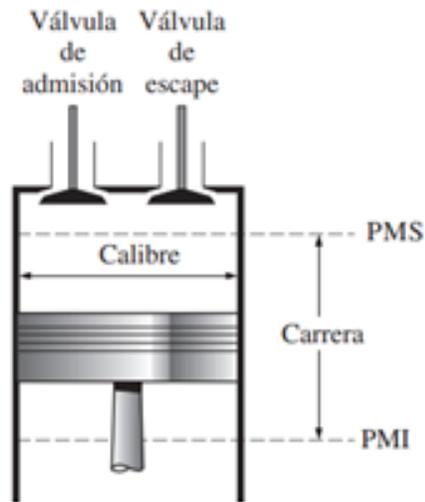
5.3. Motor diésel

5.3.1. Ventajas de un motor diésel

- Mayor eficiencia del motor.

Un motor diésel funciona con un sistema de cilindro émbolo [ver Figura 7] este baja y permite la entrada de aire, cuando llega a su punto muerto inferior (PMI), este regresa presionando y calentando el aire hasta que llega a una temperatura de autoignición del combustible, se inyecta el combustible y automáticamente se genera la combustión(Liu, 2014).

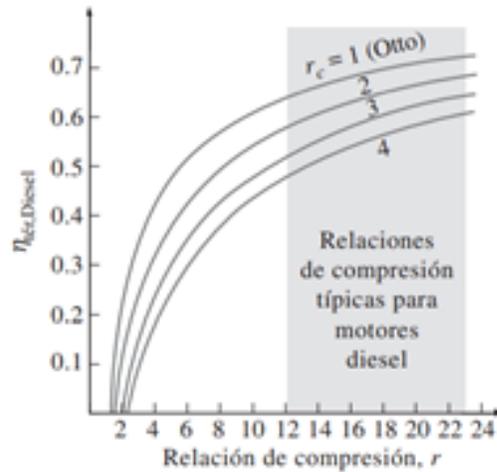
Figura 7: Componentes de un cilindro émbolo en un motor



Fuente:(Cengel, 2014)

En un motor diésel, no se cuenta con el problema de autoencendido, durante la carrera de compresión del motor, puesto que no hay entrada de combustible hasta el punto muerto superior (PMS). Esto genera una mayor relación de compresión que los motores de gasolina. La relación de compresión es la razón entre el volumen del punto muerto inferior y el volumen de punto muerto superior y se relaciona con la eficiencia del motor.

Figura 8: Relación de compresión vs Eficiencia de motores diésel



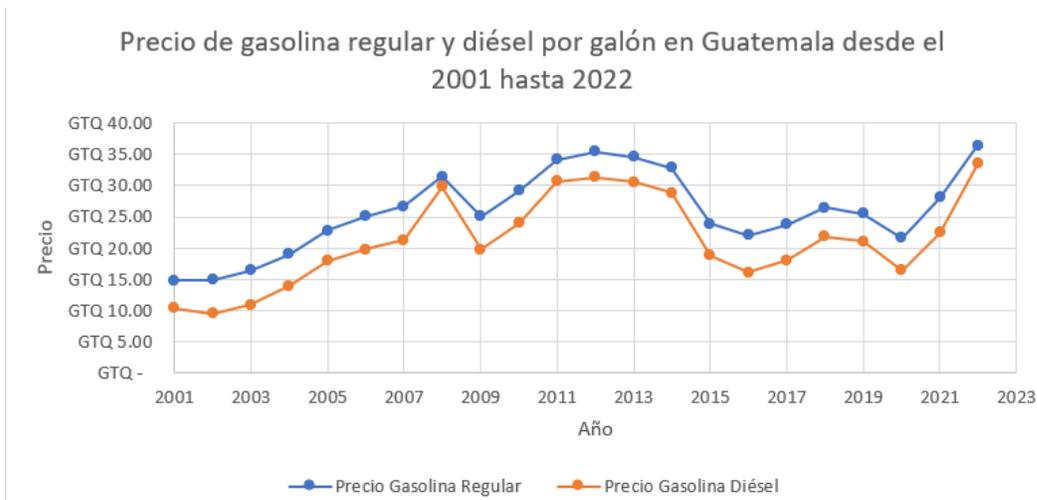
Fuente:(Cengel, 2014)

En la figura se puede observar que a mayor relación de compresión, mayor eficiencia del motor diésel.

- Costo del combustible

El combustible diésel tiene un costo menor que la gasolina en Guatemala. Esto se relaciona con el problema de autoencendido; el problema de auto ignición conocido como golpeteo de motor, puede generar ruido en el motor, vibraciones no deseadas y un aumento de la transferencia de calor(Sjöberg & Vuilleumier, 2017).Esto provoca que en motores de gasolina en donde existe una posibilidad no deseada de golpeteo, se invierta en generar un combustible más refinado químicamente y por ende más cosoto. Por el otro lado, en motores diésel no es necesario que el combustible tenga un alto octanaje (el octanaje controla que el combustible no encienda antes de llegar a su PMS en motores de gasolina), esto reduce el costo del diésel[ver Figura 9].

Figura 9: Comparación de precio entre diésel y gasolina en Guatemala



Fuente:(Ministerio de Energía y Minas, 2021)

- Ideal para maquinaria de alto torque
Existe una relación inversa entre el torque que transmite un motor y su velocidad angular. El torque representa la capacidad que tiene la máquina de soportar una fuerza a cierta distancia desde su punto de pivote y la velocidad angular es la rapidez a la que gira la máquina. En el caso de los motores diésel, estos se caracterizan por tener bajas revoluciones de operación comparado con los motores de gasolina, esto permite entonces tener más torque, por lo que son motores ideales para máquinas móviles de trabajo pesado.

5.3.2. Desventajas del motor diésel

- Arranque en frío del motor.
En las primeras revoluciones del motor, no existe suficiente entrada de aire a alta temperatura, que permita generar la combustión, esto provoca que el motor se tarde en iniciar su operación. Además, si el motor no está lubricado, se genera fricción entre sus componentes, que pone en riesgo la vida del motor(Liu, 2014).
- Emisiones óxido de nitrógeno.
Las reparaciones de los motores diésel, suelen ser caras, por este motivo, algunos usuarios, al tener un motor diésel averiado, pero aún funcionando, deciden no arreglar el problema y seguir operando. No obstante, esto genera y multiplica las emisiones de óxido de nitrógeno (NOx) en el medio ambiente. Un estudio realizado por el Stockholm Environment Institute (SEI) indicó que los vehículos diésel en funcionamiento produjeron 13.2 millones de toneladas de óxido de nitrógeno en el año 2015, el valor esperado de las emisiones era 8.6 millones de toneladas. Por lo tanto, se concluyó que la cantidad adicional de emisiones se debe a motores que no cumplen con las regulaciones óptimas de funcionamiento (Gill, 2015).

Por el otro lado, el óxido de nitrógeno provoca cáncer de pulmón, aumento de probabilidad de muerte por infarto y enfermedades crónicas pulmonares. Se estima que los efectos del óxido de nitrógeno provocaron alrededor de 38,000 muertes prematuras en el 2015 (Gill, 2015). Además, estas emisiones también dañan los cultivos y se espera una reducción en los próximos años del 1% al 2% en la producción de trigo, maíz, soya, entre otros productos(Gill, 2015).

- Ruido del motor

Los motores diésel trabajan a presiones mayores que los de gasolina, por lo que usualmente generan mayor ruido. Este ruido es una desventaja, puesto que puede ser molesta para los operadores.Sin embargo, este ruido se puede reducir utilizando las siguientes consideraciones.

1. Reducción del ruido de contacto en los pistones:

Al proporcionar un desplazamiento lateral de 0.5 ± 2 mm de la biela que se conecta con el pistón, el contacto del pistón con el cilindro se reduce (Patel et al., 2015).

2. Instalación de silenciadores:

Este reduce el ruido en el escape del motor, existen dos tipos de silenciador. El primero es reflectivo, este mecanismo consta de un cilindro, con secciones que lo atraviesan para impedir que las ondas de sonido viajen a lo largo del escape del motor. El segundo es el silenciador disipativo, que consiste en un elemento poroso que se encarga de absorber el sonido, este funciona principalmente con frecuencias altas (Patel et al., 2015).

3. Aislación de vibraciones:

Se debe realizar un análisis de transmisibilidad y de vibraciones. La transmisibilidad, es la cantidad o bondad de transmisión de la vibración de un cuerpo a otro, este representa qué tanta vibración se transmite desde un amortiguador a una masa, para un sistema de un grado de libertad, la constante de elasticidad del sistema deberá tal que permita una relación de frecuencias del 0.7 o menor, de lo contrario las vibraciones podrían amplificarse (Patel et al., 2015).

5.4. Mantenimiento del motor diésel

A continuación,se describe el mantenimiento preventivo de un motor diésel, es importante mencionar que esta no es una guía detallada, sino los procedimientos básicos que permiten que el motor opere correctamente.

Se recomienda para motores de uso intenso (dependiendo del tipo de aceite), realizar un mantenimiento preventivo cada 250 horas de operación donde se cambie el aceite, verificar la luz de las válvulas, comprobar uniones roscadas, sin ajustar los tornillos de la culata (Hatz Motorenfabrik, 2016). Ahora bien, en el uso diario, cada 15 horas de operación se deberá revisar, el nivel de aceite, indicador sobre el filtro de aire, radiador o refrigeración y suciedad en el aceite.

5.4.1. Lubricación.

La lubricación en los motores diésel suele ser más complicada que en la de motores de gasolina, estos al usar combustible más viscoso, el aceite se ensucia con regularidad y las temperaturas de operación suelen ser mayores. Se utiliza una filtración de aceite combinada (Contreras, 2001).

El aceite del motor debe contar con la viscosidad requerida a la temperatura de operación, para que su desempeño sea óptimo, de lo contrario se reduce la vida del motor. Se recomiendan las especificaciones de aceite ACEA y ACEB que son las aplicables en motores diésel, según el tipo de operación y cantidad de azufre en el combustible. (Hatz Motorenfabrik, 2016).

5.4.2. Filtro de aceite

El filtro de aceite no permite el paso de partículas que podrían llegar a dañar el sistema de lubricación de la máquina. Este filtro se debe cambiar cada 250 horas de funcionamiento, si se tiene confianza en el aceite, de lo contrario debería ser cada 150 horas (Hatz Motorenfabrik, 2016).

Figura 10: Filtro de aceite común



Fuente:(Hatz Motorenfabrik, 2016)

5.4.3. Filtro de aire

Al igual que el filtro de aceite, el filtro de aire se encarga de evitar que partículas contaminantes que se encuentran en el aire ingresen al motor, este se recomienda cambiar cada 500 horas de uso. Para limpiar el filtro, se debe utilizar una pistola de aire comprimido que remueve las partículas atrapadas. Se debe tener cuidado con este procedimiento, puesto que una grieta o flexión del filtro impedirá que cumpla con su objetivo y se debe cambiar.

Figura 11: Filtro de aire en motor diésel



Fuente:(Hatz Motorenfabrik, 2016)

5.5. Materiales

En esta sección se mencionarán los tipos de materiales que se podrían utilizar en los casos de diseños de trituradoras.

5.5.1. Polietileno de baja (LDPET) y alta densidad HDPET

El polietileno (PE), es el polímero que más presencia tiene en el mercado. En ingeniería, es un material atractivo, ya que tiene un costo bajo de producción, procesamiento y no interactúa químicamente con su entorno(Groover, 2011).

Se reconocen dos categorías de polietileno, la primera es un polietileno de baja densidad LDPET, este se utiliza en películas fotográficas, botellas, envases de comida, entre otros

(Sánchez, 2018). Por el otro lado se tiene el HDPET, que representa el material para el cuál se diseñará la trituradora, este se caracteriza por ser fuerte, rígido y tener una temperatura de operación más alta; se utiliza para canecas, envases rígidos, casas de mascotas, entre otros. A continuación, se describen las propiedades del polietileno de alta y baja densidad.

Cuadro 1: Comparación entre propiedades mecánicas de LDPET y HDPET

Polietileno	LDPE	HDPET
Método de polimerización	Adición	Adición
Grado de cristalinidad (común)	55 %	92 %
Módulo de elasticidad	140 MPA	700 MPA
Resistencia a la tensión	15 MPA	30 MPA
Elongación	100-500 %	20-100 %
Gravedad específica	0.92	0.96
Temperatura de fusión	115°C	135 °C
Participación en el mercado	20 %	15 %

Fuente:(Groover, 2011)

5.5.2. Aceros de línea ANSI 1020-1050

El módulo de transmisión de potencia involucra la fabricación y acople de ejes, estos elementos deberán ser capaces de soportar esfuerzos radiales, axiales, de flexión y la velocidad de rotación que les va a transmitir el motor. Todas estas propiedades dependen del tipo de material que se escogerá para la manufactura del eje, en este caso se menciona la línea ANSI 1020-1050, que es la más utilizada en manufactura de ejes. Los aceros al carbono son aquellas aleaciones ferrosas que tienen mayor porcentaje de carbón comparado a otro tipo de elementos. Se le denomina acero al carbono a aquellos que tienen desde 0.20 %-0.50 % de carbón. Estos se clasifican de la siguiente manera:

- Acero de bajo carbón:
Son los aceros más utilizados, tienen fácil maquinabilidad y una resistencia adecuada para trabajos que no requieran cargas elevadas, tienen menos de 0.20 % de carbono.
- Aceros al medio carbono:
Contenido de carbono de 0.50 %, estos son más resistentes que los de bajo carbono, se utilizan en el diseño de maquinaria, ejes, bielas, entre otros.
- Aceros al alto carbono:
Contenido de carbono mayor a 0.50 %, estos aceros se utilizan en aplicaciones donde se necesite resistencia al desgaste, por lo que se utiliza en herramientas de alta calidad, cuchillas, entre otros.

La serie 1020-1050 se caracteriza por ser una línea de acero de bajo carbono, según la nomenclatura de la American Iron and Steel Institute (AISI), la serie 10XX se ordena

según el porcentaje de carbono deseado en la aleación, para que sea más sencillo encontrar las propiedades deseadas (Morales, 2011).

- Tratamiento del material:

Si bien la designación AISI determina el tipo de acero al carbono, un aspecto importante a considerar es el tratamiento del material. Se destacan tres tipos de tratamientos generalmente utilizados en aceros, el acero rolado en caliente (HR), acero rolado en frío (CD) y un acero con tratamiento térmico (HT), que puede ser templado (Groover, 2011). Estos tratamientos afectan las propiedades mecánicas de los materiales; a continuación, se puede observar una imagen con las propiedades de estos metales ante estos tratamientos para la serie 1020-1055 y otros tipos de aceros.

Cuadro 2: Resistencia a la tensión de aceros según su tratamiento

Código	Tratamiento	Tensión (MPa)	Elongación (%)
1010	HR	304	47
1010	CR	366	12
1020	HR	380	28
1020	CR	421	15
1040	HR	517	20
1040	CD	587	10
1055	HT	897	16
1315	NA	545	34
2030	NA	566	32
3130	HT	697	28
4130	HT	890	17
4140	HT	918	16
4340	HT	1279	12
4815	HT	635	27
9260	HT	994	18
HSLA	HT	586	20

Fuente:(Groover, 2011)

El proceso de diseño de la trituradora se divide en tres etapas, con el propósito de entregar la máquina con la capacidad requerida de 150 kg/h, en el tiempo esperado.

- Estructura
- Cuchillas
- Sistema de transmisión de potencia

En esta sección, se abordará únicamente el tema de la transmisión de potencia y la metodología que se debe seguir para cumplir los objetivos mencionados anteriormente. Se seguirá el proceso de diseño Systems Engineering que propone la National Aeronautics and Space Administration (NASA) en su manual versión SP20076105. Con base en el manual de la NASA para este proyecto se definirán los siguientes parámetros.

- Fase 1: Requisitos del sistema.

Se inicia por definir los requisitos de la máquina, desde la perspectiva del módulo de generación de potencia. Con el objetivo de seguir el proceso de diseño de Systems Engineering, primero se establecen las expectativas de los inversores, estos son requisitos poco flexibles, como presupuestos, tamaño de la máquina, capacidad de trituración, entre otros. Después, se deciden los requisitos técnicos del sistema, factores de seguridad, horas de vida, normas de seguridad, motor, normas de diseño, materiales y equipo.

- Fase 2: Investigación previa sobre sistemas de transmisión de potencia. Se procede a realizar una descomposición lógica de los elementos que se deben diseñar, calcular o adquirir en el módulo de generación de potencia, para poder cumplir con los requisitos

mencionados previamente. Además, se investiga la sección de seguridad de la máquina y su correcta operación; se debe investigar sobre las normas de administración de seguridad y salud ocupacional relacionadas a la industria de trituración, mediciones de ruido, normas preventivas, entre otros.

- Fase 3: Etapa de diseño del sistema de transmisión de potencia.

En esta etapa se encuentra el diseño de todo el módulo de potencia; para esto se debe enlistar los componentes que se deben diseñar, determinar los materiales que dentro del contexto guatemalteco garanticen la seguridad, propuesto y funcionamiento del sistema. Después de esto, se debe continuar al proceso de cálculos y diseño de piezas. Finalmente, se debe simular el conjunto de piezas que conforman el módulo de potencia el proceso de transmisión de movimiento, soportar fuerzas, deformaciones y verificar el que funcione todo correctamente. Además, se debe registrar los diseños y planos de todos los componentes, así como sus ensambles.

- Fase 4: Proceso de evaluación

La fase de evaluación consiste en el proceso de verificar y validar por completo el módulo de transmisión de potencia. Se debe crear una rúbrica que enliste los requisitos que se cumplieron, si hay requisitos que no se cumplen, se debe iterar hasta que se cumplan. Además, se debe presentar una propuesta de construcción con cotizaciones de todos los elementos referentes a este módulo.

Por el otro lado, en el proceso de validación, se debe cumplir con los requisitos externos solicitados por los módulos de estructura y cuchillas de la trituradora; en estos aspectos se encuentra el espacio disponible, facilidad de ensamble entre módulos y funcionamiento en conjunto de todas las piezas.

- Fase 5: Documentación y asistencia técnica.

La etapa final del proyecto consiste generar un conjunto de planos, listado de componentes y proveedores junto con el precio de estos; además de crear una manual de mantenimiento referente al módulo de generación de potencia, en donde se pueda encontrar las mejores prácticas sobre el cuidado del motor, correcto uso de equipo, ensamble del sistema de transmisión de potencia, todo esto con el objetivo de que la máquina pueda ser replicada.

6.1. Requisitos del sistema

Los requisitos del sistema fueron elaborados con base en las indicaciones de Systems Engineering que está en marco teórico. Estos se dividen en módulos según el tipo de requisito, en este caso se admiten los requisitos de los inversores, requisitos técnicos, sistemas de control y replicación de trituradora.

Cuadro 3: Requisitos del sistema

Módulo	Requisito	Código	Descripción
Requisitos de los inversores	Presupuesto	E101	Costo total de trituradora menor o igual a \$12,000
	Frecuencia de mantenimiento	E102	La trituradora debe tener un mantenimiento general cada 3 meses
	Requisito de producción de material triturado	E103	La trituradora debe entregar una producción de 150 kg/h de HDPE
	Volumen de material triturado	E104	La trituradora debe ser capaz de triturar canecas de 20 L
	Requisito de operación del motor	E105	La trituradora deberá trabajar durante 6 horas de forma ininterrumpida
	Motor	E106	El motor debe ser diésel
Requisitos técnicos del sistema	Horas de vida de sistema de transmisión	RT101	El sistema tendrá una vida operacional de 5 años
	Factor de seguridad del sistema	RT02	El sistema tendrá un factor de seguridad de al menos 1.3
	Ruido de trituración	RT03	El ruido que el operador recibe por parte del motor debe ser menor o igual a 85 DB
	Normas de seguridad	RT04	Definir equipo de protección auditiva del operario, que cumplan con normas OSHA 2014.
	Mecanismo de transmisión de potencia	RT05	La transmisión de potencia deberá ser con fajas y poleas.
	Movilidad	RT06	El motor deberá tener un mecanismo que permita ajustar la distancia entre centros de las poleas.
Sistema de control	Sistema de paro de emergencia	SC01	El motor debe tener un procedimiento o sistema que detenga la trituración del material.
	Lector de RPM	SC02	El sistema deberá tener un lector de la velocidad angular en RPM del motor.

Cuadro 4: Requisitos del sistema cont

Módulo	Requisito	Código	Descripción
Replicación de trituradora	Manual de operación	RP01	Elaborar una guía rápida de operación del módulo de transmisión de potencia
	Planos de sistema de transmisión de potencia	RP02	Memoria de planos de las piezas con instrucciones de ensamble y cotizaciones
	Señales de seguridad	RP03	Señalar áreas de alto riesgo en la máquina
	Proveedores de piezas y motor	RP04	Todos los proveedores de piezas deben ser nacionales
	Mantenimiento	RP05	Elaborar un manual de mantenimiento para el sistema de transmisión de potencia.

6.2. Investigación previa sobre los sistemas de transmisión de potencia

6.2.1. Descomposición lógica

Descomposición de sistema de transmisión de potencia. Este sistema se compone por tres módulos principales los cuales serán el motor, el mecanismo de transmisión de potencia y la seguridad del sistema. Para realizar la descomposición lógica de cada módulo se separa en submódulos de interés para los cuales se deberá diseñar, calcular y determinar los parámetros respectivos de cada parte para que puedan cumplir los objetivos establecidos.

Cuadro 5: Descomposición lógica del sistema

Módulo	Elementos a considerar
Motor	Combustible Potencia de motor Velocidad óptima de operación Sistema de refrigeración Regulador de revoluciones por minuto Tipo de encendido Acople de motor a eje Vibraciones del motor Sistema de acople móvil de motor a estructura
Transmisión de potencia	Reducción de velocidad angular necesaria Tipo de faja a utilizar Tamaños de polea Diseño de poleas Diseño de volante de inercia Elementos de unión de poleas a ejes Tensión de las bandas Instalación y ensamble de piezas
Seguridad	Temperatura a la que opera el motor Exposición de sistema de transmisión de potencia al operario de la trituradora. Control de ruido que genera la trituradora debido al motor Cumplimiento de normas OSHA para la operación del sistema Mantenimiento del sistema Pruebas de seguridad necesarias Verificación de pernos, tornillos y distancia entre centros del sistema.

6.2.2. Seguridad operacional

El módulo de seguridad operacional busca crear una guía técnica y segura para los operarios de la trituradora, que les permita desempeñar sus tareas sin tener ningún riesgo potencial causado por el ruido, cansancio o cualquier otro malestar que pueda causar el ambiente de trabajo relacionado a la trituración de material. La protección por acceso a las piezas móviles está a cargo del módulo de estructura del proyecto, este se encarga de generar guardas que protejan a los usuarios de la máquina. Se definen dos peligros principales, el primero es lesiones ocasionadas por las tareas carga de producto por triturar por parte de los operarios, el segundo es el daño auditivo debido al motor de combustión interna.

Para cumplir este objetivo, se utiliza las normas de seguridad ocupacional dictadas por la *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA), una unidad del departamento

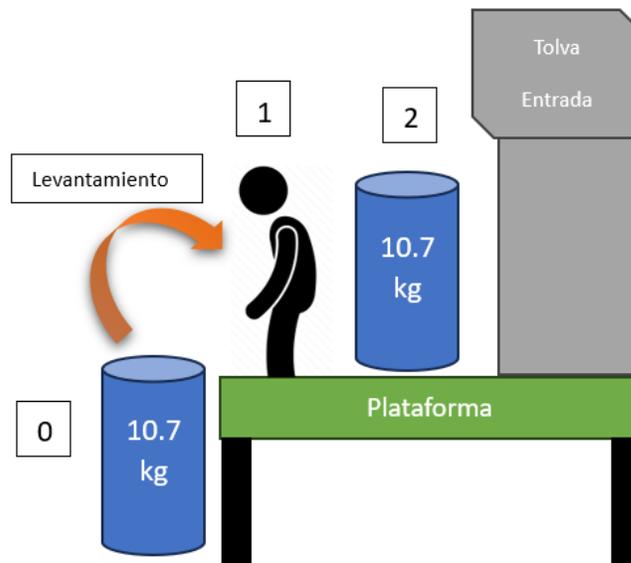
de trabajo de Estados Unidos que se encarga de crear normas para garantizar condiciones de trabajo seguras y saludables para los trabajadores («Law and regulations | occupational safety and health administration», 2022). También se utiliza las normas de levantamiento de cargas dictadas por el *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH).

Análisis de levantamiento de cargas

Las lesiones en la espalda baja y generación de hernias discales es la segunda lesión más frecuente en Estados Unidos, ocasiona pérdidas de 149 millones de días de trabajo al año ante una ausencia justificada por lesión en el trabajo. Los costos de tratamiento anuales se estiman entre 100 y 200 mil millones de dólares (Freburger et al., 2009).

El cuidado del equipo de trabajo y la productividad del personal debe considerar la mitigación del daño en la operación de levantamiento de cargas en los turnos de trabajo asignados. El levantamiento de carga ocurre en la operación de la trituradora específicamente en la tolva de entrada en donde se debe cargar el saco con material por triturar desde el suelo hasta la plataforma que está ubicada cerca a la tolva de entrada. También ocurre al momento de elevar el saco de plásticos HDPE para introducir el material dentro de la tolva de trituración, estos escenarios se observan en la Figura 12 y 13.

Figura 12: Levantamiento 1: Levantar el saco desde el suelo y colocarlo en la plataforma



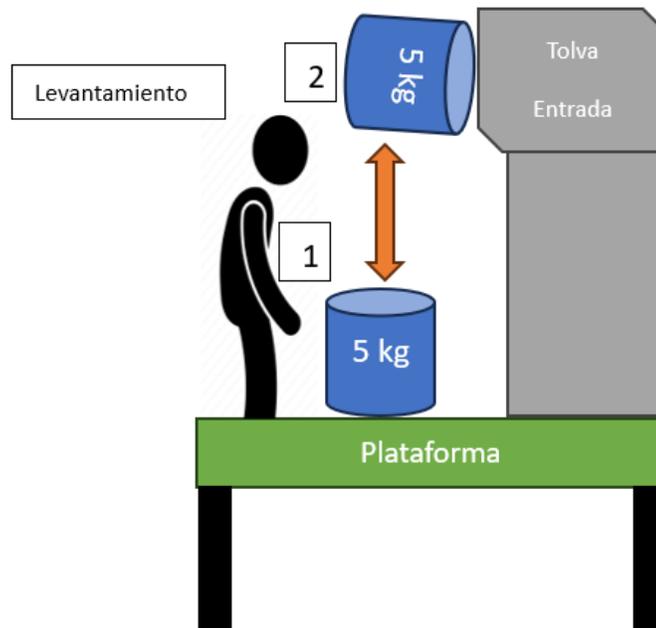
Fuente: Elaboración propia

Descripción del levantamiento del saco de material por triturar desde el suelo hasta la plataforma:

- Posición 0: El saco se encuentra en el suelo, tiene una masa promedio de 10.7 kg the plástico de alta densidad, el operario se ubica en frente del saco para levantarlo.

- Trayecto 0-1: Se levanta el saco con un agarre en la parte superior, girando 90 grados para colocarlo en la plataforma en la posición 1.
- Trayecto 1-2: Con el saco levantado, en la posición 1 gira nuevamente 90 grados para colocar el saco en la posición 2, para así completar un giro total de 180 grados desde la posición 0 hasta la posición 2, sin embargo con una posición de intermedio para poder acomodar y ajustar la posición de piernas del operario debido al espacio disponible.

Figura 13: Levantamiento 2: Elevar el saco para introducir material en la tolva de entrada



Fuente: Elaboración propia

Descripción del levantamiento de saco desde la plataforma hasta la tolva de entrada de la trituradora.

- El operario de la máquina inicia introduciendo el material triturado unidad por unidad hasta que quede solamente el 50 % del plástico dentro del saco.
- Se toma el saco con una masa aproximada de 5 kg desde la posición 1.
- Se levanta el saco desde la posición 1 hasta la 2 y se introduce el material triturado directamente a la tolva de entrada de la trituradora.

Se procede a realizar un estudio de viabilidad de la metodología de levantamiento de carga por medio de las ecuaciones y normas de la versión revisada del manual de levantamiento de NIOSH versión 2021. Se calcula el índice de levantamiento para ambos escenarios de levantamiento.

Metodología de cálculo de índice de levantamiento

La ecuación de índice de levantamiento se define según el peso y condiciones de la carga durante un tiempo establecido, brinda un parámetro del nivel de esfuerzo físico y posibilidad de generar un daño en la espalda lumbar por el tipo de carga levantado («Applications manual for the revised NIOSH lifting equation.», 2021). El índice se mide en el origen y destino del movimiento, según el indicador se determina la seguridad de la operación.

$$\text{Índice de Levantamiento} = \frac{\text{Peso de carga [kg]}}{\text{Peso límite recomendado [kg]}} = \frac{Li}{RWL} \quad (1)$$

El peso límite recomendado se calcula con la siguiente expresión:

$$RWL = LC \cdot HM \cdot VM \cdot DM \cdot AM \cdot FM \cdot CM \quad (2)$$

LC = Constante de carga (23 Kg)

HM = Multiplicador de horizontal

VM = Multiplicador vertical

DM = Multiplicador de distancia

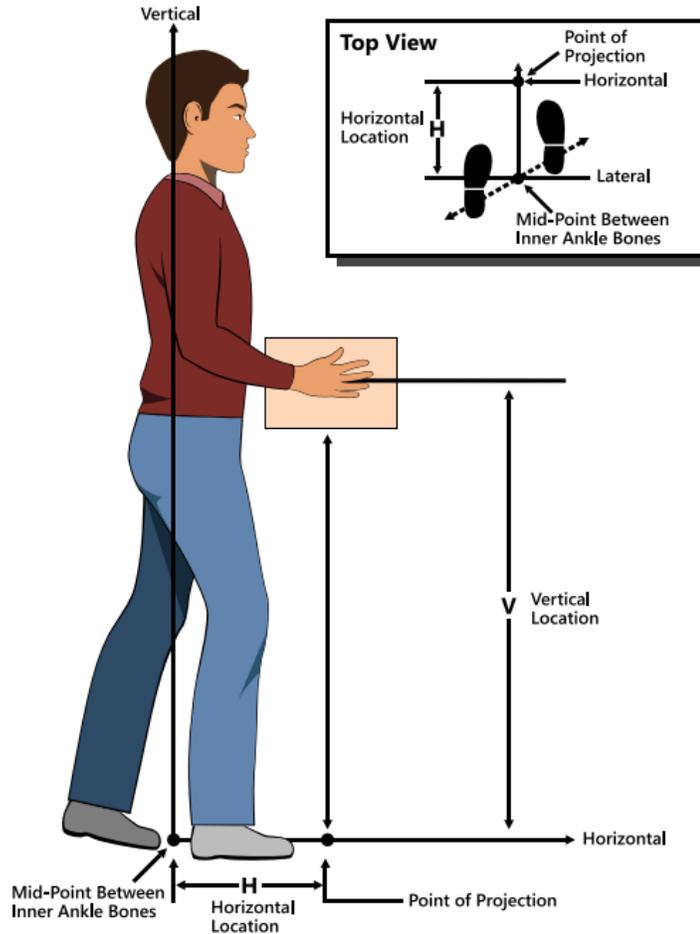
AM = Multiplicador asimétrico

FM = Multiplicador de frecuencia

CM = Multiplicador de agarre

Los multiplicadores se determinan a partir de parámetros de puntos de carga y ángulos de giro del operario, las siguientes imágenes permiten apreciar las medidas que se consideran en el análisis de levantamiento según la norma.

Figura 14: Parámetros de medición en indicadores



Fuente: («Applications manual for the revised NIOSH lifting equation.», 2021)

Estimación de multiplicador horizontal.

El multiplicador horizontal se determina a partir de la ubicación horizontal H que se observa en la Figura 14. Por lo que se considera una distancia para cargar el objeto de 34 cm para el escenario 1 y de 30 cm para el escenario 2 tanto en el origen como el destino del levantamiento. En el escenario 2, el agarre es más cercano al pecho debido a que tiene que elevarlo y cambiar su posición de vertical a horizontal para introducir el material a la tolva de entrada como se observa en la Figura 13. El multiplicador se obtiene de la Tabla 1 del manual de NIOSH (Ver anexo: Tablas de NIOSH), por lo que los multiplicadores horizontales para los dos escenarios son:

- $H_{\text{Levantamiento 1, Origen}} = 34 \text{ cm}$
- $HM_{\text{Levantamiento 1, Origen}} = 0.74$
- $H_{\text{Levantamiento 1, Destino}} = 34 \text{ cm}$
- $HM_{\text{Levantamiento 1, Destino}} = 0.74$
- $H_{\text{Levantamiento 2, Origen}} = 30 \text{ cm}$

$$\begin{aligned} HM_{\text{Levantamiento 2, Origen}} &= 0.83 \\ H_{\text{Levantamiento 2, Destino}} &= 34 \text{ cm} \\ HM_{\text{Levantamiento 2, Destino}} &= 0.83 \end{aligned}$$

Estimación del multiplicador vertical

El multiplicador vertical es la distancia vertical medida desde la base del operador hasta el punto donde está cargando el objeto, el multiplicador se obtiene de la Tabla 2 del manual de levantamiento de NIOSH (ver anexo: Tablas de NIOSH), en este caso para el levantamiento 1 (ver Figura 12), se observa que el saco se encuentra en el suelo y el operario en la plataforma, se admite una distancia vertical desde la plataforma de 20 cm, ya que el operario deberá agacharse y tomar el saco desde la parte superior, para un agarre firme. Por otro lado, en el destino del movimiento, el operador llevará el saco hasta la posición 2 (pasando por la posición 1), a una distancia vertical de 1 m desde el suelo a la altura de las caderas para mayor estabilidad y comodidad. Los multiplicadores para el levantamiento 1 son:

$$\begin{aligned} V_{\text{Levantamiento 1, Origen}} &= 20 \text{ cm} \\ VM_{\text{Levantamiento 1, Origen}} &= 0.84 \\ V_{\text{Levantamiento 1, Destino}} &= 100 \text{ cm} \\ VM_{\text{Levantamiento 1, Destino}} &= 0.93 \end{aligned}$$

En el levantamiento 2 (ver Figura 13), el operador toma el saco nuevamente desde la parte superior, sin embargo en la posición 1, el saco se encuentra sobre la plataforma por lo que lo toma a una altura de 70 cm y lo eleva a la entrada de la trituradora a una altura de 175 cm para que pueda ser triturado. Los indicadores son los siguientes:

$$\begin{aligned} V_{\text{Levantamiento 2, Origen}} &= 70 \text{ cm} \\ VM_{\text{Levantamiento 2, Origen}} &= 0.99 \\ V_{\text{Levantamiento 2, Destino}} &= 175 \text{ cm} \\ VM_{\text{Levantamiento 2, Destino}} &= 0.70 \end{aligned}$$

Estimación de multiplicador de distancia

El multiplicador de distancia se obtiene a partir de la Tabla 3 del manual revisado de levantamiento de NIOSH (ver anexo: Tablas de NIOSH) según la distancia de elevación de carga que sucede en el levantamiento, en el escenario 1 se considera una elevación máxima del saco de 85 cm debido al movimiento de traslación vertical del saco desde el suelo hasta la plataforma. Este multiplicador involucra todo el movimiento en conjunto desde el origen hasta el destino, por lo que solamente existe un indicador por tipo de levantamiento. Los indicadores para la operación analizada son:

$$\begin{aligned} D_{\text{Levantamiento 1}} &= 85 \text{ cm} \\ DM_{\text{Levantamiento 1}} &= 0.87 \\ D_{\text{Levantamiento 2}} &= 100 \text{ cm} \\ DM_{\text{Levantamiento 2}} &= 0.87 \end{aligned}$$

Multiplicador asimétrico

Este multiplicador se aplica según los ángulos de giro del operador al realizar los movimientos

de carga, se recupera de la Tabla 4 del manual de NIOSH (ver anexo: Tablas de NIOSH). En el levantamiento 1 (ver Figura 12), el operador realiza dos giros, el primero se da en el origen en el trayecto 0-1, con un giro de 90 grados para tomar el saco del suelo y levantarlo hacia la plataforma, el segundo giro ocurre en el trayecto 1-2, en donde también se gira 90 grados el torso para poder colocar el saco frente a la tolva de entrada de la trituradora sobre la plataforma.

$$\begin{aligned} A_{\text{Levantamiento 1, Origen}} &= 90^\circ \\ AM_{\text{Levantamiento 1, Origen}} &= 0.71 \\ A_{\text{Levantamiento 1, Destino}} &= 90^\circ \\ AM_{\text{Levantamiento 1, Destino}} &= 0.71 \end{aligned}$$

El levantamiento 2 (Figura 13, no existe ángulo de giro de la carga, debido a que solamente se realiza un movimiento de elevación vertical de carga. Por lo que los multiplicadores, según la Tabla 4 del manual de NIOSH son:

$$\begin{aligned} A_{\text{Levantamiento 2, Origen}} &= 0^\circ \\ AM_{\text{Levantamiento 2, Origen}} &= 1 \\ A_{\text{Levantamiento 2, Destino}} &= 0^\circ \\ AM_{\text{Levantamiento 2, Destino}} &= 1 \end{aligned}$$

Multiplicador de frecuencia

Este multiplicador se genera a partir de la frecuencia de la operación, medida en levantamientos por minuto realizados, se obtiene a partir de la Tabla 5 del manual de NIOSH (ver anexos: Tablas de NIOSH), en donde el multiplicador se encuentra a partir de la frecuencia de levantamiento, duración de la actividad en general y el parámetro V de ubicación vertical, tanto en el origen como en el destino del objeto levantado.

El procedimiento para estimar el número de levantamientos por minuto, se calculó con la siguientes expresión.

$$F_{\text{Levantamiento}} = \frac{150 \text{ Kg}}{\text{Hr}} \cdot \frac{1}{\text{Masa de saco Kg}} \cdot \frac{1\text{Hr}}{60 \text{ min}} \quad (3)$$

$$F_{\text{Levantamiento}} = \frac{150 \text{ Kg}}{\text{Hr}} \cdot \frac{1}{10.7 \text{ Kg}} \cdot \frac{1\text{Hr}}{60 \text{ min}} = 0.233 \approx 0.5$$

Se aproxima el valor de F a 0.5 ya que la Tabla 5 de NIOSH no admite un valor entre 0.2 y 0.5, por lo que se toma de manera conservadora el multiplicador asociado a la frecuencia de 0.5.

La duración de la actividad se estima entre una y dos horas ya que los operarios del centro de acopio Agrequima, cuentan con un descanso cada dos horas y rotación del personal, por lo que no se espera que el mismo operador de la máquina trabaje más de dos horas seguidas. Finalmente los multiplicadores de frecuencia para el origen y destino del levantamiento 1 y 2 son:

$$\begin{aligned}
FM_{\text{Levantamiento 1, origen}} &= 0.92 \\
FM_{\text{Levantamiento 1, destino}} &= 0.92 \\
FM_{\text{Levantamiento 2, origen}} &= 0.92 \\
FM_{\text{Levantamiento 2, destino}} &= 0.92
\end{aligned}$$

Multiplicador de agarre

Este indicador relaciona la comodidad y firmeza del agarre del objeto que se va a elevar, el saco de material triturado no tiene un diseño de agarre específico, por lo que se considera que tiene un agarre "justo" que si bien no es óptimo se puede sostener con ambas manos con firmeza y depende de la ubicación vertical V, se utiliza la Tabla 6 del manual de NIOSH (ver anexos: Tablas de NIOSH). El multiplicador de agarre para el levantamiento 1 y 2 es de:

$$\begin{aligned}
CM_{\text{Levantamiento 1 origen}} &= 0.95 \\
CM_{\text{Levantamiento 1 destino}} &= 1 \\
CM_{\text{Levantamiento 2 origen}} &= 0.95 \\
CM_{\text{Levantamiento 2 destino}} &= 1
\end{aligned}$$

Cuadro 6: Multiplicadores de NIOSH de levantamiento 1

	LC	HM	VM	DM	AM	FM	CM
Origen	23	0.74	0.84	0.87	0.71	0.92	0.95
Destino	23	0.74	0.93	0.87	0.71	0.92	1.00

$$\begin{aligned}
RWL_{\text{Levantamiento 1, origen}} &= 23 \cdot 0.74 \cdot 0.84 \cdot 0.87 \cdot 0.71 \cdot 0.92 \cdot 0.95 = 7.72 \text{ kg} \\
RWL_{\text{Levantamiento 1, destino}} &= 23 \cdot 0.74 \cdot 0.93 \cdot 0.87 \cdot 0.71 \cdot 0.92 \cdot 1.00 = 9.00 \text{ kg}
\end{aligned}$$

Cuadro 7: Multiplicadores de NIOSH de levantamiento 2

	LC	HM	VM	DM	AM	FM	CM
Origen	23	0.83	0.99	0.87	1	0.92	0.95
Destino	23	0.83	0.70	0.87	1	0.92	1.00

$$\begin{aligned}
RWL_{\text{Levantamiento 2, origen}} &= 23 \cdot 0.83 \cdot 0.99 \cdot 0.87 \cdot 1.00 \cdot 0.92 \cdot 0.95 = 14.22 \text{ kg} \\
RWL_{\text{Levantamiento 2, destino}} &= 23 \cdot 0.83 \cdot 0.70 \cdot 0.87 \cdot 1.00 \cdot 0.92 \cdot 1.00 = 10.63 \text{ kg}
\end{aligned}$$

Finalmente, se encuentra el índice de levantamiento de NIOSH para los levantamientos 1 y 2, en el origen del movimiento y el destino. Para esto se considera la carga del saco en el levantamiento como 10.7 kg promedio, sin embargo se admite una carga máxima considerada de 11 kg. En el levantamiento 2, se admite una carga de 5kg que representa cuando el saco contiene la mitad del material original puesto que ya ha sido triturado de forma manual.

$$\begin{aligned}
\text{Li Levantamiento 1, origen} &= \frac{\text{Peso de objeto (kg)}}{\text{RWL(kg)}} = \frac{11.00}{7.72} = 1.42 \\
\text{Li Levantamiento 1, destino} &= \frac{\text{Peso de objeto (kg)}}{\text{RWL(kg)}} = \frac{11.00}{9.00} = 1.22 \\
\text{Li Levantamiento 2, origen} &= \frac{\text{Peso de objeto (kg)}}{\text{RWL(kg)}} = \frac{5.00}{14.22} = 0.35 \\
\text{Li Levantamiento 2, destino} &= \frac{\text{Peso de objeto (kg)}}{\text{RWL(kg)}} = \frac{5.00}{10.63} = 0.47
\end{aligned}$$

El índice de levantamiento de NIOSH para el levantamiento 1 (Figura 12) para el origen y destino es de 1.42 y 1.22 respectivamente, estos se encuentran dentro de la categoría de riesgo bajo "para lesiones por levantamiento de carga, ya que ambos índices están por debajo de 1.5, sin embargo se recomienda evitar giros tan bruscos con el cuerpo en este levantamiento y al momento de levantar el saco utilizar los músculos de las piernas y no la espalda baja. Por otro lado, en el levantamiento 2, se encontraron índices de 0.35 y 0.47 para el origen y destino respectivamente, estos están dentro de la categoría de "muy bajo riesgo" de lesión lumbar por lo que no es necesario modificar ninguna parte de la ejecución de este levantamiento.

Finalmente, se encontró que los levantamiento 1 y 2 no representan riesgos para los operadores y se puede mantener esta mecánica de levantamiento de cargas para introducción del material a la trituradora, esto garantiza la seguridad operacional de los trabajadores.

Evaluación de riesgo y daño auditivo

Respecto a la operación de la trituradora, un factor importante de interés para el módulo de potencia es el ruido que generará el motor y si este será dañino para los operarios ante una exposición de tiempo alta. Según la OSHA, esto se determina según los decibeles de ruido de operación con la siguiente expresión.

$$\text{Criterio ruido} = \frac{C_n}{T_n} \tag{4}$$

C_n =Tiempo total de exposición a ruido

T_n =Tiempo permitido a esa exposición

Si el criterio de ruido es mayor a 1, el operario deberá tomar un descanso o relevo de sus actividades, a esto se le considera holgura por ruido. Los parámetros de ruido y su exposición máxima permitida son:

Cuadro 8: Niveles de ruido permisibles OSHA

Nivel de ruido (DB)	Tiempo máximo permisible (Horas)
80	32
85	16
90	8
95	4
100	2
105	1
110	0.5 (30 min)
115	0.25 (15 min)
120	0.125 (7.5 min)
125	0.063 (3 minutos, 47 segundos)
130	0.031 (1 minutos, 52 segundo)

Fuente: ((«Law and regulations | occupational safety and health administration», 2022))

El diseño de la trituradora tendrá un motor diésel, esto son más ruidosos que los motores eléctricos, por lo que se espera que el ruido de operación se encuentre entre los 100 y 105 dB, para un tiempo de operación máximo de 6 horas, según los requisitos del sistema. El cálculo del criterio varía según se elijan 100 dB o 105 dB (Zehan et al., 2016), sin embargo, en este caso se toma el escenario donde exista más ruido.

Ahora bien, respecto a las horas de operación, se utilizarán 4 horas de operación seguidas, esto porque a pesar de que la máquina está diseñada para una operación diaria mayor, esta no es la realidad para el centro de acopio Agrequima, puesto que ellos no tienen suficiente material para triturar durante seis horas por lo que, según estadísticas, sus valores de operación promedio son de 4 horas. El criterio de holgura por ruido será el siguiente.

$$Criterio = \frac{Horas\ de\ trabajo\ a\ 105\ DB}{Horas\ permitidas\ a\ 105\ DB} = \frac{4}{1} = 4 \quad (5)$$

Según el criterio el operario de la trituradora no puede trabajar cuatro horas seguidas ya que podría generarle problemas de audición en el futuro, por lo que se realiza el siguiente cálculo para determinar la holgura por descanso.

$$HD = 100 * (Criterio - 1) = 100 * (4 - 1) = 300\% \quad (6)$$

Donde
HD=Descanso en %

Se encontró una holgura por descanso del 300%, esto significa que el operario por cada hora de trabajo en la trituradora deberá descansar por 3 horas para que no represente un riesgo a su salud auditiva. Esto indica que una operación continua de la máquina sin ningún tipo de protección auditiva es muy peligrosa para el operador. Entre los efectos negativos de una exposición alta al ruido se encuentran demencia, hipertensión, zumbido en los oídos y

problemas cardíacos, según un estudio de la universidad de Colombia realizado entre 1995 y 2004 (Gan et al., 2011).

Por lo tanto, se considera que se deben tomar medidas de protección auditiva para disminuir los decibeles que recibe el operador de la máquina para que pueda realizar su trabajo de manera continua y cumplir con las metas de producción de forma segura. Se propone el uso de orejeras especializadas que reducen el nivel de ruido, según el tipo de operación.

Cuadro 9: Tipo de protección auditiva según nivel de ruido

Ruido (DB)	Reducción de ruido (DB)
80	10-13
85	14-17
90	14-17
100	18-21
105	22-25

Fuente:(«Earplugs vs ear muffs», s.f.)

Según la Tabla anterior, se puede observar que para el caso de la trituradora en donde se generan 105 DB, es necesaria una reducción de 22-25 DB. Se sugieren unas orejeras plegables Trupper de reducción de ruido de 23DB, marca Trupper disponibles en el mercado guatemalteco, en la empresa CEMACO, por Q154.99.

Figura 15: Orejeras marca Trupper



Fuente: Cemaco

Finalmente, el ruido captado por el operador será de 82 DB y según el Cuadro 8 , este podrá mantener una operación máxima permisible de 16 horas. Por lo tanto, se determina un factor de seguridad sobre ruido de 4; esto indica que el operario podrá realizar su trabajo durante su jornada laboral sin ningún inconveniente siempre y cuando esté utilizando las orejeras sugeridas. Ecuacion de nosh e investigar sobre fatiga de los trabajadores.

6.3. Diseño de transmisión de potencia

6.3.1. Elementos de diseño y parámetros generales

Cuadro 10: Componentes de diseño

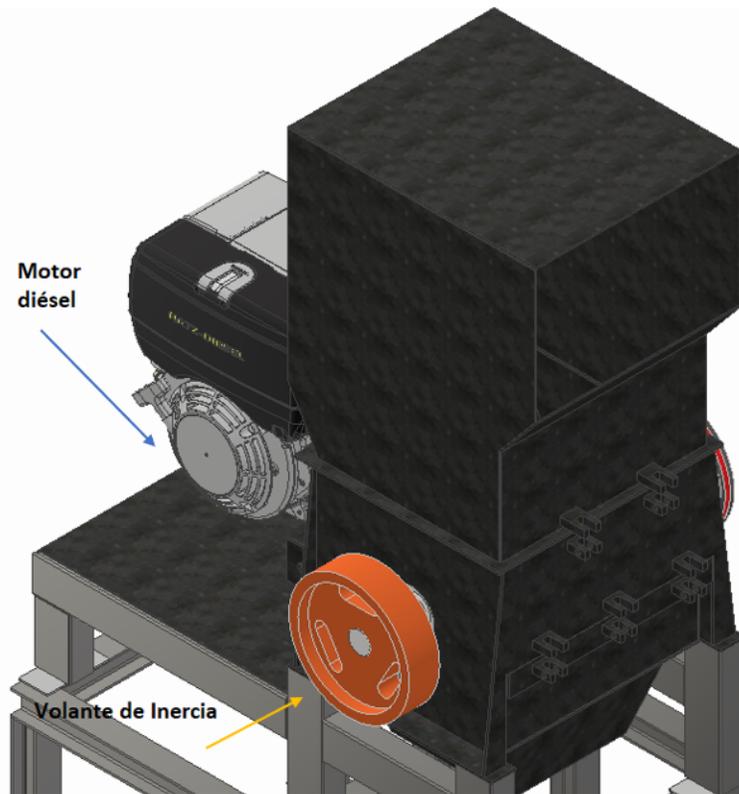
Módulo	Componentes por diseñar y calcular
Sistema de transmisión de potencia	- Condiciones de operación de motor
	- Fajas de transmisión
	- Poleas
	- Volante de inercia
	- Elementos de sujeción al eje
Motor	- Mecanismo de ajuste de distancia de centros
	- Sistema de sujeción del motor
Seguridad	- Amortiguadores de vibraciones
	- Freno de emergencia
	- Metodología de mantenimiento

6.3.2. Cálculos y diseño de sistema

Se presentan los cálculos del sistema de transmisión de potencia para una trituradora de plástico de alta densidad (HDPE) que busca una producción de 150 kg/h, con un costo menor a \$12,000. Se calcula la cantidad de fajas necesarias para que el sistema funcione, horas de vida, tensiones necesarias de operación; se diseña y calcula la energía almacenada por el volante de inercia.

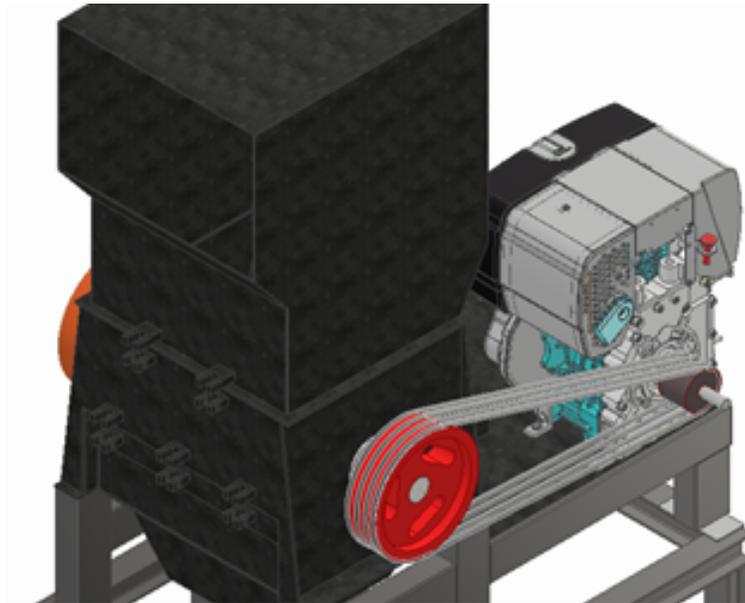
Diseño de sistema de transmisión de potencia

Figura 16: Diseño de la parte posterior de la trituradora



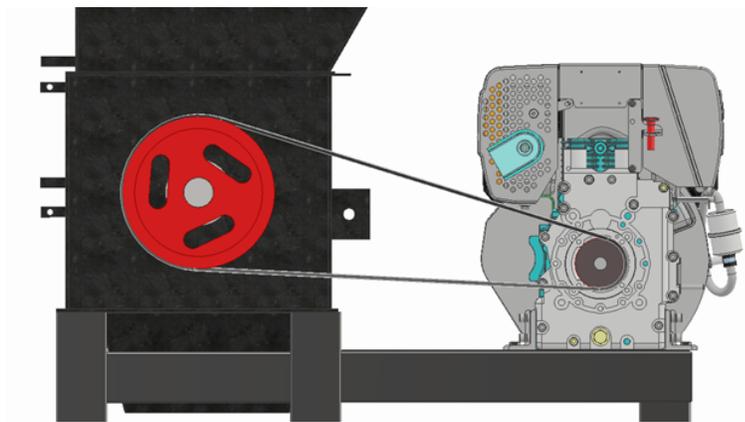
Fuente: Captura de pantalla de Autodesk reimpresas por cortesía de Autodesk, Inc. *Nota: El motor Hatz es para efectos demostrativos, el CAD del motor fue diseñado por la empresa Hatz.

Figura 17: Vista ortogonal



Fuente: Captura de pantalla de Autodesk reimpresas por cortesía de Autodesk, Inc.

Figura 18: Vista lateral



Fuente: Captura de pantalla de Autodesk reimpresas por cortesía de Autodesk, Inc.

6.3.3. Mediciones experimentales, determinación de torque y velocidad rotacional del motor.

Se realizaron dos visitas al centro de acopio región altiplano central Agrequima ubicado en los aposentos, carretera a San Andrés Itzapa. En estas visitas se recopilieron datos sobre una trituradora de plástico de alta densidad existente y en esta máquina se basan ciertos parámetros del diseño de la futura trituradora. Los valores principales encontrados referentes al sistema de transmisión de potencia son los siguientes.

Cuadro 11: Medidas de poleas y motor

Nombre	Medida	Dimensional	Fuente
Potencia de motor	25	HP	Placa de motor
Velocidad angular de placa	2200	RPM	Placa de motor
Diámetro de polea conectada al motor	6	pulgadas	Medido
Diámetro de polea que mueve al eje de las cuchillas	18	pulgadas	Medido

Procedimiento para determinar las revoluciones del motor según datos experimentales

En la segunda visita al centro de acopio, se utilizó el tacómetro marca Neiko 20713. Este es un sensor de rotación confiable, sus mediciones registran desde 2.5 rpms hasta 99,999 rpms, con una precisión de $\pm 0.05\%$ («Neiko 20713a digital tachometer», s.f.). Sin embargo, la medición de la velocidad angular del sistema se tomó en la polea de diámetro mayor debido a que la cinta reflectiva tenía una adhesión más fuerte sobre el material de esta polea. También registra el tiempo de producción de material.

Figura 19: Uso de sensor e imagen de material producido



Fuente: Propia

Cuadro 12: Medidas de velocidad de revolución del eje y producción de material triturado

Medida	Abreviación	Valor	Dimensional	Fuente
Velocidad angular de polea mayor	W_d	667	RPM	Sensor Neiko
Tiempo de trituración	t	256	Segundos	Experimental
Cantidad de HDPE triturado	m	10.7	Kg	Balanza

A continuación, se encuentra la velocidad angular del motor mediante la siguiente expresión.

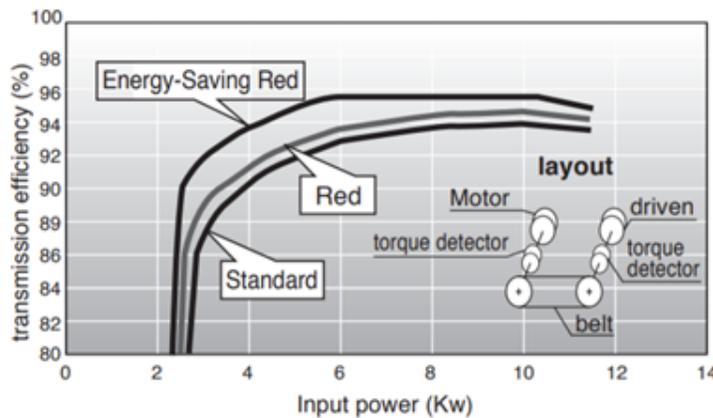
$$W_d = \frac{D}{d} * W_D \quad (7)$$

Donde

- W_d =velocidad angular polea diámetro menor
- $W_D = 667$ rpm
- D =Polea de diámetro mayor=18 in
- d =polea de diámetro menor= 6 in

Se encontró un valor $W_d = 2001$ rpm, este valor representa que tan rápido se mueve la polea de diámetro menor, no obstante, para encontrar el valor de la velocidad angular del motor se debe considerar la eficiencia de las bandas, estas son marca Bando estándar B112, por lo que según su catálogo tendrán una eficiencia de 93 %.

Figura 20: Eficiencia de Bandas B112 marca Bando vs Potencia de entrada



Fuente: Bando

*Nota: El catálogo indica que para potencias mayores a 12 KW utilizar el valor de eficiencia último registrado en la Tabla.

Se utiliza la siguiente expresión para determinar la verdadera velocidad angular del motor.

$$W_m = \frac{W_d}{\eta} = \frac{2001}{0.93} = 2,151 \text{ rpm} \quad (8)$$

$$\eta = \text{Eficiencia de bandas}$$

Se observa que el valor experimental de medición de velocidad angular del motor es bastante cercano a las revoluciones de placa, por lo que se supone que a potencia de placa es confiable y se utilizará como la potencia de funcionamiento del motor bajo condiciones de trituración. Finalmente se encuentra el torque mediante la siguiente expresión:

$$T (Nm) = \frac{P (Watts)}{W (\frac{rad}{s})} \quad (9)$$

En donde:

P = Potencia de motor = **25 hp = 18.7x10³ Watts**

W = Velocidad angular

La producción de material se calcula de siguiente forma.

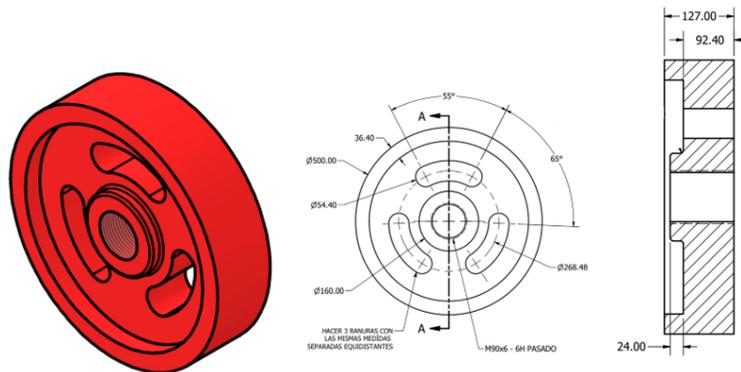
$$\dot{m} \left(\frac{kg}{h} \right) = \frac{m \text{ producida}}{\text{tiempo (s)}} * \frac{3600s}{1 hr} = \frac{10.7 kg}{256s} * \frac{3600s}{h} \quad (10)$$

$$\dot{m} = 150.47 \frac{kg}{h}$$

Cuadro 13: Resultado de velocidad angular, torque del motor y poleas

Resultado	Abreviación	Valor	Dimensional	Fuente (%)
Velocidad angular polea D	W_D	667	RPM	Sensor Neiko
Torque en polea D	T_D	267.72	Nm	Ecuación [9]
Velocidad angular polea d	W_d	2001	RPM	Ecuación [7]
Torque en polea d	T_d	89	Nm	Ecuación:[9]
Velocidad angular del motor	W_m	2151	RPM	Ecuación [8]
Producción	\dot{m}	150.47	Kg/h	Ecuación [10]

Figura 21: Consideraciones de diseño de polea D



Fuente: Captura de pantalla de Autodesk reimpresas por cortesía de Autodesk, Inc.

*Nota: Todas las medidas se encuentran en milímetros. Este no es un plano de las poleas, es una imagen con el objetivo de demostrar las dimensiones generales de la polea D, el juego de planos completo y detallado se encuentra en el manual de ensamble. Las medidas sobre las ranuras se pueden encontrar en la figura del volante de inercia.

6.3.4. Cálculos de bandas: Tipo y cantidad de fajas

A continuación, se presenta el procedimiento realizado para determinar la cantidad de bandas a utilizar según el proveedor que en este caso es la marca estándar de fajas en V Bando, vendida por la empresa Clutches de Guatemala. Se deben considerar las medidas diámetro (ver Cuadro 11) y de velocidad angular de las Poleas D y d (ver Cuadro 13) además de la potencia del motor (ver Cuadro 11) Se debe encontrar la distancia entre centros de las poleas para el análisis de tipo de banda que se utilizará. En este paso, se utiliza el procedimiento de diseño del libro de diseño de ingeniería mecánica de Shigley para bandas B. La expresión para encontrar la distancia entre centros es la siguiente:

$$c = 0.25 \left[\left(L_p - \frac{\pi}{2} (D - d) \right) + \sqrt{\left(L_p - \frac{\pi}{2} (D - d) \right)^2 - 2 (D - d)^2} \right] \quad (11)$$

Fuente: Budynas, 2010 (Expresión 17-16b)

$$L_p = \text{Longitud de paso de banda} = L_n + L_{int} \quad (12)$$

La longitud de paso, según el tipo de faja utilizada, en este caso es una banda en V estándar B112, se determina a través de la ecuación [12]. La longitud nominal es de 112 in y la longitud de circunferencia interna es de 1.8 in (Tabla 17-11) ((Budynas & Nisbett, 2010). Finalmente se puede encontrar el valor de la distancia entre centros adecuada para una banda B112 y un sistema de poleas con los diámetros medidos experimentalmente.

$$c = 0.25 \left[\left(L_p - \frac{\pi}{2} (D - d) \right) + \sqrt{\left(L_p - \frac{\pi}{2} (D - d) \right)^2 - 2 (D - d)^2} \right] = 35.6 \text{ in}$$

Se procede con el cálculo de potencia de diseño y selección de banda, para esto se considera el tipo de operación al que se someterá la máquina.

Cuadro 14: Factor de servicio según tipo de operación de la máquina (Tabla-1 Catálogo Bando)

Maquinaria	Uso intermitente o uso diario entre 3-5 horas	Uso normal entre 8-10 horas
Agitadores para líquidos,		
Bombas centrífugas	1.0	1.1
Ventiladores de hasta 10 caballos de fuerza		
Mezcladoras		
Generadores		
Ejes	1.1	1.2
Bombas		
Maquinaria de lavandería		
Maquinas herramientas		
Compresores de pistón		
Pulverizadores	1.2	1.3
Maquinaria de madera		
Maquinaria textil		
Trituradoras	1.3	1.4
Molinos		
Polipastos	2.0	2.0

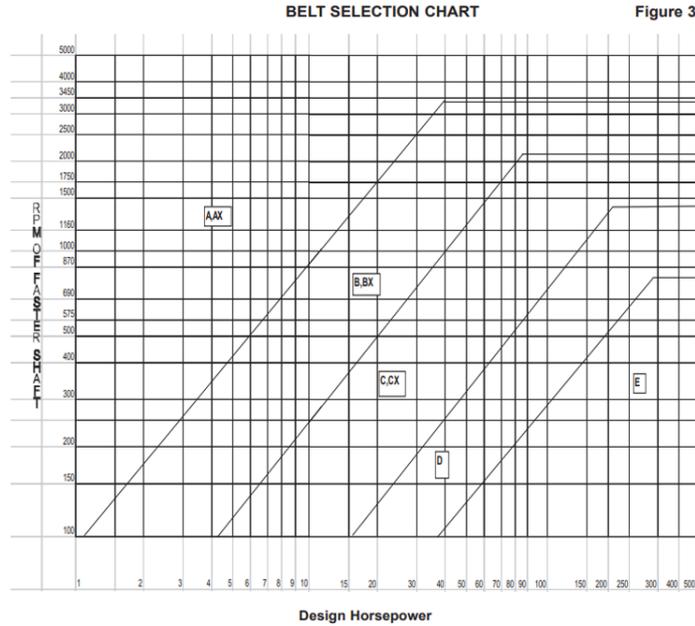
Fuente: («Bando Power Transmission Belt Product Desing Manual», 2018)

*Nota: La Tabla que se encuentra en esta sección está abreviada, para ver la Tabla completa ver las referencias al catálogo utilizado.

Se determina el factor de servicio del sistema, este es un factor de seguridad sobre las bandas, este se valora según el tiempo de operación de la máquina y tipo de máquina. Según la Tabla 1 del catálogo de Bando se determinó un factor de servicio de 1.4, ya que se espera que la trituradora trabaje hasta 6 horas diarias sin interrupción. A continuación, se encuentra la potencia de diseño de las fajas:

$$P_{modelo} = P_{nominal} * Fs = 25 \text{ HP} * 1.4 = 35 \text{ HP} \quad (13)$$

Figura 22: Imagen de qué tipo de banda seleccionar según la potencia de diseño y velocidad de rotación del motor (Figura 3, de catálogo de Bando).



Fuente:(«Bando Power Transmission Belt Product Design Manual», 2018)

Se selecciona la familia de bandas B, según la Figura 1 del catálogo de bando (Bando,2022), al considerar las RPM de la polea de diámetro menor y la potencia de diseño encontrada anteriormente. Para encontrar el tamaño de faja, primero se seleccionan un tamaño de poleas predeterminadas por el catálogo de Bando, en este caso la polea D' tendrá un diámetro de 19 in y la polea de 6 pulgadas de diámetro, bastante parecidos a los que se encontraron experimentalmente. A continuación, se encuentra la longitud de la faja.

$$Longitud\ Faja\ (in) = 2C + 1.57(D' + d') + \frac{(D' - d')^2}{4C} [10] = 111.6 \cong 112 \quad (14)$$

Fuente:Bando

Donde:

$$D' = 19 \text{ ''}$$

$$d' = 6 \text{ ''}$$

$$C = 35.6 \text{ ''}$$

Se encontró una longitud de faja de 111.6 “, que se aproxima a las 112 pulgadas, que es el tamaño nominal de la banda B112, por lo que es correcto utilizar la banda B112 de Bando para este sistema. Se procede a encontrar la potencia de transmisión estándar. Este valor indica la capacidad de transmisión por banda para la velocidad rotacional requerida según el diámetro de la polea conectada al motor, se utilizó la Tabla 24 y 25 del catálogo de Bando, en donde se encuentran los valores base de transmisión estándar y un índice de transmisión que al sumarse se determina la potencia de transmisión estándar.

$$P\ estandar = Indice\ Base\ HP + HP\ rating = 9.76 \frac{Hp}{Banda} \quad (15)$$

Fuente: Bando

$$\text{Indice Base HP} = 8.75 \frac{HP}{\text{banda}}$$

$$\text{Hp rating} = 1.01 \frac{hp}{\text{banda}}$$

*Nota: Los valores se obtienen en las Tablas 24 y 25 del catálogo de bandas B,Bx de bando, para d=6 “ y 2000 RPM.

Se encuentra el arco de contacto, un factor de corrección necesario para encontrar el número de fajas que se necesitan instalar, este se obtiene según la Tabla 19 del catálogo de Bando. Para eso se necesita calcular una relación entre poleas y distancia entre centros.

$$\frac{D' - d'}{c} = \frac{19 - 6}{35.6} = 0.365 \quad (16)$$

A continuación, con el valor encontrado anteriormente se utilizará la Tabla 4 del catálogo de Bando, para el factor de corrección llamado coeficiente de arco de contacto. Se encontró un coeficiente de arco $Fc \text{ arc} = 0.95$.

Finalmente, para encontrar el número de fajas, se tiene que encontrar un factor de corrección de la banda seleccionada, este factor de corrección $Fc b$ se encuentra en la Tabla 20 del catálogo de bando, según la faja seleccionada, en este caso es para la banda 3V112. El valor encontrado de $Fc b = 1.05$. Se calcula el número de fajas necesarias para el sistema con la siguiente expresión:

$$N \text{ fajas} = \frac{P \text{ modelo}}{P \text{ estandar} * Fc \text{ arc} * Fcb} \quad (17)$$

$$N \text{ fajas} = \frac{35 \text{ hp}}{9.76 \text{ hp} * 0.95 * 1.05} = 3.61 \cong 4 \text{ bandas}$$

Se encontró que se necesitan cuatro bandas para que la máquina operar correctamente, este valor es el mismo que la trituradora existente que se está utilizando de referencia y debido a que las condiciones de diseño son similares. Estos cálculos corroboran el diseño actual y se hicieron a pesar de conocer la cantidad de fajas de la trituradora de referencia; estos valores permiten calcular los siguientes parámetros.

Figura 23: Imagen de cantidad de bandas en polea D, para trituradora existente.

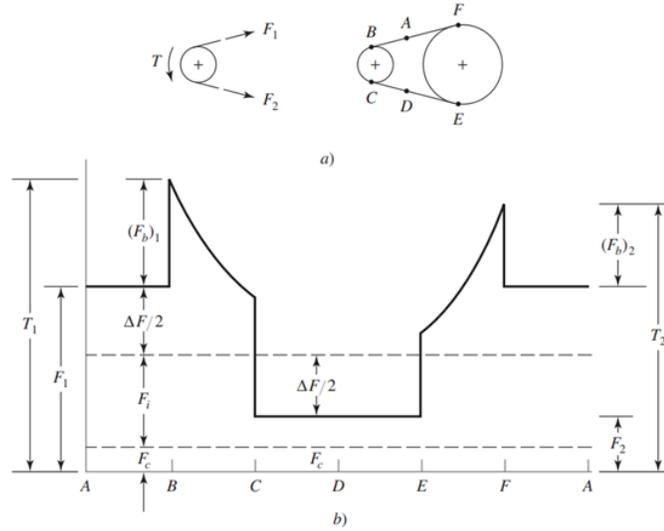


Fuente: Elaboración propia

6.3.5. Cálculo de tensiones en las bandas

Las tensiones de las fajas indican la fuerza a la óptima de operación de la faja, estas previenen accidentes y proveen información valiosa sobre los esfuerzos que se podrían generar en el resto de las piezas como ejes o estructura.

Figura 24: Ubicación de las fuerzas en un sistema de poleas



Fuente:(Budynas & Nisbett, 2010)

En la Figura 24, se puede observar las ubicaciones de las tensiones además de las fuerzas F1 y F2, que estirarán las poleas y en consecuencia la estructura. Se puede apreciar un comportamiento fluctuante de valores de fuerzas, con dos valores importantes, la tensión T1 máxima y la tensión T2 máxima, en los puntos por donde pasará la banda de transmisión. A continuación, se describe el procedimiento realizado para encontrar estos valores.

Determinación del ángulo de cobertura.

El ángulo de cobertura representa el desplazamiento angular que cubre la polea, cuando se coloca a una distancia entre centros establecida. Este ángulo sirve para determinar las fuerzas de tensión de las poleas.

La expresión para calcular el ángulo es:

$$\theta_d = \pi - 2 \sin^{-1} \left(\frac{D - d}{2C} \right) = 160.75^\circ \quad (18)$$

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2010)

Por el otro lado, en el proceso para encontrar las fuerzas, se define una relación exponencial entre la variable del ángulo de cobertura y el coeficiente de fricción entre los materiales discutidos. Se encontró que las fajas marca Bando B112 son de hule mientras que las poleas son de hierro fundido, por lo que según el catálogo de bando el coeficiente de fricción será de 0.3 (Bando, 2022). Esta relación se calculará más adelante.

Tensión centrífuga. La tensión centrífuga hace referencia a la tensión inducida por flexión en las bandas V sobre las poleas, este valor puede ser insignificante en las bandas planas, no obstante, es importante considerarla para las bandas en V. Se encontró el valor mediante

las siguientes expresiones:

$$F_c = K_c \left(\frac{V}{1000} \right)^2 = (0.9650) \left(\frac{3143.16}{1000} \right)^2 = 9.53 \text{ lbf} \quad (19)$$

Fuente:(Budynas & Nisbett, 2010),expresión 17-21

$$V = \text{Velocidad lineal} \left(\frac{ft}{min} \right) = \pi * \left(\frac{d}{12} \right) * W_d = 3143.16 \frac{ft}{min} \quad (20)$$

$K_c = 0.95$ Fuente: Tabla 17-16 (Budynas & Nisbett, 2010)

Se calcula la diferencia de fuerzas, este valor se basa en la potencia transmitida por bandas y es la diferencia entre la fuerza 1 y fuerza 2 que se aprecia en la Figura 24. Se calcula de la siguiente forma.

$$\Delta F = \frac{63025 \left(\frac{P_{\text{modelo}}}{N \text{ fajas}} \right)}{W_d * \left(\frac{d}{2} \right)} = 91.87 \text{ lbf} \quad (21)$$

Fuente: Ecuación 17-22 (Budynas & Nisbett, 2010)

$$P_{\text{modelo}} = 35 \text{ Hp}$$

Al tener la diferencia de fuerzas que se generan en la polea de diámetro menor, se calculará la fuerza 1 y fuerza 2 que se ubican en los puntos B y C de la Figura 24. Estos se calculan con la expresión 17-23 del libro de diseño mecánico (Budynas & Nisbett, 2010).

$$F1 = F_c + \frac{\Delta F \exp(f * \theta)}{\exp(f * \theta) - 1} = 170.98 \text{ lbf} \quad (22)$$

$$F2 = F1 - \Delta F = 79.11 \text{ lbf} \quad (23)$$

Se introduce el valor de la fuerza centrífuga encontrado en la expresión 19, el valor del ángulo de cobertura en radianes encontrado en la expresión 18 además del coeficiente de fricción de 0.3. Una vez obtenidos los valores de estas fuerzas se puede encontrar el factor de seguridad.

La fuerza i indica la tensión inicial a la que será sometida las fajas, esta es muy importante puesto que permite que el sistema funcione correctamente con la máxima seguridad posible, por lo que es importante que este valor se mantenga y mida mediante una inspección rutinaria. Se calcula de la siguiente forma.

$$F_i = \frac{F1 - F2}{2} - F_c = 115.51 \text{ lbf} \quad (24)$$

El siguiente paso es calcular el factor de seguridad de las bandas sobre las poleas, es importante considerar que, en el cálculo de este factor de seguridad de bandas, está incluido un factor de servicio de 1.4 encontrado en el catálogo de Bando, por lo que simplemente se fusca tener un factor de seguridad por encima de 1.

$$\eta = \frac{N \text{ fajas} * P_{\text{est}} * F_{cb} * F_{c \text{ arco}}}{P_{\text{modelo}}} = \frac{4 * 9.76 \text{ hp} * 1.05 * 0.95}{35 \text{ hp}} = 1.18 \quad (25)$$

El sistema es seguro y operará bajo un factor de seguridad de 1.18 por encima del factor de servicio considerado de 1.4, así que se puede confiar en utilizar las 4 bandas B112 marca Bando para la operación de la trituradora.

Tensión equivalente.

La tensión equivalente indica la tensión máxima que ocurrirá del lado más tensado de la banda, así como en el lado más flojo, cuando se encuentre en operación. Estos valores se calculan con la expresión 17-27 del libro de diseño de Shigley (Budynas & Nisbett, 2010).

$$T1 = F1 + Fb1 = F1 + \frac{Kb}{d} = 267 \text{ lbf} \quad (26)$$

$$T2 = F2 + Fb 2 = F1 + \frac{Kb}{D} = 203 \text{ lbf} \quad (27)$$

Donde

$$Kb = 576 \text{ (Tabla 17-12, Banda B112)(Budynas \& Nisbett, 2010)}$$

6.3.6. Cálculo de horas de vida en las bandas

El cálculo de horas de vida se realiza según el cálculo de tensión pasada que emplea Gates Rubber Company, donde se puede determinar el número de vueltas que pasarán antes de que las tensiones sometidas deban cambiarse debido al desgaste de la faja. También se encuentra la relación según el número de horas de funcionamiento mediante las siguientes expresiones.

$$Np = \left(\left(\frac{K}{T1} \right)^b + \left(\frac{K}{T2} \right)^b \right)^{-1} = 121 \times 10^9 \text{ pasadas} \quad (28)$$

Donde

$$\mathbf{K} = 1193 \text{ (Tabla 17-17)(Budynas \& Nisbett, 2010)}$$

$$\mathbf{b} = 10.926 \text{ (Tabla 17-17)(Budynas \& Nisbett, 2010)}$$

Ahora ya que las pasadas están por encima de $X10^9$ este dato supera el límite de validez de la ecuación 28 que determina el número de horas de funcionamiento de la faja, por lo que se coloca que tendrá un valor de pasadas de $X10^9$ puesto que es el máximo permisible, así que el número de horas de determina de la siguiente forma.

$$t = \frac{Np * Lp}{720V} = \frac{1 \times 10^9 * (113.8\text{in})}{720 \left(3143 \frac{ft}{\text{min}} \right)} = 50,285 \text{ horas} \cong 5 \text{ años y } 8 \text{ meses} \quad (29)$$

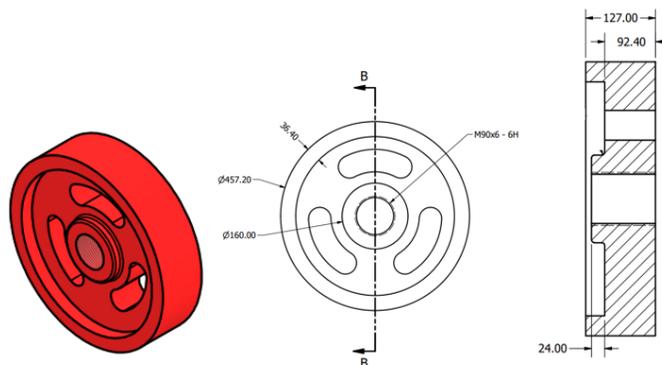
Se determinó una vida de 5 años y 8 meses para las bandas marca Bando B112, este cumple el requisito de tener un funcionamiento de los elementos de por lo menos 3 años, además de ser silenciosas y eficientes.

Cuadro 15: Resultados finales sobre fajas de transmisión

Resultado	Abreviación	Valor	Dimensional	Fuente
Banda seleccionada	NA	V B112	NA	Catálogo Bando 2018
Número de bandas	N Fajas	4	NA	Expresión [17]
Distancia entre centros de bandas	C	35.6	In	Expresión [11]
Factor de servicio	Fs	1.4	NA	Tabla 1, catálogo Bando.
Horas de vida de funcionamiento de bandas	T	50,285	Horas	Expresión [29]
Tensión inicial de las bandas	Fi	115.51	lbf	Expresión [24]
Tensión máxima equivalente en d	T1	267	lbf	Expresión [26]
Tensión máxima equivalente en D	T2	203	lbf	Expresión [27]

6.3.7. Diseño de volante de inercia

Figura 25: Diseño de volante de inercia



Fuente: Captura de pantalla de Autodesk reimpresas por cortesía de Autodesk, Inc.

*Nota las mediciones están en mm. Este no es un plano, es una figura que indica las dimensiones generales del volante de inercia. El juego de planos se generará en un archivo por separado.

El diseño de volante de inercia se hizo utilizando el programa asistido por computadora Autodesk Inventor (®). En ese se replicaron las medidas del volante de inercia existente, con el objetivo de poder determinar la masa, momento de inercia y finalmente calcular la energía cinética rotacional que almacena. Se encontró que el volante de inercia es de hierro fundido gris, este suele tener una densidad de $7,150 \frac{kg}{m^3}$. Se utilizó la opción de análisis de físico de la pieza, que incluye el programa de inventor, en este se selecciona el material (Hierro fundido) y se calculan los valores de volumen, masa e Inercia.

Cuadro 16: Resultados de análisis físico de volante de inercia

Medición	Abreviación	Valor	Dimensional
Volumen de volante	V	14.94×10^{-3}	m^3
Masa de volante	M_v	106.9	Kg
Inercia respecto eje centroidal	I_{xx}	2.187	$kg * m^2$

Cálculo de energía generada por el volante de inercia

$$Ec = \frac{1}{2} (2.187 \text{ kg} * m^2) * \left(\frac{69.85 \text{ rad}}{s} \right)^2 = 5.335 \text{ kJ} \quad (30)$$

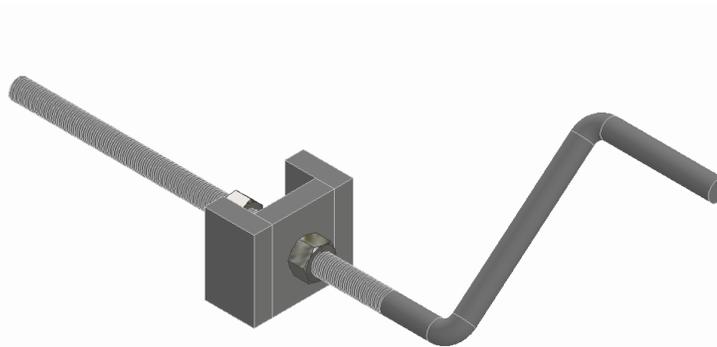
Este valor indica la cantidad de energía que se genera por la rotación del volante de inercia, este parámetro delimita y ayuda en el diseño de futuros volantes de inercia de la máquina. Ya que se puede despejar para la inercia y definir nuevos parámetros de diseño de volantes que también funcionarían para la máquina.

6.4. Diseño y elección de accesorios del sistema de transmisión de potencia

6.4.1. Mecanismo de ajuste de distancia entre centros de poleas

Se propone un tornillo de transmisión de potencia como mecanismo de ajuste de distancia entre centros de las poleas y bandas. El tornillo de transmisión de potencia si bien no es eficiente para transmitir movimiento, se utiliza como multiplicador de la fuerza aplicada a una manivela para poder empujar y controlar las posiciones de las poleas hasta llegar a la distancia de centro esperada de 35.6 in de la expresión 11.

Figura 26: Tornillo de potencia de la base de motor



Fuente: Captura de pantalla de Autodesk reimpresas por cortesía de Autodesk, Inc.

Se diseña el tornillo de transmisión de potencia considerando los siguientes valores de entrada, por parte del operario de la máquina y cargas que se deben soportar.

Cuadro 17: Condiciones de entrada al tornillo de potencia

Variable	Abreviación	Valor	Dimensional
Velocidad angular de entrada	N rev p	30	RPM
Brazo de palanca	bp	5.9	Pulg
Fuerza entrada	Fh	10	Lbf
Torque de entrada	T ent	59.0	Lbf

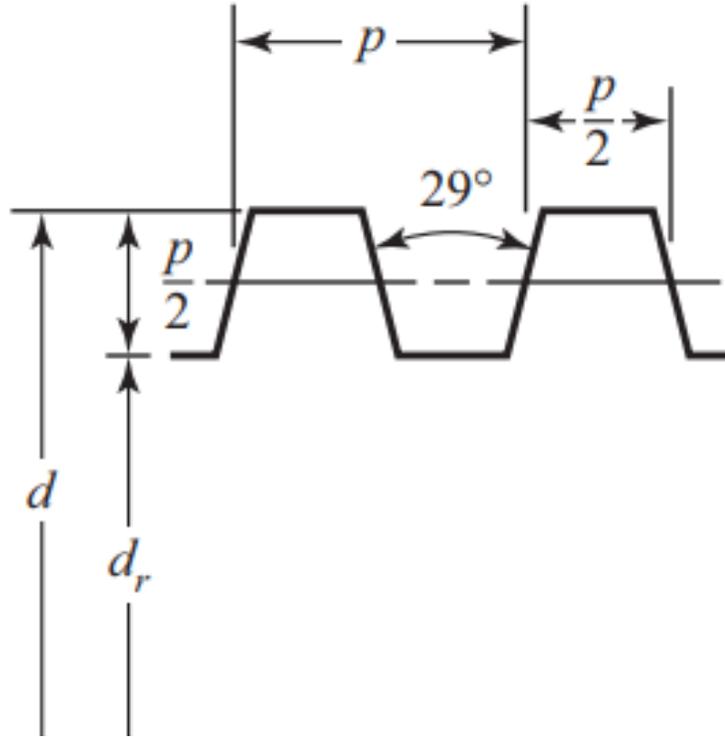
Cuadro 18: Cargas que el tornillo de potencia debe ser capaz de mover

Carga	Fuerza (Lbf)
Peso Motor	420
Peso Polea	20
Peso de la Base	73.7
Total	513.7

Los valores del Cuadro 17, se escogen según las capacidades razonables de fuerza humana, se busca diseñar el tornillo para que al ejercer una fuerza baja de 10 lbf y a una velocidad de rotación de 30 RPM, pueda mover el sistema de 513.7 lbf.

Se procede a utilizar un tornillo con rosca ACME, debido a que tiene un sistema sencillo de maquinar a expensas de sacrificar la eficiencia del sistema. Sin embargo, es importante destacar que lo que se busca en este sistema no es una transmisión de potencia eficiente, sino un mecanismo multiplicador de fuerza axial, que permita ajustar la distancia entre centros de las poleas.

Figura 27: Medidas de rosca ACME



P= Paso de rosca

d= Diámetro nominal de rosca

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2010)

Se escoge una rosca de 5/8" con un paso de 1/8" a partir de la Tabla 8-3 (Budynas & Nisbett, 2010). Se considera un ángulo estándar de 2α de 29° (ver Figura 27) y un coeficiente de fricción de roscas de 0.05 considerando que el material de la rosca es de acero 1045, con un collarín de bronce (Rothbart & Brown, 2006). Además, debido a que el sistema deberá empujar y jalar la base del motor, el collarín soporta la fuerza axial de empuje de la base, para esto se escoge un diámetro nominal de 1.25" y se mantiene el coeficiente de fricción de la rosca.

Se calcula la velocidad de avance de la rosca, mediante la siguiente expresión:

$$V_{\text{Avance de Cabeza}} = N_{\text{rev p}} \cdot P = 30 \text{ RPM} \cdot \frac{1 \text{ pulg}}{8 \text{ rev}} = 3.75 \frac{\text{pulg}}{\text{min}} \quad (31)$$

Se procede a calcular la fuerza axial transmitida del tornillo y el del collarín, para esto se considera primero el torque del tornillo:

$$T_R = F \cdot \text{dist}_{\text{Tornillo}} \quad (32)$$

$$T_R = \frac{F \cdot d_m}{2} \left(\frac{l + \pi \cdot f \cdot d_m \sec(\alpha)}{\pi d_m - f \cdot l \cdot \sec(\alpha)} \right) \quad (33)$$

Donde:

F= Fuerza de transmisión (Lbf)

dm= Diámetro medio (pulg)

f= Fuerza de fricción=0.05

l= paso de rosca= $\frac{1}{8}$

α = ángulo de inclinación de rosca= $\frac{29}{2}^\circ$

Se calcula el diámetro medio de la rosca con el diámetro nominal de rosca y el paso de rosca.

$$\begin{aligned}d_m &= d - \frac{P}{2} \\d_m &= \frac{5}{8} - \frac{1/8}{2} \\d_m &= 0.563''\end{aligned}\tag{34}$$

Se introducen los valores que se encuentran en la expresión 33 para encontrar la distancia del tornillo respecto a la fuerza. Se determinó una distancia de rosca de:

$$d_{\text{Tornillo}} = 0.563 \cdot 0.5 \cdot \left(\frac{1/8 + \pi \cdot 0.05 \cdot 0.563 \cdot \sec(14.5^\circ)}{\pi \cdot 0.563 - 0.05 \cdot 1/8 \cdot \sec(14.5^\circ)} \right) = 0.0345in$$

Se procede a calcular la distancia de la fuerza respecto del collarín, para esto se utiliza la siguiente expresión del torque del collarín:

$$T_c = \frac{F \cdot f \cdot d_c}{2}\tag{35}$$

Donde:

d_c =Diámetro de collarín (pulg)

Se encuentra la distancia a la que se le aplica la fuerza al collarín:

$$\text{dist}_{\text{collarín}} = \frac{0.05 \cdot 1.25}{2} = 0.0313 \text{ pulg}$$

Con la información sobre la distancia del collarín y la rosca acme, se procede a calcular la fuerza axial transmitida al sistema de transmisión de potencia, mediante la siguiente expresión.

$$F = \frac{T_{\text{ent}}}{\text{dist}_{\text{Tornillo}} + \text{dist}_{\text{collarín}}}\tag{36}$$

Se obtuvo, considerando el torque de entrada (ver Cuadro 17), una fuerza de:

$$F = \frac{59 \text{ lbf} \cdot \text{in}}{0.0345 + 0.0313} = 897.55 \text{ lbf}$$

Ahora se calcula el factor de seguridad del sistema, según la carga esperada en el sistema (ver Cuadro 18).

$$FS_{\text{tornillo de potencia}} = \frac{F}{\text{Carga Total}} = \frac{897.5}{513.7} = 1.75 \quad (37)$$

También se calcula los torques de la rosca y del collarín, con las expresiones 33 y 35.

$$\begin{aligned} T_R &= 31 \text{ lb-in} \\ T_c &= 28 \text{ lb-in} \end{aligned}$$

Además se calcula la eficiencia del tornillo de potencia para transmitir fuerza y sobre cómo influye el coeficiente de fricción en el sistema, se utiliza la ecuación:

$$e_{\text{Tornillo de potencia}} = \frac{F \cdot l}{2\pi T_R} \quad (38)$$

$$e_{\text{Tornillo de potencia}} = \frac{897.5 \cdot \frac{1}{8}}{2\pi \cdot 31} = 57.6 \%$$

Finalmente se obtiene un cuadro que resume los resultados obtenidos del diseño del mecanismo de transmisión de potencia.

Cuadro 19: Resumen de resultados de diseño de tornillo de potencia

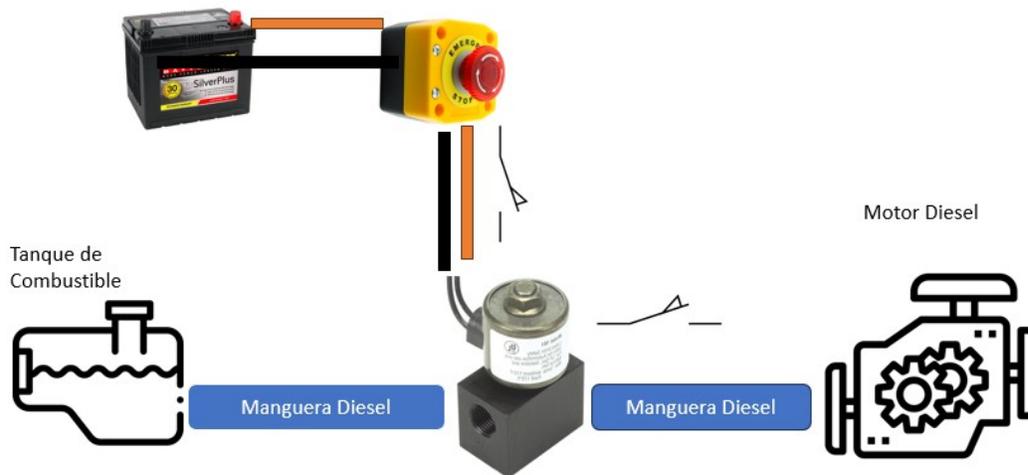
Variable	Abreviación	Valor	Dimensional	Fuente
Diámetro de Rosca ACME seleccionado	d	5/8	Pulg	Criterio de diseño
Paso de rosca ACME	P	1/8	Pulg	Tabla (8-3) (Budynas & Nisbett, 2010)
Diámetro de collarín	dc	1 1/4	Pulg	Criterio de diseño
Avance de rosca	Vr	3.75	Pulg/Min	Expresión 31
Fuerza axial transmitida	F	897.5	Lbf	Expresión 36
Factor de seguridad del sistema	FS tp	1.75		Expresión 37
Eficiencia de tornillo	e tp	57.6 %		Expresión 38

6.4.2. Seguridad industrial: sistema de paro de emergencia de la trituradora

El sistema de paro de emergencia consta de un botón de emergencia de 12V DC, este representa un relé normalmente abierto que al presionarse cierra el circuito y activa el sole-

noide normalmente abierto en donde por defecto permite el flujo de combustible del tanque hacia el motor, la válvula corta el flujo y el motor se detiene, el diagrama del funcionamiento del botón de emergencia es el siguiente.

Figura 28: Sistema de botón de paro de emergencia



El botón de emergencia se alimenta de la batería del motor, esto permite que sea independiente de la conexión eléctrica y pueda ser activado en cualquier momento, referirse al manual de mantenimiento en anexos para los cuidados necesarios referentes a la batería y motor.

6.4.3. Accesorio de transmisión de potencia: lector de velocidad angular del motor

El lector de velocidad angular del motor le indica al operario si el motor está siendo forzado o si este está trabajando ante las condiciones nominales y esperadas de la operación. Los operarios del centro de acopio en Chimaltenango, indican que la metodología que tienen para saber si el motor está funcionando en las condiciones estándar, es por medio de el ruido que hace. Sin embargo, esto involucra dos situaciones que ponen en riesgo la integridad de los operarios y la máquina.

La primera es si los operarios están utilizando orejeras, ellos podrían removerlas para escuchar el ruido que está haciendo el motor. Esto generará daños en sus oídos a largo plazo como se menciona en el Cuadro [8]. El segundo riesgo radica en que los operarios, al confiar en su habilidad auditiva para determinar si el motor está funcionando correctamente y al ser una propiedad cualitativa, podría ocurrir altas variaciones en la velocidad angular del motor por lo tanto afectará el rendimiento de trituración a largo plazo, podría dañar el motor.

Se propone un colocar un tacómetro Hall NPN de proximidad, el cuál será capaz de medir la velocidad rotacional de la polea unida al motor. Se colocará una cinta que tendrá

un espesor de 3 milímetros, unida a la polea de 6 pulg, el sensor estará unido al motor y detectará la velocidad de la polea, está deberá estar entre 2,000 y 2100 rpm, para verificar que está funcionando correctamente el módulo de transmisión de potencia, se necesita una batería de 8A y 24 V para su funcionamiento, sin embargo se propone colocar un interruptor para que solamente se utilice cuando sea necesario.

Figura 29: Tacómetro Hall NPN



Fuente: La electrónica GT

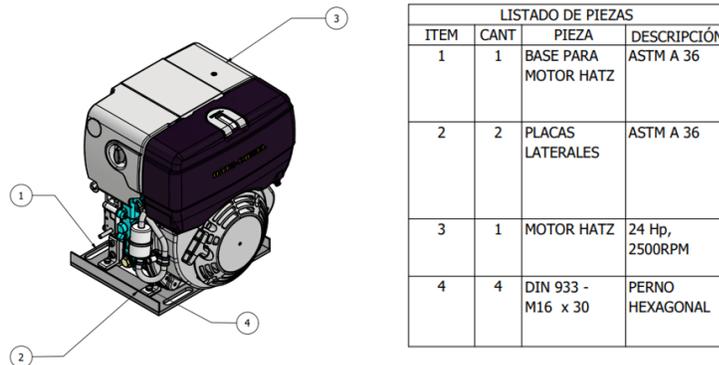
6.5. Simulación de operación

El objetivo del módulo de simulaciones es determinar si los elementos diseñados pueden soportar las cargas que se generan bajo la operación del sistema.

6.5.1. Simulación de base de motor y pernos de sujeción

En la Figura 16, se puede observar el motor ensamblado a la trituradora, sin embargo, este motor debe estar sujeto a un base que cumpla con dos funciones, la primera es poder sujetar el motor a la estructura y la segunda es poder movilizar el motor de forma sencilla para poder ajustar la distancia entre centros encontrada anteriormente.

Figura 30: Ensamble de Motor unido a su base y listado de piezas



Fuente: Captura de pantalla de Autodesk reimpresas por cortesía de Autodesk, Inc.

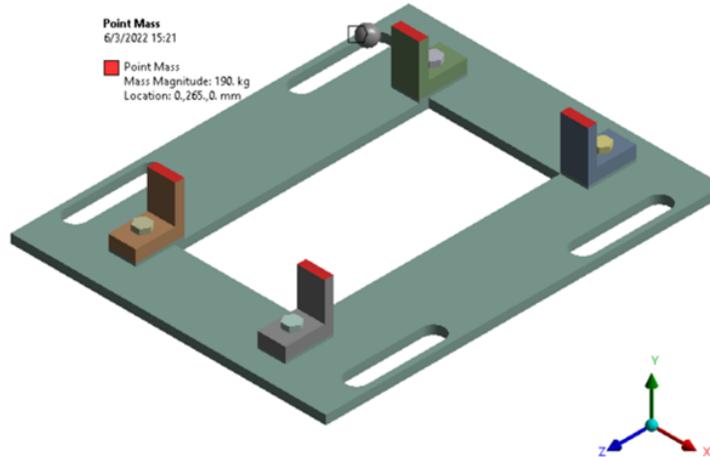
Se puede observar que el motor está sujeto por cuatro pernos DIN 933 M16 x 30 mm de largo, además de dos placas laterales que están soldadas por un electrodo 7013, de 3/32 de espesor. En la Figura 30 se especifican los materiales para cada una de las piezas; estos materiales se escogieron según sus propiedades mecánicas y su aplicación. La simulación se realizó en ANSYS, en donde se delimitan dos simulaciones diferentes, según los objetivos de la simulación, estos son los siguientes:

- Verificar que la base y los pernos puedan sujetar al motor de forma correcta.
- Indicar si existe riesgo de que la base entre en resonancia con el motor.

Para cumplir los objetivos se realizan dos simulaciones, la primera es una simulación estático estructural que ayudará a determinar la seguridad de los pernos, la base y los soportes del motor. La segunda simulación es un análisis nodal que indicará si la base entra o no en resonancia con la frecuencia angular del motor.

Se desea modelar la base que se une a un motor Hatz de 25HP, como se aprecia en la Figura 30. Sin embargo, este sistema es bastante complejo de modelar debido a que cuenta con geometrías complejas como el filtro de aceite, tanque, mangueras para el refrigerante. En este caso, para cumplir con los objetivos de simulación, no es necesario considerar todo el sistema completo de la Figura 15, por lo que se procede a simplificar el modelo de la siguiente forma.

Figura 31: Aplicación de la masa puntual



Fuente: Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc.

Se observa en la Figura 31, el modelo simplificado, que no se consideran las placas laterales, ya que estas no aportan fuerzas, esfuerzos o consideraciones adicionales al sistema que se desea analizar. También se evita toda la geometría del motor. Por parte del motor solamente se requiere su velocidad angular, la fuerza de gravedad que genera su masa (la aceleración se estima como $g = 9.81 \frac{m}{s^2}$ en dirección $-Y$) y el punto de unión que se genera con la base del motor y su conexión con la polea para resistir las fuerzas de tensión que se generan, todas estas consideraciones se pueden configurar sin necesidad de colocar el motor físico en el sistema.

El motor se sustituye, en la sección de geometría como una masa puntual de 190 kg, ubicado en su centro de gravedad a 265 mm de altura, respecto a la base. Esta masa puntual tiene reacciones en los soportes del motor, ya que estos son los que sujetarán el motor mediante una soldadura, como se puede ver en la Figura 31.

Cuadro 20: Materiales de la base del motor

Material	E (GPA)	Poisson	Sy	S ult
			MPA	MPA
Acero ASTM A36	200	0.29	250	400
Perno Grado 4.8	200	0.29	340	420

Fuente:

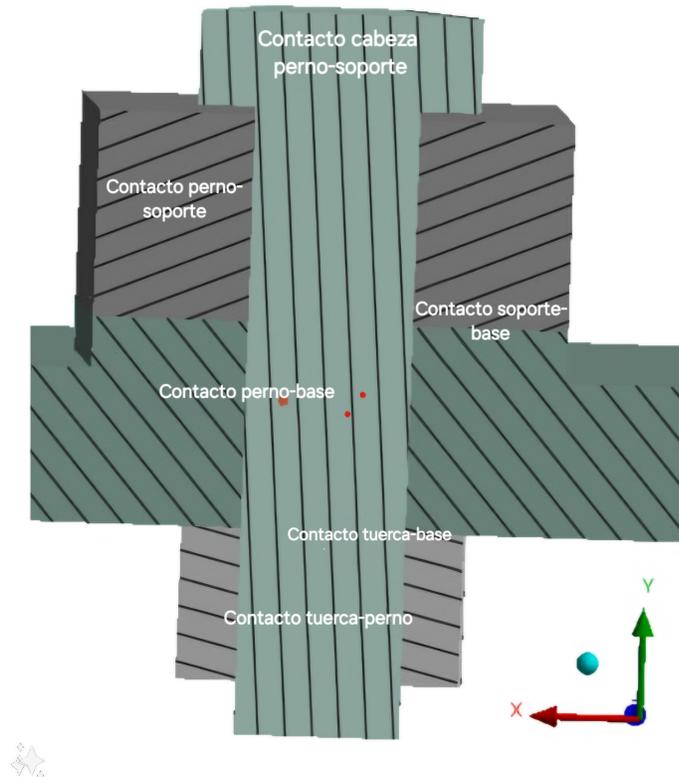
Tecniaceros (2022), (Budynas & Nisbett, 2010) Donde $S_y =$ Esfuerzo de fluencia $S_{ult} =$ Esfuerzo último a la tensión

En el Cuadro 20, se definen las propiedades de los materiales, se escoge el perno grado 4.8, debido a que se tiene proveedores locales de este elemento, también se considera el acero

estructural ASTM A36 por las mismas razones, para la construcción de la base. Finalmente, al simplificar la geometría y definir el resto de los parámetros, se procede a configurar la simulación según las condiciones de operación de la trituradora y el motor específicamente, la metodología que se sigue es la siguiente:

1. Simplificación de geometría: Se eliminan filetes, bordes en pernos para simplificar el modelo, se sustituye el motor por una masa puntual.
2. Definición de contactos: Se configura cómo se espera que se comporte el sistema de sujeción, los pernos, la base y los soportes que sostienen al motor.
3. Configuración de mallado: Se establece qué mallado generará mejores resultados según las capacidades y equipo disponible de simulación.
4. Configuración de cargas: Se definen las cargas que se van a colocar, principalmente se encuentra la carga de tensión de las fajas, como se puede ver en la Tabla 23
5. Configuración de resultados esperados: Se solicita la información de los resultados de esfuerzo cortante, esfuerzo normal en perno, esfuerzo equivalente von Mises y factor de seguridad sobre la resistencia a la fluencia del material.

Figura 32: Contactos generados en perno



Fuente: Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc.

Se observa en la Figura 32, se tienen cinco tipos de contactos para cada una de las uniones pernadas, por lo que en total se admiten 20 contactos para el sistema. Si bien, se busca modelar el sistema lo más apegado a la operación real, se tomaron consideraciones sobre algunos contactos para facilitar la simulación y prevenir errores de convergencia.

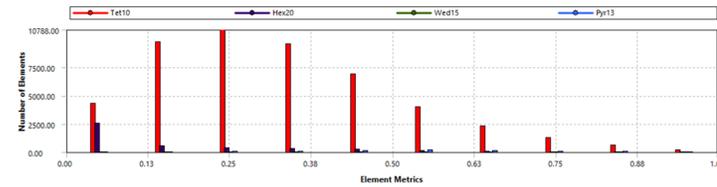
Cuadro 21: Descripción de contactos considerados del sistema

Contacto	Tipo	Descripción
Perno- Soporte	Bonded	Cabeza de perno unida a presión con la cara externa del soporte. No se permite separación ni deslizamiento.
Tuerca-Perno	Bonded	La tuerca está apretada contra el tornillo y la base para sujetar las piezas. No existe separación ni deslizamiento con el objetivo de simplificar el análisis, los esfuerzos en la tuerca no son de interés.
Tuerca-Base		
Perno-Soporte	Sin fricción	La parte cilíndrica del perno gira dentro de la unión entre el soporte y la base de forma libre.
Perno-Base		
Soporte-Base	Con fricción	Contacto entre las caras de la base y los soportes del motor, sujetas por medio del perno, existe deslizamiento y separación entre las caras con un coeficiente de fricción de 0.2

Cuadro 22: Comparación de calidad de mallado por iteraciones

Iteración	Asimetría promedio	Desviación Estándar
1	0.47	0.25
2	0.31	0.18

Figura 33: Distribución de calidad de mallado para segunda iteración

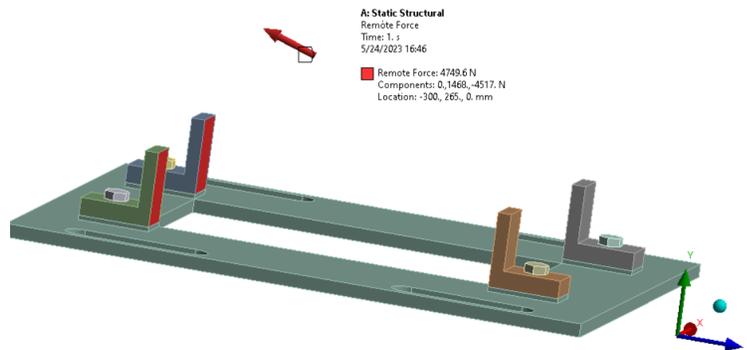


Fuente: Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc.

Se puede apreciar la Tabla 22 y la Figura 33, algunas medidas sobre la calidad del mallado realizado. Se observa que para la primera iteración, los valores de asimetría promedio eran pobres al estar por 0.48 y que en la segunda iteración se mejoró el mallado de forma significativa; se alcanza un valor de asimetría promedio que representa un mallado bueno y se observa un sesgo hacia la izquierda de la distribución de elementos con una buena calidad de mallado. Esto es importante, puesto que un mallado bueno indicará resultados confiables en la simulación. Los cambios realizados fue un mallado específico según la pieza que se

desea analizar se utiliza un body sizing de 3mm para los soportes y pernos y uno de 12 mm para la base de motor puesto que es un elemento más grande. Las cargas que se modelaron son referentes al Cuadro 15, en donde se encuentra una tensión de faja equivalente que se aplica a la polea d, unida al motor. Si bien en la Figura 31, el motor es una masa puntal, se configura una fuerza remota que consiste en el traslado de la fuerza de tensión al eje del motor (ver Figura 34), esto conlleva a generar un momento o par de torsión en el eje, cuando se traslada la fuerza. Esta carga se configura de la siguiente forma:

Figura 34: Fuerza remota aplicada



Fuente: Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc.

Figura 35: Momento aplicado al punto remoto



Fuente: Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc.

Cuadro 23: Cargas y momentos aplicados

Tipo		X	Y	Z
Fuerza remota	Ubicación	-300 mm	265 mm	0 mm
	Magnitud	0	1468 N	-4517 N
Momento	Ubicación	-300 mm	265 mm	0 mm
	Magnitud	-724 Nm	0	0

Los valores de tensión equivalente se pueden encontrar en la Tabla 15, estos se multiplican

por el número de bandas del sistema, en este caso existen cuatro y también se considera el ángulo que existe entre la fuerza y la horizontal, este valor se configuró en ANSYS, además se admite el momento en el eje, cuando se traslada la fuerza, el brazo del eje es de 3 pulg ya que se trata de la polea de diámetro menor.

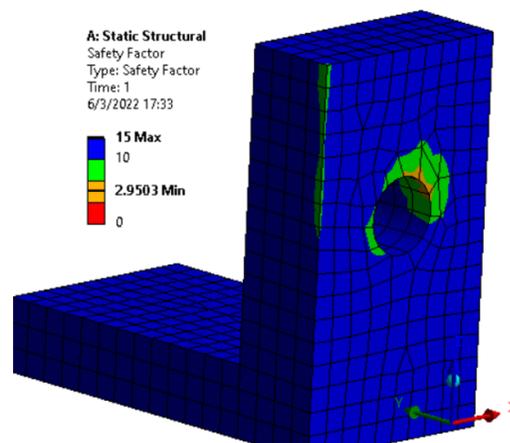
Cuadro 24: Resultados solicitados de la simulación estática estructural de ANSYS

Resultado	Descripción
Factor de seguridad sobre esfuerzos	Este parámetro indicará si el sistema es capaz de soportar la carga e indicará el factor de seguridad mínimo y su ubicación. Esto permite reconocer el elemento crítico del sistema.
Esfuerzo equivalente	Se encuentra el esfuerzo von Mises equivalente, que indicará el esfuerzo máximo al que se somete la pieza, este se puede comparar con las propiedades físicas de los materiales para indicar si hay riesgo de falla.
Esfuerzo normal	Se solicita este esfuerzo para verificar en qué dirección se tiene un mayor esfuerzo.
Esfuerzo cortante	Se encontrar su factor de seguridad a esfuerzo cortante y determinar si falla o no.

Cuadro 25: Resultados del análisis estructural

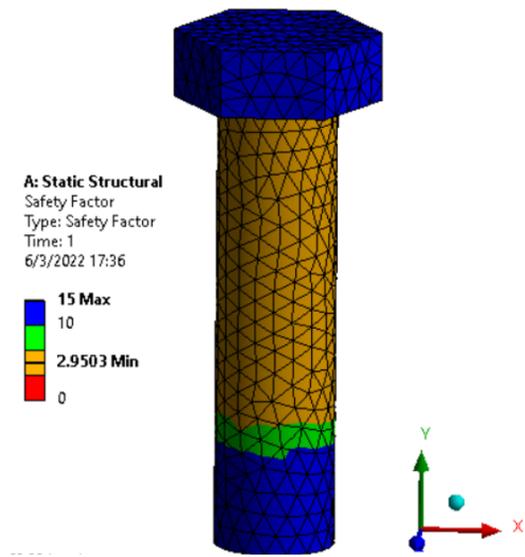
Elemento	Esfuerzo normal máximo (Mpa)	Esfuerzo von Mises máximo (MPA)	Esfuerzo cortante máximo (Mpa)
Perno DIN933	53	115.24	64.03
Base	-46	51.22	42.69
Soporte	-2.0	38.415	42.69

Figura 36: Factor de seguridad de soporte de motor



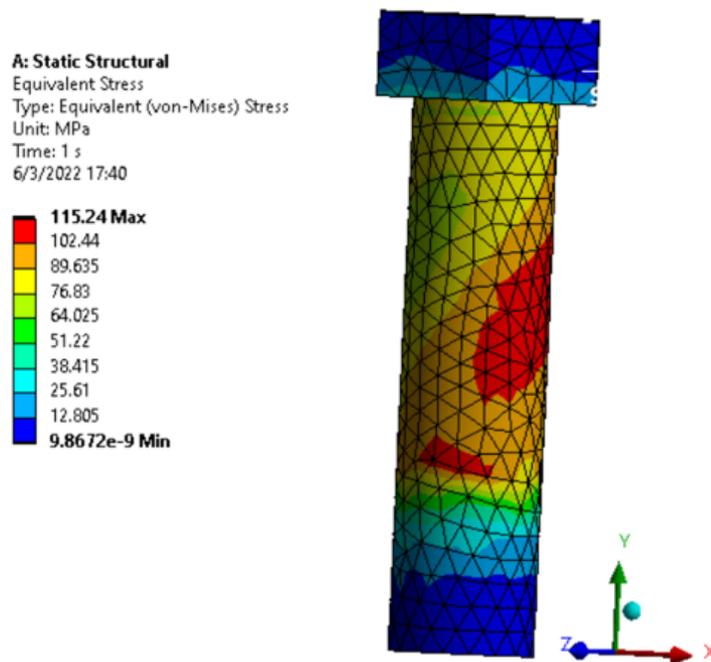
Fuente: Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc.

Figura 37: Factor de seguridad de perno



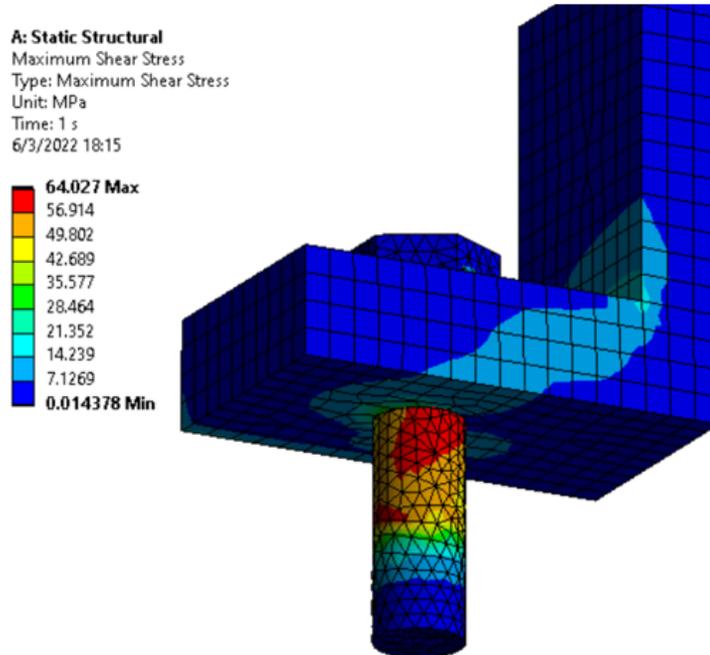
Fuente: Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc.

Figura 38: Esfuerzo von Mises equivalente en perno



Fuente: Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc.

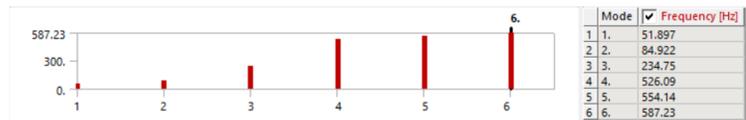
Figura 39: Esfuerzo cortante máximo



Fuente: Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc.

Se encuentran los valores de los resultados requeridos, estos están de forma detallada en esta sección de cálculo; sin embargo, en la sección de resultados solamente se colocarán los valores de factores de seguridad debido a que son los más relevantes a esta simulación. El siguiente paso, es determinar los modos naturales de la base del sistema y compararlos respecto a la frecuencia angular del motor (2,200 rpm). Se encuentran al realizar un análisis modal y solicitar los primeros 6 modos de vibración.

Figura 40: Modos naturales de frecuencia del sistema.



Fuente: Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc.

Cuadro 26: Resultados del análisis nodal

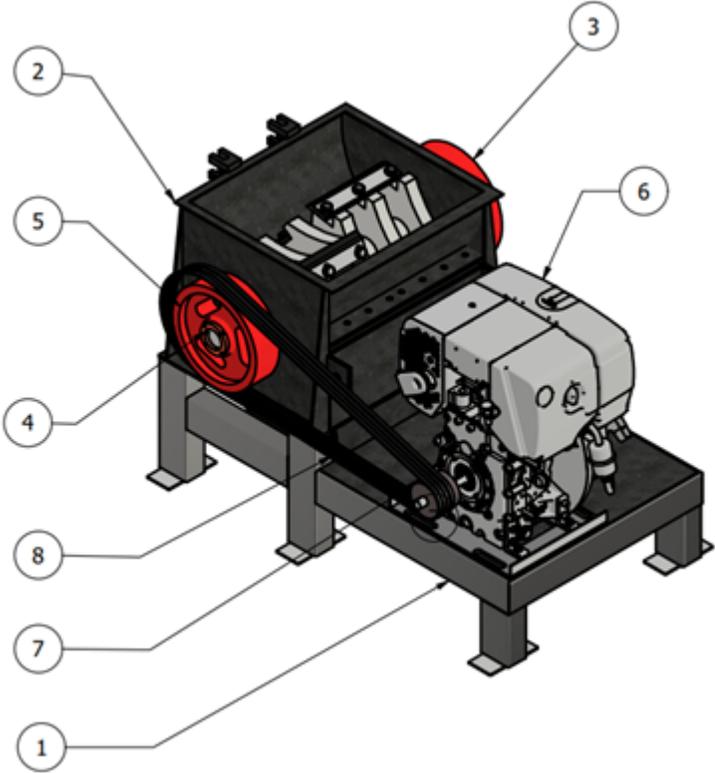
	Motor (hz)	Sistema (hz)
Frecuencia angular	36.66	51.897

Con estos valores se puede determinar si el sistema entrará en resonancia al momento de encender el motor.

6.5.2. Plan de fabricación

A continuación, se presenta la metodología de fabricación del módulo de generación de potencia. En este caso la mayoría de los elementos se deben comprar y fabricar en un taller externo al de la Universidad del Valle de Guatemala, debido al tamaño de los elementos de diseño. Este es un plan de fabricación por si la empresa interesada (Agrequima) en la máquina quisiera que se llevara a cabo, no obstante debido a que los costos durante el tiempo de la elaboración del trabajo exceden el presupuesto establecido, actualmente la máquina no se puede fabricar.

Figura 41: Elementos que conforman la trituradora.



Fuente: Captura de pantalla de Autodesk reimpresas por cortesía de Autodesk, Inc.

Cuadro 27: Lista de partes referentes al módulo de potencia de la Figura 41

Elemento	Cantidad	Nombre de parte	Descripción	Fabricación propia /Manufactura externa
3	1	Volante de inercia	Material: Hierro fundido	Manufactura externa
4	2	Tornillo de unión entre eje y polea	Material: Hierro fundido Rosca UNC 90mm diámetro	Manufactura externa
5	1	Polea de diámetro mayor	Material: Hierro fundido de 18" de diámetro	Manufactura externa
6	1	Ensamble motor	Partes: - Motor Hatz 25 HP - Base para motor - Placa lateral de base de motor - Pernos DIN 933	Motor: Compra Base motor: Fabricación propia Placa lateral: Fabricación propia Pernos: Compra
7	1	Polea de diámetro menor	Polea de Hierro Fundido que estará unida al motor	Compra
8	4	Bandas	Tipo B112	Compra

*Nota: Los elementos 1 y 2 de la Figura 41, no son del módulo de generación de potencia, estos pertenecen al módulo de estructura y de chuchillas respectivamente, estos se incluyen para que se pueda apreciar de mejor manera el diseño.

Estrategia de compras

Se cotizarán los elementos que se deben comprar, en empresas guatemaltecas, con el objetivo de que estos puedan ser reemplazables y que se puedan encontrar de forma rápida en el mercado sin recurrir a importaciones de las piezas. Ahora bien, también se procurará los productos más económicos, que cumplan con las especificaciones de diseño y un tiempo de entrega que permita realizar el proyecto en el tiempo estipulado en la sección de recursos.

Cuadro 28: Elementos que se deben comprar

Elemento	Proveedor	Contacto	Entrega	Costo unitario	Cant	Costo total
Motor 25 HP	Mayeca	ventas@mayeca.com Tel: 2227-8200	Inmediata	Q 17,500	1	Q 17,500
Bandas B 112	Clutches Guatemala	https://clutches.com.gt/ Tel: 2210-1850	Inmediata	Q 109	4	Q 436
Pernos DIN 933 16 x 40 mm	Casa del Tornillo	ventas@casator.com Tel: 23875050	Inmediata	Q 22.37	4	Q 89.48
Total						Q 18,025.48

Estrategia de manufactura externa

Los elementos del Cuadro 27, que se clasifican como manufactura externa no podrán ser fabricados dentro de la Universidad del Valle debido a que el tamaño de estas partes excede las capacidades del taller de metal mecánica de la universidad. Por lo que, se buscarán talleres confiables, que sean capaces de manejar tolerancias, mantengan un precio competitivo y un tiempo de entrega dentro de los límites aceptables.

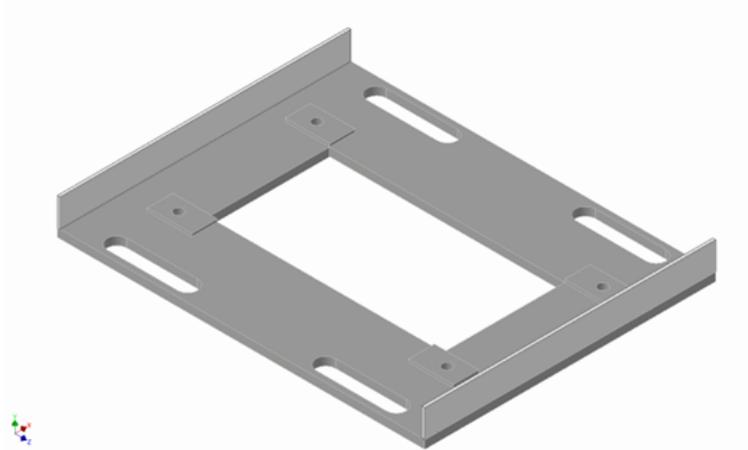
Cuadro 29: Plan de fabricación de elementos con manufactura externa

Elemento	Proveedor	Contacto	Entrega (días)	Costo unitario	Cant	Costo total
Volante de inercia	Prosain	info@prosain.com Tel: 24290707	8	Q 6,650	1	Q 6,650
Polea D 18 "	Prosain	info@prosain.com Tel: 24290707	8	Q 6,650	1	Q 6,650
Polea d 6"	Prosain	info@prosain.com Tel: 24290707	Inmediata	Q 980	1	Q 980
Tornillo 90 mm de diámetro UNC	Prosain	info@prosain.com Tel: 24290707	4	Q 800	2	Q 1,600
Total						Q 15,880.00

Plan de fabricación interna

Los elementos de fabricación interna será la base para el motor de 25 HP, esta parte deberá tener ranuras especiales para la implementación de pernos y amortiguadores, con el fin de sujetar el motor a la estructura y que pueda ser móvil. El material escogido, por razones de disponibilidad en el mercado, es el acero ASTM A36, este acero es utilizado en aplicaciones estructurales, este se encuentra en forma de barra o placa.

Figura 42: Placa base del motor



Fuente: Captura de pantalla de Autodesk reimpresas por cortesía de Autodesk, Inc.

Se puede observar que la placa base tiene ranuras, donde se colocarán pernos de sujeción de la estructura de la trituradora (elemento 1 de Figura 30) al ensamblaje del motor. Se utilizará la fresadora CNC para poder realizar un trabajo de desbaste en las secciones requeridas. Las dimensiones de este elemento se pueden encontrar en la sección de planos de construcción (ver anexos 12.6).

Figura 43: Placas laterales de la base del motor

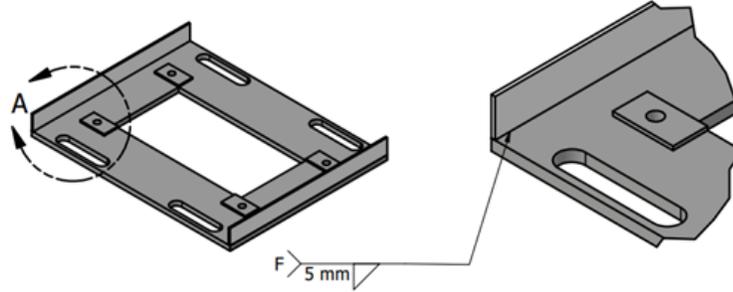


Fuente: Captura de pantalla de Autodesk reimpresas por cortesía de Autodesk, Inc.

Las placas laterales se cortarán con una cortadora de lámina y luego se cortará nuevamente, con herramientas de corte convencionales como sierras manuales o eléctricas, para tener la longitud deseada. Finalmente, se debe considerar la unión de las placas laterales

con la placa base, para esto se utilizará una soldadura de filete, con un electrodo E7013 y una longitud de puntos de soldadura contante a lo largo de toda la placa lateral.

Figura 44: Unión soldada entre placas laterales y placa base



Fuente: Captura de pantalla de Autodesk reimpresas por cortesía de Autodesk, Inc.

Cuadro 30: Material y equipo utilizado en la fabricación de la placa base y lateral

Material	Proveedor	Costo
Placa acero ASTM A 36 mm (100x3000x15)	Prodalam	Q 200
Cortadora de lámina	Universidad del Valle de Guatemala	Q 50
Total		Q 250

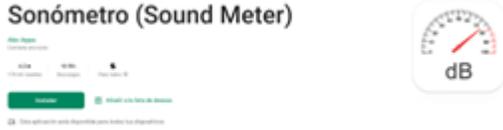
6.6. Protocolo de pruebas

Se busca registrar y realizar las siguientes pruebas de desempeño a la trituradora actual:

- Prueba de ruido
- Prueba de temperatura

Cuadro 31: Prueba de ruido

Objetivo
Determinar el nivel de ruido en dB que genera la trituradora en operación. La finalidad de la prueba es poder delimitar el equipo necesario que permita a los operadores realizar su trabajo de forma segura.
Equipo

Sensor medidor de ruido	Marca: Sound Meter Tipo: Aplicación digital Sensibilidad hasta 100 DB Tolerancia=+-0.5 DB	
Equipo de protección auditiva	Marca: Trupper Model: 3M-14007 Sensibilidad: Disminución de 23 DB	
Botas industriales	Características: - Punta de acero - Suela de poliuretano antideslizante - Resistente a hidrocarburos - Resistente a impacto eléctrico	
Lentes protectores	Características: - Transparentes - Antimpactos - Normativa: Cumplir norma ANSI Z87.1 - Protección UV	
Metodología de prueba:		
Calibración del sensor con trituradora apagada	1. Encender el medidor de ruido con la trituradora apagada 2. Anotar la medición y calibrar el sensor a 0 Db para ese nivel de ruido.	

Mediciones de sonido	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se enciende la trituradora 2. Realizar medición durante el arranque de la trituradora. 3. Medir nivel de ruido cuando la trituradora ya esté en funcionamiento. 4. Tomar medidas en los siguientes puntos: <ul style="list-style-type: none"> - Tolva de entrada de material - Salida de material triturado - Área de motor - Cabina donde descansan operadores 5. Tres medidas por punto de medición, por minuto. 	
Resultados:		
Durante el arranque	Punto de medición	Valor (DB)
	1. Tolva de entrada de material	16
	2. Salida de material	16
	3. Área de motor	16
	4. Cabina de operadores	7.6
Durante el funcionamiento	Punto de medición	Valor (DB)
	1. Tolva de entrada de material	75.7,80.5,82
	2. Salida de material	76.4, 75.7, 80
	3. Área de motor	80, 80.8, 83.6
	4. Cabina de operadores	67, 66.7, 67.5

Cuadro 32: Prueba térmica

Objetivo		
Encontrar los puntos de alta temperatura de la trituradora, cuando se encuentra en operación.		
Equipo		
Cámara termográfica	Marca: Fluke Modelo: PTi120H Sensibilidad -20 °C a 400 °C Tolerancia=+- 2°C	

Equipo de protección auditiva	<p>Marca: Trupper Model: 3M-14007 Sensibilidad: Disminución de 23 DB</p>	
Botas industriales	<p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Punta de acero - Suela de poliuretano antideslizante - Resistente a hidrocarburos - Resistente a impacto eléctrico 	
Lentes protectores	<p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Transparentes - Antimpactos - Normativa: Cumplir norma ANSI Z87.1 - Protección UV 	
Metodología de prueba:		
Calibración de cámara	<ol style="list-style-type: none"> 1. Encender la cámara 2. Calibrar la distancia a la que se toma las fotografías. 	

Medición térmica	<ol style="list-style-type: none"> Tomar fotografías en los siguientes puntos con la trituradora apagada: <ul style="list-style-type: none"> Tolva de entrada de material a triturar Salida de material triturado Tornillo de potencia Motor Se enciende la trituradora Medir temperatura cuando la trituradora ya esté en funcionamiento. Tomar medidas en los siguientes puntos: <ul style="list-style-type: none"> Tolva de entrada de material Salida de material triturado Área de motor Tornillo de potencia de elevación Tres fotografías por punto de medición. 	
Resultados:		
Previo arranque	Punto de medición	Temperatura °C
	1. Tolva de entrada de material	26.9
	2. Salida de material	25.4
	3. Área de motor	25.3
	4. Tornillo de potencia	21.6
Durante el funcionamiento	Punto de medición	Temperatura °C
	1. Tolva de entrada de material	36.7
	2. Salida de material	26.6
	3. Área de motor	101.8
	4. Tornillo de potencia	23.5

Figura 45: Temperatura máxima de la trituradora



6.7. Alternativa: diseño de un sistema de transmisión de potencia eléctrico

Se propone como alternativa al motor diésel, un sistema de transmisión de potencia con motor eléctrico que cumpla con los requisitos de trituración a un menor costo de inversión. El diseño del sistema eléctrico se compone de los siguientes módulos:

- Selección de motor eléctrico
- Cálculo y diseño de protecciones eléctricas
- Cálculo y selección de cables que conectan al motor y a tierra
- Selección de fajas y poleas para transmitir potencia al eje de trituración

6.7.1. Selección de motor eléctrico

Se selecciona un motor eléctrico de corriente alterna, asíncrono de clase C o D, debido a que son los utilizados en procesos de trabajo pesado y trituración. La potencia nominal del motor deberá ser, al igual que el motor diésel, mayor a 25 HP .

Se escoge el motor Century TE168 y se recopila la información principal de placa del motor, que se utilizará para la selección del resto de elementos.

Figura 46: Temperatura máxima de la trituradora



Cuadro 33: Especificaciones técnicas de motor eléctrico TE168

Dato	Abreviatura	Valor	Dimensión
Potencia	P	30	Hp
Velocidad angular nominal	w	1190	RPM
Frecuencia	f	60	Hz
Voltaje	V	208-2030/460	V
Corriente de operación	I op	83-80/40	A
Factor de potencia nominal	Fp	0.80	
Diámetro de eje	D eme	2.125	pulg
Clase motor	Cme	C	
Factor de servicio	Sf	1.15	

6.7.2. Selección de protecciones eléctricas

Se propone un arranque directo para el motor seleccionado, esto se debe a las características de placa del motor (ver Cuadro 33), en donde la velocidad rotacional es de 1190 Rpm por lo que se puede aprovechar el torque elevado para diseñar un sistema de transmisión de potencia por medio de poleas y fajas, en lugar de un variador de frecuencia puesto que este último suele ser más costoso. El arranque directo del motor se compone de los siguientes elementos:

- Contactor
- Guardamotor
- Breaker

El breaker se diseña según las especificaciones técnicas del Cuadro 33, en donde se tiene un factor de servicio mayor o igual a 1.15 por lo que la corriente de diseño del breaker será de $I = 1.25 * I_{op} = 1.25 * 40 = 50$ A. El factor de 1.25 se aplica para considerar efectos ambientales y fluctuaciones en la corriente del sistema cuando se tiene un factor de servicio mayor o igual a 1.15, como es el caso.

El contactor se determinan con el mismo criterio que el breaker, por lo que se mantiene la corriente encontrada para los dispositivos de protección. Para el guardamotor, se diseña para una protección de 40A o de 46A al considerar la corriente nominal y su factor de carga de 1.15.

6.7.3. Cálculo y selección de cables que conectan al motor y a tierra

Se escoge cables de cobres, al tener una mejor conducción de corriente, además de ser de uso común en aplicaciones relacionadas a motores eléctricos. Se toma en cuenta el entorno ambiental en donde trabajará la máquina, en este caso se localiza en Escuintla, Guatemala, lugar donde las temperaturas máximas promedio oscilan entre los 33°C y 35°C («El clima en Escuintla, el tiempo por mes, temperatura promedio (México) - Weather Spark», s.f.), no obstante se utilizará un rango de temperatura de operación entre 36° y 40° como medida de seguridad del sistema en caso de que las temperaturas ambientales se vean elevadas por factores externos.

Según los aspectos mencionados anteriormente y el motor escogido, el cálculo del tamaño del cable depende de las siguientes condiciones de entrada:

Cuadro 34: Condiciones de entrada para selección de tamaño de cable

Variable	Abreviación	Valor	Dimensional	Fuente
Potencia motor	W	25	Hp	Propia
Voltaje de motor	V	480	Voltios	Placa motor seleccionado
Factor de potencia	FP	0.95	NA	Placa motor seleccionado
Longitud de circuito	L	10	m	Criterio de diseño
Temperatura de operación	T amb	36-40	°C	Criterio de diseño

Se utilizarán dos criterios para la selección del tamaño del cable, el primero es calcular la corriente necesaria que debe conducir y el segundo criterio es el área o sección del cable mínimo que debe tener el cable.

Se procede a calcular la corriente mínima necesaria que debe conducir el cable seleccionado con la siguiente ecuación:

$$I_{\text{nom}} = \frac{\dot{W}}{\sqrt{3} \cdot V \cdot F_p} \quad (39)$$

$$I_{\text{min}} = I_{\text{nom}} \cdot \text{Factor de carga} \quad (40)$$

Se considera un factor de carga de 1.25, puesto que el motor estará encendido para lapsos de operación de 6 horas diarias continuas. Se encontró una corriente mínima necesaria de:

$$I_{\text{nom}} = \frac{22371 \text{ w}}{\sqrt{3} \cdot 460 \text{ Volts} \cdot 0.80} = 35.10 \text{ A}$$

$$I_{\min} = 35.10 \cdot 1.25 = 43.9 \text{ A}$$

Se utilizan las Tablas de selección de cables de la National Fire Protection Association (NFPA) para determinar el tamaño de cable que se considera según el criterio de corriente mínima. Se selecciona un cable THHN puesto que son los más comunes dentro del mercado guatemalteco y son adecuados para motores eléctricos. Los tamaños de cable y factores de temperaturas ambientales se encuentran en el siguiente Cuadro.

Cuadro 35: Corriente de cables según su tamaño (NFPA) para cables THHN con rating de temperatura de 90°C.

Número de cable	I Corriente (Amperios)
12	30
10	40
8	55
6	75

Nota* Este es un extracto de la Tabla 310.16 del National Electrical Code (NFPA, 2008).

Se selecciona el cable número 8 debido a que cumple con los requisitos de corriente mínima seleccionada, sin embargo es necesario aplicarle un factor de corrección por condiciones ambientales, en este caso debido a las temperaturas promedio máximas de Escuintla, se considera un factor de 0.88 referente a temperaturas entre 36°C y 40 °C según la Tabla 310.17 del Código Nacional Eléctrico (NFPA, 2008). Por lo que la corriente del cable será de:

$$I_{\text{real}} = I_{\text{nominal Tabla}} \cdot \text{Factor de corrección} = 55 \text{ A} \cdot 0.88 = 48.4 \text{ A} \quad (41)$$

Esta corriente es superior a la corriente mínima que es capaz de transmitir el cable, por lo que está bien seleccionado el cable. Ahora se procede con el criterio de sección de área del cable, este se calcula con la siguiente expresión:

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{nom}} \cdot L \cdot F_p}{K \cdot V \cdot \Delta V} \quad (42)$$

Donde:

S= Área de cable en mm²

L= Longitud del circuito (metros)

‘ K= Constante de conductividad de cobre= 56

V= Voltaje nominal de motor

ΔV = Porcentaje de caída de tensión= 3 %

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot 35.10 \cdot 10 \cdot 0.80}{56 \cdot 460 \cdot 3\%} = 0.63 \text{ mm}^2$$

Se selecciona el cable que tenga el área mayor más cercana a la requerida, según la Tabla 8 del código eléctrico (NFPA, 2008). Estos valores se encuentran en el Cuadro 36.

Cuadro 36: Valores de área de cable según su identificación (NFPA) para cables estándar.

Número de cable	Área (mm ²)
18	0.823
16	1.31
14	2.08
12	3.31
10	5.261
8	8.367

*Nota: Este es un extracto de la Tabla 8 del National Electrical Code de NFPA
Fuente:(NFPA, 2008)

Se observa que en el Cuadro 36 el cable número 18 cumple con los requisitos de área mínima para operar, sin embargo este cable no cumple con los requisitos de corriente necesaria, por lo que se escoge el cable número 8, según el primer criterio de diseño.

Selección de cable de tierra

El cable a tierra se diseña según la Tabla 250.66 de conductores de tierra para sistemas de corriente alterna, del código nacional eléctrico(NFPA, 2008).

Cuadro 37: Electrodo de conductor a tierra en sistemas de corriente alterna

Tamaño del conductor más grande que no está conectado a tierra (Cobre)	Tamaño del cable conductor a tierra (Cobre)
2 o más pequeño	8
1 o 1/0	6
2/0 o 3/0	4

*Este es un extracto de la Tabla 250.66 del Código Eléctrico Nacional.
Fuente:(NFPA, 2008)

Según el Cuadro 37, se selecciona un cable número 8 como conductor a tierra puesto que el tamaño más grande de conductor no dirigido a tierra es de 8.

6.7.4. Selección de fajas y poleas para transmitir potencia al eje de trituración

Se utiliza un sistema de bandas y poleas similar al módulo de transmisión de potencia con motor de gasolina. Sin embargo, en este caso al tener un motor de 30hp y una velocidad

de rotación nominal más baja, se realiza un ajuste en la relación y diseño de las poleas. Este ajuste se basa en mantener el torque que se transmite al eje de cuchillas y encontrar la velocidad de rotación final del motor eléctrico.

$$Wf_{\text{Motor eléctrico}} = \frac{P}{T_{\text{Eje cuchillas}}} \quad (43)$$

Donde:

P= Potencia nominal de motor eléctrico (Watts)

T motor diésel= Torque transmitido a eje de cuchillas (Nm)

Wf= Velocidad angular de polea de diámetro mayor (Rad/s)

Se procede a calcular el torque transmitido al eje de cuchillas con la información de la sección de 7.3.3 de cálculo experimental de velocidad rotacional del motor. Con esta información se encuentra la velocidad angular de rotación del eje de cuchillas con el motor eléctrico.

$$T_{\text{Eje cuchillas}} = \frac{P_{\text{Motor diésel}}}{Wf_{\text{Motor diésel}}} = \frac{25 \text{ Hp} \cdot \frac{745.7 \text{ w}}{\text{Hp}}}{667 \text{ RPM} \cdot \frac{\pi}{30 \text{ seg}}} = 267 \text{ Nm}$$

$$Wf_{\text{Motor eléctrico}} = \frac{30 \text{ Hp} \cdot \frac{745.7 \text{ w}}{\text{Hp}}}{267 \text{ rad/s}} = 83.81 \text{ rad/s}$$

$$Wf_{\text{Motor eléctrico}} = 83.81 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \cdot \frac{30 \text{ s}}{\pi} = 800 \text{ RPM}$$

La reducción necesaria de velocidad rotacional respecto a las condiciones nominales el motor (ver Cuadro 33), indica que se necesita un reducción de:

$$\text{Reducción} = \frac{1190}{800} = 1.49 \approx 1.50$$

Ahora que se tienen las velocidades de rotación necesarias para cumplir con los requisitos de trituración, se calcula las bandas necesarias e información referentes a las mismas, este procedimiento ya se realizó en la sección 7.3.4 por lo que no se volverá a explicar. Solamente se incluyen los resultados de los cálculos en el Cuadro 38.

Cuadro 38: Resultados de sistema de bandas y poleas del motor eléctrico

Elemento	Valor	Dimensional	Referencia
Diámetro de polea unida al motor	6	pulg	Criterio de diseño
Diámetro de polea unida a eje de cuchillas	9	pulg	Criterio de diseño
Banda Seleccionada	B 97		Ecuación [14]
Factor de Servicio	1.3	NA	Cuadro [14]

Cuadro 39: Resultados de sistema de bandas y poleas del motor eléctrico cont.

Elemento	Valor	Dimensional	Referencia
Distancia entre centros recomendada	36.7	pulg	Ecuación [11]
Cantidad de Bandas en poleas	6		Ecuacion [17]
Horas de funcionamiento de bandas	73,410	horas	Ecuación [29]
Tensión en polea unida a motor	385.93	lbf	Ecuación [26]
Tensión en polea unida a eje cuchillas	353.93	lbf	Ecuación [27]

6.7.5. Cotización y valoración del módulo eléctrico

Cuadro 40: Cotización de módulo eléctrico

Elemento	Proveedor	Contacto	Entrega	Costo unitario	Cant	Costo total
Motor trifásico 30 HP	Grupo Sierma Motores	dpelaez@sierma.com.gt Tel: 2214-8686	Inmediata	Q 15,940	1	Q 15,490
Breaker industrial NM1 3X 50 Amp	Ket Plus	mdleon@ketplus.com.gt Tel: 2204-9494	Inmediata	Q 330	1	Q 330
Contactador NXC 50A 480 V 60HZ	Ket Plus	mdleon@ketplus.com.gt Tel: 2204-9494	Inmediata	Q 313	1	Q 313
Guardamotor 45-65 Amp Selector	Ket Plus	mdleon@ketplus.com.gt Tel: 2204-9494	Inmediata	Q 600	1	Q 600
Cable THHN #8	Celasa	ventas@celasa.com.gt Tel:2270-7777	Inmediata	Q 9.82	10	Q 98.2
Polea hierro fundido 6" 6 Ranuras B	Prosain	info@prosain.com Tel:2429-0707	Inmediata	Q 2,650	1	Q 2,650
Polea hierro fundido 9"6 ranuras B	Prosain	info@prosain.com Tel: 2429-0707	Inmediata	Q 4,590	1	Q 4,590
Fajas Bando B 97	Clutches Guatemala	https://clutches.com.gt/ Tel: 2210 1850	Inmediata	Q 109	6	Q 654
Total						Q 24,725.20

Cuadro 41: Verificación de cumplimiento de requisitos del sistema

Módulo	Requisito	Código	Descripción	Cumplido
Requisitos de los inversores	Presupuesto	E101	Costo total de trituradora menor o igual a \$12,000	X
	Frecuencia de mantenimiento	E102	La trituradora debe tener un mantenimiento general cada 3 meses	✓
	Requisito de producción de material triturado	E103	La trituradora debe entregar una producción de 150 kg/h de HDPE	✓
	Volumen de material triturado	E104	La trituradora debe ser capaz de triturar canecas de 20 litros.	✓

Módulo	Requisito	Código	Descripción	Cumplido
	Requisito de operación del motor	E105	La trituradora deberá trabajar durante 6 horas de forma ininterrumpida	✓
	Motor	E106	El motor debe ser diésel	✓
Requisitos técnicos del sistema	Horas de vida de sistema de transmisión	RT101	El sistema tendrá una vida operacional de 5 años	✓
	Factor de seguridad del sistema	RT02	El sistema tendrá un factor de seguridad de al menos 1.30	X
	Ruido de trituración	RT03	El ruido que el operador recibe por parte del motor debe ser menor o igual a 85 DB	✓
	Normas de seguridad	RT04	Definir equipo de protección auditiva del operario, que cumplan con normas OSHA 2014.	✓
	Mecanismo de transmisión de potencia	RT05	La transmisión de potencia deberá ser con fajas y poleas.	✓
	Movilidad	RT06	El motor deberá tener un sistema que permita ajustar la distancia entre centros de las poleas.	✓

Módulo	Requisito	Código	Descripción	Cumplido
Sistema de control	Sistema de paro de emergencia	SC01	El motor debe tener un procedimiento o sistema que detenga la trituración del material.	✓
	Lector de RPM	SC02	El sistema deberá tener un lector de la velocidad angular en RPM en el motor.	✓
Replicación de trituradora	Manual de operación	RP01	Se elabora una guía rápida de operación del módulo de transmisión de potencia	✓
	Planos de sistema de transmisión de potencia	RP02	Memoria de planos de las piezas con instrucciones de ensamble y cotizaciones.	✓
	Señales de seguridad	RP03	Señalar áreas de alto riesgo en la máquina	✓
	Proveedores de piezas y motor	RP04	Todos los proveedores de piezas deben ser nacionales	✓
	Mantenimiento	RP05	Elaborar un manual de mantenimiento para el sistema de transmisión de potencia.	✓

Cuadro 42: Cotización de módulo de transmisión de potencia

Elemento	Proveedor	Contacto	Costo unitario	Cant	Costo total
Motor 25 Hp diésel Refrigerado por aire	Mayeca	ventas@mayeca.com Tel:2227-8200	Q 17,500	1	Q 17,500
Polea D 18"	Prosain	info@prosain.com Tel: 24290707	Q 6,650	1	Q 6,650
Volante de inercia	Prosain	info@prosain.com Tel: 24290707	Q 6,650	1	Q 6,650
Tornillo 90 mm de diámetro UNC	Prosain	info@prosain.com Tel: 24290707	Q 800	2	Q 1,600
Polea d 6"	Prosain	infor@prosain.com Tel: 24290707	Q 980	1	Q 980
Bandas Bando B 112	Clutches Guatemala	https://clutches.com.gt/ Tel: 2210 1850	Q 109	4	Q 436
Placa acero ASTM A36 (100x3000x15) mm	Prodalam	https://prodalam.cl Tel: 2685 1000	Q 200	1	Q 200
Servicio de maquinado de tornillo de potencia torno CNC	Universidad del Valle de Guatemala	https://uvg.edu.gt Tel: 2507 1500	Q 200	1	Q 200
Tacómetro Hall NPN	La electrónica	https://laelectronica.com.gt Tel: 7758 9511	Q 199	1	Q 199
Pernos DIN 933 16 x 40 mm	Casa del tornillo	ventas@castor.com Tel: 2387 5050	Q 22.37	4	Q 89.48
Servicio de corte de lámina	tornillo	https://uvg.edu.gt Tel:2507 1500	Q 50	1	Q 50
Barra de acero al carbono 5/8 ", 65 cm	Tecniaceros	gventas@tecniaceros.com Tel: 4015-5782	Q 33.50	1	Q 33.50
Total					Q 34,587.98

Cuadro 43: Alternativa módulo eléctrico

Elemento	Proveedor	Contacto	Entrega	Costo unitario	Cant	Costo total
Motor trifásico 30 HP Breaker industrial	Grupo Sierma Motores	dpelaez@sierma.com.gt Tel: 2214-8686	Inmediata	Q 15,940	1	Q 15,490
NM1 3X 50 Amp	Ket Plus	mdleon@ketplus.com.gt Tel: 2204-9494	Inmediata	Q 330	1	Q 330
Contactador NXC 50A 480 V 60HZ	Ket Plus	mdleon@ketplus.com.gt Tel: 2204-9494	Inmediata	Q 313	1	Q 313
Guardamotor 45-65 Amp Selector	Ket Plus	mdleon@ketplus.com.gt Tel: 2204-9494	Inmediata	Q 600	1	Q 600
Cable THHN #8	Celasa	ventas@celasa.com.gt Tel:2270-7777	Inmediata	Q 9.82	10	Q 98.2
Polea hierro fundido 6" 6 Ranuras B	Prosain	info@prosain.com Tel:2429-0707	Inmediata	Q 2,650	1	Q 2,650
Polea hierro fundido 9"6 ranuras B	Prosain	info@prosain.com Tel: 2429-0707	Inmediata	Q 4,590	1	Q 4,590
Fajas Bando B 97	Clutches Guatemala	https://clutches.com.gt/ Tel: 2210 1850	Inmediata	Q 109	6	Q 654
Accesorios						Q 6,961.98
Total						Q 31,687.18

Cuadro 44: Comparación de costo total de la trituradora según distintos fabricantes

Modelo	Observación	Tiempo de entrega	Costo
Taller PROMINOX (Proyectos mecánicos e inoxidable)	- Incluye transporte a centro de acopio - 70 % del pago anticipado - Contacto: Hugo Cáceres (4545-4423) - No incluye motor diésel	12 Semanas	Q 214,200
Taller Mutimecánica	- 60 % del pago anticipado - Contacto: Ing. Jaime Matus (5412-5470) -No incluye transporte al centro de acopio -No incluye servicio de ensamble	7 semanas	Q 370,500
Universidad del Valle de Guatemala	-Las cuchillas se deben manufacturar en un taller externo Contacto: Edgar Castillo	16 Semanas	Q 272,000

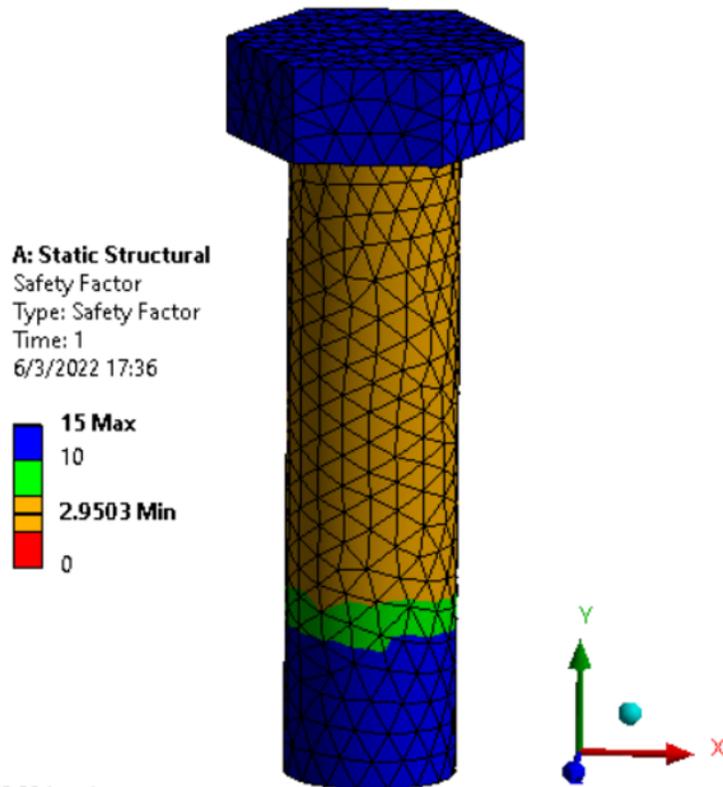
Cuadro 45: Condiciones del módulo de transmisión de potencia que cumplen requisito E103.

Resultado	Abreviación	Valor	Dimensional	Referencia
Velocidad angular polea D	\mathbf{w}_D	667	RPM	Experimental
Torque en polea D	\mathbf{T}_D	267.72	Nm	Ecuación [9]
Velocidad angular polea d	\mathbf{w}_d	2001	RPM	Ecuación [7]
Torque en polea d	\mathbf{T}_d	89	NM	Ecuación [9]
Velocidad angular del motor	\mathbf{W}_m	2151	RPM	Ecuación [8]
Producción Banda seleccionada	\dot{W} NA	150.47	kg/h	Ecuación [10]
Número de bandas	Na	B112	NA	Figura [8]
Distancia entre centros de poleas	Na	4	NA	Expresión [17]
Factor de seguridad	C	35.6	Pulgadas	Expresión [11]
Tiempo de vida de bandas	$\mathbf{N}_s b$	1.18	NA	Expresion [25]
Tensión en polea d	t	50,285	Horas	Expresion[29]
Tensión en polea D	T1	267	Lbf	Ecuación [26]
	T2	203	Lbf	Ecuación [27]

Cuadro 46: Factores de seguridad de análisis estructural realizado en ANSYS, de la base del motor.

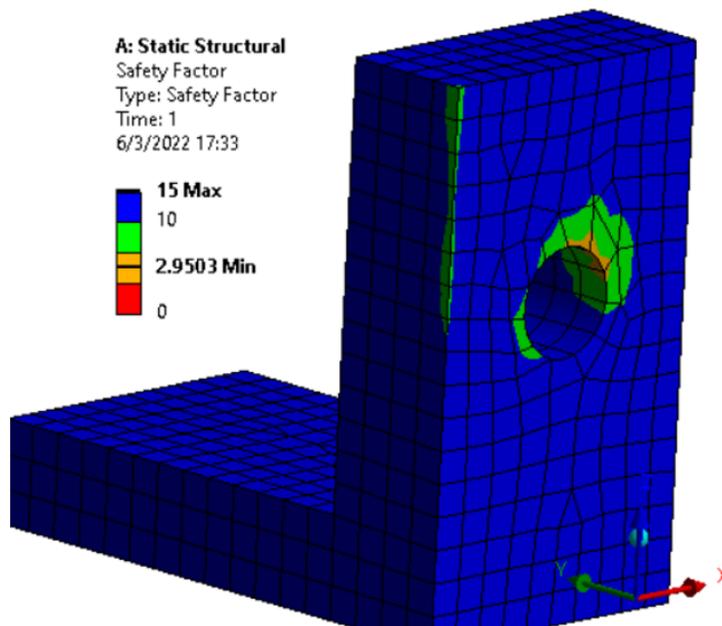
Elemento	Factor de seguridad de fluencia	Factor de seguridad de esfuerzos cortantes
Perno DIN 933	2.9	3.05
Base de Motor	3.3	3.4
Soporte	2.9	3.4

Figura 47: Factor de seguridad de perno



Fuente: Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc.

Figura 48: Factor de seguridad de soporte de motor

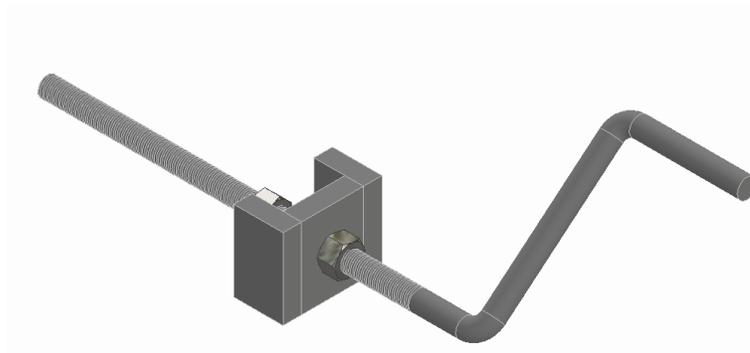


Fuente: Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc.

Cuadro 47: Resultados de análisis nodal del módulo de transmisión de potencia

	Motor (Hz)	Sistema (Hz)
Frecuencia Angular	36.66	51.90

Figura 49: Tornillo de potencia de la base de motor

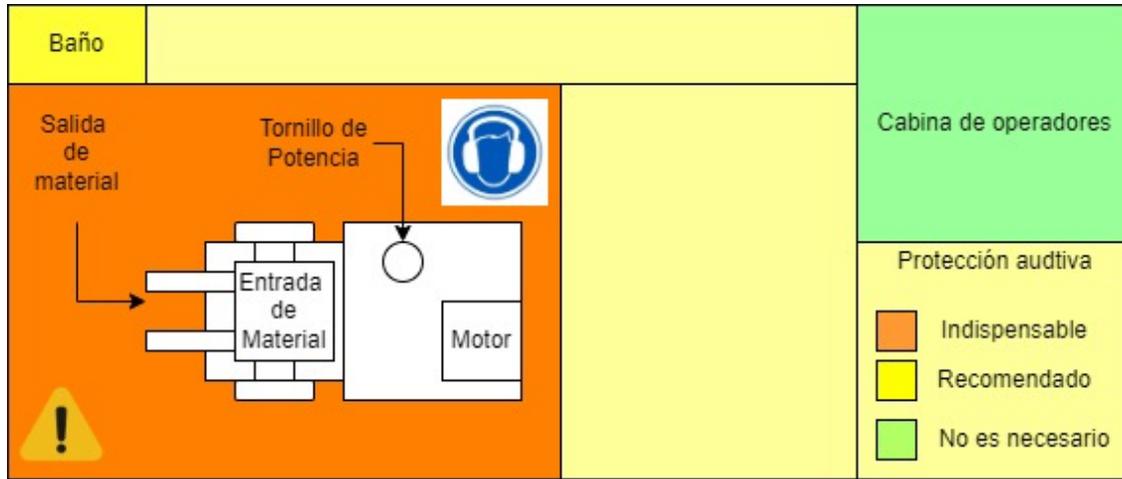


Fuente: Captura de pantalla de Autodesk reimpresas por cortesía de Autodesk, Inc.

Cuadro 48: Resumen de resultados de diseño de tornillo de potencia

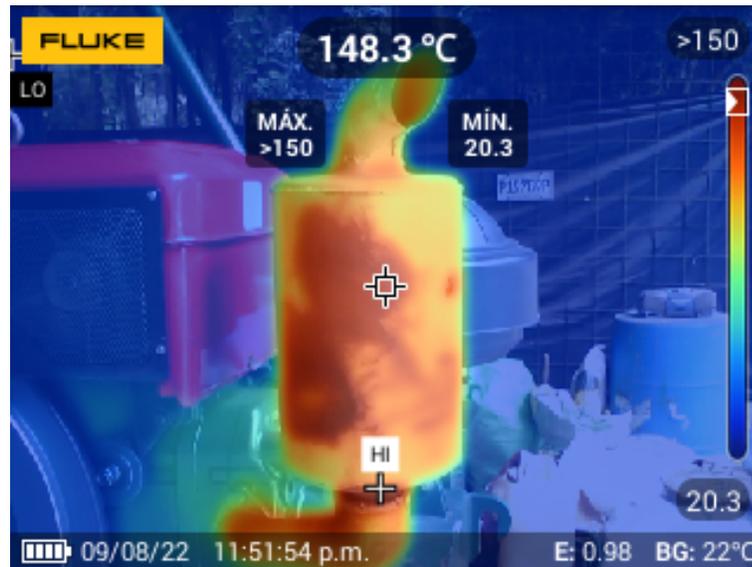
Variable	Abreviación	Valor	Dimensional	Referencia
Diámetro de rosca ACME seleccionado	d	5/8	Pulg	Criterio de diseño
Paso de rosca ACME	P	1/8	Pulg	Tabla (8-3) (Budynas & Nisbett, 2010)
Diámetro de collarín	dc	1 1/4	Pulg	Criterio de diseño
Avance de rosca	Vr	3.75	Pulg/Min	Expresión 31
Fuerza axial transmitida	F	897.5	Lbf	Expresión 36
Factor de seguridad del sistema	FS tp	1.75		Expresión 37
Material	NA tp	NA	Acero AISI 1045	Cuadro 42
Eficiencia de tornillo	e tp	57.6 %		Expresión 38

Figura 50: Áreas donde se debe utilizar protección auditiva



Fuente: Elaboración propia

Figura 51: Temperatura máxima de la trituradora



Fuente: Elaboración propia

Discusión de resultados

El objetivo principal del proyecto fue diseñar un sistema de transmisión de potencia para una trituradora de plástico polietileno de alta densidad que tenga un costo menor a \$4,000 y una capacidad de trituración de $150 \frac{kg}{h}$. Se realizó un diseño completo de transmisión de potencia que abarca fases de seguridad operacional, funcionamiento según requisito de producción, simulación del proceso, alternativas respecto a costos de implementación. En esta sección se discuten los resultados en el orden según los requisitos planteados en el Cuadro 41.

El requisito principal del proyecto E101 no se cumplió, el presupuesto establecido por parte de Agrequima, fue de \$12,000 dólares o Q96,000 (se admite una tasa de cambio de Q8/\$), para los módulos de cuchillas, estructura y transmisión de potencia. Se observa en el Cuadro 44 que el costo final de la trituradora que propone la Universidad del Valle es de Q272,000. Esto representa un 183% más que la valoración aceptada por los inversores, sin embargo existen múltiples razones que afectaron el costo total de fabricación de la trituradora que explican por qué no se cumple el requisito E101.

La causa principal del aumento del costo fue el requisito RP04, este propone que los proveedores serán todos nacionales, esto se define debido a un problema con la trituradora actual, esta al ser importada de China, no contaba con la documentación adecuada del funcionamiento, listado de piezas y mantenimiento de la misma. Además, el fabricante Chino, cuenta con una línea de producción dedicada a la manufactura de trituradoras, por lo que puede vender sus máquinas en \$12,000. Por otro lado, este proyecto se realizó durante la crisis de Covid-19, en donde las importaciones en América Latina se redujeron en un 27.4%, debido a conflictos con proveedores y transporte marítimo ante las políticas implementadas por el estado de emergencia en el mundo (CEPAL, 2020). Esto generó un aumento en el costo de materia prima como el hierro y acero, puesto que los proveedores no podían importar estos materiales desde otros países.

La trituradora se compone por tres módulos, diseño y fabricación de estructura, sistema de transmisión de potencia y cuchillas. La propuesta de la Universidad del Valle fue prestar su taller metal mecánica para la fabricación de la estructura y cuchillas, además de los accesorios del módulo de generación de potencia, como la base del motor y tornillo de potencia. Sin embargo, se determinó que no se puede fabricar la estructura ni las cuchillas dentro del taller puesto que necesitan maquinaria con una mayor capacidad, tornos más largos, cortadoras industriales, entre otros. Por lo que esos módulos se tendrían que manufacturar con compañías externas, esto eleva su costo de fabricación.

No obstante, se observa en el Cuadro 44, que el costo total de la trituradora está dentro del mercado y al ser un trabajo de graduación, además de un proyecto que tiene un fin benéfico, no se busca una utilidad por su fabricación, por lo que a pesar de superar el presupuesto establecido por los inversores, es segunda oferta más económica dentro de los talleres que están dispuestos a manufacturar esta máquina.

El módulo de transmisión de potencia supera ligeramente el presupuesto establecido de Q 32, 000, con un exceso del 8.08 % (Cuadro 42), esto se debe principalmente al costo del motor de 25 HP , la polea unida al eje de cuchillas y el volante de inercia. Con el fin de cumplir con el objetivo principal, se realiza una alternativa de un módulo de transmisión de potencia que utiliza un motor eléctrico de 30 HP de alto torque, se diseñan las protecciones eléctricas para una arranque directo y se ahorran costos en los tamaños de las poleas al tener una mayor potencia y una velocidad nominal del motor de 1190 RPM(ver Cuadro 33 y 43).

El sistema de transmisión de potencia se basa en el requisito de producción E103, que demanda una producción de HDPE triturado de 150 kg/h. Se alcanzó este requisito mediante mediciones experimentales con el proceso actual, se determinó experimentalmente con un tacómetro que una velocidad rotacional de 667 rpm, en una polea de 18pulg unida mediante fajas a otra de 6 pulg en un motor de 25Hp, produce una cantidad de 150.47 kg/h (ver Cuadro 45). Por lo que se estipulan estas condiciones de trituración.

Se propone un motor diésel (requisito E106) de 25 Hp, con enfriamiento por aire modelo C292FD, se escoge un enfriamiento por aire debido al presupuesto otorgado, aunque se recomienda un motor que tenga refrigerante si se tiene un capital de inversión más elevado, para tener menores temperaturas de operación (ver anexo: cotizaciones pág No.5). Se observa en el Cuadro (45) que el sistema de transmisión de potencia es con poleas y fajas Bando B112, se calculó que se necesitan cuatro bandas para transmitir el torque necesario al eje de cuchillas para una operación diaria de seis horas (requisito E105, RT05 y Cuadro 14), este valor corrobora la trituradora actual (ver Figura 23), que tiene la misma cantidad de bandas.

Por otro lado, la distancia entre centros calculada para la trituradora diseñada es de 35.6 pulgadas (ver Cuadro 45), mientras que la operación actual tiene una distancia entre centros de las poleas de 38 pulg; se determina que los operarios de la trituradora actual mantienen

una configuración que podría poner en riesgo la máquina y a los usuarios, debido a un exceso de tensión en las fajas por lo que es indispensable un mecanismo de ajuste de distancia de centros de las fajas.

La vida operacional de las fajas cumple con el requisito RT101, con una duración de 50,285 horas, que representa una vida superior a los 5 años, aún cuando las condiciones de trituración sea continua durante 24 horas todos los días del año (ver Cuadro 45). El resto de componentes, si se cumple con el manual de mantenimiento (ver anexo: guía de mantenimiento) y las indicaciones del fabricante del motor, también se asegura una vida operacional de cinco años. El factor de seguridad de las bandas es de 1.18, en el proceso de cálculo de estos elementos no se tiene control para seleccionar un factor de seguridad mínimo, sino que este ya se encuentra dentro del proceso de cálculo en este caso también tiene un factor de servicio de 1.4 sobre el factor de seguridad por el uso y operación de la máquina (ver Tabla 15).

El requisito de producción E103, además de cumplir con la tasa de flujo másico de material triturado, involucra un análisis estructural que determina si el módulo de transmisión de potencia que se conforma por el motor, base de motor, pernos y bandas, puede operar de forma segura y soportar la carga de tensión máxima equivalente en la polea unida al motor y trasladada al eje (ver Cuadro 45 y Figura 35). Se realizó el análisis de la base del motor, pernos y soportes en ANSYS (ver metodología sección 5.4) y se encontró que el elemento crítico del sistema son los pernos, puesto que tienen los esfuerzos de von Mises más elevados (ver Cuadro 25y Figura 47), en donde el área crítica es la que sujeta el soporte y la base. Se considera que esto es favorable al ser un perno un elemento de sacrificio y reemplazable, con un bajo costo.

El factor de seguridad sobre el esfuerzo de fluencia es de 2.9 y este es menor al esfuerzo cortante sometido de 3.05 (Cuadro 46), sin embargo se puede apreciar que el esfuerzo cortante fue mayor al esfuerzo normal del perno (ver Cuadro 25). Esto se debe a que el resultado requerido en el análisis fue de von Mises, el cuál indica un esfuerzo máximo en una dirección única equivalente y se compara con las propiedades mecánicas de los materiales analizados (ver Cuadro 20 y Figura 38). Finalmente, con estos valores de factor de seguridad mayores a 1 se cumple con el requisito RT02 y se determina que los pernos DIN 933 cotizados (ver Cuadro 42) y la base de motor ASTM A36 (ver Figura 42) son capaces de soportar al motor en operación.

El último análisis referente al requisito E103, que garantiza el adecuado funcionamiento del motor ante las condiciones estipuladas según el equipo, es un estudio de vibraciones mecánicas, principalmente de resonancia con el medio ambiente, se busca analizar si el sistema de pernos y base de motor podría compartir la frecuencia natural del motor, se observa en el Cuadro 47 que la base de motor en Ansys tiene una frecuencia natural de 51.90 (Hz) mientras que el motor 36.66 (Hz), por lo que se concluye que el sistema no entrará en resonancia.

Se diseña un tornillo de transmisión de potencia de 5/8 de diámetro, paso de 1/8, rosca

ACME, de acero AISI 1045 por su fácil maquinabilidad en cualquier taller metal mecánica, su manufactura entra dentro de la estrategia de manufactura interna en el taller de la Universidad del Valle de Guatemala. Se propone este sistema para cumplir con el requisito RT06, como mecanismo para un ajuste adecuado de distancia entre centros de las poleas.

En el Cuadro 48 se encuentra que el tornillo es capaz de transmitir una fuerza axial de 897.5 lbf ante una fuerza de entrada manual de 10 lbf (ver Cuadro 17), con un factor de seguridad sobre la carga nominal de 1.75. Además, se observa que la eficiencia del tornillo es de 57.6 %, esto significa que no es un mecanismo de transmisión de potencia eficiente, principalmente debido a la rosca ACME que genera coeficientes de fricción mayores. Sin embargo, el objetivo de esta pieza es transmitir fuerza y una maquinabilidad sencilla, así que esto no se considera una variable que afecte al módulo general de transmisión de potencia.

Los requisitos RT03 y RT04 destacan los aspectos de seguridad y equipo operacional de los trabajadores a cargo de manejar la trituradora en el centro de acopio. En este caso en la sección de seguridad operacional, se encontró que ante un ruido esperado entre 100 y 105 DB de trituración, por cada hora de trabajo del operario, debería descansar 3 horas para no tener consecuencias severas en su capacidad auditiva (ver expresión 6). Por lo que se define, según la norma OSHA 2014, que se necesita percibir un nivel de ruido menor o igual a los 85 DB, esto se logra mediante el uso de orejeras truper de reducción de 23DB (ver Figura 15). El operador con este equipo percibirá un nivel de ruido de 82 DB y podrá realizar su jornada laboral sin ningún problema.

Por otro lado, en la sección de protocolo de pruebas (ver Cuadro 31), se realiza un análisis de ruido experimental en el centro de acopio en Chimaltenango, Guatemala. Se busca verificar las áreas en donde sea necesario el uso de protección auditiva, se encontró que es indispensable el uso de orejeras en las áreas de tolva de entrada de material, salida de material y área del motor, siendo la última la más crítica puesto que ahí se detectó el nivel de ruido más alto (ver Figura 50).

Es importante destacar que en las pruebas ningún valor de ruido superó los 85 DB debido al equipo de medición, este fue un teléfono Galaxy S10, en donde el límite máximo que puede detectar el micrófono son 85DB por lo que el ruido real de la operación fue mucho más alto, es por esto que se utiliza el rango entre 100 y 105 DB según un estudio realizado en una trituradora con equipo profesional de detección de ruido (Zehan et al., 2016). Sin embargo, el protocolo de pruebas sí entrega resultados confiables respecto a qué áreas son las que más ruido reciben. Se observa en la Figura que en la cabina de descanso de operadores, no es necesario que utilicen las orejeras, ya que reciben 67 DB de ruido (ver Cuadro 31). Con estos análisis y con las instrucciones de la guía rápida de operación, se cumplen los requisitos RT03 y RT04.

Los requisitos del sistema de control del motor, involucran un sistema de paro de emergencia, que involucra un botón de emergencia alimentado con la batería del motor, este es un relé normalmente abierto que al presionar cierra un circuito que activa la válvula sole-

noide normalmente abierta en donde se bloquea el flujo de combustible. El requisito SC02 se cumple con un lector de velocidad angular del motor, se selecciona un tacómetro digital Hall NPD con un sensor de proximidad y una pantalla led que indica las rpm actual de funcionamiento (ver Figura 29). Los operarios de la trituradora en Chimaltenango graduaban la velocidad del motor según el ruido que hacía al triturar, este parámetro afecta a nivel auditivo a los operarios y pone en peligro al motor al no poder ser cuantificable. Es por eso que se sugiere la implementación de este dispositivo, para que se compruebe que la velocidad angular del motor sea cercana a las 2200 rpm, condiciones nominales de operación (45).

Los requisitos RP01,RP02 y RP05 (Cuadro 41), hacen referencia a los documentos necesarios para la replicación, mantenimiento y fabricación de la trituradora. Se elaboró una guía de operación rápida, que contiene principalmente símbolos para una operación adecuada del módulo de transmisión de potencia, además del equipo necesario y zonas de riesgo por alta temperatura (Figura 51) que se deben evitar (ver anexo: Guía rápida de operación). Además, se incluye una memoria de planos con las medidas de cada pieza que conforma el módulo de transmisión de potencia, instrucciones de ensamble y un documento con las cotizaciones por separado (ver anexo: memoria de cotizaciones).

En anexos se encuentra un manual de mantenimiento para el sistema de transmisión de potencia (requisito RP05), cabe destacar que este manual es para prácticas básicas referentes únicamente al motor y revisión periódica según las horas de funcionamiento de la trituradora, siempre se debe consultar el manual del fabricante del motor.

Finalmente, se logra un diseño eficiente que cumple con la cuota de trituración y si bien, no cumple con el presupuesto establecido por los inversores, se determinó que el costo de la máquina está dentro de los valores del mercado y es la segunda opción más económica. El módulo de transmisión de potencia tiene una vida operacional mínima de 5 años, no existe riesgo de rotura o deformación de piezas por esfuerzos mecánicos o vibración del sistema ante las cargas esperadas, se define el equipo necesario y zonas de riesgo que se deben evitar para asegurar la integridad física de los operarios. Se recomienda como alternativa para cumplir el presupuesto del módulo de potencia implementar el mismo sistema con un motor eléctrico y seguir las recomendaciones del manual de mantenimiento, operación y memoria de planos realizados.

Conclusiones

Se cumple parcialmente el objetivo principal del proyecto, se diseña una sistema de transmisión de potencia para una trituradora de polietileno de alta densidad con una tasa de producción de 150 kg/h. Si bien, no se cumple el presupuesto establecido de \$ 12,000, se determina que la propuesta de diseño y manufactura de la Universidad del Valle de Guatemala es competitiva en el mercado y representa la segunda oferta más económica dentro de la competencia. Además, se presenta una alternativa para cumplir el presupuesto con un sistema de motor eléctrico.

Se cumple el objetivo de definir y alcanzar los requisitos necesarios del sistema de transmisión de potencia, según requisitos de los inversores, requisitos técnicos, sistemas de control y replicación de trituradora.

El módulo de potencia cumple con un factor de seguridad mayor a 1.3 en los pernos de la base del motor $N_p = 2.95$, en soporte de base de motor $N_s = 2.95$ y tornillo de potencia $n_{tp} = 1.75$. En el proceso de diseño de fajas B112, no se puede controlar un factor de seguridad deseado, se obtiene un factor de $N_{sb} = 1.18$, este está calculado sobre un factor de servicio de 1.4 requerido por el catálogo Bando, por lo que al considerar este ajuste, se obtiene un factor de $N_{sb} = 1.65$.

Se cumplió el tercer objetivo al determinar que se necesita un motor de 25 caballos de fuerza para obtener una producción de material de polietileno de alta densidad de 150 kg/h, a través de experimentación y equipo de medición con la máquina actual.

El sistema de transmisión de potencia conformado por el motor, base, poleas, bandas y pernos tiene una vida operacional mínima de 5 años, no existe riesgo de rotura o deformación de piezas por esfuerzos mecánicos o vibración del sistema ante las cargas esperadas.

Se determinó que es indispensable el uso de orejeras de protección auditiva en todo mo-

mento mientras la máquina opera, además se encuentra que el área con mayor temperatura fue el escape del motor con temperaturas superiores a los 150°C.

Se definió la documentación necesaria para cumplir con el objetivo secundario de tener una memoria completa de planos de fabricación de la trituradora este se encuentra en anexos en la sección [12.6]

Se elaboró un manual de mantenimiento y una guía de operación rápida que cumple con el objetivo secundario. Este se encuentra en las secciones [12.3] y [12.4] de los anexos.

CAPÍTULO 10

Recomendaciones

Se recomienda la implementación de un motor diésel con enfriamiento por agua (anexo cotizaciones, pág 5), para mantener temperaturas de operación bajas y poder triturar por más tiempo el material sin interrupciones. Esto involucraría elevar el presupuesto establecido puesto que estos motores son más caros que los enfriados por aire.

Si es indispensable que el presupuesto para la transmisión de potencia se cumpla, se recomienda optar por una instalación de motor eléctrico, con arranque directo, verificar que el centro de acopio maneje voltajes de 480V y una conexión a tierra física estable.

Se recomienda capacitar a los operarios sobre las consecuencias de la falta de protección auditiva para entornos que estén por encima de los 100 DB y verificar que utilicen en todo momento su equipo de protección recomendado en la guía de operación.

- Aktar, M. W., Sengupta, D., & Chowdhury, A. (2009). Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards. *Interdisciplinary Toxicology*, 2(1), 1-12. <https://doi.org/10.2478/v10102-009-0001-7>
- Andrianto, M., & Fahriansyah, F. (2019). 3-D designing of an organic waste crusher. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 277, 012009. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/277/1/012009>
- Applications manual for the revised NIOSH lifting equation. (2021). <https://doi.org/10.26616/NIOSH PUB94110>
- Bando Power Transmission Belt Product Desing Manual. (2018). https://www.bandogrp.com/eng/product/industrial/pdf/ptb_all.pdf
- Banguat. (2021). Producto interno bruto trimestral | Banco de Guatemala. Consultado el 10 de agosto de 2022, desde <http://www.banguat.gob.gt/es/page/producto-interno-bruto-trimestral>
- Budynas, R., & Nisbett, K. (2010). *Shigley's Mechanical Engineering Design*. McGraw-Hill Education. <https://books.google.com.gt/books?id=eT1DPgAACAAJ>
- CEPAL. (2020). Los efectos del COVID-19 en el comercio internacional y la logística. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45877/1/S2000497_es.pdf
- Contreras, E. (2001). *Lubricación de motores Diesel* (1.ª ed., Vol. 1). INACAP.
- Cori, W. (2014). *Diseño de una trituradora de plástico para la fábrica La Paz* (Tesis doctoral). Universidad mayor de San Andrés. La Paz Bolivia.
- CropLife. (2005). CampoLimpio, una solución ambiental para el Agro. <https://www.croplifela.org/es/proteccion-cultivos/campolimpio>
- Earplugs vs ear muffs: hearing protection. (s.f.). Consultado el 21 de septiembre de 2022, desde <https://prochoicesafetygear.com/ppe/blog/hearing-protection/choosing-hearing-protection-ppe-earplugs-vs-ear-muffs/>
- El clima en Escuintla, el tiempo por mes, temperatura promedio (México) - Weather Spark. (s.f.). Consultado el 6 de abril de 2023, desde <https://es.weatherspark.com/y/10563/Clima-promedio-en-Escuintla-M%5C%C3%5C%A9xico-durante-todo-el-a%5C%C3%5C%B1o>

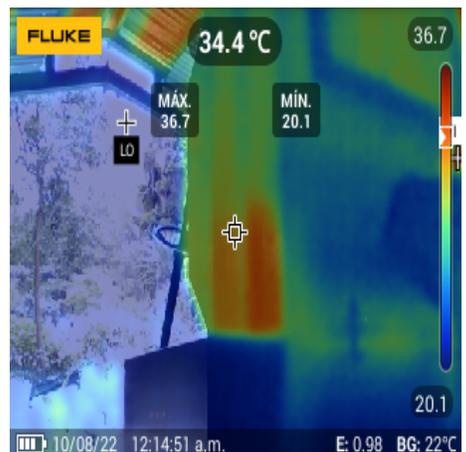
- Freburger, J. K., Holmes, G. M., Agans, R. P., Jackman, A. M., Darter, J. D., Wallace, A. S., Castel, L. D., Kalsbeek, W. D., & Carey, T. S. (2009). The Rising Prevalence of Chronic Low Back Pain. *Archives of internal medicine*, *169*(3), 251-258. <https://doi.org/10.1001/archinternmed.2008.543>
- Gan, W. Q., Davies, H. W., & Demers, P. A. (2011). Exposure to occupational noise and cardiovascular disease in the united states: the national health and nutrition examination survey 1999-2004. *Occupational and Environmental Medicine*, *68*(3), 183-190. <https://doi.org/10.1136/oem.2010.055269>
- Gill, T. (2015). Major new study quantifies health and environmental impacts of excess nitrogen oxide emissions from diesel vehicles. *Stockholm Environment Institute*. <https://www.sei.org/featured/health-and-environmental-impacts-emissions/>
- Groover, M. P. (2011). *Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes, and systems* (4th ed). J. Wiley & Sons.
- Hatz Motorenfabrik. (2016). Manual para motor Diesel. https://www.hatz-diesel.com/fileadmin/user_upload/ebook_BA_1D_43320412_ES.pdf
- Hazemag. (2021). Cone crusher | hazemag north america. Consultado el 26 de marzo de 2022, desde <https://na.hazemag.com/cone-crusher-2/>
- Hernández Moyano, J. L., & Fonseca La Rotta, D. (2017). Diseño de una trituradora de residuos sólidos tipo PET para la Fundación Alianza Forestal de Colombia E.S.P. Consultado el 10 de agosto de 2022, desde <http://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/2640>
- Indiamart. (s.f.). Double roll crusher. Consultado el 26 de marzo de 2022, desde <https://www.indiamart.com/proddetail/double-roll-crusher-14416765533.html>
- indiamart. (s.f.). Hammer crusher. Consultado el 26 de marzo de 2022, desde <https://www.indiamart.com/proddetail/hammer-crusher-20024839630.html>
- Law and regulations | occupational safety and health administration. (2022). Consultado el 21 de septiembre de 2022, desde <https://www.osha.gov/laws-regs>
- Liu, D. (2014). *Combustion and emissions of an automotive diesel engine using biodiesel fuels under steady and start conditions* (Tesis doctoral). University of Birmingham. Birmingham, UK.
- MaxiPet. (2020). Envases para insecticidas o agroquímicos. Consultado el 10 de agosto de 2022, desde <https://maxipet.net/blog/envases-para-insecticidas-o-agroquimicos>
- Menker, S. (2018). A look at fertilizer and pesticide use in the US. Consultado el 10 de agosto de 2022, desde <https://gro-intelligence.com/insights/a-look-at-fertilizer-and-pesticide-use-in-the-us>
- Ministerio de Energía y Minas. (2021). Histórico precios nacionales – MEM. Consultado el 6 de noviembre de 2021, desde <https://mem.gob.gt/historico-precios-nacionales/>
- Morales, V. (2011). *Alloy steel properties and use* (1.ª ed.). Intech.
- Morse, C. (2010). Timing Belt Catalogue. <https://feyc.eu/download/catalogos/transmision/morse/Timing%5C%20Belt%5C%20Online%5C%20Catalogue-2010.pdf>
- Neiko 20713a digital tachometer. (s.f.). Consultado el 22 de septiembre de 2022, desde <https://neikotools.com/products/neiko-20713a-digital-tachometer-non-contact-laser-photo-2-5-99-999-rpm-accuracy>
- NFPA. (2008). National Electrical Code. <https://www.powerandcables.com/wp-content/uploads/2020/01/2008-National-Electrical-Code-NFPA-70.pdf>
- Okusanya, M. A., & Ibrahim, G. W. (2020). Design and development of plastic crusher for a more efficient waste management practice. *International Journal of Innovative*

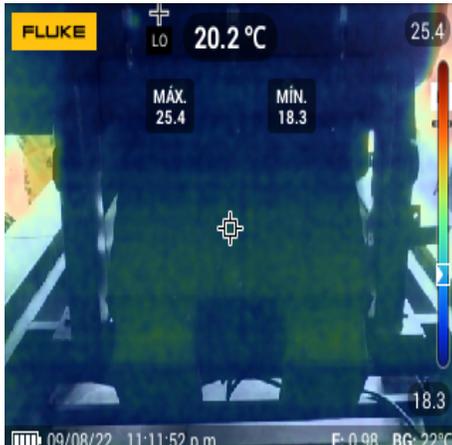
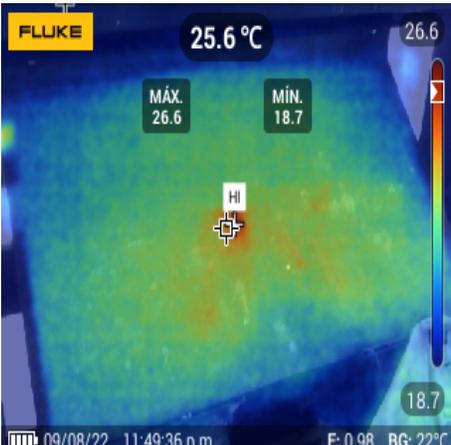
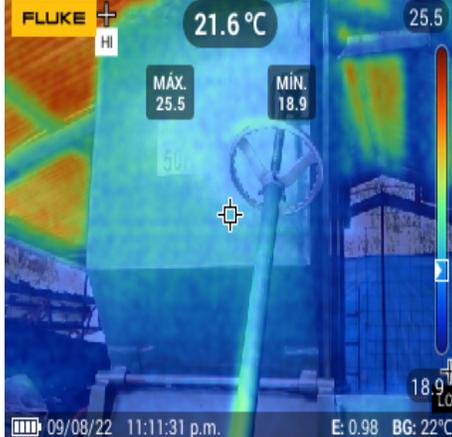
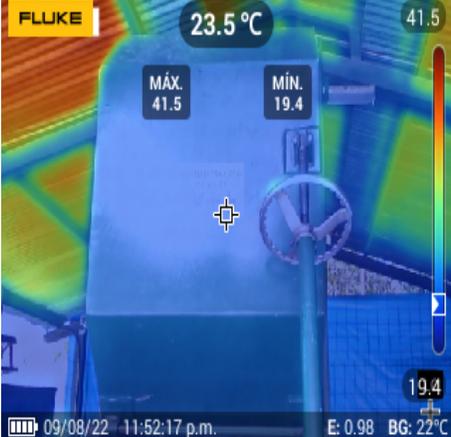
Research and Development, 9(8). <https://doi.org/10.24940/ijird/2020/v9/i8/AUG20075>

- Ola, A. (2019). Por mal manejo de plaguicidas aumenta el número de intoxicados. *Prensa Libre*. Consultado el 10 de agosto de 2022, desde <https://www.prensalibre.com/guatemala/comunitario/por-mal-manejo-de-plaguicidas-aumenta-el-numero-de-intoxicados/>
- Patel, M., Sen, P., & Sahu, G. (2015). A Review on Noise Sources and Methods of Reduction of Noise in Diesel Engines. *4*, 601-607.
- Rothbart, H., & Brown, T. H. (2006). *Mechanical Design Handbook, Measurement, Analysis, and Control of Dynamic Systems* (2nd Edition). McGraw-Hill Education. Consultado el 12 de octubre de 2023, desde <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071466363>
- Sa. (s.f.). How a jaw crusher works and what it is used for. Consultado el 26 de marzo de 2022, desde http://www.mine-engineer.com/mining/jaw_crusher.htm
- Sánchez, C. (2018). Identificación de los usos actuales del tereftalato de polietileno (PET) Reciclado en la Ingeniería Civil. https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/4232/1/2018_identificacion_usos_actuales.pdf
- Shea, G. (2019). 2. 0 fundamentals of systems engineering. Consultado el 6 de noviembre de 2021, desde <http://www.nasa.gov/seh/2-fundamentals>
- Sjöberg, M., & Vuilleumier, D. (2017). Effects of Gasoline Composition and Octane Sensitivity on the Response of DISI Engine Knock to Variations of Fuel-Air Equivalence Ratio.
- Uribe, J., Velázquez, J., Chavarría, J., & Ruiz, J. (2018). *Diseño y manufactura de trituradora de vidrio para centro de acopio en calle Navidad, Panajachel, Sololá* (Tesis doctoral). Universidad del Valle. Guatemala.
- Vela, C., Rey, E., & Jaimes, A. (2018). Diseño y construcción de trituración para PET Análisis sistemático de literatura. https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/5086/1/2018_diseno_construccion_prototipo.pdf
- Zehan, S., Biswas, Das & Abu, Z. (2016). A study on cause and effects of noise pollution due to stone crusher machine at Jafong, Sylhet. *Internation Reseach Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 03(08). <https://www.irjet.net/archives/V3/i8/IRJET-V3I806.pdf>

12.1. Protocolo de pruebas: Imagenes de prueba termográfica

Cuadro 49: Registro de cambio de temperatura para el protocolo de prueba térmico

Área de trituradora	Previo a arranque	Durante el funcionamiento
Tolva de entrada de material		

Área de trituradora	Previo a arranque	Durante el funcionamiento
Salida de material		
Área de motor		
Tornillo de potencia		

12.2. Registro de cotizaciones



**Cotizaciones del sistema de transmisión
de Potencia
abril de 2023**

Índice de contenido

Transmisión con motor diésel	3
Motor diésel 25 hp enfriado por aire	3
Alternativa: Motor diésel 25 HP enfriado por agua	5
Poleas y volante de inercia.....	6
Transmisión con motor eléctrico	7
Motor eléctrico 30HP, 1190 rpm.....	7
Poleas y volante de inercia.....	8
Protecciones eléctricas: Breaker, Contactor, Guaramotor.....	9
Cable THHN #8	10
Accesorios en común.....	11
Tornillos DIN 933 hexagonal rosca ordinaria.....	11
Tacómetro Hall NPD	12
Barra de acero AISI 1045 para tornillo de potencia	13

Transmisión con motor diésel

Motor diésel 25 hp enfriado por aire



Guatemala, 14 de Marzo del 2022

Estimados Señores
AGREQUIMA

Un Cordial Saludo,

A continuación nos permitimos presentar a su consideración la cotización del siguiente equipo:

MOTOR DIESEL 25HP **LFC292FD-R**

Tipo de Motor:	Diésel
Tipo de cigüeñal:	Cuñero
Modelo de Motor:	C292FD
Capacidad de tanque combustible:	8 litros
Consumo diésel:	3.8 Litros/hora
Índice de compresión:	19:1
Potencia nominal máxima de salida:	18 / 2200 rpm
Potencia recomendada para usar:	16.3 / 2200 rpm
Máximo esfuerzo de torsión:	48.4 / 2880
Sistema de encendido:	Compactación
Modelo de encendido:	Starter y Batería
Filtro de aire:	Tipo Semiseco
Capacidad de aceite del motor:	2.8



IMÁGENES CON FINES ILUSTRATIVOS

MAYECA, S.A. Nit: 7533185-3

Tel.: 2227-8200

ventas@mayeca.com

26 calle, 7-23 zona 11 Ofibodegas San Luis #13 Guatemala

www.mayeca.com





DESCRIPCION	CANT	VALOR UNI.
MOTOR DIESEL 25HP / Cuñero (incluye batería)	1	Q. 17,500.00
<u>CONDICIONES COMERCIALES</u>		
PRECIO PUEDE VARIAR SIN PREVIO AVISO		
<ul style="list-style-type: none"> • Forma de Pago: Contado • Garantía: 90 días por defectos de fabricación (batería y conexión eléctrica no tiene garantía) • Validez: 15 días • Tiempo de Entrega: Inmediata • PRECIO NO INCLUYE INSTALACION, NI FLETE 		

Nota: Contamos con un conjunto amplio de implementos de seguridad entre los cuales podremos mencionar:

- Poncho cafetero con capucha.
- Trajes completos de fumigación (Pantalón y chaqueta)
- Trajes Hidrorepelentes.
- Entre otros.

Esperamos nuestra propuesta este acorde a sus necesidades y expectativas.

Cordial y muy atentamente.

DEY GRANADOS
MAYECA, S.A.
 PBX: 2227-8200 / 5300-5660
www.mayeca.com



MAYECA, S.A. Nit: 7533185-3
 Tel.: 2227-8200
ventas@mayeca.com
 26 calle, 7-23 zona 11 Ofibodegas San Luis #13 Guatemala
www.mayeca.com

Alternativa: Motor diésel 25 HP enfriado por agua



IMPORTADORA HIDRAULICA DUBON S.A.

2 CALLE 3-32 ZONA 9
PBX. 23829016 – 17 -18



15/03/22

Señores:

Att: Juan Luis Herrera

¡Es un gusto saludarlos y desearles éxitos en sus labores cotidianas!
Adjuntamos cotización solicitada.

CANTIDAD	DESCRIPCION	PRECIO UNIT	TOTAL Q.
1	Motor Diesel 25Hp Arranque Manual - Marca Draper	25,000.00	25,000.00
1	Motor Diesel 25Hp Arranque Eléctrico - Marca Draper	28,000.00	28,000.00
FABRICADO 100% EN INDIA			

TERMINOS DE NEGOCIACION :

Tiempo de entrega: Inmediata después de recibir su orden de compra
Validez de la oferta: 15 días
Forma de pago: Al contado / Contra entrega / Deposito a cuenta

SOMOS AGENTES RETENEDORES DE IVA

SUJETO A PAGOS TRIMESTRALES

Julia Carrera
Asesora de Ventas
Importadora Hidráulica Dubon
Celular. 5314 5069
ventasindustria@importadoradubon.com



[!!!Fotos con fines ilustrativos!!!](#)

Poleas y volante de inercia



GUATEMALA 18 MARZO 2022
AGREQUIMA S.A

Proforma No.
0000250

**ATENCION
 SR. JUAN LUIS HERRERA**

A través de la presente reciba un afectuoso saludo. Deseamos que el día de hoy sea de muchos éxitos. En base a lo que usted nos solicita nos es grato presentarle la siguiente opción de compra de nuestros productos esperando poder atenderle con el mejor servicio posible.

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	P. Unitario	TOTAL	T. DE ENTREGA
1	POLEA TIPO B DE 6" 4 RANURAS MATERIAL HIERRO FUNDIDO MARCA US POWER	1 UNIDAD	Q. 980.00	Q. 980.00	INMEDIATA
2	FABRICACION DE POLEA TIPO B DE 18" DE 4 RANURAS EN MATERIAL HIERRO FUNDIDO	1 UNIDAD	Q. 6,650.00	Q. 6,650.00	DIAS 8
TOTAL				Q. 7,630.00	

Condiciones de Venta: **CONTADO / PREVIA VENTA** Validez de Cotización: **8 DIAS / PREVIA VENTA**
 Forma de Pago: **CONTADO** Nota: Los precios ya incluyen I.V.A.

Quedamos a la espera de cualquier información adicional o confirmación de la misma.
 Recuerde que para nosotros ¡Es un gusto atenderle!

TELEMARKETING
 ASESORIA Y VENTAS

PBX. 2429-0707
 www.prosain.com
 info@prosain.com

35 CALLE 0-49 ZONA 8, GUATEMALA, GUATEMALA
 Telefono(s) 24710606 / 2429-0707



*Nota: El volante de inercia tiene el mismo costo que polea de 18"



Transmisión con motor eléctrico

Motor eléctrico 30HP, 1190 rpm.

Productos Industriales y Servicios S.A.
23 avenida 12-91 zona 4 de Mixco Col. El Naranjo Bodega # 41



Proforma

MAC15-23

Empresa: AGREQUIMSA

Contacto: Juan Luis H

Correo:

FECHA: 28/03/2023

Nit:

CANT.	DESCRIPCION	VALOR UNIT.	SUBTOTAL
1	Motor Century 30 hp 1200 rpm 230/460 volts NEMA (Para Uso con VDF)	Q. 15,940.00	Q.15,940.00
			Total Q.15,940.00

Tiempo de Ent 8 días hábiles

Forma de pago: Contado, Transferencia o Depósito Monetario

Garantía 1 año por cualquier desperfecto de fábrica. No aplica por mal uso ni en accesorios.



Asesor: Miguel Alvizures C
502 41132460

PROINSER
9 CALLE "A" 9-88 ZONA 7, COLOMBA
LA BRIGADA, MIXCO, GUATEMALA
NIT: 10524468-6

Aceptado cliente

Sala de ventas 23 Avenida 12-91 zona 4 de mixco el naranjo

Poleas y volante de inercia



GUATEMALA 18 ABRIL 2023
AGREQUIMA S.A

Proforma No.
0000848

**ATENCION
 AGREQUIMA, S.A.**

A través de la presente reciba un afectuoso saludo. Deseamos que el día de hoy sea de muchos éxitos. En base a lo que usted nos solicita nos es grato presentarle la siguiente opción de compra de nuestros productos esperando poder atenderle con el mejor servicio posible.

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	P. Unitario	TOTAL	T. DE ENTREGA
1	FABRICACION DE POLEA HF Ø 6" X 6 R T "B"	1	Q. 2,650.00	Q. 2,650.00	INMEDIATA
2	FABRICACION DE POLEA HF Ø 9" X 6 R T "B"	1	Q. 4,590.00	Q. 4,590.00	INMEDIATA
TOTAL				Q. 7,240.00	

Condiciones de Venta: **CONTADO / PREVIA VENTA**
 Forma de Pago: **CONTADO**

Validez de Cotización: **24 HORAS**
 Nota: Los precios ya incluyen I.V.A.

Quedamos a la espera de cualquier información adicional o confirmación de la misma.
 Recuerde que para nosotros ¡Es un gusto atenderle!

CARLOS FEDERICO GARCIA
ASESORIA Y VENTAS
30337275

PBX. 2429-0707
www.prosain.com
info@prosain.com

35 CALLE 0-49 ZONA 8, GUATEMALA, GUATEMALA
 Telefono(s) 24710606 / 2429-0707



Protecciones eléctricas: Breaker, Contactor, Guaramotor



LINEAS DE SOLUCIONES FLEXIBLES, S.A.
EQUIPO ELÉCTRICO INDUSTRIAL - AHORRO Y CALIDAD DE ENERGÍA - PROYECTOS - SERVICIOS

CHNT

POWTRAN®

Klemsan®

ProSurge

Pilot®

GENERANDO SOLUCIONES ELÉCTRICAS

PRODUCTOS DE BAJA TENSIÓN

VARIADORES DE FRECUENCIA

MEDICIÓN Y BORNES

SUPRESORES DE TRANSIENTES

CALIDAD DE ENERGÍA

COTIZACIÓN C-579

Cliente: [20147] ASOCIACION DEL GREMIO QUIMICO AGRICOLA

Atención: JUAN LUIS

N.I.T.: 622603-5

Dirección: CIUDAD

Fecha: 17/04/2023 **Vencimiento:** 24/04/2023

Vendedor: Mayra De Leon

 **Teléfono:** (502) 5386-0203

E-mail: mdleon@ketplus.com.gt

C. Pago: EFECTIVO

T. Entrega: INME

Código	Cantidad	Descripción	Catálogo	Precio Unit.	Sub Total
CONT-059	1.00	CONTACTOR NXC 50 440V 60HZ	NXC-50 440V 60Hz	313.00	313.00
GUMO-115	1.00	GUARDAMOTOR 37- 50 AMP SELECTOR	NS2-80 37-50A	600.00	600.00
GUMO-003	1.00	GUARDAMOTOR 48- 65 AMP SELECTOR	NS2-80 48-65A	600.00	600.00
FLIP-214	1.00	FLIPON INDUSTRIAL NM1 3 X 50 AMP.	NM1-125S-050A	330.00	330.00

TOTAL: Un Mil Ochocientos Cuarenta y Tres 00/100 Quetzales

TOTAL Q 1,843.00

Esta cotización fue elaborada bajo nuestra interpretación técnica basados en la información proporcionada. Por favor sírvase verificar si la misma cumple a cabalidad con su requerimiento.

OBSERVACIONES:

CONDICIONES DE
COTIZACIÓN



FIRMA, NOMBRE Y SELLO DE ACEPTADO POR EL CLIENTE:

LÍNEAS DE SOLUCIONES FLEXIBLES, S.A. NIT: 4490156-9

MIXCO
2204-9494

ZONA 9
2291-7300

XELA
7824-2352/53

PTO. BARRIOS
7725-7011

BARBERENA
7725-3617

Cable THHN #8

9:02:23, 7:04 PM [CHW20] CABLE THHN #8 (METRO) | CÉLULA

Precios aplican únicamente en sitio web

Inicio > THHN > [CHW20] CABLE THHN #8 (METRO)



[CHW20] CABLE THHN #8 (METRO)

Cable THHN, ofrece:

- Son de uso general usados en sistemas de distribución de baja tensión e iluminación
- Ofrecen excelentes características eléctricas, físicas y mecánicas

Q 9.83

Color

- | +

Agregar a Carrito

[Términos y Condiciones](#)

Compartir: [f](#) [t](#) [g+](#) [v](#)

[Specifications](#)

Color: AMARILLO or NEGRO or BLANCO or VERDE or AZUL or ROJO



Wisc: Q 9.83 Add to Cart

Inicio Búsqueda Categorías Mis pedidos Carrito

<https://celula.com.gt/stock/chw20-chw20-cable-thhn-8-metro-500?category=44&id=base-chw20-cable-thhn-8-metro-500&id=100>

11



Accesorios en común

Tornillos DIN 933 hexagonal rosca ordinaria

LA CASA DEL TORNILLO S.A.

PBX 2387 - 5050
Sucursales

Bolivar z.8
Calle Martí
San Rafael z.18
Terminal z.9
Av. Petapa
Calz. San Juan

Villa Nueva
San Cristobal
Calz. Roosevelt

Fraijanes
Mazatenango
Chimaltenango

Quetzaltenango
Retalhuleu
Tecun Uman
Coatepeque
Escuintla



04/20/22 09:59:52

Documento No.: **327984**
Cliente: AGREQUIMA
Direccion: CIUDAD
Tel. 30359264
Email:
Contacto: juan luis
NIT: 622603-5

Fecha: 04/20/22
Tienda: T. VIRTUAL
Fax 0

Unidades	Producto	Codigo	P. Unit.	Total
4	16 X 40 DIN 933 HEXAGONAL ROSCA ORDINARIA CORRIDA 8.8	MHCC 16 40 -1	22.37	89.48
			Q. 22.37	89.48
Total			Q.	89.48



AVISO

A todos nuestros clientes se les informa que por medio del:
AVISO-SAT-GRC-DRG-2022-8-1-0266, a partir del
01 de marzo del año en curso nuestra empresa:
La casa del Tornillo S.A.
Será Agente Retenedor de
IVA, y según lo establecido en el artículo 9 del
Dto. 20-2006 entre Retenedores no deben efectuarse
retenciones de IVA



TACÓMETRO DE SENSOR DE PROXIMIDAD HALL NPN DE 10 A 9999 RPM



[Clic para ver la galería](#)

Descripción:

Tacómetro de sensor de proximidad Hall NPN de 10 a 9999 RPM

- **Requisitos de alimentación:** DC 8-24V
- **Rango de medición:** 10 ~ 9999RPM.
- **Rango de Error:** 0.1%
- **Claro cero:** automático.
- **Tiempo cero claro:** unos 10s.
- **Frecuencia de actualización:** 0.2 - 5 S (120-1200RPM), 0.25-0.06 S (2400+ RPM).
- **Frecuencia de respuesta:** 100HZ.
- **Indicación de medida:** (RPM<5000,± 2),(RPM>5000,± 3).
- **Señal:** NPN 5 cables normalmente abiertos.
- **Pantalla:** LED roja de 5x2cm. (¡Contáctanos si quieres otros colores! + 1USD)
- **Tamaño del tacómetro:** 79x43x26mm.
- **Tamaño del recorte del Panel:** 76x39,5mm.
- **Modelo de proximidad Hall:** NJK-5002C.
- **Objetos detectados:** imán.
- **Rango de detección:** 1mm-10mm.
- **Corriente de salida de proximidad:** 20mA (para el sensor).
- **Temperatura de funcionamiento:** -10 a 60 °C.
- **Cableado del Sensor:** marrón (potencia +), negro (prueba +), azul (señal).
- **Tamaño del Sensor:** 60x10mm.

Envío a todo el país.

Código de Producto: IT19080

Existencia: 22

Q199.00

10 o más Q179.00

- 1 +

[Comprar](#)

[★ Favoritos](#)

[Especificaciones](#) [Formas de pago](#) [Información de envío](#)

Barra de acero AISI 1045 para tornillo de potencia

TECNIACEROS®




INVERSIONES R. M., S. A.

NIT: 784958-3

**Sujeto a pagos trimestrales ISR*

**Agente de Retención del IVA*

Horario de atención:

Lunes a viernes de 07:00 a 16:30

(sin cerrar al medio día)

Cliente: Consumidor Final

Teléfono: 96753036

Contacto: CF

Email:

Condición de pago: Contado

/ANTICIPADO

NIT: CF

Fecha: 28/4/2023

Válido hasta: 1/5/2023

Tipo de Cambio: Q1.00

Moneda: QTZ

Tiempo de Entrega:

Inmediato (*excepto anotación específica*)

Cotización 20221423

#	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UM	PRECIO UM	CANTIDAD U	TOTAL
1	SAM02010015	BARRA REDONDA ACERO MAQUINARIA 1045 5/8	PULGADA	Q1.29594	25.85	Q33.50
		1 PIEZA DE 68CM DE LARGO				
Total						Q 33.50

- Tolerancias dimensionales según norma.
- Tolerancia de corte: (-0/+20) mm según diámetro o espesor.
- Mayor información contactar a su asesor.

COMENTARIOS:

ASESOR: Gerencia de Ventas

gventas@tecniaceros.com

(502) 4015-5782 | (502) 2329-890

Compra desde donde estés con



Cheques a: **INVERSIONES R.M., S.A.**

Cotización sujeta a cambios y existencias.

Precios válidos por la cantidad cotizada.

Todos los precios incluyen IVA.

NO SE ACEPTAN DEVOLUCIONES

PARA SU COMODIDAD, AHORA ACEPTAMOS TARJETAS DE CRÉDITO Y DÉBITO

(Aplica recargo del 4% con tarjeta de crédito y 5% en CompraClick)



ACERO MAQUINARIA | ACERO HERRAMIENTA | ACERO PLATA | ACERO INOXIDABLE
 ACERO BALÍSTICO | ACERO ANTIDESGASTE | ALUMINIO | BRONCE
 PLÁSTICOS DE INGENIERÍA | HIERRO FUNDIDO | LATÓN | COBRE | BABBIT
 BARRA CROMADA | PIEZAS DE DESGASTE ABRATEC® | FLUIDOS SINTÉTICOS
 CORTE CON PLASMA CNC | CERTIFICACIÓN DE MATERIALES | FABRICACIÓN A MEDIDA

12.3. Manual de mantenimiento del motor



MANUAL DE MANTENIMIENTO TRITURADORA DE PLÁSTICO HDPE

ÍNDICE

MÓDULO DE POTENCIA	12
Guía de frecuencia de mantenimiento general de motor	12
Ajuste de tornillos y pernos	13
Herramientas y equipo.....	13
Procedimiento.....	13
Revisar y añadir aceite al motor.....	15
Herramientas y equipo.....	15
Procedimiento para revisar y añadir aceite al motor	15
Cambio de aceite y reemplazo de filtro	16
Herramientas y equipo.....	16
Procedimiento para cambio de aceite y filtro de aceite.....	17
Reemplazar filtro de aire	18
Herramientas y equipo.....	18
Procedimiento para reemplazo de filtro de aire	18
Reemplazo de filtro de combustible	19
Herramientas y equipo.....	19
Procedimiento para cambio de filtro de combustible	19
Revisión de fugas de aceite o combustible	20
Herramientas y equipo.....	20
Procedimiento para revisión de fugas de aceite o combustible	20
Revisión de boquilla de inyección	21
Herramientas y equipo.....	21
Procedimiento de revisión de boquilla de inyección	21
Revisión de bomba de inyección	22
Herramientas y equipo.....	22
Procedimiento.....	22
Ajuste de válvulas de admisión y de escape de motor.....	23
Herramientas y equipo.....	23
Procedimiento de ajuste de válvula de admisión y escape de motor	23

Reemplazo de anillo de pistón	24
Herramientas y equipo.....	24
Procedimiento para reemplazo de anillo de pistón	24

MÓDULO DE POTENCIA

Guía de frecuencia de mantenimiento general de motor

El siguiente cuadro indica cada cuánto se deben realizar los tipos de mantenimiento generales del motor, esta es una guía de apoyo y solamente involucra los mantenimientos más comunes para un motor diésel estacionario enfriado por aire. VERIFICAR SIEMPRE EL MANUAL DEL FABRICANTE DEL MOTOR.

ELEMENTO	HORAS DE OPERACIÓN					
	Todos los días	Cada 20 – 50 h	Cada 100 h	Cada 200 h	Cada 500 h	Cada 1,000 h
Revisar el ajuste de tornillos y pernos	⊙				⊙ Pernos de base	
Revisar y añadir aceite al motor	⊙					
Añadir diésel	⊙					
Cambio de aceite		⚠ 1era vez	⚠ 2da en adelante			
Limpiar y reemplazar filtro de aceite						⚠ Según requerimiento
Filtro de aire	Según condiciones de operación podría reemplazarse de forma más frecuente				⚠	
Filtro de combustible					⊙	⚠
Revisar fugas de aceite o diésel	⊙					
Revisar boquilla de inyección					⊙	
Revisar bomba de inyección					⊙	
Ajustar válvulas de admisión y escape		⊙ 1ra			⊙ 2da en adelante	
Reemplazar anillo de pistón						⚠
Limpeza de batería	Limpiar con regularidad (según uso) y revisar estado mensualmente ⊙					

*NOTA: SE UTILIZA COMO BASE EL MANTENIMIENTO DE MOTOR YANMAR L40 AIR COOLED

Ajuste de tornillos y pernos

El ajuste de pernos se debe revisar con una inspección rápida cada día. Verificar que no existan tornillos flojos en las partes unidas a las poleas, base de motor y el resto de los elementos del motor. Los pernos unidos a la base de motor deberán apretarse cada 500 hrs.

Herramientas y equipo

1. Llave matraca o de trinquete



2. Juego de copas



3. Torquímetro (Opcional)



4. Trapo de microfibra



5. Set de llaves combinadas (Opcional)



6. Desarmador y puntas de desarmador



Procedimiento

1. Verificar si los pernos se encuentran flojos, apretarlos lo suficiente con el *ratchet* o atornillador.
2. Si se observa suciedad en los pernos, utilizar herramienta adecuada para remover pernos o tornillos.
3. Luego de remover los pernos, limpiar la superficie con el trapo, suciedad que se encuentre en los pernos y tornillos.
4. Colocar de nuevo los pernos y tornillos, ajustarlos con las herramientas correspondientes, apretar solamente lo suficiente para que quede apretado.
5. Se recomienda usar un torquímetro para el ajuste de los pernos que se unen a la base del motor. En caso se desee usar un torquímetro estos son los pasos a seguir:

- a. Consultar el manual de fabricante, del motor, el torque necesario al que se deben apretar los tornillos.
- b. Configurar el torque en el torquímetro ya sea en Nm o en Lbft, dependiendo el torquímetro que se tenga.



- c. Apretar los pernos hasta que se escuche un *click*, esto significa que se ha llegado al valor deseado.

Revisar y añadir aceite al motor

Esto se deberá revisar de forma rápida cada día de operación de la máquina, para asegurar un correcto funcionamiento de la trituradora.

Herramientas y equipo

1. Aceite para motor diésel adecuado



2. Trapo de microfibra



3. Embudo



Procedimiento para revisar y añadir aceite al motor

1. Ubicar la varilla de medición de aceite
2. Retirar varilla de medición de aceite del motor y limpiar el trapo
3. Introducir la varilla de medición en el motor
4. Retirar nuevamente la varilla de medición de aceite, verificar que la marca de aceite se encuentre entre los dos agujeros. Si se encuentra cercano al agujero inferior se puede añadir más aceite para mantener el nivel más cercano al agujero que indica el nivel máximo.



5. Añadir el aceite recomendado por el manual del fabricante del motor. Ubicar el tapón de aceite y removerlo con la mano, utilizar un embudo para verter el aceite del motor.

Cambio de aceite y reemplazo de filtro

Realizar el cambio de aceite la primera vez entre 20 y 50 horas de funcionamiento y para el resto de veces, cada 100 horas en adelante. Esta es una recomendación basada en manuales de mantenimiento de motores diésel de enfriamiento por aire, sin embargo, **SIEMPRE** revisar el manual de operación del fabricante.

Herramientas y equipo

1. Aceite de motor diésel: Consultar manual de fabricante



4. Recipiente para drenado de aceite (profundidad según tanque de aceite)



2. Llave de tubo o llave combinada



5. Embudo



3. Llave de banda (Opcional)



6. Filtro de aceite nuevo



Procedimiento para cambio de aceite y filtro de aceite

1. Asegurarse que el motor está frío: el motor deberá estar completamente frío, preferiblemente realizar esta operación sin antes haber encendido la máquina o esperar por lo menos 1 hora después de que se haya apagado el motor.
2. Ubicar la válvula de drenaje de aceite, que suele estar en la parte inferior del motor. Revisar el manual del fabricante para ubicar según modelo de motor que se tiene.
3. Colocar el recipiente debajo de la válvula de drenaje de aceite.
4. Abrir la válvula de drenaje de aceite con una llave mixta y esperar a que se llene el recipiente con aceite sucio y cerrar la válvula.
5. Mover el aceite viejo del recipiente a otro envase que sea capaz de cerrarse, desechar el aceite de forma responsable al camión de basura local o si existe un centro de reciclaje de aceite, enviarlo a esta institución. **NO TIRAR EL ACEITE A UN DRENAJE O DESECHAR CON EL RESTO DE BASURA ORDINARIA.**
6. Remover el filtro de aceite usado: utilizar una mano para remover el filtro de aceite, en caso de que esté ajustado, usar una llave de banda u otra herramienta para asistir esta acción (depende de la geometría del filtro).
7. Limpiar la superficie donde se colocará el nuevo filtro, agregar el nuevo filtro mediante un embudo, aplicar un poco de aceite con la mano en la parte superficial del filtro de aceite.



8. Instalar el filtro nuevo a mano, apretarlo lo suficiente para que no existan fugas, pero no forzar el ajuste del filtro.
9. Agregar aceite nuevo al motor, tomar el aceite que indica el manual de fabricante del motor, ubicar donde se vierte el aceite y llenar el tanque de aceite mediante un embudo, verificar que la cantidad de aceite que se utiliza es la estipulada por el fabricante del motor.
10. Revisar el nivel de aceite con la varilla de medición (ver página 12)

Reemplazar filtro de aire

El reemplazo del filtro de aire del motor diésel se debe cambiar cada 500 horas de mantenimiento. Revisar el manual de fabricante para indicar el tipo de filtro necesario que se debe añadir.

Herramientas y equipo

1. Desarmador con puntas y copas



2. Filtro de aire nuevo



Procedimiento para reemplazo de filtro de aire

1. Asegurarse que el motor está frío: el motor deberá estar completamente frío, preferiblemente realizar esta operación sin antes haber encendido la máquina o esperar por lo menos 1 hora después de que se haya apagado el motor.
2. Ubicar dónde se encuentra el filtro de aire del motor, revisar manual de fabricante del motor. Este suele estar en la parte superior del motor.
3. Retirar el filtro viejo, para esto utilizar las herramientas como el desarmador de puntas y copas en caso de ser necesario, depende del tipo de motor que se compre.
4. Reemplazar el filtro de aire y atornillar los sujetadores necesarios para asegurar el filtro de aire nuevo.
5. Encender el motor y verificar que esté funcionando correctamente.

Reemplazo de filtro de combustible

El filtro de combustible deberá revisarse cada 500 horas y reemplazar cada 1,000 horas.

Herramientas y equipo

1. Llave de tubo mixtas o combinadas



2. Filtro de combustible nuevo, revisar manual de fabricante



Procedimiento para cambio de filtro de combustible

1. Asegurarse que el motor está frío: el motor deberá estar completamente frío, preferiblemente realizar esta operación sin antes haber encendido la máquina o esperar por lo menos 1 hora después de que se haya apagado el motor.
2. Ubicar el filtro de combustible, este se encuentra en la línea de suministro de combustible que se une al motor.
3. Retirar filtro de combustible, aflojar las mangueras que conecta la línea de suministro de combustible, usar una llave de tubo para realizar este proceso. Tener cuidado con salida de combustible que se encuentre en estos tubos



4. Instalar el nuevo filtro de combustible en la línea de suministro de combustible, luego apretar los elementos de unión de la línea de combustible con la llave de tubo.
5. Verificar el funcionamiento del motor, asegurarse que no existan fugas de combustible en el motor.

Revisión de fugas de aceite o combustible

La revisión de posibles fugas de aceite o combustible se debe realizar todos los días, para mantener un funcionamiento correcto del motor.

Herramientas y equipo

1. Desarmador de puntas y copas



2. Llave de tubo combinada



Procedimiento para revisión de fugas de aceite o combustible

1. Revisión visual diaria del motor: en periodos de operación de la máquina observar si existen fugas visibles de aceite o combustible en todas las áreas cercanas del motor, en la base del motor en caso de goteo o en manchas que indicarían una fuga de estos fluidos.
2. Revisar nivel de aceite (ver página 12) identificar si existe un nivel menor de aceite debido a uso de la máquina o si esto podría indicar una fuga.
3. Revisar mangueras y filtro de combustible. Apretar las mangueras de línea de suministro de combustible en caso de fugas y revisar el filtro de combustible (ver página 16). Si el filtro de aceite tiene manchas indica una posible fuga de combustible.
4. Revisar juntas del motor, lugares en donde debería de pasar el aceite alrededor del motor, revisar el manual de fabricante para ubicar estos espacios.
5. En caso de tener una fuga excesiva de aceite o combustible, reportar el problema y consultar con un taller de mantenimiento de motores diésel estacionarios.

Revisión de boquilla de inyección

La boquilla de inyección deberá revisarse cada 500 horas y reemplazarse cuando sea necesario según el estado del motor.

Herramientas y equipo

1. Llaves de tubo combinadas



2. Desarmador de puntas y copas



3. Cepillo



4. Líquido limpiador de boquillas



5. Boquilla de inyección



Procedimiento de revisión de boquilla de inyección

1. Asegurarse que el motor está frío: el motor deberá estar completamente frío, preferiblemente realizar esta operación sin antes haber encendido la máquina o esperar por lo menos 1 hora después de que se haya apagado el motor.
2. Desconectar la batería del motor, si no se desconecta hay riesgo de electrocución.
3. Ubicar la boquilla de inyección, usualmente están en la parte superior del motor, depende del modelo exacto del motor, revisar el manual del fabricante.
4. Desconectar la manguera de combustible que se conecta en la boquilla de inyección, para eso aflojar los ajustes con una llave de tubo.
5. Remover la boquilla de inyección
6. Revisar si existe desgaste en la punta de la boquilla, si esta se encuentra sucia, utilizar el cepillo y limpiador de boquillas para remover la contaminación.
7. Si la boquilla se encuentra severamente dañada, colocar una nueva.
8. Conectar el tubo de combustible y reconectar la batería
9. Encender el motor y verificar que esté funcionando correctamente.

Revisión de bomba de inyección

La bomba de inyección, al igual que las boquillas de inyección, deberá revisarse a las 500 horas de funcionamiento, Revisar el manual del fabricante para ubicar las piezas exactas que deben removerse para revisar la bomba.

Herramientas y equipo

1. Llaves de tubo combinadas



2. Desarmador de puntas y copas



Procedimiento

1. Realizar el procedimiento con el motor apagado
2. Ubicar la bomba de inyección de combustible
3. Desconectar las mangueras conectadas a las líneas de suministro de combustible
4. Desconectar cualquier tipo de cable que esté unido a la bomba de inyección
5. Limpiar bomba de inyección con el equipo recomendado según el manual de las instrucciones del fabricante.
6. Revisar de forma visual los elementos de la bomba, buscar daños o indicios de desgaste
7. Remover la bomba de inyección
8. Verificar que las partes mecánicas asociadas a la bomba se mueve con libertas, identificar si existe fricción en los componentes.
9. Verificar las líneas de suministro de combustibles (ver página 16 y 17)
10. Instalar de nuevo la bomba seguir las instrucciones del fabricante
11. Encender motor y anotar si este funciona de la forma esperada

Ajuste de válvulas de admisión y de escape de motor

Este proceso se deberá realizar cada 500 horas de funcionamiento de la máquina. Sin embargo, el primer chequeo deberá hacerse entre las 20 y 50 horas de funcionamiento para verificar que todo esté bien.

Herramientas y equipo

1. Llaves de tubo combinadas



2. Desarmador de puntas y copas



3. Válvula de admisión o escape nuevas (en caso de que deban ser reemplazadas)



Procedimiento de ajuste de válvula de admisión y escape de motor

1. Verificar que el motor está apagado, desconectado de la batería, además debe estar frío.
2. Desensamblar la tapadera de culata para poder acceder a la ubicación de las válvulas de admisión y escape. Usar en todo momento el manual del fabricante del motor, remover las piezas en el orden correcto y el equipo adecuado para este proceso.
3. Identificar la válvula de admisión y escape, esto estará indicado en el manual del fabricante del motor.
4. Girar el motor manualmente para ubicar el pistón en la parte inferior del cilindro.
5. Utilizar las herramientas indicadas en el manual del fabricante para ajustar la posición y holgura de las válvulas.
6. Revisar si las válvulas no tienen signos de desgaste, daños o golpes. Revisar que los resortes de las válvulas no estén rotos. Finalmente revisar que las guías de las válvulas de admisión y escape estén lubricadas y en buen estado.
7. En caso de que las válvulas estén severamente dañadas, reemplazarlas, utilizar el manual de motor para realizar este proceso correctamente.
8. Colocar de nuevo la tapadera de culata y ensamblar el resto de las partes al motor. Conectar la batería.
9. Encender el motor para verificar que está funcionando correctamente.
10. Nota: En caso de que no se comprenda con totalidad el manual del fabricante del motor para el reemplazo o ajuste de la válvula de admisión y escape de motor, consultar a un taller mecánico.

Reemplazo de anillo de pistón

Este deberá realizarse cada 1,000 horas de operación. Usar el manual de fabricación para este proceso.

Herramientas y equipo

1. Llave de tubo combinadas



2. Desarmador con puntas y copas



3. Cepillo



4. Anillos de pistón nuevos



5. Instalador de anillos del pistón



6. Aceite lubricante



Procedimiento para reemplazo de anillo de pistón

1. El motor deberá estar apagado, frío y con la batería desconectada.
2. Remover las piezas necesarias para ubicar el pistón del motor. Utilizar las herramientas de mano convencionales y el manual del motor para realizar este proceso correctamente.
3. Remover el pistón del motor
4. Tomar la pinza para remover e instalar los anillos de pistón del motor.
5. Retirar el anillo de pistón viejo
6. Limpiar las ranuras en donde se instalan los anillos, utilizar un trapo de microfibra o un cepillo para este paso.
7. Instalar los nuevos anillos, para esto seguir las instrucciones del manual del fabricante del motor.
8. Revisar el ajuste del anillo de pistón al motor, seguir las instrucciones del manual del fabricante
9. Lubricar los anillos con el aceite correspondiente y colocar el pistón en su lugar.
10. Ensamblar todas las piezas del motor nuevamente.
11. Encender el motor y verificar que todo esté en orden

12.4. Guía de operación módulo de transmisión de potencia

Guía rápida de operación: módulo de potencia

Antes de encender la máquina colocarse:

1



2

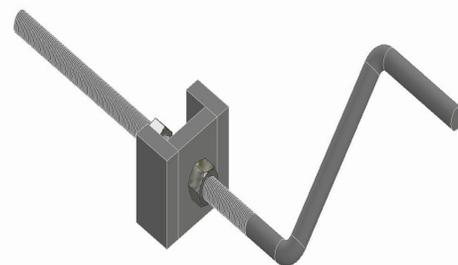


3



4

1. Llevar motor a marca → 
2. Encender motor
3. Llevar motor a marca → 



5

Tapar área de motor y proceder a introducir material triturado en tolva.



¡UTILIZAR PROTECCIÓN AUDITIVA EN TODO MOMENTO, NO TOCAR ZONA DE ESCAPE DEL MOTOR !

12.5. Tablas de levantamiento de NIOSH y Hojas de registro

Tablas de levantamiento de NIOSH

Tablas y hojas de registro

Tabla 1. Multiplicador Horizontal HM para medidas horizontales (H) en cm

Tabla 1. Multiplicador Horizontal	
H cm	HM
<=25	1
28	0.89
30	0.83
32	0.78
34	0.74
36	0.69
38	0.66
40	0.63
42	0.6
44	0.57
46	0.54
48	0.52
50	0.5
52	0.48
54	0.46
56	0.45
58	0.43
60	0.42
63	0.4
>63	0

Tabla 2. Mutiplicador vertical VM para medidas de altura vertical de mano en cm.

Tabla 2 Multiplicador Vertical	
V cm	VM
0	0.78
10	0.81
20	0.84
30	0.87
40	0.90
50	0.93

Tabla 2 Multiplicador Vertical	
V cm	VM
60	0.96
70	0.99
80	0.99
90	0.96
100	0.93
110	0.90
120	0.87
130	0.84
140	0.81
150	0.78
160	0.75
170	0.72
175	0.70
>175	0

Tabla 3. Multiplicador de distancia, según desplazamiento de carga en cm.

Tabla 3. Multiplicador de distancia	
D cm	DM
<=25	1
40	0.93
55	0.90
70	0.88
85	0.87
100	0.87
115	0.86
130	0.85
145	0.85
160	0.85
175	0.85
>175	0

Tabla 4. Multiplicador A de asimetría según ángulo de giro de carga.

Tabla 4. Multiplicador de asimetría	
Ángulo de giro (grados)	A
0	1
15	0.95
30	0.90
45	0.86
60	0.81
75	0.76
90	0.71
105	0.66
120	0.62
135	0.57
>135	0.00

Tabla 5. Multiplicador F de frecuencia, según duración de operación y posición vertical de manos.

Tabla 5. Multiplicador de frecuencia FM						
Frecuencia	Duración de la operación					
	<=1Hr		1<Hr<=2		2<Hr<=8	
	V<=75 cm	V=>75 cm	V<=75 cm	V=>75 cm	V<=75 cm	V=>75 cm
<=0.2	1	1	0.95	0.95	0.85	0.85
0.5	0.97	0.97	0.92	0.92	0.81	0.81
1	0.94	0.94	0.88	0.88	0.75	0.75
2	0.91	0.91	0.84	0.84	0.65	0.65
3	0.88	0.88	0.79	0.79	0.55	0.55
4	0.84	0.84	0.72	0.72	0.45	0.45
5	0.8	0.8	0.6	0.6	0.35	0.35
6	0.75	0.75	0.5	0.5	0.27	0.27
7	0.7	0.7	0.42	0.42	0.22	0.22
8	0.6	0.6	0.35	0.35	0.18	0.18
9	0.52	0.52	0.3	0.3	0	0.15
10	0.45	0.45	0.26	0.26	0	0.13
11	0.41	0.41	0	0.23	0	0
12	0.37	0.37	0	0.21	0	0
13	0	0.34	0	0	0	0
14	0	0.31	0	0	0	0
15	0	0.28	0	0	0	0
>15	0	0	0	0	0	0

Tabla 6. Multiplicador de agarre según tipo de agarre.

Tabla 6. Multiplicador Agarre		
Tipo de agarre	Multiplicador	
	V<75 cm	V>75cm
Bueno	1	1
Justo	0.95	1
Malo	0.9	0.9

Análisis de NIOSH: Levantamiento de carga

Departamento	Materia Pirma
Operación	Triturar plástico
Fecha	15/08/2023
Nombre Analista	Juan Luis Herrera

Descripción de la operación
Levantar saco desde el suelo y colocarlo en la plataforma previo a introducir a la trituradora.

Paso 1: Registro de las variables de la operación

Peso del objeto (kg)		Ubicación de la mano (cm)				Distancia Vertical (cm)	Ángulo de asimetría		Frecuencia	Horas de duración	Agarre de objeto
		Origen		Destino			Origen (ángulo)	Destino (ángulo)	Levantes /minuto		
L (prom)	L (max)	H	V	H	V	D	A	A	F		C
10.7	11	34	20	34	100	85	90	90	0.5	1<Hr<=2	Justo

Paso 2: Multiplicadores del RWLS

		LC	HM	VM	DM	AM	FM	CM		RWL (kg)
Origen	RWL=	23.00	0.74	0.84	0.87	0.71	0.92	0.95	=	7.72
Destino	RWL=	23.00	0.74	0.93	0.87	0.71	0.92	1.00	=	9.00

Paso 3: Criterio de índice de levantamiento de Noish

Origen Índice de levantamiento = $\frac{\text{Peso del objeto L (kg)}}{\text{RWL}}$ = 1.42

Destino Índice de levantamiento = $\frac{\text{Peso del objeto L (kg)}}{\text{RWL}}$ = 1.22

Paso 4: Criterio de Noish

	Riesgo de daño lumbar
Origen	Bajo

	Riesgo de daño lumbar
Destino	Bajo

Paso 5: Fotografía y recomendaciones



Recomendaciones e implementaciones
Las condiciones de levantamiento del saco desde la plataforma hacia la tolva de entrada del material triturado son seguras y representan un riesgo de lesión en espalda lumbar bajo.

Análisis de NIOSH: Levantamiento de carga

Departamento	Materia Pirma
Operación	Triturar plástico
Fecha	15/08/2023
Nombre Analista	Juan Luis Herrera

Descripción de la operación
Levantar saco desde plataforma e introducir el material a la tolva de entrada de la trituradora.

Paso 1: Registro de las variables de la operación

Peso del objeto (kg)		Ubicación de la mano (cm)				Distancia Vertical (cm)	Ángulo de asimetría		Frecuencia	Horas de duración	Agarre de objeto
		Origen		Destino			Origen (ángulo)	Destino (ángulo)	Levantes /minuto		
L (prom)	L (max)	H	V	H	V	D	A	A	F		C
5	5	30	70	30	175	100	0	0	0.5	1<Hr<=2	Justo

Paso 2: Multiplicadores del RWLS

	LC	HM	VM	DM	AM	FM	CM		RWL (kg)
Origen	RWL= 23.00	0.83	0.99	0.87	1.00	0.92	0.95	=	14.22
Destino	RWL= 23.00	0.83	0.70	0.87	1.00	0.92	1.00	=	10.63

Paso 3: Criterio de índice de levantamiento de Noish

Origen Índice de levantamiento = $\frac{\text{Peso del objeto L (kg)}}{\text{RWL}}$ = 0.35

Destino Índice de levantamiento = $\frac{\text{Peso del objeto L (kg)}}{\text{RWL}}$ = 0.47

Paso 4: Criterio de Noish

	Riesgo de daño lumbar
Origen	Muy bajo

	Riesgo de daño lumbar
Destino	Muy bajo

Paso 5: Fotografía y recomendaciones



Recomendaciones e implementaciones
Según las condiciones de levantamiento del saco de plástico de alta densidad es seguro y representa un riesgo bajo de lesión en espalda lumbar.

Agrequima

12.6. Planos de construcción

