

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

DISEÑO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE FILTROS DE ACEITE USADOS PARA VEHICULOS

Juan David Guzmán Rojas
Elkin Alexander Tabares Péñate

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Electromecánico

Asesor(es)
Carlos Alberto Acevedo Álvarez, IM.

Instituto Tecnológico Metropolitano - ITM
Facultad de Ingenierías
Departamento de Mecatrónica y Electromecánica
Medellín, Colombia
2021

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

RESUMEN

Más de 100 millones de filtros de aceite usados (FAU) se desechan anualmente en Colombia (Roberts & Peaslee, 2020). Estos filtros contienen aproximadamente 4,18 millones de galones de aceite. La Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés), ordena que los filtros de aceite usados que no han sido drenados en caliente por gravedad al menos por 12 h son considerados residuos peligrosos. Por lo tanto, objetivo de este proyecto es diseñar una máquina trituradora de filtros de aceite usado, por medio del uso de herramientas computacionales CAD, para la optimización de su almacenamiento en la disposición final, aumentando el reciclado en las servitecas. Donde los filtros serán triturados siendo drenados inmediatamente cumpliendo con los requisitos de la EPA. Para realizar este diseño se siguió la metodología descriptiva y se utilizó un software (Inventor) en el diseño de la máquina. Adicionalmente en los resultados obtenidos se encontró que dentro de las ganancias producidas por el reciclaje de la chatarra generada en el triturado dentro de un año sería de \$6'220.800 por lo que analizando el índice de rentabilidad y el valor actual neto de la máquina se obtiene que la inversión de la máquina trituradora se recupera en el segundo año, exactamente en el 14,2 mes de implementado este prototipo. Teniendo unas ganancias a futuro analizadas a la mitad de la vida útil de este prototipo (5 años) se presenta una viabilidad de utilidades analizado en los diferentes panoramas de varianzas del reciclaje.

Palabras clave: Servitecas, filtros de aceite usados, trituradora, Inventor, Reciclaje.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

RECONOCIMIENTOS

Agradecer a Dios y a la vida por permitirnos culminar y cumplir con esta etapa la cual representara grandes logros para a cada uno de nosotros.

Agradecemos profundamente a nuestras familias, amigos y compañeros por hacer parte de este proceso fundamental en cada una de nuestras vidas, animándonos y apoyándonos en cada fase de este objetivo trazado.

A nuestro director de proyecto Carlos Alberto Acevedo y evaluador por ayudarnos y transmitirnos todo su conocimiento para llevar a cabo este proyecto de la mejor manera.

A la institución por brindarnos un espacio de enriquecimiento en el área del saber y las distintas actividades como formación ética y profesional en nuestras vidas siendo auspiciadores de profesionales, actos y comprometidos.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

ACRÓNIMOS

COP Peso Colombiano

EPA Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos

FAU filtros de aceite usados

RESPEL Residuos Peligrosos

T_{máx} Cortante máxima.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	8
2. MARCO TEÓRICO	11
Aceites Lubricantes	12
Constitución	13
Componentes de un filtro	14
Carcasa	14
Válvula de derivación	15
Cartucho filtrante	15
Válvula anti-reflujo	16
Junta o anillo de caucho	16
Impacto ambiental debido a los filtros de aceite usados	17
Reciclaje químico	17
Reciclaje mecánico	18
Trituración	18
Normativa	19
Norma NTC 1560	19
Norma ASTM A 36/A 36M – 00a	19
OHSAS 18001	19
ANSI/AWS D1.4	20
NTC 2506 mecánica. Código sobre guardas de protección de maquinaria	20
Ley 9 de 1979	20
ESTADO DEL ARTE	20
3. METODOLOGÍA	22
ETAPA 1. Definición del producto	22
Procedimiento para el cambio de filtros usados	23
Lugar de almacenamiento	23

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Etapa 2: Diseño conceptual	24
Maquinas existentes en el mercado	24
Principios de la máquina	25
Principio de funcionamiento	25
Sistema de trituración	25
Sistema transmisión de potencia	27
Cálculo de ejes y flechas.....	30
Selección de Rodamientos	32
Diseño eléctrico.....	33
Etapa 3: Diseño de materialización	33
Etapa 4: Análisis técnico económico	34
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
Diseño de la máquina	36
Estructura principal	36
Cuchillas	37
Potencia Efectiva	39
Selección Del Motorreductor	42
Sistema de transmisión de potencia por engranes rectos.....	43
Razón de contacto.....	45
Fuerzas en los engranes	46
Diseño del Perfil del diente	48
Resistencia al desgaste.....	48
Diseño de la flecha	49
Diseño del cuñero	55
Selección de rodamientos	56
Diagrama Unifilar	58
Circuito de Potencia	58
Circuito de Mando.....	59
Funcionamiento	59
Análisis mediante elementos finitos	60

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Ensamblaje final de la máquina.....	63
Análisis del costo beneficio de la producción de la máquina.....	64
PERIODO DE RETORNO SIMPLE.....	66
VALOR ACTUAL NETO (VAN)	70
INDICE DE RENTABILIDAD	71
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	73
REFERENCIAS	75
ANEXOS.....	79
ANEXO 1.....	79
ANEXO 2.....	81
ANEXO 3.....	83
ANEXO 4.....	84
ANEXO 5.....	85
ANEXO 6.....	89
ANEXO 7.....	90
ANEXO 8.....	91
ANEXO 9.....	93
ANEXO 10.....	94
ANEXO 11.....	95
ANEXO 12.....	96

1. INTRODUCCIÓN

Tanto en Colombia como en otros países en vía de desarrollo, el excelente uso de los residuos generados es de menor medida y a mayor velocidad el crecimiento del sector industrial, generando residuos categorizados como desechos peligrosos. A diferencia de Europa y algunos países de América como Estados Unidos, donde trabajan con los diferentes residuos usados siendo conscientes de las consecuencias que conlleva el mal manejo y disposición final de los mismos. Por lo tanto, sus gobiernos dedican tiempo, presupuesto y horas de investigación para dar alternativas de solución y conservar el medio ambiente (Castillo, 2018).

Cada año los talleres de reparación y servicio automotriz arrojan cientos e inclusive miles de filtros de aceite considerados como residuos contaminantes, y debido a esto la EPA (agencia de protección ambiental) exige que este tipo de establecimientos se sometan a estrictas regulaciones sobre la eliminación correcta de desecho. En las Figuras 1 y 2 se evidencian el aumento acelerado del parque automotor en caldas, el Valle de Aburra y demás parques automotores en el territorio colombiano, ha generado el consumo de combustibles fósiles que a su vez provocan impactos negativos sobre el medio ambiente (Torres, 2019).



Figura 1. Estimado del parque automotor activo adscrito a la secretaria de movilidad del municipio de Medellín, 2007-2018

Fuente: (Torres, 2019)

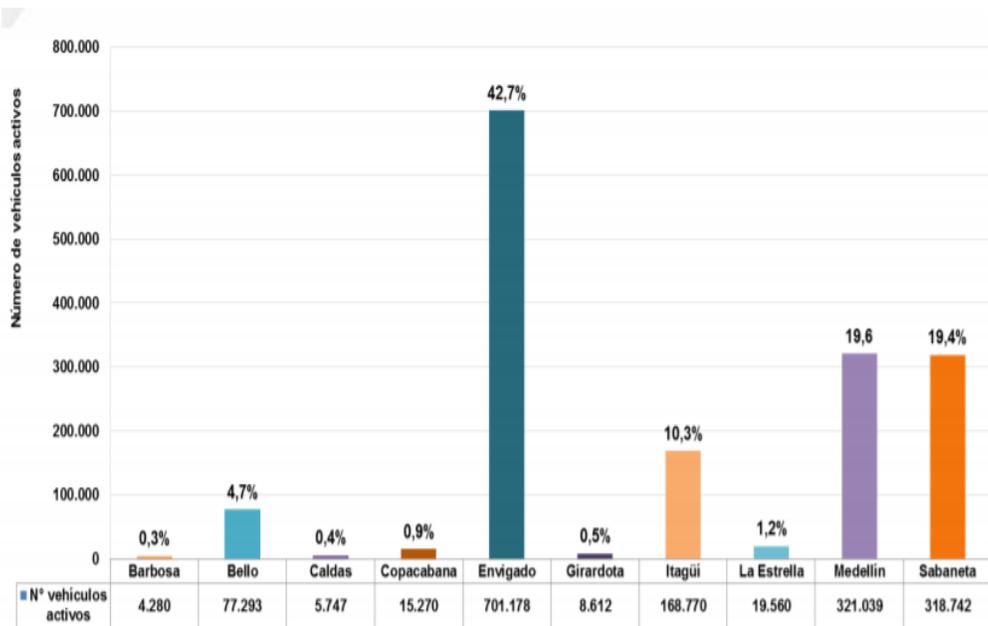


Figura 2. Parque automotor adscrito en las diferentes secretarías de movilidad en la región metropolitana del Valle de Aburrá, septiembre 2018

Fuente: (Torres, 2019)

Con el aumento del sector automotor de la Ciudad, la cantidad de aceite que demandan los automóviles como carros, camionetas, camperos y camiones se ha incrementado, sin embargo, no es un crecimiento igualitario al conocimiento de la reglamentación que regula el manejo y la disposición final tanto del aceite usado como los filtros de aceite usados, ni la capacidad de recolectar del residuo por parte de empresas autorizadas para su tratamiento, lo que da lugar a una problemática ambiental de gran amplitud.

Mediante este trabajo se diseñará una máquina trituradora de filtros de aceite usados (FR-21), facilitando el almacenamiento en servitecas y su transporte a entes respectivos para su disposición final adecuado. Además, la máquina permitirá mejorar el proceso de separación de los componentes de los filtros para su posterior tratamiento. El diseño de esta máquina se realizará por medio de la metodología descriptiva, por lo que cada etapa describirá de forma sistemática y precisa el desarrollo de cada una.

Con la trituradora FR-21 se busca ahorrar espacio al taller, serviteca, entre otros, al momento de acopiar estos filtros de aceite usados ya que se disminuye el área donde serán almacenados. Asimismo, se pretende inculcar una concientización social sobre el riesgo de contaminación que presentan los filtros de aceite usados y la importancia de darles un proceso apropiado, evitando daños ambientales.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Cabe resaltar que una vez los filtros son triturados, se pueden entregar a un centro de reciclaje de metales donde se podrá vender por el valor de la chatarra del metal. Es por esto por lo que se trata de una máquina que no solo le ahorra espacio, sino también le ayuda a generar ingresos.

Objetivo General

Diseñar una máquina trituradora de filtros de aceite usado, por medio del uso de herramientas computacionales CAD, para la optimización de su almacenamiento en la disposición final, aumentando el reciclado en las servitecas.

Objetivos Específicos

- ✓ Identificar los requerimientos necesarios para el diseño de la máquina mediante la revisión de los procesos y espacios de almacenamientos con el fin de establecer los elementos que conforman el sistema.
- ✓ Diseñar el modelo mecánico de la máquina, por medio de herramienta CAD, para establecer el sistema en general incluyendo, el medio de drenaje y los elementos que la componen.
- ✓ Trazar el sistema de potencia de la máquina mediante la esquematización de planos eléctricos según la norma IEC60617 para establecer la alimentación energética.
- ✓ Acoplar los sistemas mecánicos y eléctricos, por medio de diseño 3D del sistema general de la máquina, para establecer el diseño final de triturado de filtros de aceite.
- ✓ Analizar el costo beneficio de la producción de la máquina, por medio del estudio del valor actual neto (VAN) y el índice de rentabilidad (IR), para determinar la viabilidad de la misma.

Para cumplir con cada de uno de los objetivos mencionados anteriormente se empleó la metodología descriptiva donde en primer lugar se realizó la definición del producto y el diseño conceptual de la máquina con el fin de establecer los parámetros y elementos principales para ser diseñados en el software Inventor, realizando el ensamblaje final. Asimismo, se realizó el análisis técnico económico para determinar la viabilidad de la máquina.

2. MARCO TEÓRICO

En Colombia, en el año 2002 se crea el Fondo de Aceites Usados (FAU) por la Asociación Colombiana de Petróleo (ACP), como una alternativa voluntaria para las seis compañías fabricantes de lubricantes más importantes: Exxonmobil, Chevron, Terpel, Petrobras, Shell, y Biomax, con el fin de manifestar responsabilidad en los fabricantes de lubricantes. Este objetivo consta en promover e impulsar proyectos organizados con altos estándares ambientales para el uso debido y disposición final del aceite usado (Asociación Colombiana del Petróleo, 2017).

Metodología de diseño mecánico

Debido a que el presente proyecto es el diseño de una máquina trituradora de filtros de aceite usados para vehículos., se debe tener presente conceptos sobre el cálculo de elementos de máquinas, software tanto para el modelado 3D de piezas, como para la simulación de estas al ser sometidas a diferentes esfuerzos, selección de materiales de acuerdo a las necesidades y metodologías de diseño mecánico. A continuación, se mostrarán diferentes conceptos relacionados con la temática de investigación.

Cualquier diseño debe tener en cuenta las cuatro fases del ciclo de vida de un producto. La primera fase es sobre el desarrollo del producto, la segunda fase es su producción, fabricación e instalación, la tercera fase contiene todas las consideraciones importantes para el uso del producto y la cuarta fase, es responsable de la vida útil del producto. En la Figura 3 se muestra un diagrama donde se identifica cada una de las fases mencionadas (D. Ullman, 2010).

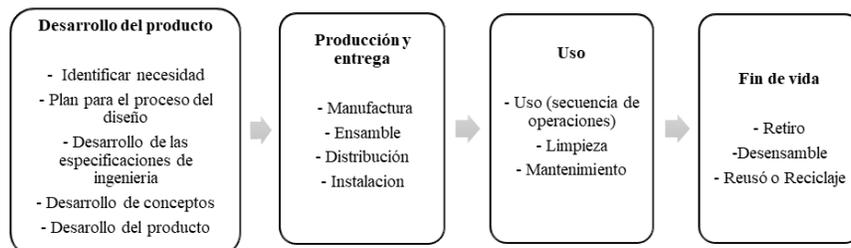


Figura 3. Ciclo de vida del producto
Fuente: (Ullman, 2010)

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

En este proyecto solo se tendrá en cuenta la primera fase la cual es el desarrollo del producto, en donde se identificó la necesidad de poder aprovechar las carcasas de los filtros de aceite, para ello se desarrolló una máquina con sus respectivos cálculos de eje, sistema de transmisión de potencia, selección de rodamientos, acople y motorreductor, todo esto con el fin de que cumpla con el objetivo principal de la máquina.

Aceites Lubricantes

Los aceites lubricantes consisten en fluidos líquidos derivados del petróleo, compuestos por diversos tipos de hidrocarburos los cuales son usados para disminuir el rozamiento de partes rodantes o deslizantes, proteger contra la corrosión y limpiar piezas, en el caso que el aceite no se filtre las partículas externas producirían desgaste en el motor. Es decir, las piezas que están en contacto se desgastarían debido a la presencia de cuerpos contaminantes produciendo una acción de esmerilado el cual acentuaría el desgaste. Estos aceites pueden ser de tipo mineral o sintéticos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).

Los filtros de aceite están diseñados para eliminar el material particulado de la corriente de aceite a medida que el aceite fluye desde el motor y a través del medio filtrante. Estos filtros de servicio liviano generalmente están diseñados con una válvula de retención, como se muestra en la Figura 4, para evitar que el aceite sin filtrar regrese al motor cuando el motor está apagado y para mantener sellada la bomba de aceite del automóvil. Esta válvula de retención también evita que una gran parte del aceite se drene del filtro durante la extracción del automóvil (Lubricity, 2020).

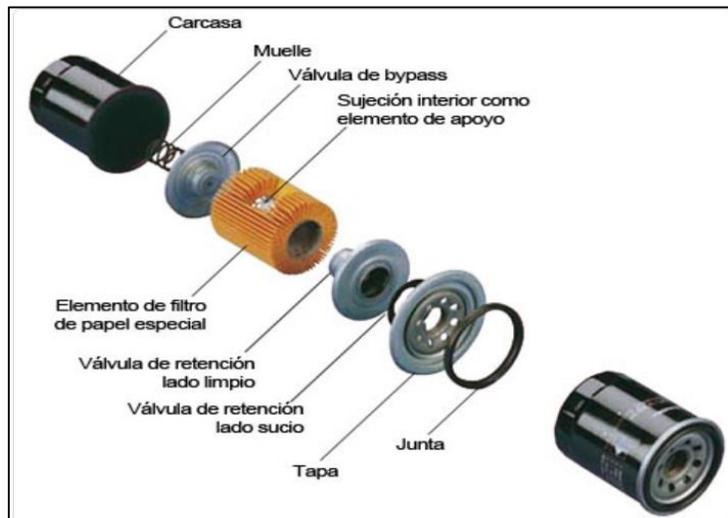


Figura 4. Constitución de un filtro de aceite

Fuente: (Jufre Oil Service, 2019)

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Como el filtro detiene elementos contaminantes, en algún momento se tapaná por completo, dado que cualquier molécula sólida que el aceite contenga en suspensión será retenida por el filtro, sin embargo, el tiempo que demorará en saturarse depende de tres factores principal (Perez, 2019):

- ✓ Tamaño de los poros de la materia filtrante: determina el tamaño de los elementos que serán retenidos, estableciendo la eficacia del filtro. Cabe aclarar que un filtro muy fino puede ser perjudicial ya que detienen los aditivos necesarios que contiene el aceite.
- ✓ Superficie utilizada de materia filtrante: este factor determina la vida útil del filtro, ya que una mayor superficie de filtrado me indica una vida útil mayor. Aunque también se ve relacionado con las condiciones de funcionamiento.
- ✓ Condiciones de funcionamiento: Las condiciones de funcionamiento a las que esté expuesto el motor también determinarían la vida útil del motor, puesto que un ambiente hostil el filtro tendrá menor durabilidad.

Constitución

Existen dos tipos de filtros de aceite:

- ✓ Los filtros con caja de fundición: también llamados filtros de cartucho intercambiable el cual se presenta en la Figura 5. Donde el cuerpo como el cartucho filtrante son totalmente independiente. Para un mantenimiento de este filtro, se puede retirar solamente el cartucho filtrante.



Figura 5. Filtro de cartucho intercambiable

Fuente: (DINTOL SAS, 2020)

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

- ✓ Filtros blindados: estos filtros son los más usados debido su fácil intercambio y manejo. Como se muestra en la Figura 6 la carcasa es una sola unidad con el cartucho filtrante a diferencia del filtro anterior, donde al llegar a su uso final se reemplazan por completo.



Figura 6. Filtro de aceite blindado
Fuente: (Auto y Técnica, 2020)

Componentes de un filtro

Carcasa

En los filtros blindados o de cuerpo único, al elemento exterior se les denomina carcasa mostrada en la Figura 7, la cual es la encargada de albergar a los demás componentes y permitir el flujo de aceite. Esta carcasa está construida con una lámina metálica de acero, cubierta con una capa de pintura anticorrosiva. Es capaz de resistir hasta 6 kg/cm² de presión generada por el fluido a través de la bomba de aceite. En su parte inferior consta de orificios para permitir el ingreso del aceite contaminado, cual proviene del cárter, donde se recolecta el aceite que ya ha terminado con su recorrido de lubricación y limpieza por medio del motor (Perez, 2019). Este elemento del filtro será el motivo del proyecto ya que, una vez usado el filtro, la carcasa será triturada por la máquina.



Figura 7. Carcasa de un filtro de aceite.
Fuente: (Perez, 2019)

Válvula de derivación

Esta válvula de derivación también llamada válvula de seguridad, se muestra en la Figura 8, la cual se encuentra en el interior del filtro, siendo de gran relevancia para el sistema de lubricación ya que su función es prevenir fallos por falta de lubricación, lo que causaría que las piezas en movimiento sufran de un desgaste indeseado debido a la constante fricción (Burbano & Vásquez, 2015).

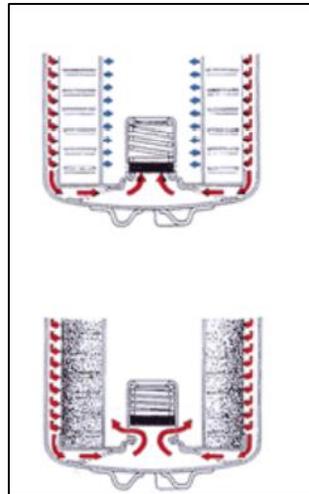


Figura 8. Válvula de derivación
Fuente: (Burbano & Vásquez, 2015)

Cartucho filtrante

El cartucho filtrante mostrado en la Figura 9, es el elemento encargado de filtrar el aceite, por lo tanto, es el componente más relevante del filtro. Una vez que el aceite se deposita en el cárter es absorbido por una bomba de aceite la cual pasa directamente al filtro, cumpliendo la función de retener partículas contaminantes que se presentan en la suspensión del aceite (Burbano & Vásquez, 2015).



Figura 9. Cartucho filtrante
Fuente: (Top Concesionarios, 2020)

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Válvula anti-reflujo

Esta válvula anti-reflujo también llamada anti-drenaje presentada en la Figura 10, se encarga de impedir que el aceite contenido en el interior del filtro retorne hacia el cárter cuando el motor se encuentre apagado.



Figura 10. Válvula anti-reflujo
Fuente: (Widman International SRL, 2019)

Junta o anillo de caucho

El anillo de caucho tiene como función, mantener la hermeticidad entre la unión que hay del filtro con el cuerpo situado en el motor, también evita que elementos contaminantes del exterior lleguen a introducirse (Burbano & Vásquez, 2015). En la Figura 11 se muestra un anillo de caucho extraído de un filtro blindado.



Figura 11. Anillo de caucho
Fuente: (Burbano & Vásquez, 2015)

Impacto ambiental debido a los filtros de aceite usados

Actualmente, no se hace un tratamiento ecológico con la disposición final de filtros usados, ya que son tratados como residuos comunes vertidos sin ningún tratamiento que ayude a disminuir la contaminación. Este problema se encuentra fuera del alcance de las empresas de manejo de desechos sólidos debido a que no son seleccionados como desechos especiales y son vertidos en el relleno sanitario por lo que su separación resulta complicada para las empresas. Sin embargo, los filtros usados que son separados se trasladan al relleno sanitario siendo encapsulados en contenedores metálicos para posteriormente ser enterrados. Pero a pesar de estas medidas no es una solución óptima debido a que en el transcurso del tiempo la capsula se deteriora dejando en contacto al filtro con el entorno.

El principal contaminante residual de los filtros de aceite usados es propiamente el aceite contenido en su interior, ya que no recibe ningún tratamiento de extracción presentando riesgo de contaminación. Otro contaminante presente en este filtro se trata de los elementos metálicos que contienen tanto en su parte externa (la carcasa) como en su parte interna (válvula de derivación). Cabe resaltar que, al momento de enterrar estos filtros tras cumplir con su ciclo de vida, entran en contacto directo con el suelo o con el agua, contaminado por dichos residuos. No obstante, existen procesos de reciclaje según el material que se necesite tratar, estos son:

Reciclaje químico

Degrada con ayuda del aumento de la temperatura y a partir de estos se pueden hacer nuevos elementos de la misma calidad que los originales. En la Figura 12 se presentan la clasificación del reciclaje químico.

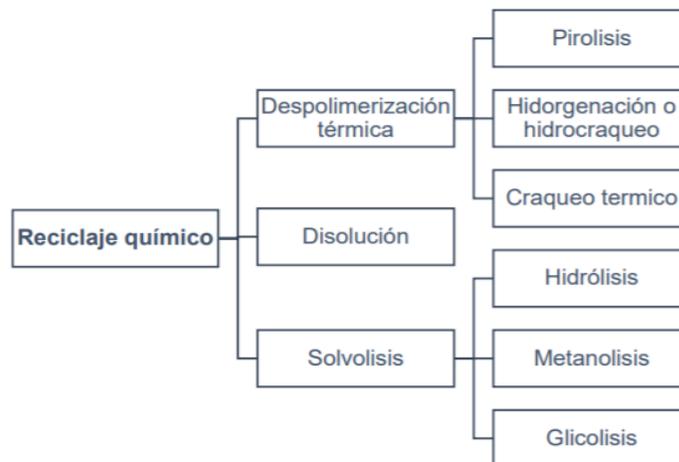


Figura 12. Procesos en los que se clasifica el reciclaje químico

Fuente: (CEDEX, 2021)

Reciclaje mecánico

Este consiste en cortar las piezas en pequeños granos para posteriormente ser tratados. En la Figura 13 se observan las etapas de este tipo de reciclaje.



Figura 13. Etapas del reciclaje mecánico

Fuente: (CEDEX, 2021)

El reciclaje mecánico es el método más usado debido a su versatilidad y bajo costo de inversión, por lo tanto, es usado por diversas empresas para recuperar los residuos y ser vendidos posteriormente. En el reciclado mecánico se encuentra la trituración.

Trituración

Este método será utilizado en el presente proyecto. La trituración reduce el tamaño de grandes piezas para ser almacenadas con mayor facilidad y que con ayuda de métodos de formación como extrusión, inyección, entre otros, se puedan crear nuevos productos (Recytrans, 2017). Una trituradora se divide en dos partes principales para su funcionamiento:

- ✓ La primera es la boca de ingreso o tolva de alimentación. ésta permite que las diferentes piezas sean introducidas en la máquina, además de evitar que el elemento se esparza hacia el exterior cuando la máquina se encuentre funcionando.
- ✓ También se encuentra el rotor el cual está conectado al motor, donde se unen las cuchillas, donde debido a su filo, potencia y velocidad de giro que le imprime el motor, logran triturar.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Normativa

A continuación, se menciona la reglamentación para el uso y disposición de los residuos y la educación ambiental que deriva de ello.

Los aceites lubricantes son considerados desechos peligrosos según el convenio de Brasilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación adoptado por la conferencia de plenipotenciarios en la ONU el 22 de marzo de 1989 la cual empezó su vigencia el 5 de mayo de 1995. A partir de este convenio, Colombia también lo ratifica mediante la Ley 253 de enero 9 de 1996. Desde ahí en el país se comenzó a considerar el aceite lubricante como un desecho que se debe controlar por sus contaminantes peligrosos y por el uso inadecuado de la disposición final, perjudicando al ecosistema.

La resolución 1407 de 2018 mediante la cual reglamentan la gestión ambiental de los residuos de empaques como el papel, cartón, plástico, metal y vidrio. Debido a que el producto que va a triturar la máquina son filtros de aceite usados estos poseen diferentes materiales como papel y metal, los cuales deben tratarse por separado, el metal triturado será aprovechado vendiéndolo por chatarra.

Ley 1549 de 2012 donde se fortalece la institucionalización de la política nacional en educación ambiental e incorporación efectiva en el desarrollo territorial.

Norma NTC 1560

Se encarga de verificar los tipos de aceros utilizados para la fabricación de estructuras (NTC, 2007).

Norma ASTM A 36/A 36M – 00a

Esta norma menciona los tipos de elementos para la sujeción de una estructura, los cuales se dividen en dos permanentes como lo es la soldadura o removibles como lo son pernos y remaches, dice además que entre mayor carga vaya a soportar el mecanismo mayor será el grado de sujeción al que estará sometido (ASTM, 2015).

OHSAS 18001

Estas son normas que se refieren a la seguridad y salud en el lugar, sitio o herramienta de trabajo y se ha concebido para ser compatible con ISO 9001 e ISO 14001. Es la encargada reducir los riesgos asociados con la salud y la seguridad en el entorno de trabajo para los empleados, clientes y el público (OHSAS, 2007).

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

ANSI/AWS D1.4

(Structural Welding Code – Reinforcing Steel). Tiene como objeto designar el tipo de soldadura adecuada (ANSI, 1999).

NTC 2506 mecánica. Código sobre guardas de protección de maquinaria

Esta norma identifica y describe métodos de protección aplicables a secciones que presentan riesgo en maquinaria, indicando los criterios que se deben tener en cuenta para el diseño, construcción y aplicación de tales medios (NTC, 2003).

Ley 9 de 1979

La presente ley tiene como objeto principal la preservación del medio ambiente para lo cual establece normas generales que servirán de base a las disposiciones y reglamentaciones necesarias para preservar restaurar u mejorar las condiciones necesarias en lo que se relaciona a la salud humana (Ley 9, 1979).

ESTADO DEL ARTE

En Estados Unidos, la Universidad del Norte de Iowa evalúan los factores que afectan la eliminación del aceite usado de los UOF mediante el drenaje en caliente y la trituración por gravedad. Los factores estudiados incluyen la temperatura y la viscosidad del aceite, la perforación del extremo del domo, la orientación del drenaje, el diseño del filtro, el tiempo y la fuerza de trituración. De estos factores, la temperatura del aceite, la perforación del extremo del domo, la orientación del filtro, y se encontró que el diseño del filtro tiene un impacto significativo en la remoción de aceite por drenaje por gravedad. La orientación es muy importante porque un filtro de aceite drenado según las recomendaciones de la EPA todavía contiene una cantidad significativa de aceite que tiene una alta probabilidad de drenar debido a los cambios normales en la orientación de un filtro durante el transporte o la colocación en un relleno sanitario. Durante la trituración, los autores encontraron que la temperatura del aceite, el diseño del filtro y la fuerza de trituración impactan significativamente en la remoción de aceite. Además concluyeron, que la trituración da una recuperación del aceite usado entre un 74 a 90% (JL & JA, 2017).

Por otra parte, en la oficina de minas de Estados Unidos realizaron un estudio examinando los filtros de aceite para determinar el efecto del diseño en la reciclabilidad de los filtros de aceite y las preocupaciones de los usuarios de chatarra ferrosa. Los autores encontraron que los factores que demostraron aumentar la reciclabilidad de los filtros usados triturados y drenados (mayor porcentaje de contenido de acero) fueron la disminución del peso total, la disminución del volumen, las relaciones de aspecto más pequeñas y los filtros más cortos,

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

con un rendimiento general del filtro de aceite chatarra a acero fundido, del 76 al 85% (Peaslee, 2018).

Además, en la Universidad Técnica de Ambato, Jaime Esteban Cepeda Lascano realizó el diseño y construcción de una máquina trituradora de capacidad 2,5 kg de polietileno de baja densidad reciclado, con el fin de mejorar e industrializar el reciclaje del plástico realizando el proceso de forma eficiente. Este estudio presenta una nueva alternativa en cuanto a materia prima para un posterior reciclaje. Es decir, para que tienda a ser más útil si es reemplazado por un nuevo material con características más factibles de conseguir la materia prima (Cepeda, 2016).

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

3. METODOLOGÍA

El acopio de filtros de aceites usados es una actividad considerada relevante que requiere especial atención y de una preparación adecuada debido a su carácter de residuo peligroso. Por tanto, es necesario establecer procedimientos básicos para el almacenamiento adecuado de estos filtros usados, reduciendo riesgos en la salud humana y en el medio ambiente, garantizando así su adecuada disposición final de estos residuos.

Por lo tanto, para obtener un procedimiento adecuado en el momento del desarrollo de este, se emplea la metodología descriptiva planteando cuatro etapas y dando cumplimiento cronológico con los objetivos específicos y el objetivo general.

Con el diseño de este prototipo se consigue reducir efectos dañinos en la contaminación ambiental favoreciendo a los dueños de las servitecas y talleres de servicio, reduciendo el espacio de almacenamiento de los filtros de aceite usados recogidos en dichos establecimientos.

ETAPA 1. Definición del producto

Esta fase tiene un inicio dudoso respecto a sus tareas iniciales en función del tipo de máquina, proyecto o motivación. Como es debido según teorías de la metodología para esta etapa se deben generar tareas como la planificación del proyecto o la decisión de qué producto diseñar, basada en estudios de necesidades o de la tecnología.

Para el presente caso y dando cumplimientos al primer objetivo planteado “Identificar los requerimientos necesarios para el diseño de la máquina, mediante la revisión de los procesos y espacios de almacenamientos, con el fin de establecer los elementos que conforman el sistema”, se realiza una investigación teórica y en campo sobre las necesidades del generador de residuos (serviteca que desecha los filtros de aceite) como cantidades de esta y espaciamentos para el almacenamiento.

En esta etapa se comenzó por analizar aspectos como, el procedimiento que se está trabajando actualmente en el cambio de filtros de aceite en los vehículos cuando llegan al final de su vida útil, el sitio donde se almacenan estos filtros en las servitecas y talleres de servicio tanto reconocidas que manejan gran número de ventas y cambio de filtros de aceite como las servitecas secundarias o menos reconocidas, ya que entre todas se recogen enormes cantidades de filtros usados.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Procedimiento para el cambio de filtros usados

El procedimiento que se usa en las servitecas y talleres de servicios es muy semejante en todos. Se ubica el vehículo en el guaje o se levanta por el gato hidráulico, el mecánico encargado retira el tapón del cárter, mediante la gravedad el aceite va cayendo a un balde y mientras el aceite cae se puede ir quitando el filtro que va enroscado en el motor (filtro blindado), de allí es transportado al sitio donde será almacenado temporalmente hasta que el personal adecuado llegue por los filtros.

Lugar de almacenamiento

En cuanto al lugar de almacenamiento se encontraron diversas diferencias como se evidencia en la Figura 14, sobre el lugar donde realizan la recolección de dichos filtros de aceite usados.



Figura 14. Recolección de filtros de aceite usados en diferentes sitios de las servitecas y talleres de servicio

Fuente: (Rojas & Valderrama, 2019; Unilibre, 2021)

Según Sánchez y Gómez.(2019) en su estudio, en el cual realizaron encuestas a establecimientos como servitecas y talleres de servicios tanto reconocidos como de menor prestigio, obteniendo como resultados que el 100% de los establecimientos almacenan aceite usado y los filtros de aceite usados, donde de estos el 97,59% lo venden y el 3,61% lo regalan. Sin embargo, como se puede observar en la figura 13 los filtros de aceite usados son desechados en canecas ubicadas en esquinas de la serviteca evitando que interfieran en labores diarias sin presentar señalización, ni tomar precauciones o alguna medida de seguridad.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Estas malas prácticas descritas, así como el incumplimiento de la norma colombiana sobre el manejo de RESPEL (IDEAM, 2016), se deben al descuido e inconciencia de los empleados encargados del establecimiento, ya que no reciben capacitaciones en cuanto a estos temas. Lo anterior empeora la situación debido a que, no conocen la relevancia y peligros a los que están vinculados el manejo y exposición de este tipo de residuos.

Por lo que el diseño de la máquina trituradora en estos establecimientos ayudaría con la reducción de espacio en el almacenamiento de los filtros de aceite usados y, al mismo tiempo cumplir con la normativa mencionada anteriormente, de manera que la disposición final de dichos filtros sea la más adecuada.

Etapa 2: Diseño conceptual

Maquinas existentes en el mercado

En la actualidad existen diferentes máquinas que fueron diseñadas para realizar la misma función o funciones parecidas a la realizada por la máquina diseñada en este proyecto, estas máquinas se mencionaran a continuación.

- ✓ Los estudiantes (Espinosa & Tatamués, 2016) diseñaron y simularon una máquina trituradora de llantas de una tonelada por hora de capacidad, para la empresa OPTRA-SEMBRES en la ciudad de Quito. Esta máquina consta de dos ejes hexagonales los cuales montan cuchillas de dos dientes, posee un sistema de alimentación por tolva y un motor eléctrico en cada eje de la máquina para poder triturar la cantidad de llantas necesarias para cumplir con la capacidad de triturado
- ✓ El estudiante (Ramos Quispe, 2020). Diseñó y construyó una máquina trituradora de caucho para la obtención de granulometría de 2 a 5 mm para la empresa Grisand Import - Export EIRL ubicada en la ciudad de Juliaca. Esta máquina está constituida por un sistema de triturado el consta de una estructura la cual soporta las cuchillas de corte, las cuchillas se fijan a esta estructura por medio de pernos a lo largo de estas, cuenta con un sistema de transmisión de potencia por medio de bandas trapezoidales y un sistema de alimentación por tolva
- ✓ En Colombia los estudiantes (Moreno & Ferrero, 2009) de la universidad piloto de Colombia diseñaron una máquina trituradora de llantas para motocicletas en la ciudad de Bogotá, esta cuenta con cuchillas de corte de 3 dientes cada una las cuales están sujetas al eje por medio de cuñas en cada una de ellas, cuenta con un sistema

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

de transmisión de potencia de eje a eje por medio de engranes rectos, accionados por un motor eléctrico de 40 hp.

Principios de la máquina

En este paso se da cumplimiento a los objetivos específicos de diseñar el modelo mecánico de la máquina y de trazar el sistema de potencia de la máquina mediante la esquematización de planos eléctricos, guiados por la normativa que se rige tanto en el diseño mecánico como el de cumplimientos de la normativa eléctrica.

Principio de funcionamiento

Al realizar un estudio de investigación sobre posibles diseños de la máquina, se comenzó por definir el principio de funcionamiento del prototipo. Para este diseño se ha optado por una estructura similar a una trituradora Mod. TR 30 (Coparm, 2021), la cual es una máquina de tamaño y capacidad limitada, apropiada para trabajar en industrias donde se tratan pequeñas cantidades de material siendo ideal para una óptima relación entre calidad y precio.

Como primera instancia serán separados manualmente los elementos internos del filtro de la carcasa para su respectivo reciclaje. Para la extracción del aceite del filtro retenido entre el filtro y la carcasa se dejará reposando las partes retiradas y separadas colocados encima de la malla de retención ilustrada en la Figura 15 donde el aceite se desprende por gravedad y cae en un depósito situado bajo la malla de retención; posteriormente la carcasa será llevada a la máquina trituradora para finalizar el procedimiento para su adecuada disposición final. Cabe resaltar que, si los filtros no se les realiza el proceso de separación, no tendrían el mismo valor al ser vendidos por las recicladoras ya que, estas establecen los precios de compra según el material ofertado.

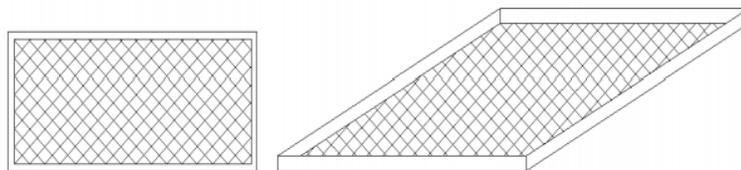


Figura 15. Malla de retención
Elaboración propia.

Sistema de trituración

Para alojar a todos los componentes como, los ejes de rotación, el motor, el tren de engranajes, se debe contar con un cuerpo robusto y resistente. Cabe aclarar que esta

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

máquina se diseña de manera que en el tiempo de demanda se trituren hasta 3 filtros al mismo tiempo.

Ya que la finalidad de la máquina será triturar, en primer lugar para el diseño de la máquina se encuentra el esfuerzo máximo cortante para un cilindro hueco por medio de la Ecuación 1 tomada del libro Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (R. G. Budynas & Keith, 2012).

Ecuación 1. Cálculo del cortante máximo

$$T_{m\acute{a}x} = \frac{v}{A}$$

Donde

$T_{m\acute{a}x}$ = cortante máxima.

V= Resistencia.

A = Área sección transversal cilindro hueco.

Posteriormente se debe encontrar el valor del torque, por lo cual se utiliza la Ecuación 2:

Ecuación 2. Cálculo del torque en función de la fuerza, la distancia y el número de cuchillas

$$\text{Torque} = F * d * \#de\ cuchillas = N.$$

Donde

F= Fuerza (N)

D= distancia del brazo máximo (m)

#de cuchillas= Número de cuchillas utilizadas en la máquina

En cuanto a la velocidad de giro de las cuchillas de la máquina, se realizó la consulta en la empresa Coparm (Coparm, 2021), la cual es una empresa italiana dedicada al diseño y construcción de plantas de tratamiento de residuos, encontrando dentro del catálogo las trituradoras TR30 para materiales ferrosos que trabajan con velocidades entre 12 a 18 RPM. Por lo tanto, se toma como base una velocidad que oscila aproximadamente entre 15 RPM, estando entre los valores con las que Coparm trabaja para la tritura TR30.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Sistema transmisión de potencia

Se implementó un motorreductor para bajar las revoluciones por minuto del motor a los rpm necesarios por la máquina para triturar las carcasas de los filtros, y un sistema de transmisión de potencia por engranes rector para poder transmitir la potencia de un eje al otro.

En cuanto a la nomenclatura asignada para los piñones y engranajes se utiliza lo siguiente:

Z1= piñón relación 1

Z4= engranaje relación 2

Z2= engranaje relación 1

Z5= piñón relación 3

Z3= piñón relación 2

Z6= engranaje relación 3

Con el fin de realizar las relaciones de velocidad se utiliza la Ecuación 3:

Ecuación 3. Cálculo de las relaciones de velocidad

$$R = \frac{\omega_i}{\omega_o}$$

Donde:

R=Relación de velocidades

ω_i =Velocidad angular a la entrada

ω_o =Velocidad angular a la salida

Cabe resaltar que para hallar la velocidad angular de cada relación se utiliza la

Ecuación 4. Cálculo de la velocidad angular

$$W1 = \frac{rev}{min} * \frac{2\pi rad}{1rev} * \frac{1min}{60seg} = \frac{rad}{seg}$$

Con el fin de calcular la potencia de salida de la máquina trituradora se emplea la

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Ecuación 5. Cálculo de potencia

$$P = T * W$$

Donde:

P=Potencia de carga

T = Torque

W = Velocidad angular

Posteriormente, para encontrar las variables que incluye el diseño del sistema de transmisión como, el diámetro de paso, número de dientes, distancia entre centros, paso circular, holgura, altura del diente y diámetro exterior, se hace uso de las siguientes ecuaciones tomados del libro Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (R. G. Budynas & Keith, 2012):

Ecuación 6. Cálculo del número de dientes

$$N_g = N_p * R$$

Donde:

N_g = Número dientes engranaje

N_p = Número de dientes piñón

R = Relación engranajes

Ecuación 7. Cálculo del diámetro de paso

$$d_p = N_p * m$$

Donde:

d_p = Diámetro de paso piñón

d_g = Diámetro de paso engranaje

N_p = Número de dientes piñón

M = módulo

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Ecuación 8. Cálculo de la distancia entre centros

$$C = \frac{Dp + dp}{2}$$

Donde:

C = Distancia entre centros

Dp = Diámetro de paso piñón

Dg = Diámetro de paso engranaje

Ecuación 9. Cálculo del Paso circular

$$P = \pi m$$

Donde:

P= Paso circular

m = módulo

Ecuación 10. Cálculo para encontrar la Holgura

$$c = (b - a)$$

Donde:

c = Holgura

a = Addendum

b = Dedendum

Ecuación 11. Cálculo Altura del diente

$$ht = 2.25 * m$$

Donde:

ht = Altura del diente

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

m = módulo

Ecuación 12. Cálculo del espesor del diente

$$t = \frac{\pi(m)}{2}$$

Donde:

t = Espesor del diente

m = módulo

Ecuación 13. Cálculo del diámetro exterior

$$do = dp + 2a$$

$$Do = Dg + 2a$$

do = Diámetro exterior piñón.

Do = Diámetro exterior engranaje.

a = addendum.

Cálculo de ejes y flechas

Una flecha es una pieza rotatoria, comúnmente, de sección transversal circular, que se utiliza para transmitir potencia o movimiento. Constituye el eje de rotación u oscilación de elementos como engranes, poleas, volantes de inercia, manivelas, ruedas dentadas o catarinas y miembros similares y, además, controla la geometría de su movimiento (R. Budynas & Nisbett, 2012).

Es normal que las flechas generen esfuerzos de flexión, torsión o axiales debido a que estas transmiten potencia, estos esfuerzos no son necesarios evaluarlos en todos los puntos de la flecha, es suficiente realizarlo en unas ciertas ubicaciones potencialmente críticas. Comúnmente, estas ubicaciones se encuentran en la superficie exterior de la flecha, también en ubicaciones axiales donde el momento flexionante es alto, donde el par de torsión está presente y donde existen concentraciones de esfuerzo.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Los esfuerzos en los ejes de flexión, torsión o axiales se generan en componentes medios como alternantes. Para poder analizarlos se procede a combinar los esfuerzos alternantes y medios de Von Mises (R. Budynas & Nisbett, 2012).

Se pueden introducir términos geométricos apropiados para I y J, si se tiene un eje sólido con sección transversal redonda, lo que resulta en:

$$\sigma_a = K_f \frac{32M_a}{\pi d^3} \quad \sigma_m = K_f \frac{32M_m}{\pi d^3}$$

$$\tau_a = K_{fs} \frac{16T_a}{\pi d^3} \quad \tau_m = K_{fs} \frac{16T_m}{\pi d^3}$$

Donde M_m y M_a son los momentos flexionantes medio y alternante, T_m y T_a son los pares de torsión medio y alternante, y K_f y K_{fs} son los factores de concentración del esfuerzo por fatiga de la flexión y la torsión, respectivamente.

Al combinar estos esfuerzos de acuerdo con la teoría de falla por energía de distorsión, los esfuerzos de Von Mises para ejes giratorios, redondos y sólidos, sin tomar en cuenta las cargas axiales, están dados por:

$$\sigma'_a = (\sigma_a^2 + 3\tau_a^2)^{1/2} = \left[\left(\frac{32K_f M_a}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left(\frac{16K_{fs} T_a}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$\sigma'_m = (\sigma_m^2 + 3\tau_m^2)^{1/2} = \left[\left(\frac{32K_f M_m}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left(\frac{16K_{fs} T_m}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{1/2}$$

En determinadas circunstancias, los factores de concentración del esfuerzo se consideran opcionales para aquellos componentes medios con materiales dúctiles, debido a la capacidad de éstos de fluir localmente en la discontinuidad.

El criterio de falla por fatiga de Goodman modificada se expresa de la siguiente manera:

$$\frac{1}{n} = \frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}}$$

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

De la sustitución de σ'_a y σ'_m en la Ec. (3) y Ec. (4) se obtiene.

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi d^3} \left\{ \frac{1}{S_e} [4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2]^{1/2} + \frac{1}{S_{ut}} [4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2]^{1/2} \right\}$$

Para diseñar el eje también es conveniente resolver la ecuación para el diámetro.

$$d = \left(\frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} [4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2]^{1/2} + \frac{1}{S_{ut}} [4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2]^{1/2} \right\} \right)$$

Selección de Rodamientos

Para la selección del rodamiento se tienen en cuenta los siguientes criterios:

- ✓ El peso del sistema.
- ✓ La fricción presentada durante el funcionamiento, fuerza lateral y fuerzas de impactos.
- ✓ La fatiga del rodamiento en funcionamiento.

En la selección del valor de designación o referencia, teniendo en cuenta las variables anteriores, se realiza la búsqueda en el catálogo de rodamientos (SKF, 2015) como se presenta en la

Tabla 1. De allí se toma el valor más adecuado para las condiciones anteriores.

Tabla 1. Rodamientos rígidos de una hilera de bolas

Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designación	
d	D	B	dinámica C	estática C ₀	P _u	Velocidad de referencia	Velocidad límite			
mm			kN		kN	r. p. m.		kg	-	
40	52	7	4,1	3,75	0,16	26 000	16 000	0,032	61808	
	62	12	13,8	10	0,425	24 000	14 000	0,12	61908	
	68	9	13,8	10,2	0,44	22 000	14 000	0,13	616008	
	68	15	17,8	11	0,49	22 000	14 000	0,19	6008	
	80	18	32,5	19	0,8	18 000	11 000	0,37	6208	
	80	18	35,8	20,8	0,88	18 000	11 000	0,34	6208 ETN9	
	90	23	42,3	24	1,02	17 000	11 000	0,63	6308	
	110	27	63,7	36,5	1,53	14 000	9 000	1,25	6408	
	45	58	7	6,63	6,1	0,26	22 000	14 000	0,04	61809
		68	12	14	10,8	0,465	20 000	13 000	0,14	61909
75		10	16,5	10,8	0,52	20 000	12 000	0,17	616009	
75		16	22,1	14,6	0,64	20 000	12 000	0,24	6009	
85		19	35,1	21,6	0,915	17 000	11 000	0,42	6209	
100		25	55,3	31,5	1,34	15 000	9 500	0,84	6309	
120		29	76,1	45	1,9	13 000	8 500	1,55	6409	
50	65	7	6,76	6,8	0,285	20 000	13 000	0,052	61810	
	72	12	14,6	11,8	0,5	19 000	12 000	0,14	61910	
	80	10	16,8	11,4	0,56	18 000	11 000	0,18	616010	
	80	16	22,9	16	0,71	18 000	11 000	0,26	6010	
	90	20	37,1	23,2	0,98	15 000	10 000	0,45	6210	
	110	27	65	38	1,6	13 000	8 500	1,1	6310	
	130	31	87,1	52	2,2	12 000	7 500	1,95	6410	
55	72	9	9,04	8,8	0,375	19 000	12 000	0,083	61811	
	80	13	16,5	14	0,6	17 000	11 000	0,19	61911	
	90	11	20,3	14	0,695	16 000	10 000	0,27	616011	
	90	18	29,6	21,2	0,9	16 000	10 000	0,39	6011	
	100	21	46,2	29	1,25	14 000	9 000	0,61	6211	
	120	29	74,1	45	1,9	12 000	8 000	1,35	6311	
	140	33	99,5	62	2,6	11 000	7 000	2,35	6411	

Fuente: (SKF, 2015)

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Diseño eléctrico

Finalmente, con el fin de incorporar el sistema eléctrico de la máquina se diseña el diagrama unifilar de potencia y de control. El diseño se realiza basado en la normativa IEC 60617 (M & S, 2003), en la cual se presentan los símbolos gráficos y la reglas numéricas o alfanuméricas que deben ser usadas para identificar los equipos, diseñar los esquemas de los equipos eléctricos.

Etapa 3: Diseño de materialización

Siguiendo el principio de solución de la etapa anterior, se determina la configuración global de diseño de la máquina que permite obtener una visión general de la materia prima, las convenciones, espacios de la máquina y los elementos que lo componen, es decir, el diseño general de la máquina, planteando una lineación de acople entre el sistema mecánico y eléctrico que lo conforman.

En este caso puntual en el diseño de la máquina, el resultado de esta etapa se da por medio de modelos gráficos en la herramienta computacional Inventor, el cual es un Software CAD 3D de diseño mecánico adscrito a Autodesk, en esta herramienta se esquematizarán el conjunto de configuración, la lista de subconjuntos, piezas y componentes favorables.

Etapa 4: Análisis técnico económico

Finalmente, para la etapa 4 se presenta el análisis del costo beneficio de la producción de la máquina, por medio del estudio del valor actual neto (VAN) y el índice de rentabilidad (IR), para determinar la viabilidad de esta. Generando las gráficas de proyección de los gastos e ingresos forjados en la línea del tiempo. Con el fin de determinar la viabilidad de inversión y el tiempo de retorno de la misma inversión, obteniendo éxito con el diseño de la máquina y por qué no, a futuro generar utilidades.

La máquina se diseña para que triture 3 filtros a la vez en un tiempo estimado de 1-2 minutos ya que depende del tamaño del filtro, el tiempo que demore la máquina en realizar el triturado. Sabiendo que la máquina estará trabajando el lunes de cada semana por 6 horas (360 minutos), mediante la regla de 3 se plantea la Ecuación 14:

¿Si en 2 minutos se trituran 3 filtros, en 360 minutos cuantos filtros se trituran?

2 minutos – 3 filtros

360 minutos – ¿ X? filtros

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Ecuación 14. Cálculo de los filtros trozados por día

$$Nfd = \frac{360 * 3}{2}$$

Donde

Nfd= Número de filtros trozados por día

Una vez determinado la cantidad de filtros que serán triturados por cada semana es importante saber cuántos kilos o toneladas de chatarra se recogen con estos filtros triturados. Según Roberts y Peaslee.(Roberts & Peaslee, 2020) en su investigación sobre el análisis de los factores que influyen en la eliminación de aceite de los filtros de aceite de automóviles usados durante operaciones de reciclaje del sistema, del sistema de triturado da como resultado una recuperación del 100% del material. Cabe aclarar que el peso de la carcasa de un filtro está entre 0.30 kg (BendPak & Ranger, 2018).

Por lo que se plantea la siguiente ecuación

$$kg_{obtenidos} = \frac{Nfd * 0,30kg}{1}$$

El valor obtenido será multiplicado por las 4 semanas del mes para obtener el valor de los kilogramos de acero triturados obtenidos en un mes. Posteriormente será multiplicado por 12 meses y así obtener los kilogramos triturados en el año.

Por lo tanto, se realizó una revisión de los centros de acopio de chatarra ubicados en Medellín con el fin de definir el precio en el que se compra la chatarra. Consultando en la empresa Intermediara de reciclaje (2021), el precio de una tonelada de chatarra equivale a \$800.000 es decir, \$800 el kilogramo de acero. Además, la empresa recoge en el lugar donde se encuentre ubicada la chatarra lo que haría ahorro en cuanto al transporte.

Mediante la Ecuación 15 se realiza los cálculos para determinar la ganancia de venta de las toneladas generadas de chatarra en un año.

Ecuación 15

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

$$\text{Ganancia} = \text{precio de tonelada} * \text{toneladas generadas en el año}$$

Posteriormente, se investigó precios de los elementos de la máquina en diferentes partes, lo cual después de un comparativo se tomó la decisión de adquirir parte de la materia prima en estas empresas debido a la economía de estas.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diseño de la máquina

Después de analizar los parámetros del proceso de los filtros de aceite usados en servitecas y tras efectuar el estudio de la teoría necesaria con las ecuaciones para cada variable, se realizaron los cálculos obteniendo resultados que determinaron las geometrías y selección de las partes relevantes de la máquina, para el diseño mecánico en el software SolidWorks.

Estructura principal

El sistema estructural se diseñó para dar soporte a la zona de corte, de alimentación y motorreductor de la máquina, buscando así satisfacer las necesidades del cliente. Para el modelado de la estructura se usó perfil en ángulo L2X2X0.25, L1X1X0.25 y L3X3X0.25 los cuales están contruidos en acero ASTM A36. En la Figura 16 se presenta la estructura principal de la máquina.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020



Figura 16. Estructura de la máquina.
Elaboración propia.

Con el fin de garantizar la seguridad del operario, para que al momento de ingresar los filtros a la trituradora no sean disparados trozos de este. Se realiza el diseño de la tolva de entrada como se muestra en la Figura 17. En el ANEXO 3 se presenta el plano realizado para la tolva de entrada de entrada.

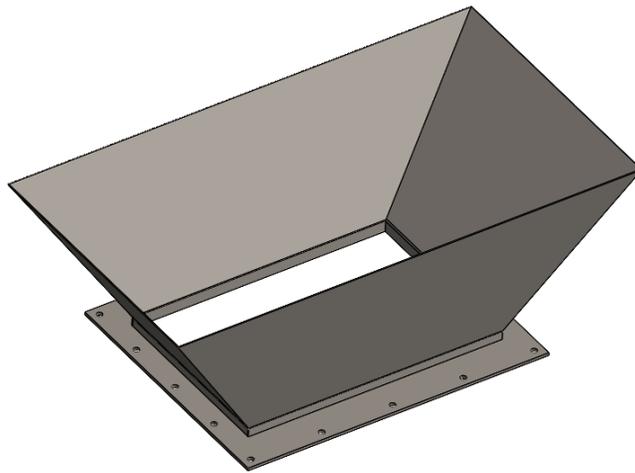


Figura 17. Tolva de entrada
Elaboración propia

Cuchillas

Las carcasas de los filtros están construidas en lámina de acero AISI 1020 laminado en frío calibre 18 (1.21 mm), la cual cuenta con las siguientes propiedades físicas y mecánicas presentadas en la Tabla 2.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Tabla 2. Propiedades físico-mecánicas de la carcasa

Acero AISI 1020, laminado en caliente	
Propiedades Físicas	Métrico
Densidad	$7.87 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
Propiedades Mecánicas	Métrico
Dureza, Brinell	121
Resistencia a la tracción	470 Mpa
Módulo de elasticidad	186 Gpa
Coefficiente de Poisson	0.29
Módulo de cizallamiento	72 Gpa

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta que las carcasas de los filtros serán sometidas a un esfuerzo de cizallamiento, a continuación, en la Tabla 3 se calculará la fuerza necesaria para que una cuchilla realice un corte en la carcasa, debido a la forma en que se corta, el calibre de la lámina se multiplicará por dos para dar más seguridad en el corte. Antes de realizar el respectivo calculo, se mostrará la caracterización de los filtros de aceite teniendo en cuenta el catálogo PARTMO.

Tabla 3. Caracterización de filtros de aceite.

Medidas de filtros de aceite	
Diámetro máximo	Altura máxima
136.5 mm	360 mm
Diámetro mínimo	Altura mínima
68 mm	58 mm

Fuente: Elaboración propia

$$F = K \times h \times S' \times S$$

Dónde: h: espesor de la lámina, K: Coeficiente de penetración 0,03 y 0,5 (mayor posible), S': Longitud de cizallamiento, S: Resistencia al cizallamiento.

$$S' = \frac{2 \times h}{\tan \theta}$$

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

$$S' = \frac{2 \times 1.21 \text{ mm}}{\tan 16^\circ}$$

$$S' = 8.44 \text{ mm}$$

$$S = 0.7 \times S_{ut}$$

$$S = 0.7 \times 470 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$S = 329 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$F = 0.5 \times 0.00242 \text{ m} \times 0.00844 \text{ m} \times 329 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$F = 3359.88 \text{ N}$$

Debido a la complejidad geométrica de la cuchilla, se buscó un material de fácil maquinado y con una dureza mayor al material de las carcasas. El material que se utilizó fue AISI 4340 TYR con una resistencia a la fluencia $S_y = 1080 \text{ Mpa}$

La máquina estará compuesta por varias cuchillas las cuales dependen de la cantidad de carcasas que se cortaran al mismo tiempo (3), del diámetro máxima de las mismas que es de 230 mm, del ancho de las cuchillas (1/2") y del separador de 15.7mm de ancho y 7/4". Teniendo en cuenta los parámetros anteriores se define un total de 18 cuchillas aproximadamente en cada eje de la trituradora de filtros de aceite para un total de 36 cuchillas.

Potencia Efectiva

A continuación, se calculó la potencia necesaria para llevar a cabo el trabajo deseado. Para ello, primero se dejó claro la disposición de las cuchillas y la cantidad de ellas.

Como se muestra en la Figura 18, las cuchillas se disponen en 3 grupos de 12, donde cada cuchilla (en un grupo) estará desfasada 15° con respecto a la anterior, para así garantizar el corte simultaneo de 6 cuchillas donde puedan triturar 3 filtros respectivamente.

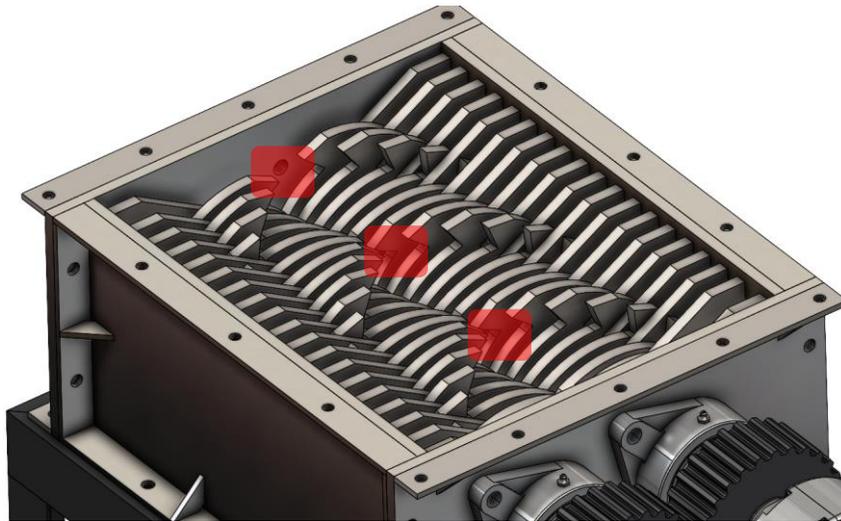


Figura 18. Zonas principales de corte de la máquina
Fuente: Elaboración propia

En el peor de los casos, luego de haber analizado las distintas posiciones de las cuchillas, se encontró que el mayor esfuerzo, y, por ende, el mayor requerimiento de potencia se desarrolla en la posición que se observa en la Figura 19, donde el diente 1 empezará a cortar el material de la carcasa. A continuación, se calculó el torque necesario para realizar el trabajo.

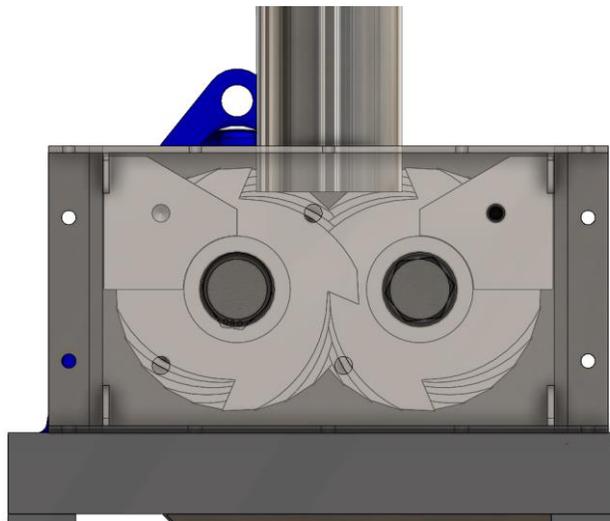


Figura 19. Posicionamiento de la carcasa del filtro de aceite en la zona de corte
Fuente: Elaboración propia

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

$$T = N \times F \times r$$

Dónde: N: número de cortes a lo largo del eje, F: fuerza requerida para realizar el corte, r: distancia desde la punta del diente al centro del eje.

$$T = 3 \times 3359.88\text{N} \times 0.115\text{m}$$

$$T = 1159.16 \text{ N.m}$$

Para el cálculo de las revoluciones por minuto del eje, se asume que la máquina triturará 1 grupo de 3 carcasas en 2 segundos. Cabe recalcar que las carcasas entraran de forma vertical a la máquina.

$$1\text{Carcasa} = 1\text{C}$$

$$1\text{C} = 0.36 \text{ m}$$

$$\frac{1\text{C}}{2.1\text{S}} = 0.476 \frac{\text{C}}{\text{S}} = \frac{0.476 (0.36\text{m})}{\text{S}}$$

$$V = 0.171 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

La velocidad calculada corresponde a la velocidad lineal en la punta del diente de la cuchilla, teniendo en cuenta lo anterior se procede a calcular las revoluciones por minuto, haciendo uso de la siguiente ecuación.

$$V = w \times r$$

Donde: w : velocidad angular de las cuchillas. r: radio de las cuchillas

$$w = \frac{V}{r}$$

$$w = \frac{0.171 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0.115 \text{ m}}$$

$$w = 1.5 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

$$w = 14.3 \text{ rpm} \cong 14.5 \text{ rpm}$$

Obtenida las revoluciones por minuto del eje, se calculó la potencia necesaria para realizar los cortes:

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

$$H = \frac{T \times n}{9.55}$$

Donde: T: torque del sistema, n: numero de revoluciones por minuto

$$H = \frac{1159.16 \text{ N.m} \times 14.5 \text{ rpm}}{9.55}$$

$$H = 1759.98 \text{ Watt} \cong 2.36 \text{ hp}$$

Se considera una potencia comercial mayor a la hallada, la cual fue de 3 hp.

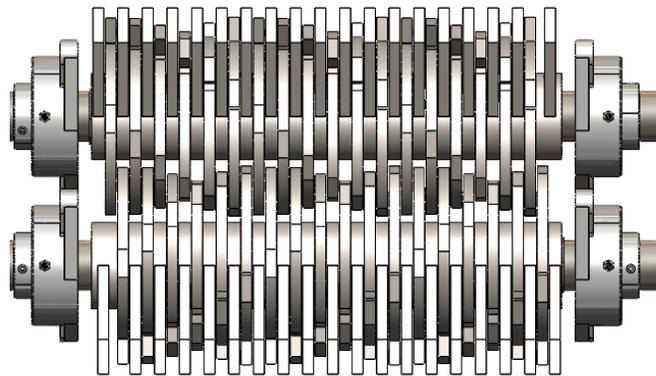


Figura 20. Zona de corte
Fuente: Elaboración propia.

Selección Del Motorreductor

Para la selección del motorreductor se presentado en la Figura 21 tuvo en cuenta las características requeridas por la máquina, con las cuales se procedió a seleccionarlo del catálogo de motorreductores Sumitomo. A continuación, se muestra las especificaciones técnicas de este en la Tabla 4 y Tabla 5.

Tabla 4. Especificaciones para selección motorreductor

MOTOR	
Potencia	3 hp
Velocidad Angular Nominal	1750 RPM
Frecuencia	60 Hz
N° Fases	3~

Voltaje	220V AC
REDUCTOR	
Relación de transmisión	121:1
Velocidad Angular	14.5 RPM
Torque por Transmitir	1159 Nm
Tipo de Montaje	Pedestal

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Especificaciones técnicas de motorreductor seleccionado

Marca	Sumitomo
Referencia	CHHM3-6160DCY
Potencia de Motor	3Hp
Frecuencia de Motor	60 Hz
Número de Polos	4
Velocidad Angular de Entrada	1750 RPM
Velocidad Angular de Salida	14,5 RPM
Torque de Salida	1310 N

Fuente: Elaboración propia.

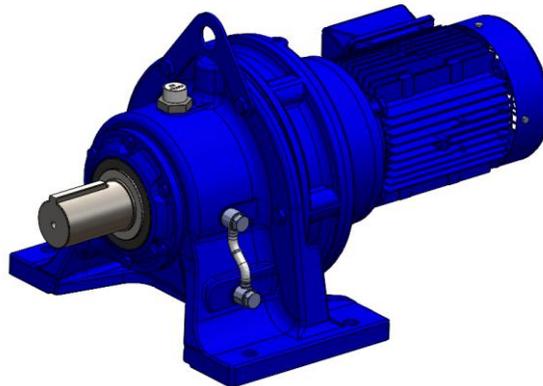


Figura 21. Motorreductor

Fuente: (Sumitomo, 2020)

Sistema de transmisión de potencia por engranes rectos

Se eligió un ángulo de presión y se asumió un paso diametral como se muestra a continuación, la relación de velocidades es de 1 ya que los dos ejes deben girar a iguales revoluciones por minuto.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

$$m_g = 1 \quad P = 4 \frac{\text{dientes}}{\text{pulg}} \quad \phi = 25^\circ$$

Para evitar interferencia entre engranes se debe tener en cuenta el número de dientes mínimo que deben tener.

$$Z_{\min} = \frac{2K}{(\text{sen } \phi)^2}$$

K = 1 : Altura completa

K = 0.8 : Altura recortada

$$Z_{\min} = \frac{2 \times 1}{(\text{sen } 25^\circ)^2}$$

$$Z_{\min} = 11.19 \text{ dientes}$$

Número de dientes del piñón

$$Z_p = 27 \text{ dientes}$$

Número de dientes de la corona

$$Z_G = m_g \times Z_p$$

$$Z_G = 27 \text{ dientes}$$

Diámetro del piñón

$$d_p = \frac{Z_p}{P}$$

$$d_p = \frac{27}{4}$$

$$d_p = 6.75 \text{ in}$$

Diámetro de la corona

$$d_G = 6.75 \text{ in}$$

Ancho de cara del engrane

Para el ancho de cara se debe cumplir la siguiente recomendación

$$3P_C \leq F \leq 5P_C$$

$$F = 4P_C$$

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

$$P_C = \frac{\pi}{P}$$

$$P_C = \frac{\pi}{4}$$

$$3 \frac{\pi}{4} \leq F \leq 5 \frac{\pi}{4}$$

$$2.36 \text{ in} \leq F \leq 3.93 \text{ in}$$

$$F = 2.5 \text{ in}$$

Razón de contacto

En la Figura 22 se presentan los círculos de la configuración de engranes

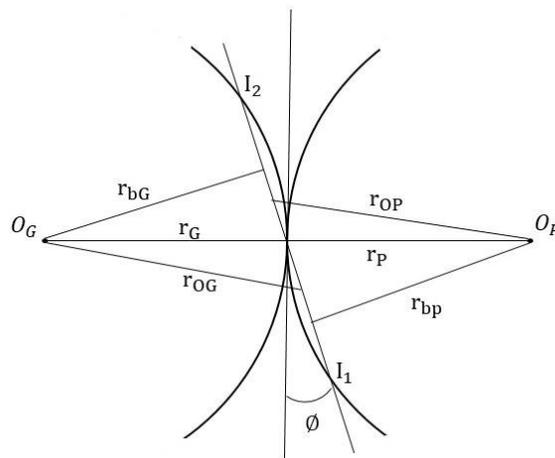


Figura 22. Círculos de la configuración de engranes

$$m_p = \frac{\overline{AB}}{P_b}$$

$$\overline{AB} = \sqrt{r_{OG}^2 - r_{bG}^2} + \sqrt{r_{OP}^2 - r_{bP}^2} - c \times \sin \phi$$

$$P_b = P_C \cos \phi = \frac{\pi}{P} \cos \phi$$

Cálculo de la distancia entre centros

$$c = \frac{d_p + d_G}{2}$$

$$c = \frac{6.75 \text{ in} + 6.75 \text{ in}}{2}$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

$$c = 6.75 \text{ in}$$

$$a = \frac{1}{p}$$

Radios exteriores

$$r_{OP} = r_p + a$$

$$r_{OP} = \frac{6.75 \text{ in}}{2} + \frac{1}{4}$$

$$r_{OP} = 3.625 \text{ in}$$

$$r_{OG} = r_G + a$$

$$r_{OG} = \frac{6.75 \text{ in}}{2} + \frac{1}{4}$$

$$r_{OG} = 3.625 \text{ in}$$

$$r_{bP} = r_p \times \cos \emptyset$$

$$r_{bP} = \frac{6.75 \text{ in}}{2} \times \cos 25^\circ$$

$$r_{bP} = 3.06 \text{ in}$$

$$r_{bG} = r_G \times \cos \emptyset$$

$$r_{bG} = \frac{6.75 \text{ in}}{2} \times \cos 25^\circ$$

$$r_{bG} = 3.06 \text{ in}$$

$$\overline{AB} = \sqrt{(3.625 \text{ in})^2 - (3.06 \text{ in})^2} + \sqrt{(3.625 \text{ in})^2 - (3.06 \text{ in})^2} - 6.75 \text{ in} \times \sin 25^\circ$$

$$\overline{AB} = 1.03 \text{ in}$$

$$P_b = \frac{\pi}{p} \cos \emptyset$$

$$P_b = \frac{\pi}{4} \cos 25^\circ$$

$$P_b = 0.71$$

$$m_p = \frac{1.03}{0.71}$$

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

$$m_p = 1.45$$

Se puede observar que la cantidad de dientes en contacto es de 1.45, la cual cumple la recomendación de mínimo 1.2 dientes en contacto.

Fuerzas en los engranes

Lo primero que se calcula es la potencia de diseño y la velocidad lineal del piñón, la potencia de diseño será la misma que se indicó, la cual es comercial y está por encima de la requerida.

$$H_D = 3 \text{ hp}$$

$$V_p = \frac{\pi \times d_p \times n_p}{K}$$

$$V_p = \frac{\pi \times 6.75 \text{ in} \times 14.5 \text{ rpm}}{12}$$

$$V_p = 25.62 \frac{\text{ft}}{\text{min}}$$

Una vez hallada la velocidad lineal del engrane, se calculó la fuerza radial (W_r) y tangencial que actúan sobre este (W_T)

$$W_T = \frac{K \times H_D}{V_p}$$

$$W_T = \frac{33000 \times 3 \text{ Hp}}{25.62 \frac{\text{ft}}{\text{min}}}$$

$$W_T^P = 3864.17 \text{ lb}$$

$$W_r = W_T \times \tan \phi$$

$$W_r = 3864.17 \text{ lb} \times \tan 25^\circ$$

$$W_r^P = 1801.89 \text{ lb}$$

Las fuerzas en la corona están dadas por las siguientes igualdades.

$$|W_T^G| = |W_T^P| \quad |W_r^G| = |W_r^P|$$

Disposición de las fuerzas en los engranes como se presenta en la Figura 23

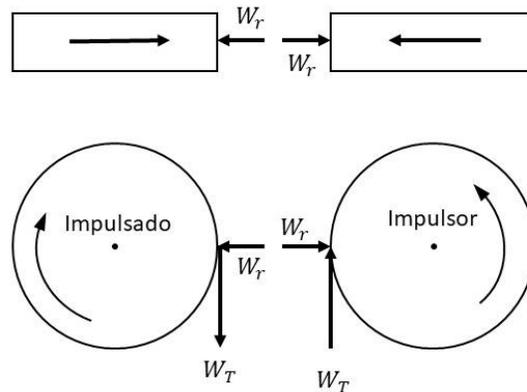


Figura 23. Diagrama de fuerzas en los engranes

Diseño del Perfil del diente

Debido a que los dientes de los engranes pueden fallar tanto por desgaste como por flexión, a continuación, se calculó la respectiva resistencia haciendo uso de la norma AGMA.

Resistencia al desgaste

$$\sigma_H = C_P \sqrt{\frac{W_T}{F \times d_p \times I} \times K_v \times K_o \times K_m}$$

Usando la tabla 15.4a del libro “Diseño de elementos de máquinas de Robert C. Juvinall” para engraves en acero $C_P = 2300$

Cálculo del factor de configuración geométrica

$$I = \frac{\sin \phi \cos \phi}{2} \times \frac{R}{R + 1}$$

$$R = \frac{d_p}{d_G}$$

$$R = \frac{6.75 \text{ in}}{6.75 \text{ in}}$$

$$R = 1$$

$$I = \frac{\sin 25^\circ \cos 25^\circ}{2} \times \frac{1}{1 + 1}$$

$$I = 0.0957$$

A continuación, se calculó el factor dinámico k_v teniendo en cuenta la velocidad del piñón que se encuentra entre $0 \leq V \leq 2000 \frac{\text{ft}}{\text{min}}$.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

$$k_v = \frac{600 + V}{600}$$

$$k_v = \frac{600 + 25.62 \frac{\text{ft}}{\text{min}}}{600}$$

$$k_v = 1.04$$

Para el factor de corrección por sobrecarga, se usó la tabla 15.1 del libro Diseño de elementos de máquinas de Robert C. Juvinall. $k_o = 1.25$

El factor de corrección por montaje se indicó teniendo en cuenta la tabla 15.2 $k_m = 1.3$

$$\sigma_H = 2300 \sqrt{\frac{3864.17 \text{ lb}}{2.5 \text{ in} \times 6.75 \text{ in} \times 0.0957}} \times 1.04 \times 1.25 \times 1.3$$

$$\sigma_H = 146258.61 \text{ psi}$$

$$\sigma_H = 146.26 \text{ Kpsi}$$

Se igualó la resistencia a la fatiga σ_H con el esfuerzo a la fatiga $S_H = S_{fe} \times C_{Li} \times C_R$ para hallar la dureza del material de los engranes para una vida (C_{Li}) de 10^4 ciclos y una confiabilidad (C_R) de 99%.

$$146.26 \text{ kpsi} = (0.4 \times \text{BHN} - 10 \text{ kpsi}) \times 1.7 \times 1$$

$$\text{BHN} = 240.09$$

Diseño de la flecha

Para el diseño del eje principal el cual recibe la potencia del motor por medio de una transmisión de engranes rectos, se seleccionó un acero AISI 1045 como material para su fabricación. con este material se usó a la tabla A-20 del libro Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, para poder extraer su resistencia a la fluencia $S_y = 77 \text{ Kpsi}$. En la Figura 24 se presenta el diagrama de fuerzas en el eje secundario.

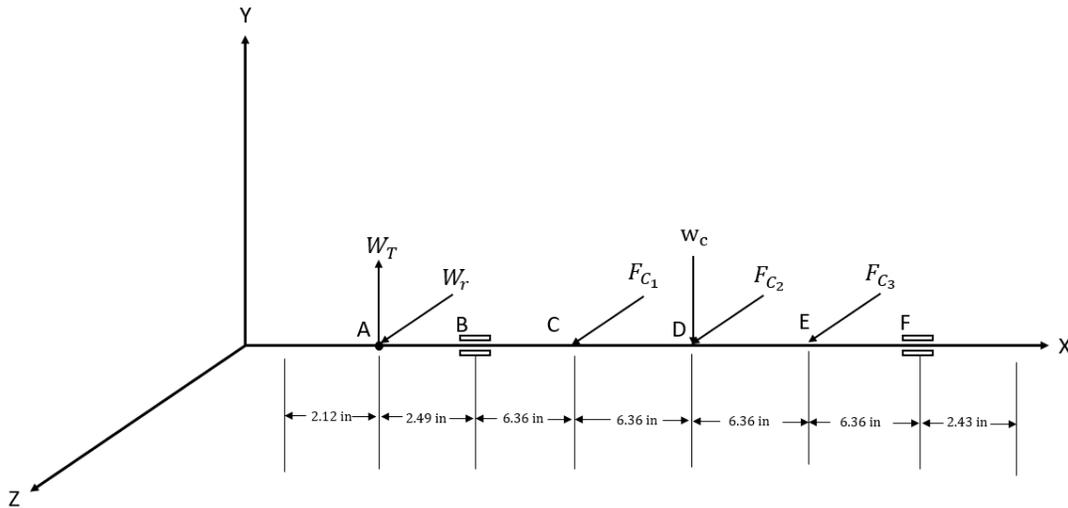


Figura 24. Diagrama de fuerzas en el eje secundario.
Fuente: Elaboración propia.

Se calculó el par torsional entregado por el sistema de transmisión de potencia

$$T = \frac{63025 \times P}{n}$$

$$T = \frac{63025 \times 3 \text{ HP}}{14.5 \text{ rpm}}$$

$$T = 13039.66 \text{ lb.in}$$

La fuerza W_C está dada por el peso de las cuchillas y los pasadores, que en total suman 137.53 lb

Ya posicionadas las fuerzas que actúan sobre el eje, se usó el software MDSolids para el cálculo de reacciones y momento máximo en los planos XY y XZ. Primero se realizó el análisis en el plano XY, como se muestra en la Figura 25.

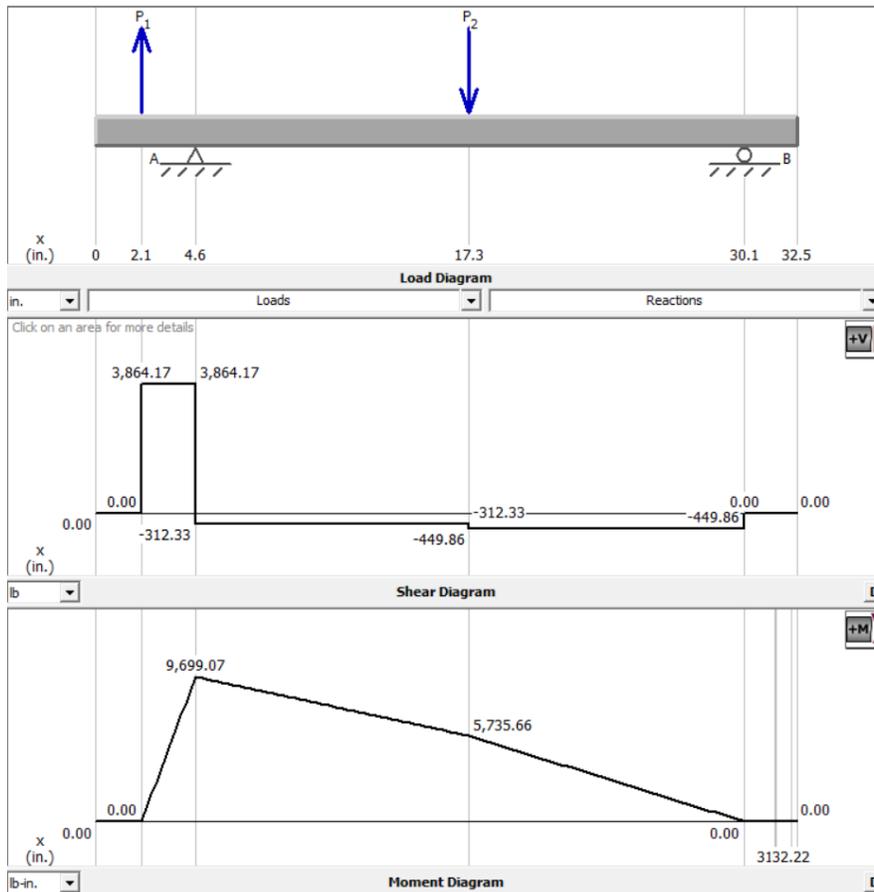


Figura 25. Diagrama fuerza cortante y momento flector en el plano XZ del eje secundario.
Fuente: Elaboración propia en MDsolids.

Del análisis anterior se extrajo las reacciones F_{B_Y} , F_{F_Y} y el momento máximo en el punto D del eje. Cabe recalcar que estas reacciones son las fuerzas que actúan en los rodamientos.

$$F_{B_Y} = 4176.50 \text{ lb} \qquad F_{F_Y} = 449.86 \text{ lb} \qquad M_{X_Y} = 9699.07 \text{ lb. in}$$

El segundo análisis se realizó el análisis en el plano XZ, como se muestra en la Figura 25.

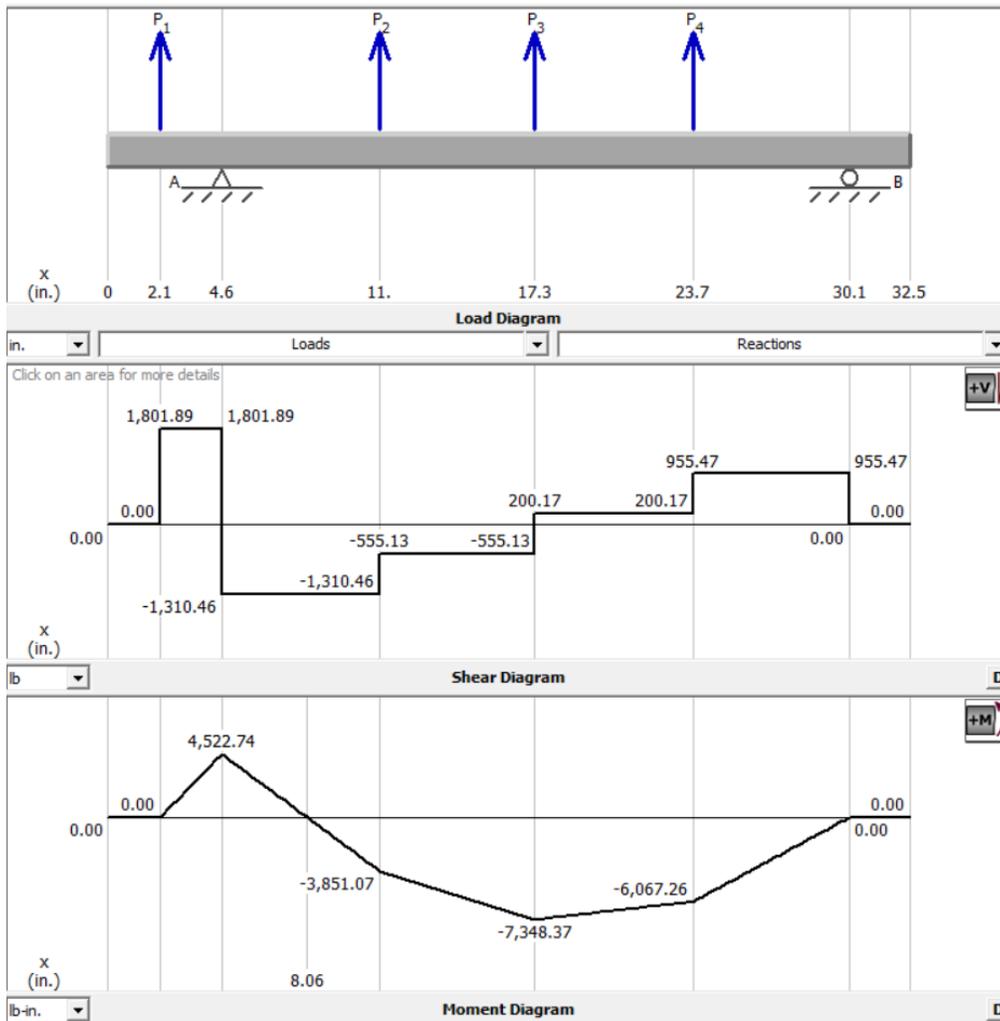


Figura 26. Diagrama fuerza cortante y momento flector en el plano XZ del eje secundario.
Fuente: Elaboración propia en MDSolids.

Del análisis anterior se extrajo las reacciones F_{Bz} , F_{Fz} y el momento máximo. Cabe recalcar que estas reacciones son las fuerzas que actúan sobre los rodamientos.

$$F_{Bz} = 3112.35 \text{ lb} \quad F_{Fz} = 955.47 \text{ lb} \quad M_{XZ} = 7348.37 \text{ lb.in}$$

A continuación, se calculó el momento máximo en el eje, teniendo en cuenta los dos análisis.

$$M_{\max} = \sqrt{M_{XZ}^2 + M_{YZ}^2}$$

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

$$M_{\max} = \sqrt{(7348.37 \text{ lb. in})^2 + (9699.07 \text{ lb. in})^2}$$

$$M_{\max} = 12168.42 \text{ lb. in}$$

Este valor que se calculó, junto con el torque del sistema son valores necesarios para calcular el diámetro del eje usando la ecuación de energía de distorsión.

$$d = \left[\frac{16n}{\pi S_y} (4M^2 + 3T^2)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$d = \left[\frac{16(1.2)}{\pi(77000 \text{ psi})} \times (4(12168.42 \text{ lb. in})^2 + 3(13039.66 \text{ lb. in})^2)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 1.38 \text{ in}$$

Este diámetro que se calculó hace referencia al diámetro necesario para soportar las cargas estáticas del eje, pero con el eje está rotando a ciertos rpm, se calculó un diámetro para estas cargas dinámicas que se generan en el eje.

Con la ecuación de ASME elíptica se procedió con la verificación a fatiga. Asimismo, se establecieron las propiedades del acero AISI 1045.

$$S_y = 77 \text{ kpsi} \quad \text{Resistencia a la tracción}$$

$$S_{ut} = 91 \text{ kpsi} \quad \text{Resistencia a la tensión}$$

Una vez se extrajo las propiedades del material, se calculó todos aquellos factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga, el primero que se calculó fue el límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria teniendo en cuenta los siguientes parámetros.

$$S'_e = \begin{cases} 0.5S_{ut} & S_{ut} \leq 200 \text{ kpsi (1400MPa)} \\ 100 \text{ kpsi} & S_{ut} > 200 \text{ kpsi} \\ 700 \text{ kpsi} & S_{ut} > 1400 \text{ kpsi} \end{cases}$$

$$S'_e = 0.5S_{ut}$$

$$S'_e = 0.5(91 \text{ kpsi})$$

$$S'_e = 45.5 \text{ kpsi}$$

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

El segundo factor que se calculó fue el factor de superficie K_a , para ello se usó la siguiente ecuación y para los valores de a y b se usó un acabado superficial (maquinado o laminado en frío).

$$K_a = aS_{ut}^b$$

$$K_a = (2.70 \text{ Kpsi})(91 \text{ Kpsi})^{-0.265}$$

$$K_a = 0.8169$$

El tercer factor calculado fue el factor de tamaño K_b , se usó la siguiente ecuación y se tuvo en cuenta su diámetro calculado a carga estática, para determinar que fórmula usar.

$$K_b = \begin{cases} 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2\text{in} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10\text{in} \\ 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51\text{mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 \leq d \leq 254\text{in} \end{cases}$$

$$K_b = 0.879d^{-0.107}$$

$$K_b = 0.879(1.38 \text{ in})^{-0.107}$$

$$K_b = 0.8492$$

Consecutivamente el siguiente factor seleccionado fue el factor de carga K_c , el cual dependió de la condición a la que se verá sometido el eje.

$$K_c = \begin{cases} 1 & \text{Flexion} \\ 0.85 & \text{Axial} \\ 0.59 & \text{Torsion} \end{cases}$$

Como el eje 1 se sometió a flexión rotatoria se determinó que.

$$K_c = 1$$

Se seleccionó el factor de temperatura K_d , teniendo en cuenta que el eje estará en condiciones de temperatura ambiente, valor sacado de la tabla 6-4 del libro.

$$K_d = 1$$

Otro factor que se seleccionó fue de confiabilidad K_e , este factor se determinó con una confiabilidad del 90% según la tabla 6-5 del libro (R. Budynas & Nisbett, 2012).

$$K_e = 0.897$$

Y, por último, se seleccionó un factor de efectos varios K_f ,

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

$$K_f = 1$$

Ya teniendo todos los factores, se procedió a calcular la resistencia a la fatiga S_e , usando la siguiente ecuación

$$S_e = K_a K_b K_c K_d K_e K_f S'_e$$

$$S_e = (0.8169)(0.8492)(1)(1)(0.897)(1)(45.5 \text{ Kpsi})$$

$$S_e = 28.31 \text{ Kpsi}$$

El S_e calculado hace referencia al límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la geometría y condición de uso.

Debido a que el eje cuenta con un concentrador de esfuerzo por cuñero, estos se calcularan a continuación.

Teniendo en cuenta el libro PETERSON'S STRESS CONCENTRATION FACTORS DE WALTER D. PILKEY, SECOND EDITION de la página 341 y 342 se extrajo los valores de K_t y K_{ts} teniendo en cuenta una razón promedio aprox. $r/d=0.021$ para $d \leq 6.5$ in como lo sugiere los estándares ANSI.

$$K_t = 2.125$$

$$K_{ts} = 3$$

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

$$K_{fs} = 1 + q_{\text{cortante}}(K_{ts} - 1)$$

$$q = 0.76$$

$$q_{\text{cortante}} = 0.83$$

$$K_f = 1 + 0.76(2.125 - 1)$$

$$K_f = 1.86$$

$$K_{fs} = 1 + 0.83(3 - 1)$$

$$K_{fs} = 2.66$$

Remplazando en la ecuación ED-ASME elíptica

$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left[4 \left(\frac{K_f \times M}{S_e} \right)^2 + 3 \left(\frac{K_{fs} \times T}{S_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

$$d = \left\{ \frac{16(1.2)}{\pi} \left[4 \left(\frac{1.86 \times 13390.22 \text{ lb.in}}{28310 \text{ psi}} \right)^2 + 3 \left(\frac{2.66 \times 13039.66 \text{ lb.in}}{77000 \text{ psi}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 2.27 \text{ in}$$

Se usará un diámetro comercial $d = 2.25 \text{ in}$

Diseño del cuñero

En la Figura 27 se muestra el concentrador de esfuerzos por cuñeros.

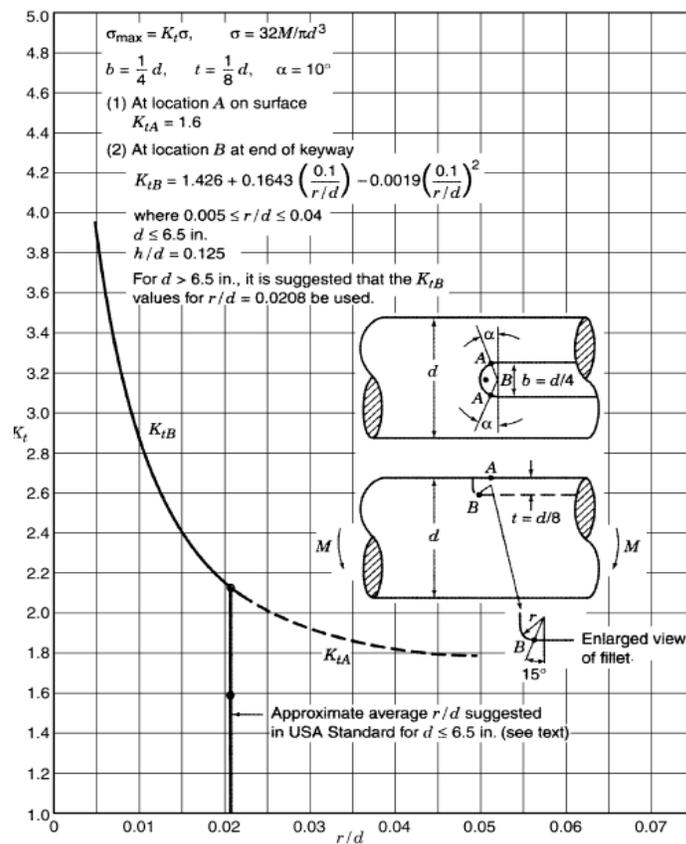


Figura 27. Concentrador de esfuerzos por cuñeros.

Fuente: (Pilkey & Pilkey, 2008)

Teniendo en cuenta las fórmulas de la imagen anterior se procedió a calcular las dimensiones del cuñero.

$$b = \frac{1}{4} \times 2.25 \text{ in}$$

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

$$b = \frac{9}{16} \text{ in}$$

$$t = \frac{1}{8} \times 2.25 \text{ in}$$

$$t = \frac{9}{32} \text{ in}$$

La medida de la cuña para el eje de 2.25 in son de 9/16 x 9/16 de pulgada

Selección de rodamientos

Una vez calculado el diámetro del eje, las reacciones en los rodamientos y definido el tipo de carga que soportan estos (Radial) se realizaron los cálculos respectivos para poder seleccionarlos y hallar su vida útil.

A continuación, se calculó la carga estática equivalente del rodamiento.

$$P = F_r = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$

$$F_r = \sqrt{(18578 \text{ N})^2 + (13844.42 \text{ N})^2}$$

$$F_r = P = 23.17 \text{ KN}$$

Haciendo uso de la fuerza radial y el diámetro del eje se procedió a seleccionar los rodamientos mostrado en la Figura 28 teniendo en cuenta el catálogo SKF, el soporte de pestaña ovalada con rodamiento de bolas seleccionado fue el F2B 204-TF con las siguientes características.

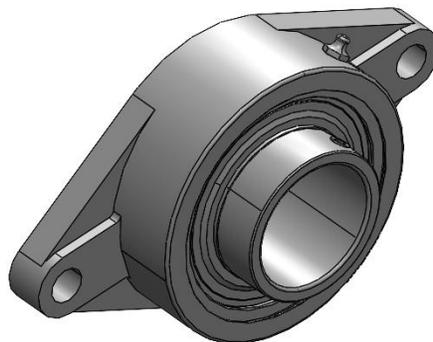


Figura 28. Soporte de pestaña ovalada con rodamiento de bolas
Fuente: (SKF, 2015)

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

$C = 52.7 \text{ kN}$ capacidad de carga dinámica

$C_0 = 36 \text{ kN}$ capacidad de carga estática

Se reemplazó la fuerza radial en la siguiente ecuación para así poder calcular la vida del rodamiento en millones de revoluciones.

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^3$$

$$L_{10} = \left(\frac{52.7 \text{ kN}}{23.17 \text{ kN}}\right)^3$$

$$L_{10} = 11.77 \text{ millones de revoluciones}$$

Para el cálculo en horas de funcionamiento se usó la siguiente ecuación.

$$L_{10h} = \left(\frac{10^6}{60n}\right) \times L_{10}$$

$$L_{10h} = \left(\frac{10^6}{60 \times 14.5 \text{ rpm}}\right) \times 11.77$$

$$L_{10h} = 13528.74 \text{ horas de funcionamiento}$$

Diagrama Unifilar

El circuito de control y potencia para el sistema de arranque y parada directo del motor trifásico de la trituradora se presenta en la Figura 29:

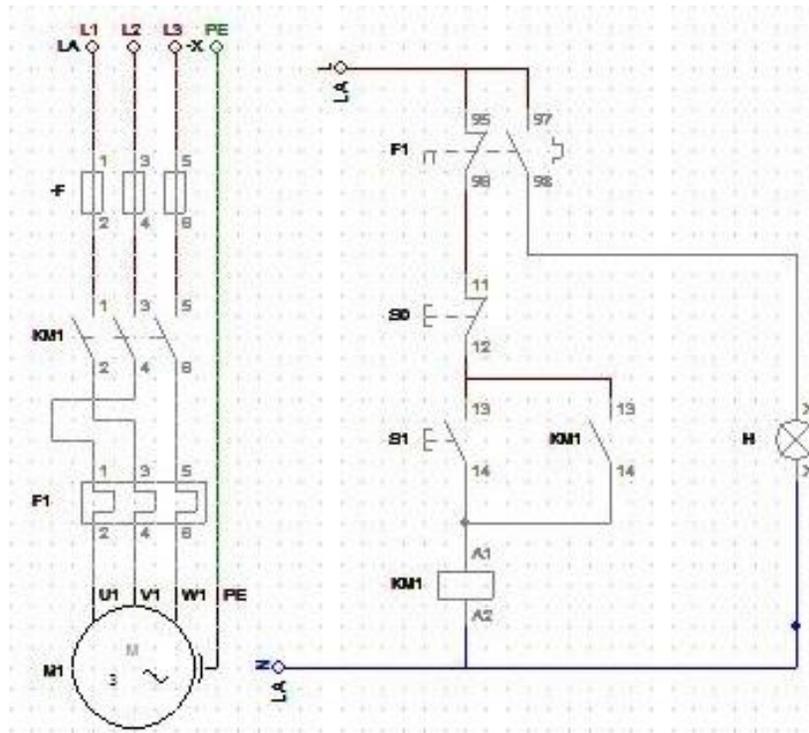


Figura 29. El circuito de control y potencia para el sistema de arranque y parada directo del motor trifásico de la trituradora
Fuente: elaboración propia.

Circuito de Potencia

El circuito de potencia comienza con el cableado desde las 3 líneas de alimentación (L1, L2 Y L3) (pasando cada una por su respectivo fusible de protección) hasta los contactos (1, 3, 5) de potencia del contactor principal KM1, las salidas (2, 4, 6) son conectadas a los contactos (1, 3, 5) del relé térmico F1 que protegerá el motor de sobretensiones y las salidas (2, 4, 6) son conectadas directamente a los bornes del motor.

Circuito de Mando

El circuito de control operará con un voltaje de 120V, por lo tanto, la conexión empieza desde una línea de alimentación hasta el contacto 95-98 (NC) del relé térmico con el fin de desenergizar el sistema en caso de una falla por sobretensión en el motor trifásico, el borne de salida 98 del contacto del relé térmico se conecta al pulsador de parada S0 (NC), seguido, se conectará el pulsador de Arranque S1 (NO) que tendrá conectado en paralelo el contacto

auxiliar 13-14 (NO) del contactor KM1 para poder realizar el enclavamiento eléctrico. Las salidas 14 del Contacto KM1 y el pulsador S1 se conectan Al borne A1 de la bobina del contactor principal KM1 y el borne de la salida A2 a Neutro.

El circuito posee una lámpara led indicador (H) que está conectada en serie con el contacto auxiliar del relé térmico 97-98 (NO) que se cierra en caso de falla por sobrecarga.

Funcionamiento

Para dar marcha al motor se presiona el pulsador de encendido S1, que excita la bobina del contactor principal KM1 por lo que los contactos de potencia y auxiliares asociados cambiarán de posición realizando el enclavamiento eléctrico y energizando el motor haciendo que este arranque al instante.

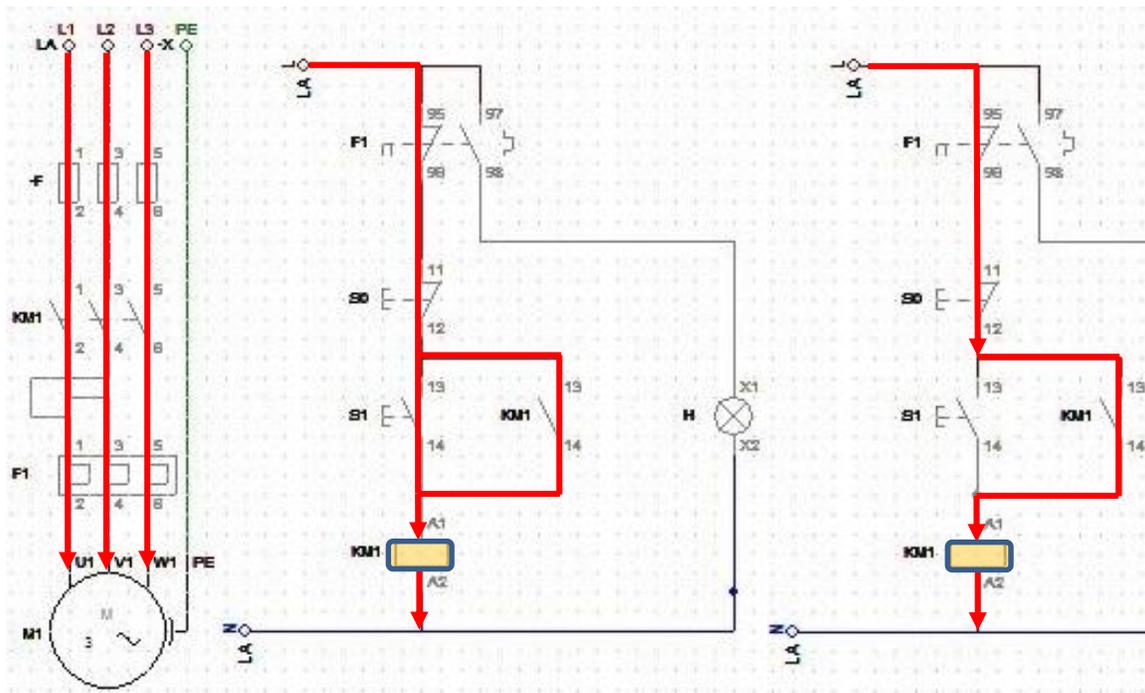


Figura 30. Funcionamiento del circuito de mando.

Fuente: elaboración propia.

Para parar el motor se pulsa S0 (Pulsador de parada NC), des energizando la bobina de KM1, quedando sin tensión y abriendo los contactos principales y auxiliares de este, lo que hace que el motor se detenga.

Cuando el motor en funcionamiento sufre una sobrecarga, el relé térmico actúa abriendo cambiando de posición los contactos F1 en el circuito de control, donde el contacto 95-98

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

NC se abre y desenergiza la bobina del contactor principal KM1 deteniendo el motor y el contacto 97-98 NO se cierra y da tensión a la lámpara led indicativa advirtiéndolo del fallo.

Análisis mediante elementos finitos

Usando herramientas digitales como la ingeniería asistida por computadora (CAE), se realizó un estudio por medio de análisis de elementos finitos, esta herramienta nos permite posicionar cargas en los elementos estructurales permitiéndonos observar su comportamiento. Para los diferentes análisis se usó el software SolidWorks. En la Figura 31 se muestra la estructura con sus respectivas fuerzas y soportes.

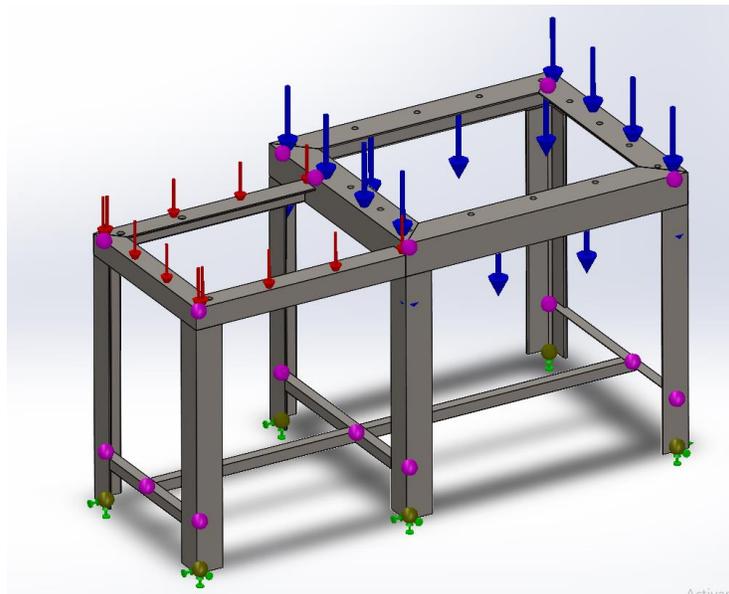


Figura 31. Vista previo de cargas, juntas y sujeciones de la estructura
Fuente: elaboración propia.

Una vez posicionadas las fuerzas y sujeciones, se realizaron diferentes análisis. a continuación, en la Figura 32 se muestra el análisis de deformación.

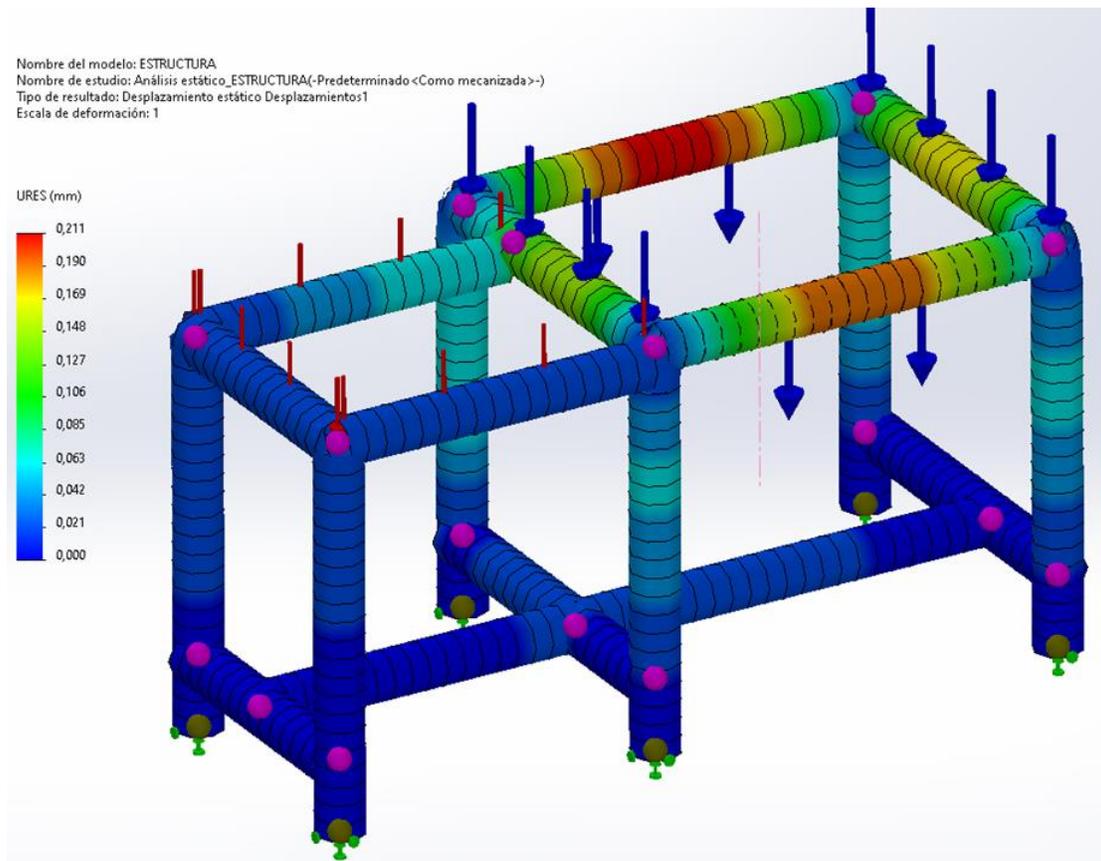


Figura 32. Desplazamiento Estático de la Estructura
Fuente: elaboración propia.

En el anterior análisis estático se colocaron fuerzas de 588.6 N y 3531.6 N en los respectivos elementos estructurales donde se encuentra el motorreductor y sistema de corte respectivamente. Como lo indican las flechas en la Figura 32 se puede ver la distribución de color que varía dependiendo del desplazamiento que sufriría la estructura debido a la carga, donde el punto más significativo es del de color rojo con un desplazamiento de 0.211 mm.

En el segundo análisis se entrega los resultados enfocados en la tensión axial y de flexión como se presenta en la Figura 33, donde se puede ver la variación de colores dependiendo del esfuerzo ($\frac{N}{m^2} = Pa$) donde en el punto más crítico es la región inferior de los perfiles estructurales que soportan el sistema de corte, los cuales se les aplicó la carga de 3531.6 N entregando un esfuerzo máximo 34.61 Mpa, frente a un límite elástico de 250 Mpa. Lo que nos indica que la estructura no sufrirá una deformación elástica debido a los esfuerzos axiales, o a los esfuerzos de flexión que sean capaces de llevarla al fallo estructural.

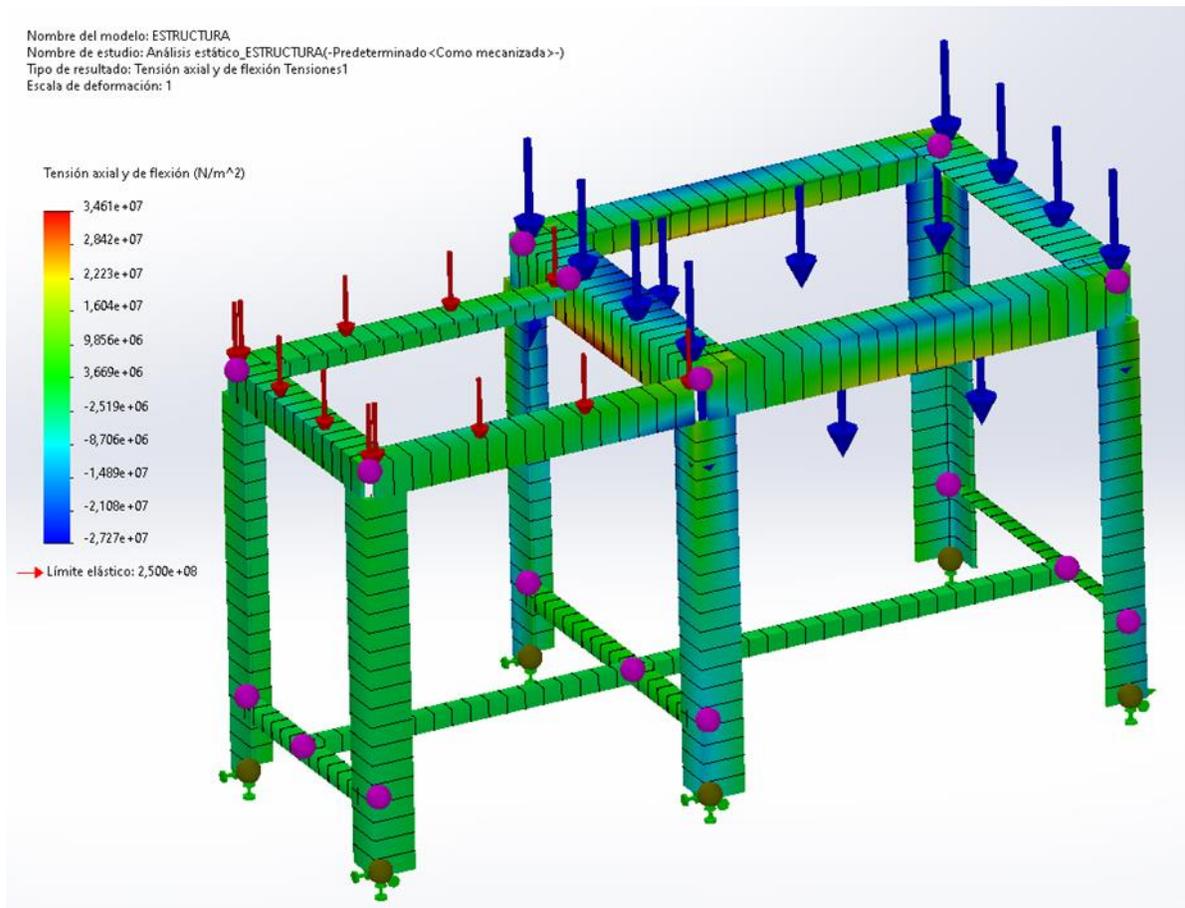


Figura 33. Resultados de Tensión Axial y Flexión en la Estructura
 Fuente: elaboración propia.

En la Figura 34 se puede observar la relación de la ubicación de las cargas con respecto al factor de seguridad que posee la estructura frente a los esfuerzos sometidos, por lo tanto, la zona de color rojo, nos indica que la estructura soportará 3.706 veces la carga aplicada antes de llegar a fallar.

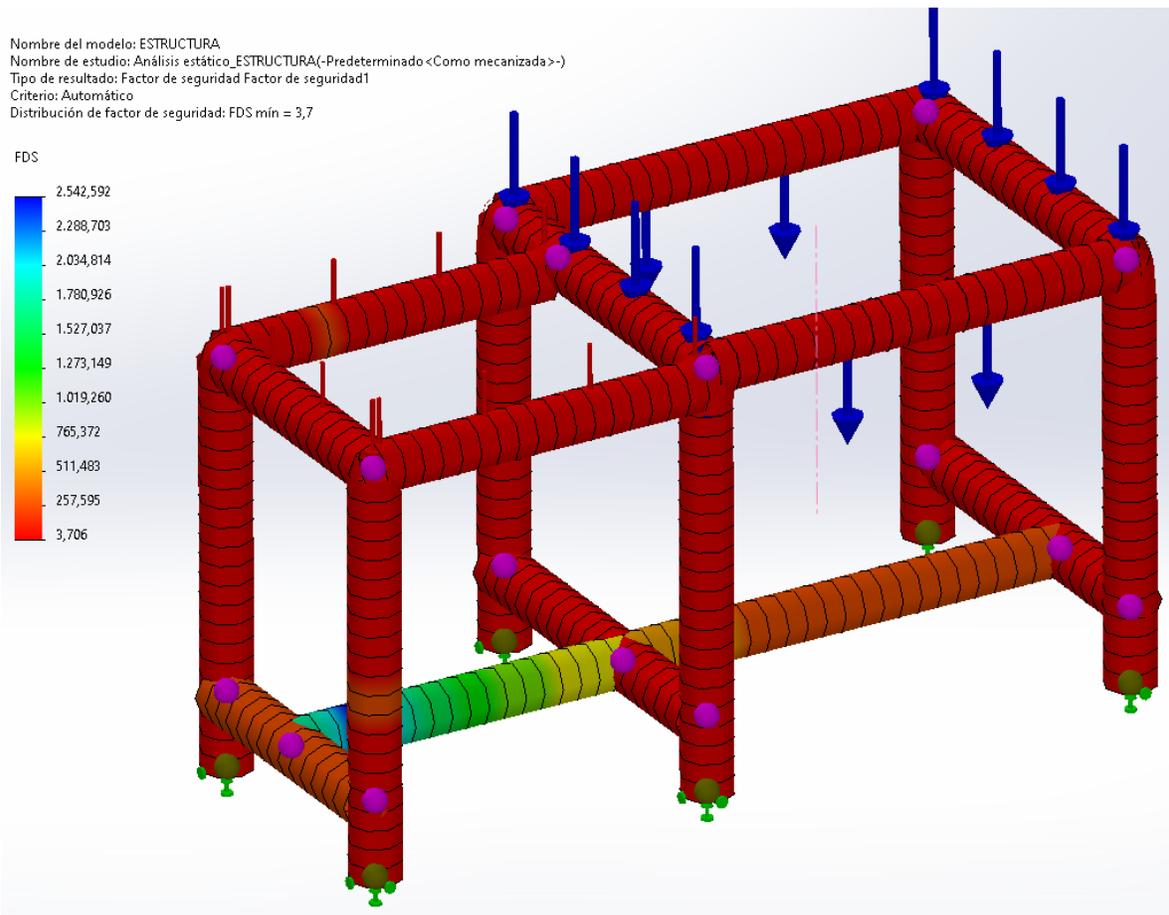


Figura 34. relación de la ubicación de las cargas con respecto al factor de seguridad que posee la estructura frente a los esfuerzos sometidos
 Fuente: elaboración propia.

Ensamblaje final de la máquina

Una vez diseñados los elementos que componen la máquina trituradora y graficado el diagrama unifilar de potencia y de control de esta. En la Figura 35 se muestra el ensamblaje final mediante el software Inventor. En el ANEXO se presenta el diseño total de la máquina en el pre-ensamblaje de esta.

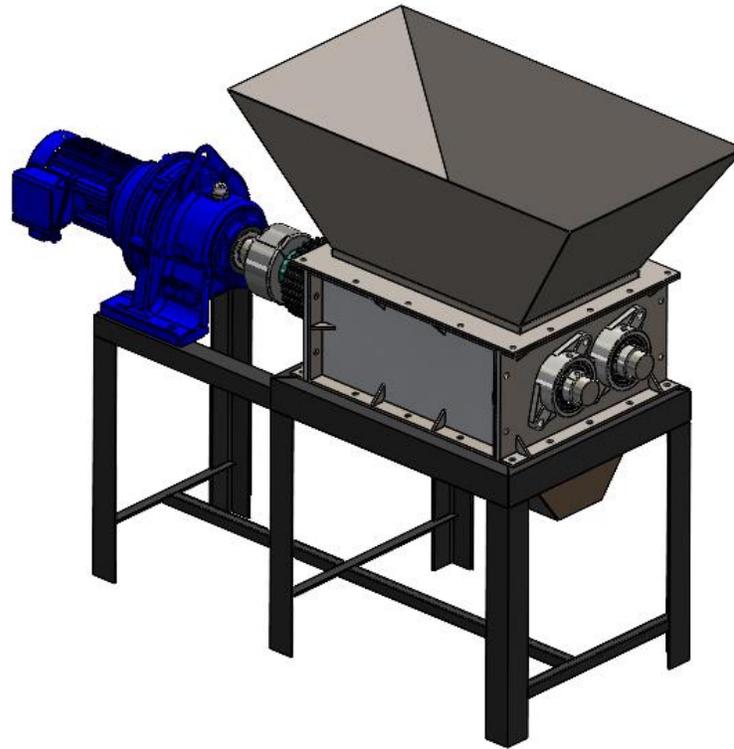


Figura 35. Diseño final de la máquina trituradora
Fuente: Elaboración propia.

Análisis del costo beneficio de la producción de la máquina

En la

Tabla 6 se presentan los precios que serían invertidos en la máquina después de una consulta en diversas empresas para establecer el precio final de la máquina.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Tabla 6. Cotización de la máquina trituradora.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	DIMENSIÓN (mm)	LONGITUD (mm)	PRECIO
Lámina ASTM A36 Espesor 1/4" (6mm)	4	526x38	N/A	\$ 40.000,00
	4	547x38	N/A	\$ 44.000,00
	4	257x38	N/A	\$ 20.000,00
	1	649x526	N/A	\$ 130.000,00
Lámina ASTM A36 Espesor 1/2" (12mm)	2	526x270	N/A	\$ 216.000,00
	2	547x270	N/A	\$ 224.000,00
	38	125x125	N/A	\$ 950.000,00
Lámina AISI SAE A304 Acabado 2B Espesor 1,9mm	1	1220x2440	N/A	\$ 760.000,00
Barra Lisa Redonda 4340 Diametro 9in	1	N/A	500	\$ 2.808.162,00
Barra Lisa Redonda 1020 Diametro 4in	1	N/A	600	\$ 344.606,15
Barra Lisa Redonda 1045 Diametro 2-1/4in	2	N/A	910	\$ 320.324,20
Rodamientos NTN UCFL212-204D1	4	N/A	N/A	\$ 1.232.000,00
Ángulo 3x3x0,25in	1	N/A	6000	\$ 215.489,96
Ángulo 2,5x2,5x0,25in	1	N/A	6000	\$ 180.313,56
Ángulo 2x2x0,25in	1	N/A	6000	\$ 145.000,00
Ángulo 1x1x0,125in	1	N/A	6000	\$ 34.000,00
Motor Sumitomo Cycle 6000 Ref. CHHM3-6160DCY	1	N/A	N/A	\$ 11.900.000,00
Tablero de Control Para Sistema de Arranque	1	N/A	N/A	\$ 580.000,00
Engranajes ASTM Gr 50	2	N/A	N/A	\$ 1.580.000,00
Mano de Obra, Mecanizado	N/A	N/A	N/A	\$ 2.380.000,00
TOTAL				\$ 24.103.895,87

Fuente: Elaboración propia.

De la Ecuación 14 se determinó la cantidad de filtros triturados en el día

$$Nfd = 540$$

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Se estima que en la semana se trituren 540 filtros de aceite usados en promedio. Sabiendo que cada filtro pesa entre 0,338 Kg, se determina que la carcasa pesa entre 0,30 Kg lo que al año se estarían generando en peso de chatarra.

$$kg_{obtenidos*días} = \frac{540 \text{ días} * 0,30kg}{1}$$

$$kg_{obtenidos*días} = 162 \text{ kg/días}$$

$$kg_{obtenidos*año} = 162 * 4 * 12$$

$$kg_{obtenidos*año} = 7776 \text{ kilogramos de acero}$$

El equivalente en toneladas es:

$$\text{Toneladas} = 7.776 \text{ toneladas de acero}$$

Por lo que según la Ecuación 15 al año en cuánto a lo económico se obtendrían \$6'220.800

$$\text{Ganancia} = 7.776 * 800.000 = \$ 6'220.800$$

$$\text{Ganancia} = \$ 6'220.800$$

Avanzado en el razonamiento se analizará el periodo de retorno de la inversión. De esta manera se considera la vida útil de la máquina. Para esto se realiza el análisis de la inversión como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7 Inversión y financiación inicial

DATOS INICIALES		
INVERSIÓN INICIAL	24.103.895	\$
VIDA ÚTIL INSTALACIÓN	10	años
% FINANCIACIÓN DE LA INVERSIÓN INICIAL	0,00%	0
DATOS PRÉSTAMO:	Np	Np
PERIODO AMORTIZACIÓN	10	años
COSTOS DE MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN (2%)	482.077,90	\$

Fuente: Elaboración propia.

PERIODO DE RETORNO SIMPLE

Como se aprecia en la Tabla 8, se puede analizar que el costo de la inversión se asumirá sin financiación ya que se posee un fondo de inversiones para su implementación. Para este se calculará un periodo de amortización de 10 años que sería el periodo de utilidad del sistema

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

de reciclaje. En la Tabla 8 y gráficamente en la Figura 36, se evidencian los costos de ganancia por venta de reciclaje generado por la trituradora a 10 años, teniendo un incremento promedio del valor anual del costo de 3,5% del valor del precio actual de la chatarra. Por otra parte, también se analizará el ahorro neto proyectando un posible aumento en el costo por año si aumenta o disminuye en 10 y 20%.

Tabla 8. Ahorro neto proyectado a 10 años

AÑO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Aumento de Triturado en 3.5%	\$6.220.800	\$6.438.528	\$6.663.876	\$6.897.112	\$7.138.511	\$7.388.359	\$7.646.952	\$7.914.595	\$8.191.606	\$8.478.312
Aumento de Triturado en 10%	\$6.220.800	\$6.842.880	\$7.527.168	\$8.279.885	\$9.107.873	\$10.018.661	\$11.020.527	\$12.122.579	\$13.334.837	\$14.668.321
Aumento de Triturado en 20%	\$6.220.800	\$7.464.960	\$8.957.952	\$10.749.542	\$12.899.451	\$15.479.341	\$18.575.209	\$22.290.251	\$26.748.301	\$32.097.962
Aumento de Triturado en -10%	\$6.220.800	\$5.598.720	\$5.038.848	\$4.534.963	\$4.081.467	\$3.673.320	\$3.305.988	\$2.975.389	\$2.677.850	\$2.410.065
Aumento de Triturado en -20%	\$6.220.800	\$4.976.640	\$3.981.312	\$3.185.050	\$2.548.040	\$2.038.432	\$1.630.745	\$1.304.596	\$1.043.677	\$834.942

Fuente: Elaboración propia.

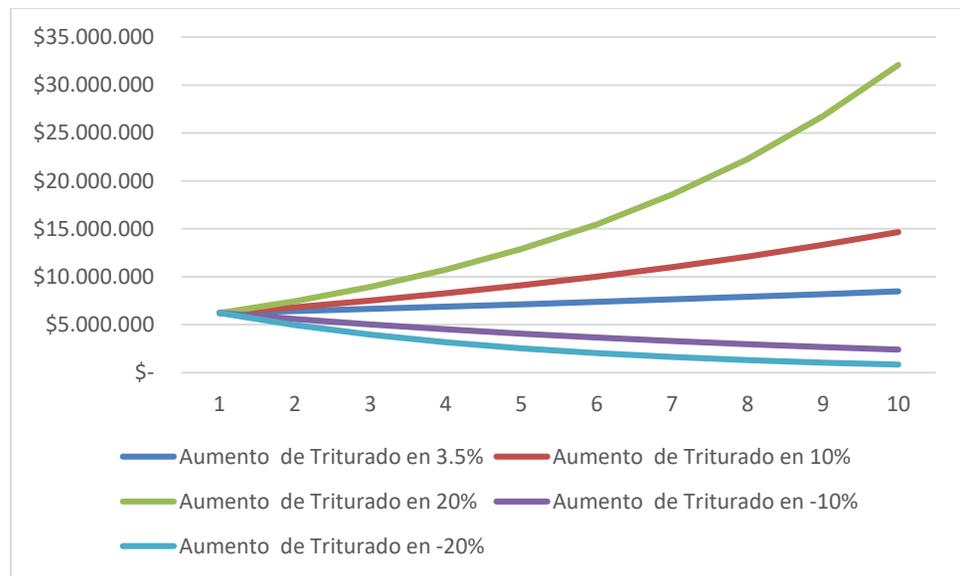


Figura 36. Ahorro neto proyectado a 10 años
Fuente: Elaboración propia.

Partiendo del costo de implementación y el ahorro neto total se puede analizar el costo de ahorro económico que se obtiene con una proyección de 10 años como se muestra en la Tabla 8. Adicionalmente se presentan los ahorros netos acumulados en Tabla 9.

Tabla 9. Ahorros netos acumulados.

Ahorros netos acumulados (\$)	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Aumento de valor de triturado 3.5%	\$5.738.723	\$11.695.174	\$17.876.973	\$24.292.009	\$30.948.443	\$37.854.725	\$45.019.599	\$52.452.117	\$60.161.646	\$37.209.438
Aumento del valor del triturado 10%	\$5.738.723	\$12.099.526	\$19.144.617	\$26.942.425	\$35.568.221	\$45.104.805	\$55.643.254	\$67.283.757	\$80.136.517	\$58.754.540
Aumento de Triturado en 20%	\$5.738.723	\$12.721.606	\$21.197.481	\$31.464.946	\$43.882.320	\$58.879.584	\$76.972.717	\$98.780.891	\$125.047.115	\$112.780.679
Aumento de Triturado en -10%	\$5.738.723	\$10.855.366	\$15.412.137	\$19.465.023	\$23.064.413	\$26.255.656	\$29.079.567	\$31.572.880	\$33.768.653	\$12.632.229
Aumento de Triturado en -20%	\$5.738.723	\$10.233.286	\$13.732.521	\$16.435.494	\$18.501.456	\$20.057.811	\$21.206.479	\$22.028.999	\$22.590.599	\$4.442.007

Fuente: Elaboración propia.

Como los presenta la Tabla 9 se observa el reintegro total de la inversión, es decir el 100% de la inversión entre los cuatro y cinco años siguientes a la implantación, en el caso de la disminución del valor de la energía en un 20% el reintegro económico no se obtendrá reintegro económico antes de los 10 años siguiente a la instalación. Los ahorros igualan el coste de capital entre los años cuatro y cinco. Reflejando los meses y años exactos se puede apreciar en la Tabla 9 del ahorro igual al coste de capital.

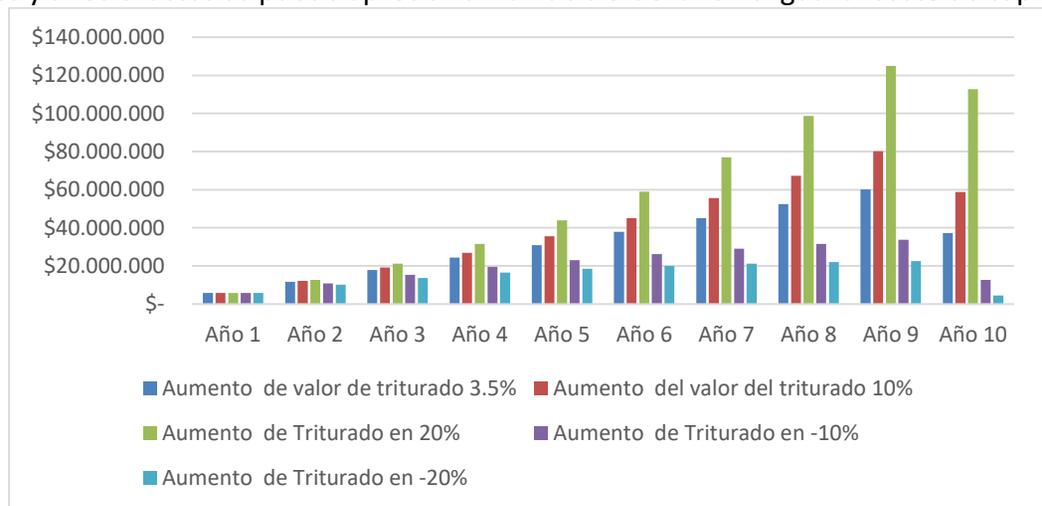


Figura 37 Tendencia ahorro neto acumulado

Fuente:Elaboración propia.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Analizando la Figura 37, se puede observar que la tendencia al ahorro neto del sistema triturador aumenta en la medida que el porcentaje de coste de chatarra aumente como los presenta la Tabla 9. Se observa el reintegro total de la inversión, es decir el 100% de la inversión.

Para estudiar el análisis del en el momento que igualan el coste de capital, se observar en la Tabla 10 La cual Refleja los meses y años exactos se puede apreciar del ahorro igualando al coste de capital.

Tabla 10. Ahorro igual al coste de capital.

Ahorros netos acumulados (\$)	Periodo de retorno simple (meses)	Periodo de retorno simple (Años)
Aumento de valor de triturado 3.5%	47,6	4,0
Aumento del valor del triturado 10%	53,0	4,4
Aumento de Triturado en 20%	28,7	2,4
Aumento de Triturado en -10%	19,8	1,7
Aumento de Triturado en -20%	30,6	2,5

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 10 presenta el ahorro igual al coste de capital teniendo un reintegro en menor tiempo cuando el valor del incremento del coste energético es mayor, en este caso cuando el aumento energético es de 20%.

VALOR ACTUAL NETO (VAN)

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se puede apreciar la capacidad de producción en beneficio de la inversión considerada, en la cual se puede considerar el coste anual de inyección de capital, el cual, se genera únicamente en el primer año.

Tabla 11. Diferencia de Costos.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Ahorros netos acumulados (\$)	VAN	Viable o Inviable
Aumento de valor de triturado 3.5%	\$ 13.105.542,85	Viable
Aumento del valor del triturado 10%	\$ 34.650.644,88	Viable
Aumento de Triturado en 20%	\$ 88.676.784,40	Viable
Aumento de Triturado en -10%	-\$ 11.471.666,48	No Viable
Aumento de Triturado en -20%	-\$ 19.661.887,85	No Viable

Fuente: Elaboración propia.

cómo se observa en la Tabla 12, cada uno de los casos se analiza el valor neto actual evaluándolo si es viable con el VAN mayor a cero, e inviable si el VAN es menor a cero; siendo el de la disminución del 20% el único inviable a 10 años.

INDICE DE RENTABILIDAD

El índice de rentabilidad los podemos deducir de la división del coste total de ahorro energético y el coste total de inversión.

Tabla 12. Índice de rentabilidad.

Ahorros netos acumulados (\$)	TIR
Aumento de valor de triturado 3.5%	1,5
Aumento del valor del triturado 10%	2,4
Aumento de Triturado en 20%	4,7
Aumento de Triturado en -10%	0,5
Aumento de Triturado en -20%	0,2

Fuente: Elaboración propia.

Observando la Tabla 12 se presenta el índice de rentabilidad de la cual se analiza que al tener un aumento del valor energético se mejorará la rentabilidad y se tendrá en un periodo más corto como se puede observar esquemáticamente en la Figura 38.

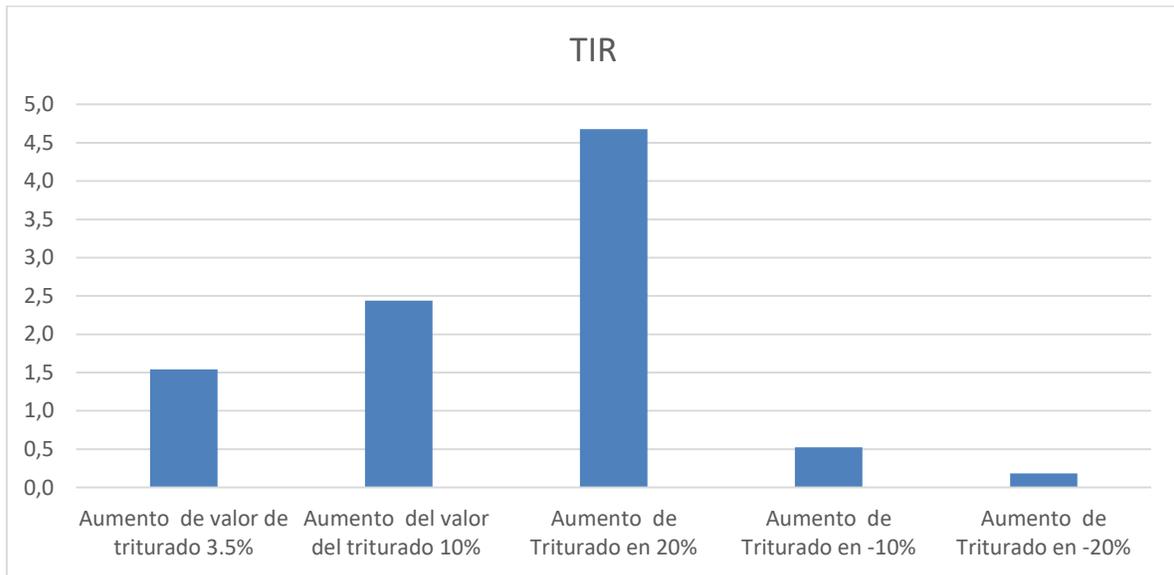


Figura 38. Índice de rentabilidad
Fuente: Elaboración propia.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

Por medio de la revisión bibliográfica realizada se pudo recopilar la información primaria y secundaria que permitió la elaboración del diseño de la máquina trituradora que a su vez está compuesto por diferentes componentes, con el cual se puede reducir la problemática ambiental que se presenta en cuanto al manejo y almacenamiento inadecuado de los filtros de aceite usado, a partir de ésta se encontró que:

- ✓ Se realizó un sistema de control de toda la máquina, esto con el fin de mejorar el proceso que va a desempeñar la trituradora de aceite.
- ✓ De acuerdo con la necesidad presentada y el diseño de la máquina se plantearon los parámetros iniciales de diseño y así se delimitó al máximo las propuestas para la solución del problema, la máquina se dividió en subsistemas para caracterizar los requerimientos de diseño de esta.
- ✓ Se realizó el diseño óptimo y adecuado de la bandeja de manera que la limpieza sea fácil y evite que los operarios o personal de mantenimiento tengan que realizar la limpieza manualmente.
- ✓ Una vez obtenido los requerimientos de diseño y teniendo en cuenta que esta máquina debía tener un sistema de limpieza se realizó la evaluación de varias alternativas y dio como resultado que la máquina se puede limpiar por medio de aire comprimido ya que es el fluido que menos se mezcla con el aceite y no deja residuos que afecten sus propiedades.
- ✓ El diseño de la máquina se dividió en 4 subsistemas, Bandeja separadora en la zona de separación, el sistema de filtrado, sistema de limpieza y reabastecimiento por medio de un operario para poder realizar los cálculos correspondientes y ser más ordenados en las operaciones.
- ✓ Para el análisis ambiental se pudo reflejar que para la fabricación de esta máquina está en un nivel moderado-bajo por lo cual no es necesario solicitar licencias para la fabricación de esta y además concluyendo que no genera peligro o riesgo para el medio ambiente y personal de fabricación.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

- ✓ Se hizo uso de las herramientas informáticas CAD para el óptimo desarrollo de la máquina trituradora de filtros de aceite mejorando la eficiencia y confiabilidad de diseño y los posteriores procesos de construcción y ensamblaje
- ✓ Generalmente las empresas recolectoras de residuos cobran por el transporte de estos filtros, sin embargo, con la máquina trituradora eso significa ahorro para el negocio ya que, el destino de estos filtros sería para centros de reciclaje siendo vendidos y obteniendo ganancias para los propietarios.
- ✓ Analizando el índice de rentabilidad y el valor actual neto de la máquina se obtiene que la inversión de la máquina trituradora se recupera en el cuarto año, exactamente en el 44,4 mes de ser implementado este prototipo. Teniendo unas ganancias a futuro analizadas a la mitad de la vida útil de este prototipo (5 años) se presenta una viabilidad de utilidades analizado en los diferentes panoramas de varianzas del reciclaje.
- ✓ Se recomienda la divulgación efectiva en la población sobre la normatividad que existe en cuanto al uso de los residuos peligrosos para ser aplicados en los establecimientos. Por lo que se requiere formar al personal que diariamente manipulan los filtros de aceite usados con el fin de que reconozcan el cumplimiento de la normativa ambiental.
- ✓ Del diagnóstico realizado en el proyecto en cuanto a la situación actual de los desechos considerados peligrosos sería interesante el desarrollo de estudios de viabilidad ambiental y de estrategias tecnológicas para el manejo, tratamiento, aprovechamiento y disposición final del aceite usado en Medellín.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

REFERENCIAS

- Asociación Colombiana del Petróleo. (2017). *Fondo de Aceites Usados - FAU - ACP*.
<https://acp.com.co/web2017/es/lubricantes/374-fondo-de-aceites-usados-fau>
- Auto y Técnica. (2020). *Filtro de aceite su importancia en el automóvil*.
<https://autoytecnica.com/importancia-del-filtro-de-aceite/>
- BendPak, & Ranger. (2018). *Compactador de Filtros de Aceite y latas - Herramientas para taller mecánico*. <http://www.bendpak.com.mx/herramientas-para-taller/prensa-para-filtros-de-aceite/rp-20fc.aspx>
- Budynas, R. G., & Keith, J. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (The McGraw). McGraw-Hill.
- Budynas, R., & Nisbett, K. (2012). Diseño en ingeniería mecánica de shigley. In *McGraw-Hill*. McGraw-Hill. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Burbano, G. A., & Vásquez, J. L. (2015). *Diseño y construcción de un máquina prototipo para el reciclaje de filtros de aceite de motores de gasolina*.
- Castillo, A. (2018). *PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS PELIGROSOS PARA LA EMPRESA FILTROS Y LUBRICANTES DAGO*. www.iraner.com
- CEDEX. (2021). *Tipos de reciclajes químicos*.
http://www.cedex.es/CEDEX/lang_castellano/
- Cepeda, J. E. (2016). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE CAPACIDAD 2,5 Kg DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD RECICLADO*. TESIS.
- Coparm. (2021). *Trituradora serie TR30, trituradoras industriales, trituradoras para reciclaje*. <http://coparm.es/trituradoras/trituradora-serie-tr30/>
- DINTOL SAS. (2020). *Filtros de Aceite*. <http://dintol.com.co/>
- Espinosa, S., & Tatamués, R. (2016). *Diseño y simulación de una máquinatrituradora de llantas, de una tonelada por hora de capacidad, para la empresa OPTRA-SEMBRES*.
- IDEAM. (2016). *Informe Nacional de Residuos o Desechos Peligrosos en Colombia, 2016*.
http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023766/RESPEL_2016.pdf
- Intermediaria de reciclaje. (2021). *Compra – venta de chatarra y excedentes industriales*.
<https://www.intermediariadericiclaje.com/>
- JL, K., & JA, O. (2017). *Motor Vehicle Oil Filter Recycling Demonstration Project*.
- Jufre Oil Service. (2019). *El filtro de aceite del motor, qué es y cuál es su cometido*.
<https://www.ro-des.com/mecanica/filtro-de-aceite-que-es-y-su-cometido/>
- Lubricity. (2020). *Lubricentros en Capital Federal*. <http://www.lubricity.com.ar/>
- M, A., & S, F. (2003). *Norma IEC 60617. Símbolos gráficos para esquemas*.
<https://pdfcoffee.com/iec-60617-simbolos-1-pdf-free.html>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). *Manual técnico para el manejo de Aceites Lubricantes Usados de origen automotor e industrial*.
- Moreno, S. A., & Forrero, A. F. (2009). *Máquina trituradora de llantas para motocicletas*.
- Peaslee, K. D. (2018). Recycling used automotive oil filters. *JOM*, 46(2), 44–46.
<https://doi.org/10.1007/BF03222557>

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

- Perez, J. M. (2019). *Técnicas del automóvil. Motores*. Parainfo.
<https://www.paraninfo.co/catalogo/9788497327527/tecnicas-del-automovil--motores>
- Pilkey, W., & Pilkey, D. (2008). *Stress concentration factors*.
- Ramos Quispe, G. R. (2020). *Diseño y construcción de una máquina trituradora de caucho para la obtención de granulometría de 2 a 5 mm para la empresa Grisand Import - Export EIRL*.
- Recytrans. (2017). *Trituración- Gestión de residuos - Soluciones Globales para el Reciclaje*.
<https://www.recytrans.com/blog/trituracion-de-plastico/>
- Roberts, D. E., & Peaslee, K. D. (2020). Analysis of the factors influencing the removal of oil from used automotive oil filters during recycling operations. *Resources, Conservation and Recycling*, 22(1–2), 97–113. [https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(97\)00045-1](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(97)00045-1)
- Rojas, O. M., & Valderrama, J. D. (2019). Evaluación del manejo de residuos peligrosos en talleres de mecánica de motocicletas en la zona centro de la Ciudad de Neiva. *Unpublished, April 2019*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.18884.37764>
- Sánchez, N., & Gómez, N. R. (2019). *AVANCE EXPLORATORIO DEL MANEJO Y DISPOSICIÓN FINAL DEL ACEITE AUTOMOTOR USADO, COMO RESIDUO PELIGROSO GENERADO EN LAS ACTIVIDADES DE CAMBIO DE ACEITE EN DIFERENTES ESTABLECIMIENTOS DE LA CIUDAD DE CALI*.
- SKF. (2015). Rodamientos. In SKF.
- Top Concesionarios. (2020). *Tipos de filtros de aceite para el coche | TopConcesionarios*.
<https://topconcesionarios.com/blog/tipos-filtro-aceite-coche/>
- Torres, D. C. (2019). *Indicadores Ambientales de Medellín*.
[https://www.cgm.gov.co/cgm/Paginaweb/IP/Informe Ambiental 2019/Indicadores Ambientales de Medellín 2020.pdf](https://www.cgm.gov.co/cgm/Paginaweb/IP/Informe%20Ambiental%202019/Indicadores%20Ambientales%20de%20Medell%C3%ADn%202020.pdf)
- Ullman, D. (2010). *The mechanical design process*. McGraw-Hill.
<https://doi.org/10.1201/b18147>
- Ullman, D. G. (2010). *The mechanical design process* (4ta ed.). McGraw-Hill Higher Education. <https://www.elsolucionario.org/the-mechanical-design-process-david-g-ullman-4th-edition/>
- Unilibre. (2021). *MEJORAS AMBIENTALES NECESARIAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA OPERACIÓN*.
- Widman International SRL. (2019). *El detalle del filtro de aceite*.
<https://www.widman.biz/Filtracion/p550008.php#prettyPhoto>
- Asociación Colombiana del Petróleo. (2017). *Fondo de Aceites Usados - FAU - ACP*.
<https://acp.com.co/web2017/es/lubricantes/374-fondo-de-aceites-usados-fau>
- Auto y Técnica. (2020). *Filtro de aceite su importancia en el automóvil*.
<https://autoytecnica.com/importancia-del-filtro-de-aceite/>
- BendPak, & Ranger. (2018). *Compactador de Filtros de Aceite y latas - Herramientas para taller mecánico*. <http://www.bendpak.com.mx/herramientas-para-taller/prensa-para-filtros-de-aceite/rp-20fc.aspx>
- Budynas, R. G., & Keith, J. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (The McGraw). McGraw-Hill.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

- Budynas, R., & Nisbett, K. (2012). Diseño en ingeniería mecánica de shigley. In *McGraw-Hill*. McGraw-Hill. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Burbano, G. A., & Vásquez, J. L. (2015). *Diseño y construcción de un máquina prototipo para el reciclaje de filtros de aceite de motores de gasolina*.
- Castillo, A. (2018). *PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS PELIGROSOS PARA LA EMPRESA FILTROS Y LUBRICANTES DAGO*. www.iranesrd.com
- CEDEX. (2021). *Tipos de reciclajes químicos*. http://www.cedex.es/CEDEX/lang_castellano/
- Cepeda, J. E. (2016). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE CAPACIDAD 2,5 Kg DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD RECICLADO*. TESIS.
- Coparm. (2021). *Trituradora serie TR30, trituradoras industriales, trituradoras para reciclaje*. <http://coparm.es/trituradoras/trituradora-serie-tr30/>
- DINTOL SAS. (2020). *Filtros de Aceite*. <http://dintol.com.co/>
- Espinosa, S., & Tatamués, R. (2016). *Diseño y simulacion de una máquinatrituradora de llantas, de una tonelada por hora de capacidad, para la empresa OPTRA-SEMBRES*.
- IDEAM. (2016). *Informe Nacional de Residuos o Desechos Peligrosos en Colombia, 2016*. http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023766/RESPEL_2016.pdf
- Intermediaria de reciclaje. (2021). *Compra – venta de chatarra y excedentes industriales*. <https://www.intermediariadereciclaje.com/>
- JL, K., & JA, O. (2017). *Motor Vehicle Oil Filter Recycling Demonstration Project*.
- Jufre Oil Service. (2019). *El filtro de aceite del motor, qué es y cuál es su cometido*. <https://www.rodes.com/mecanica/filtro-de-aceite-que-es-y-su-cometido/>
- Lubricity. (2020). *Lubricentros en Capital Federal*. <http://www.lubricity.com.ar/>
- M, A., & S, F. (2003). *Norma IEC 60617. Símbolos gráficos para esquemas*. <https://pdfcoffee.com/iec-60617-simbolos-1-pdf-free.html>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). *Manual técnico para el manejo de Aceites Lubricantes Usados de origen automotor e industrial*.
- Moreno, S. A., & Forrero, A. F. (2009). *Máquina trituradora de llantas para motocicletas*.
- Peaslee, K. D. (2018). Recycling used automotive oil filters. *JOM*, 46(2), 44–46. <https://doi.org/10.1007/BF03222557>
- Perez, J. M. (2019). *Técnicas del automovil. Motores*. Parainfo. <https://www.paraninfo.co/catalogo/9788497327527/tecnicas-del-automovil--motores>
- Pilkey, W., & Pilkey, D. (2008). *Stress concentration factors*.
- Ramos Quispe, G. R. (2020). *Diseño y construcción de una máquina trituradora de caucho para la obtención de granulometría de 2 a 5 mm para la empresa Grisand Import - Export EIRL*.
- Recytrans. (2017). *Trituración- Gestión de residuos - Soluciones Globales para el Reciclaje*. <https://www.recytrans.com/blog/trituracion-de-plastico/>
- Roberts, D. E., & Peaslee, K. D. (2020). Analysis of the factors influencing the removal of oil from used automotive oil filters during recycling operations. *Resources, Conservation and Recycling*, 22(1–2), 97–113. [https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(97\)00045-1](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(97)00045-1)
- Rojas, O. M., & Valderrama, J. D. (2019). Evaluación del manejo de residuos peligrosos en talleres de mecánica de motocicletas en la zona centro de la Ciudad de Neiva. *Unpublished, April 2019*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.18884.37764>
- Sánchez, N., & Gómez, N. R. (2019). *AVANCE EXPLORATORIO DEL MANEJO Y DISPOSICIÓN FINAL DEL ACEITE AUTOMOTOR USADO, COMO RESIDUO PELIGROSO GENERADO EN LAS ACTIVIDADES DE CAMBIO DE ACEITE EN DIFERENTES ESTABLECIMIENTOS DE LA CIUDAD DE CALI*.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

SKF. (2015). Rodamientos. In SKF.

Top Concesionarios. (2020). *Tipos de filtros de aceite para el coche | TopConcesionarios.*

<https://topconcesionarios.com/blog/tipos-filtro-aceite-coche/>

Torres, D. C. (2019). *Indicadores Ambientales de Medellín.*

[https://www.cgm.gov.co/cgm/Paginaweb/IP/Informe Ambiental 2019/Indicadores Ambientales de Medellín 2020.pdf](https://www.cgm.gov.co/cgm/Paginaweb/IP/Informe%20Ambiental%202019/Indicadores%20Ambientales%20de%20Medell%C3%ADn%202020.pdf)

Ullman, D. (2010). *The mechanical design process.* McGraw-Hill. <https://doi.org/10.1201/b18147>

Ullman, D. G. (2010). *The mechanical design process* (4ta ed.). McGraw-Hill Higher Education.

<https://www.elsolucionario.org/the-mechanical-design-process-david-g-ullman-4th-edition/>

Unilibre. (2021). *MEJORAS AMBIENTALES NECESARIAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA OPERACIÓN.*

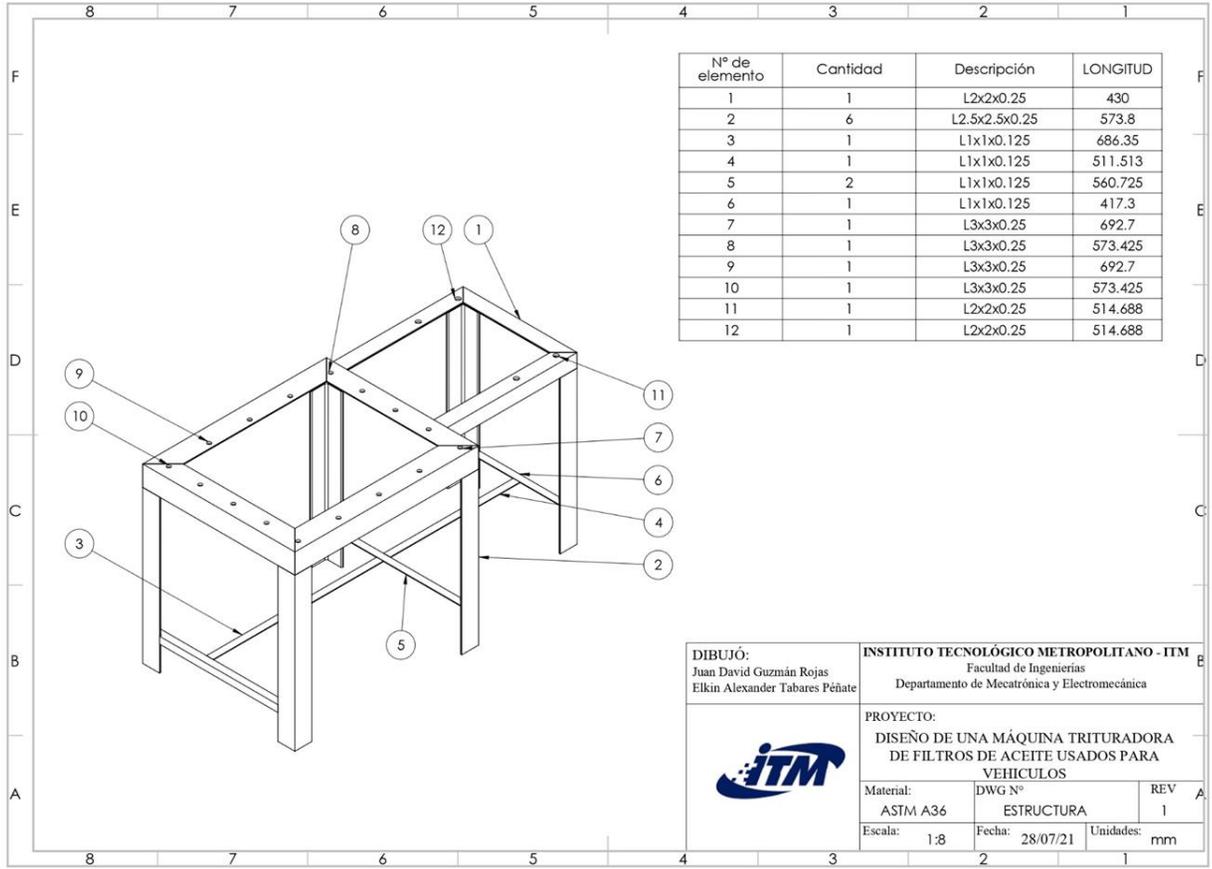
Widman International SRL. (2019). *El detalle del filtro de aceite.*

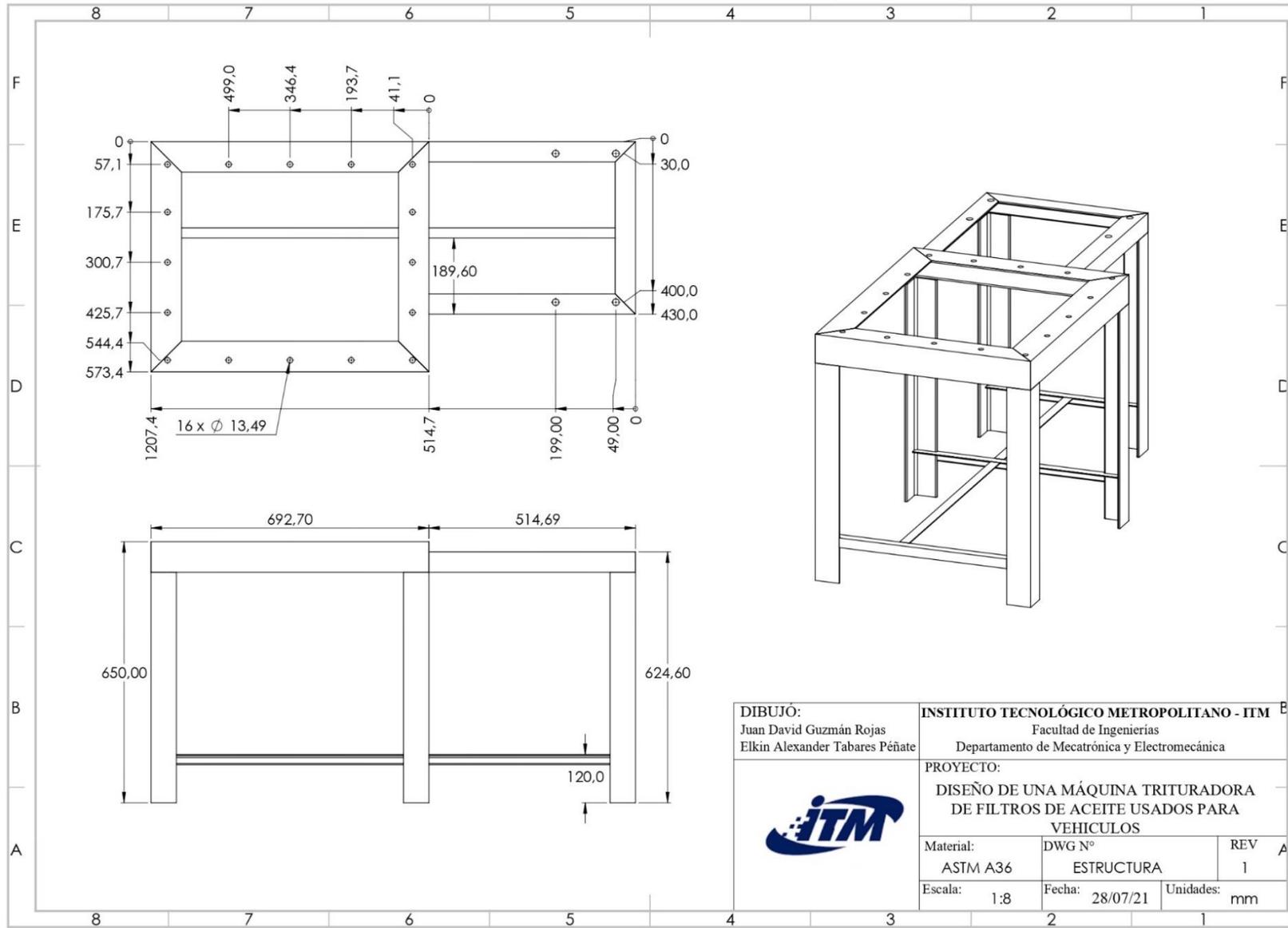
<https://www.widman.biz/Filtracion/p550008.php#prettyPhoto>

ANEXOS

ANEXO 1

Planos de la estructura de la máquina.

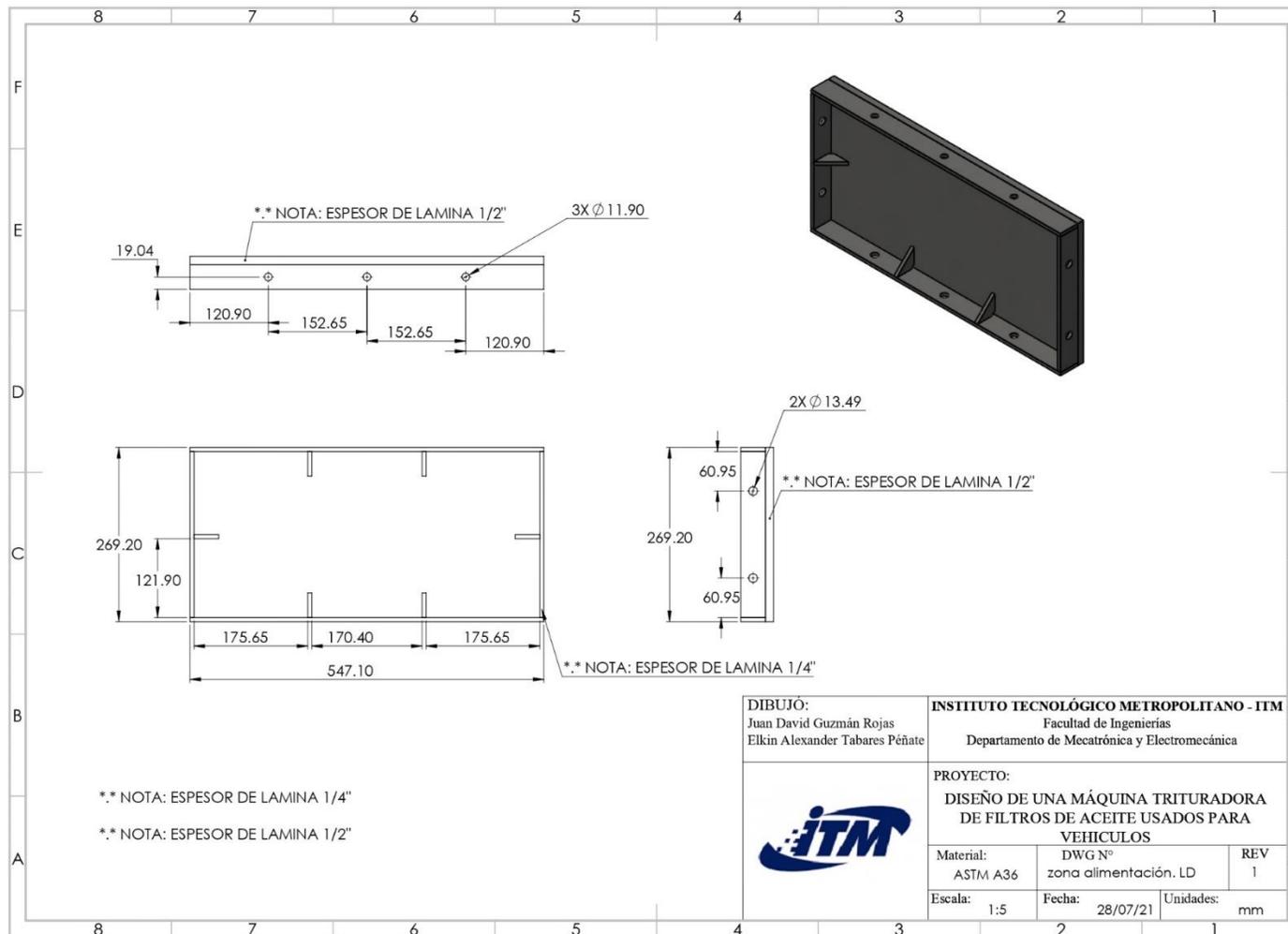


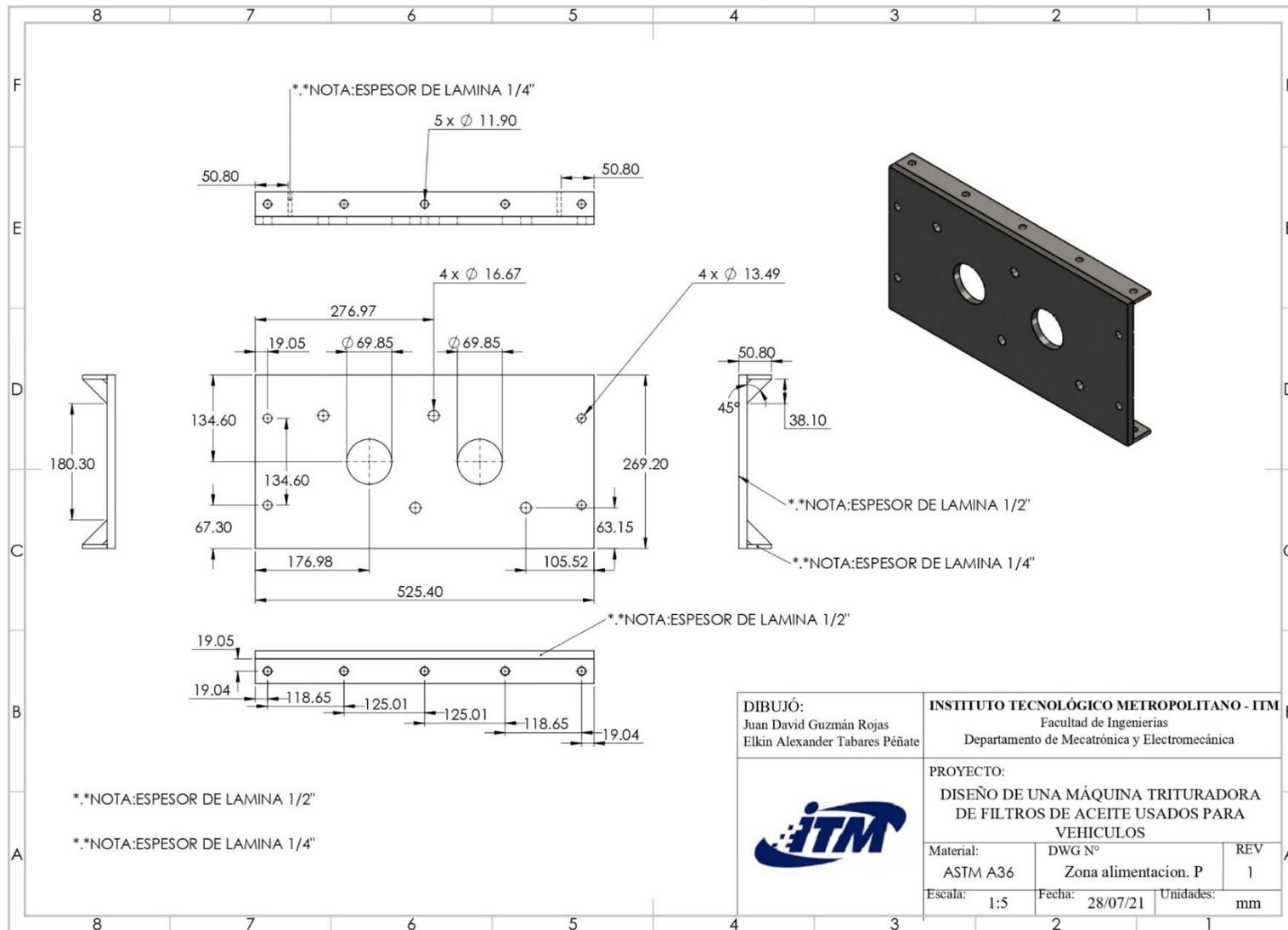


DIBUJÓ: Juan David Guzmán Rojas Elkin Alexander Tabares Peñate	INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO - IITM Facultad de Ingenierías Departamento de Mecatrónica y Electromecánica		
	PROYECTO: DISEÑO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE FILTROS DE ACEITE USADOS PARA VEHICULOS		
Material: ASTM A36	DWG N° ESTRUCTURA	REV 1	
Escala: 1:8	Fecha: 28/07/21	Unidades: mm	

ANEXO 2

Planos de la zona de alimentación

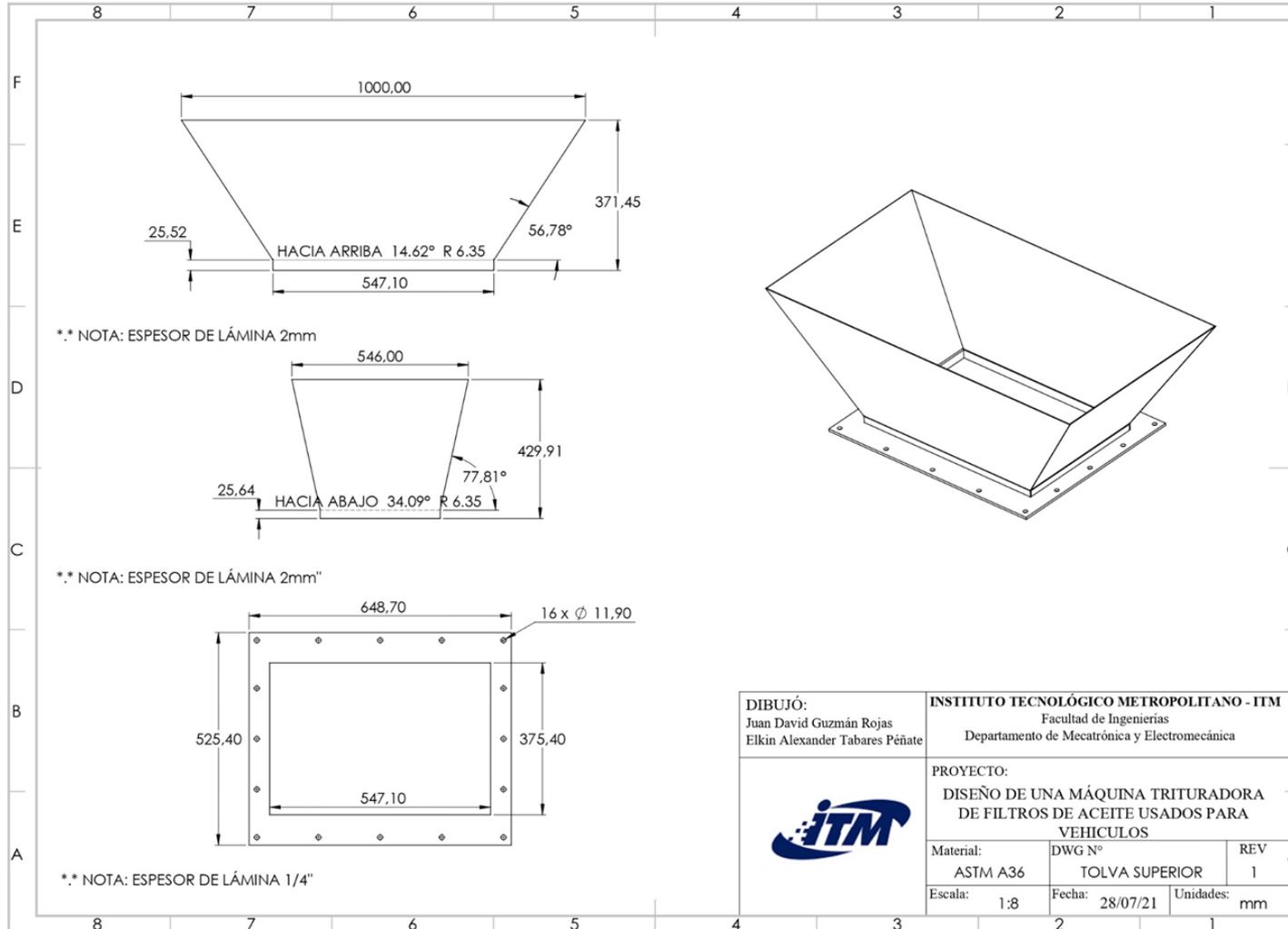




DIBUJÓ: Juan David Guzmán Rojas Elkin Alexander Tabares Pénate	INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO - ITM Facultad de Ingenierías Departamento de Mecatrónica y Electromecánica		
	PROYECTO: DISEÑO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE FILTROS DE ACEITE USADOS PARA VEHICULOS		
Material:	DWG N°	REV	
ASTM A36	Zona alimentacion. P	1	
Escala: 1:5	Fecha: 28/07/21	Unidades:	mm

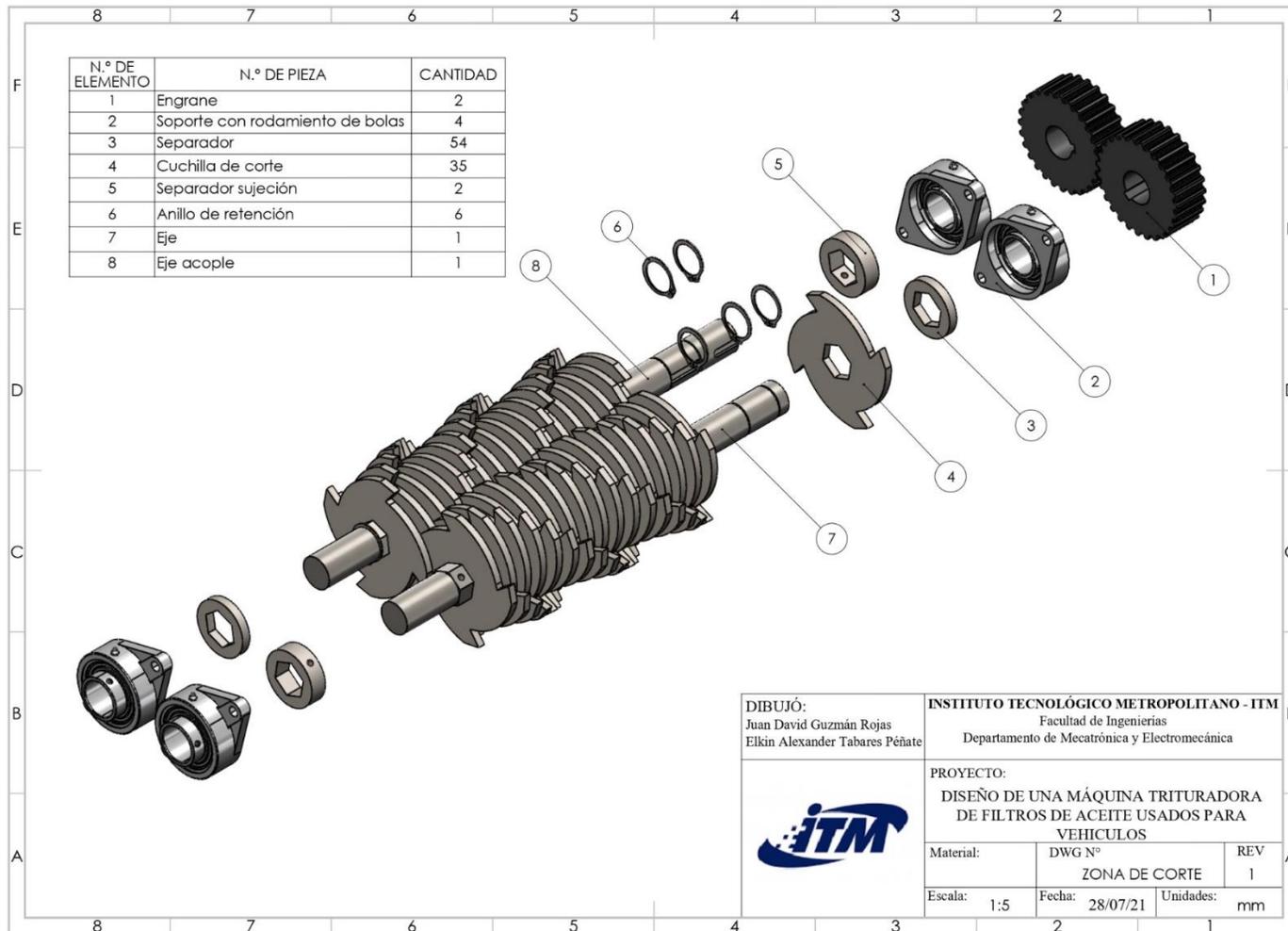
ANEXO 3

Plano de la tolva de entrada

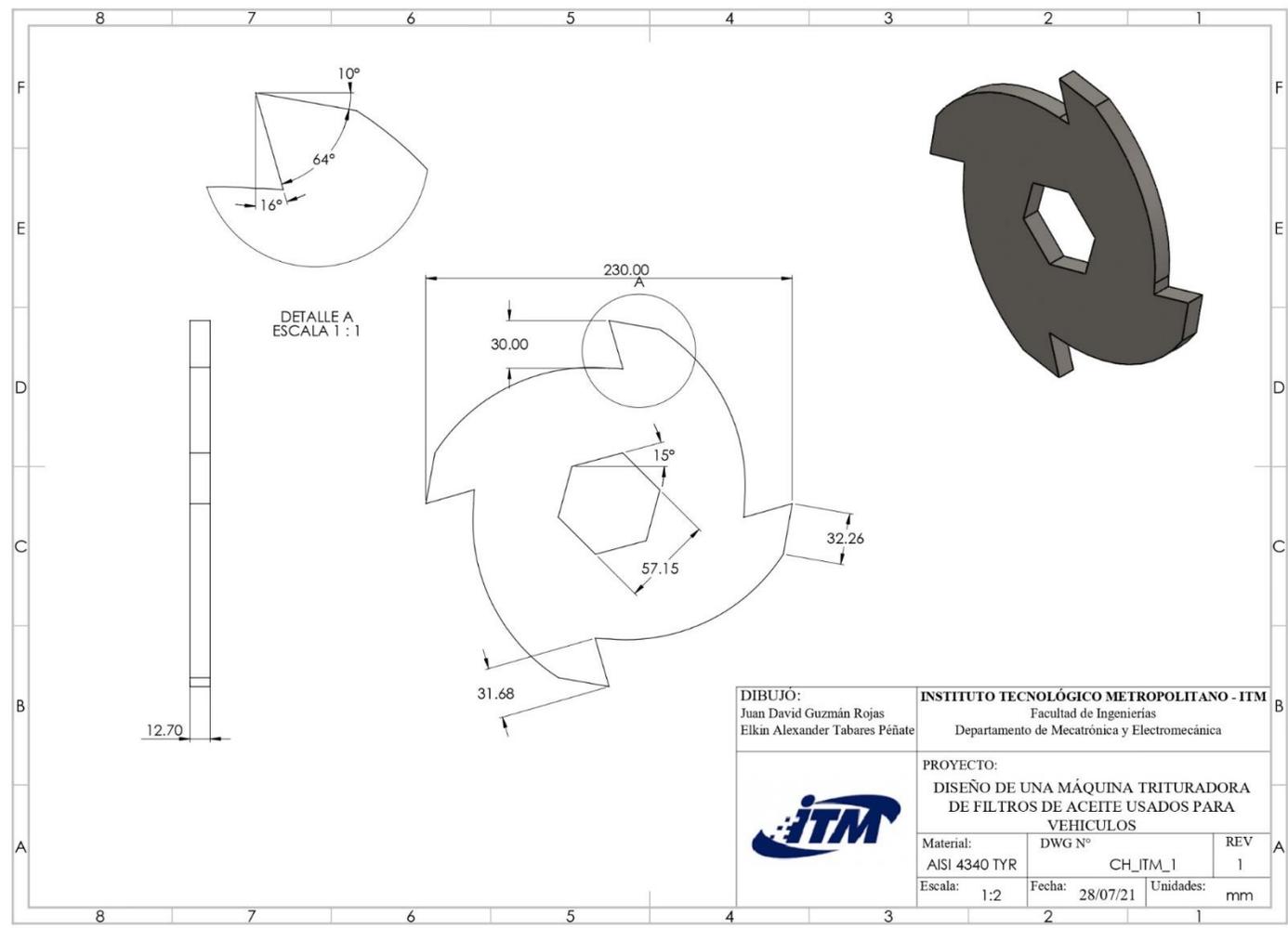


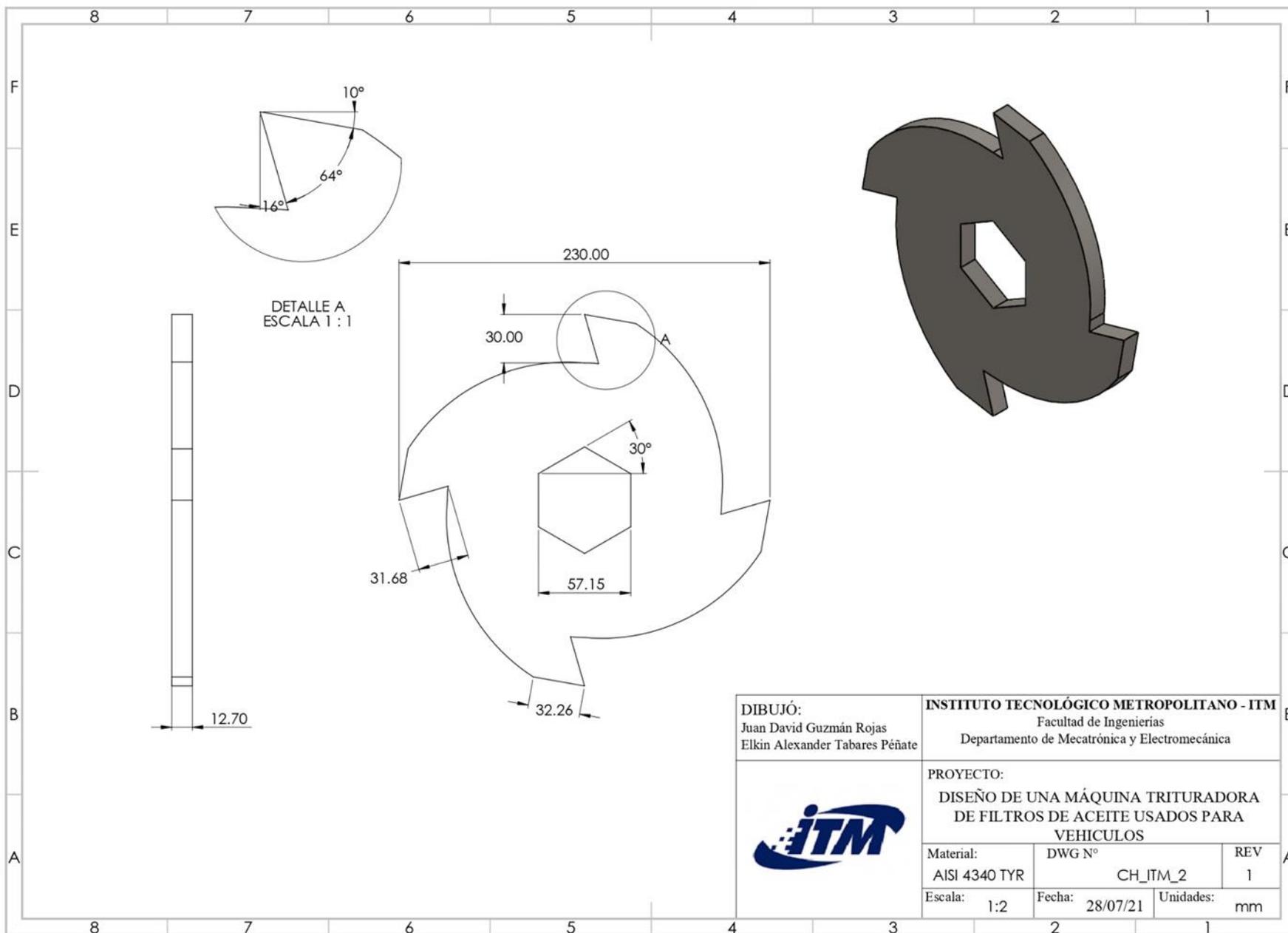
ANEXO 4

Plano del sistema de corte

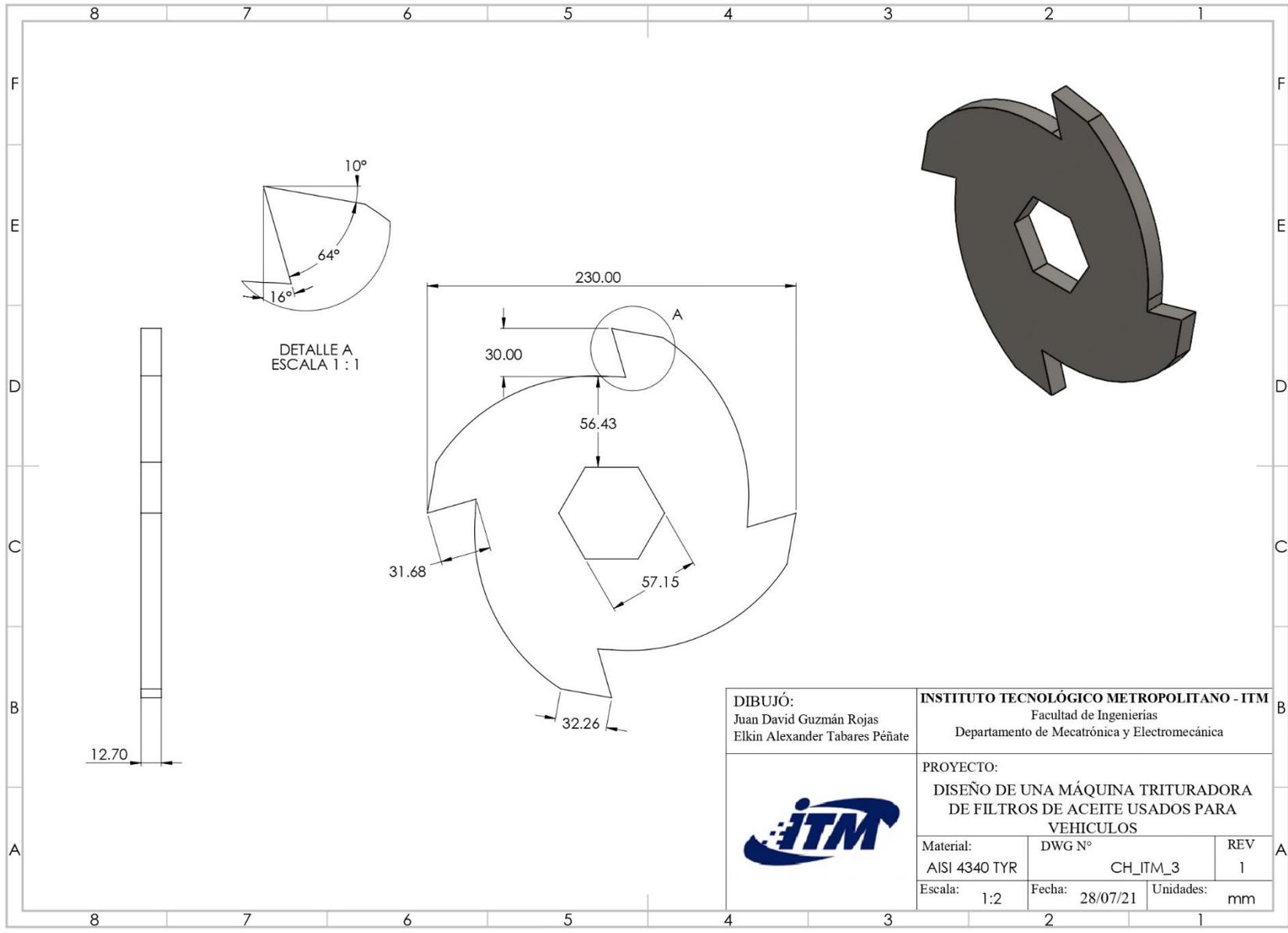


ANEXO 5
Plano de las cuchillas



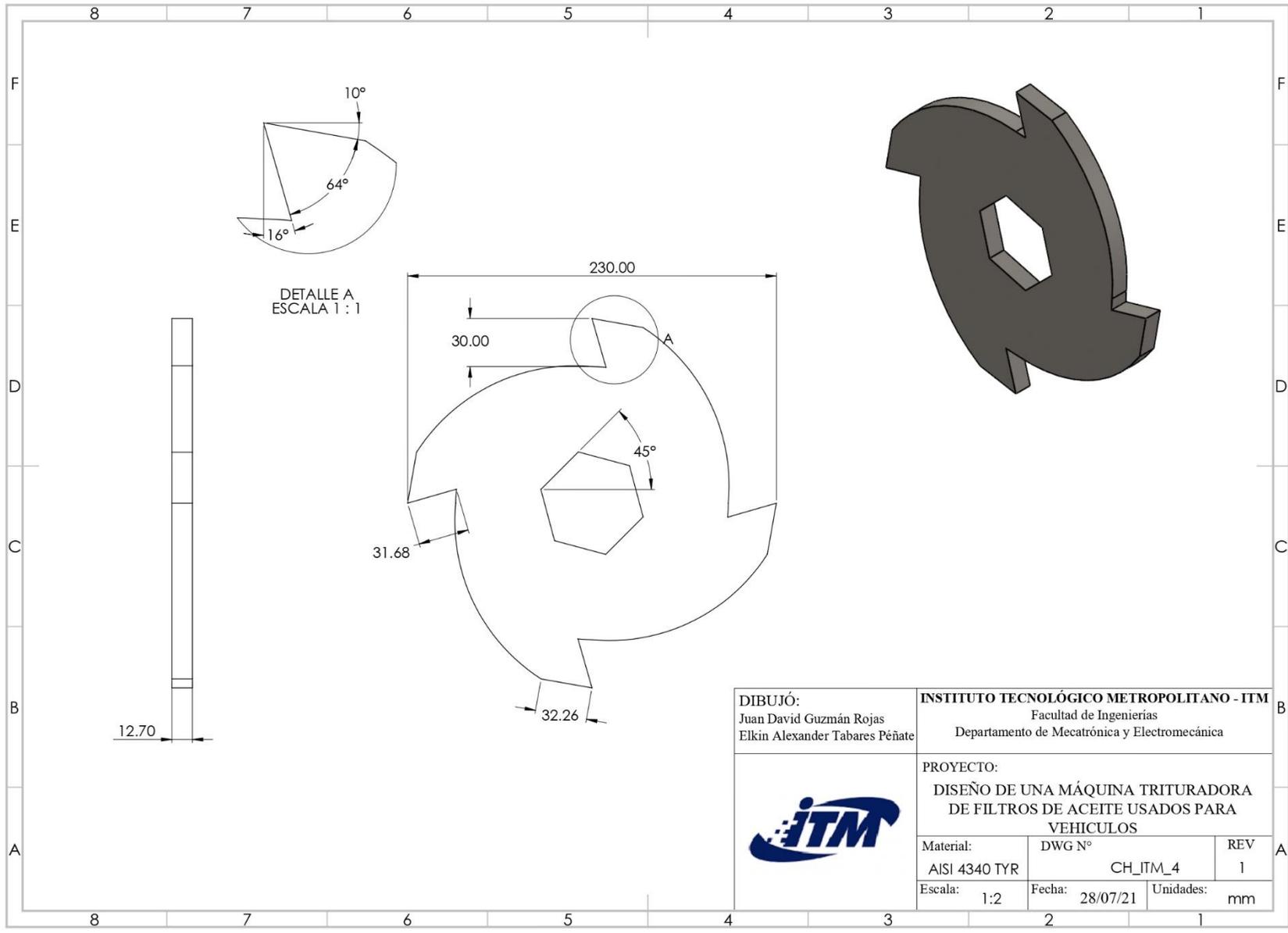


DIBUJÓ: Juan David Guzmán Rojas Elkin Alexander Tabares Peñate		INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO - ITM Facultad de Ingenierías Departamento de Mecatrónica y Electromecánica	
		PROYECTO: DISEÑO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE FILTROS DE ACEITE USADOS PARA VEHICULOS	
Material:	AISI 4340 TYR	DWG N°	CH_ITM_2
Escala:	1:2	Fecha:	28/07/21
		Unidades:	mm
		REV	1



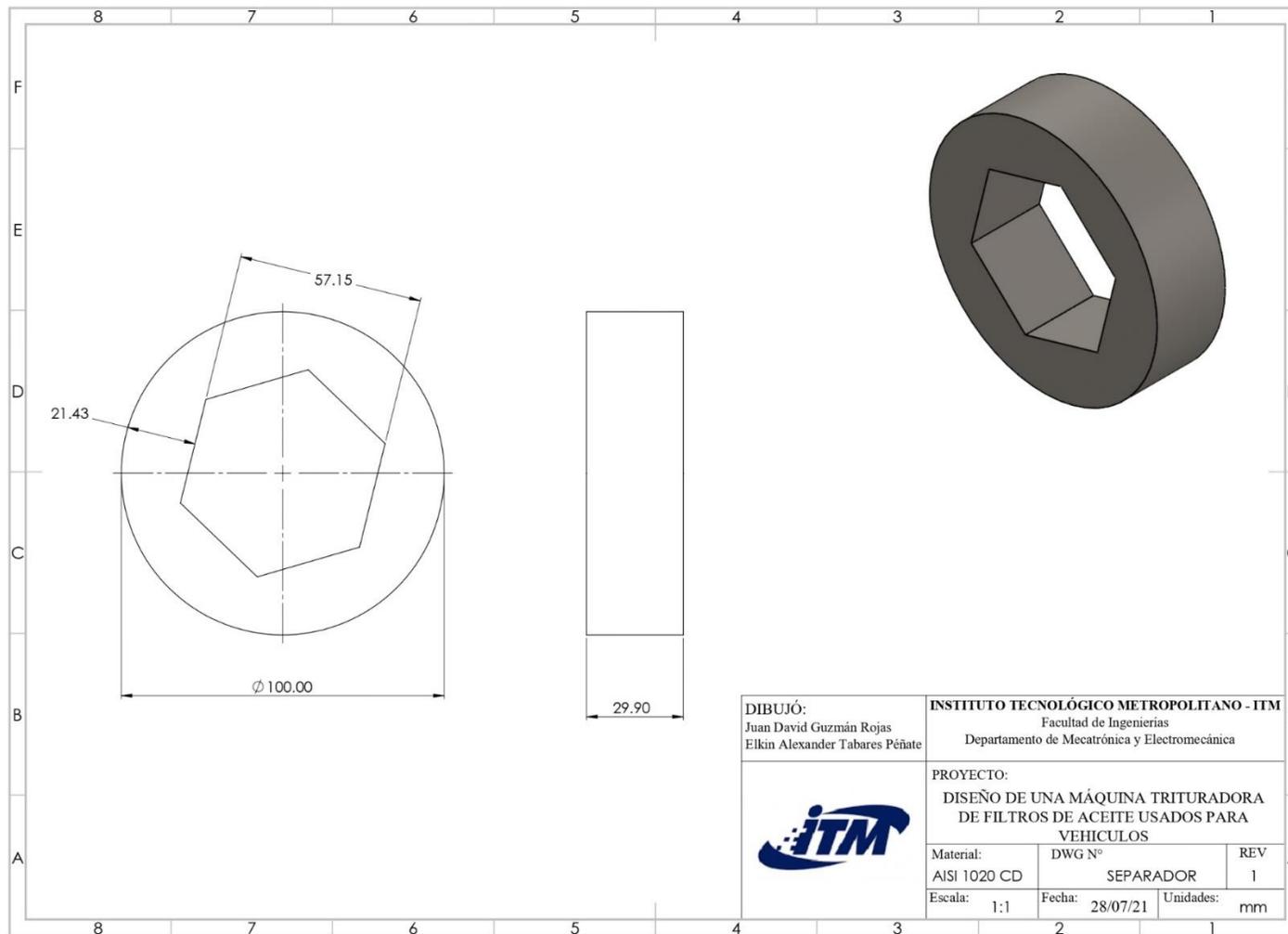
DIBUJÓ: Juan David Guzmán Rojas Elkin Alexander Tabares Pénate	INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO - ITM Facultad de Ingenierías Departamento de Mecatrónica y Electromecánica		
	PROYECTO: DISEÑO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE FILTROS DE ACEITE USADOS PARA VEHICULOS		
Material:	DWG N°	REV	
AISI 4340 TYR	CH_ITM_3	1	
Escala:	Fecha:	Unidades:	
1:2	28/07/21	mm	





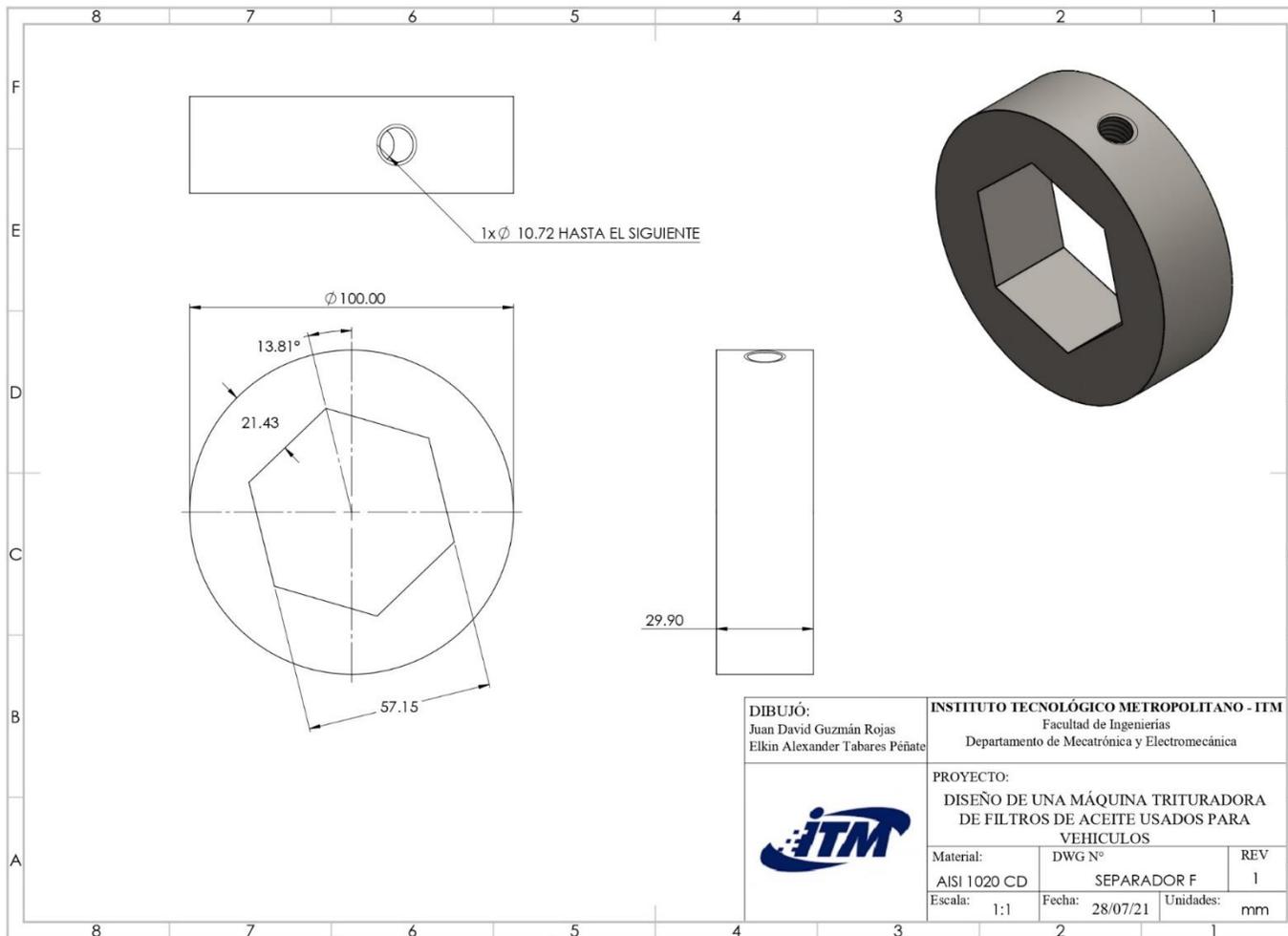
DIBUJÓ: Juan David Guzmán Rojas Elkin Alexander Tabares Peñaite	INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO - ITM Facultad de Ingenierías Departamento de Mecatrónica y Electromecánica		
	PROYECTO: DISEÑO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE FILTROS DE ACEITE USADOS PARA VEHICULOS		
Material:	DWG N°	REV	
AISI 4340 TYR	CH_ITM_4	1	
Escala:	Fecha:	Unidades:	
1:2	28/07/21	mm	

ANEXO 6
Plano del separador



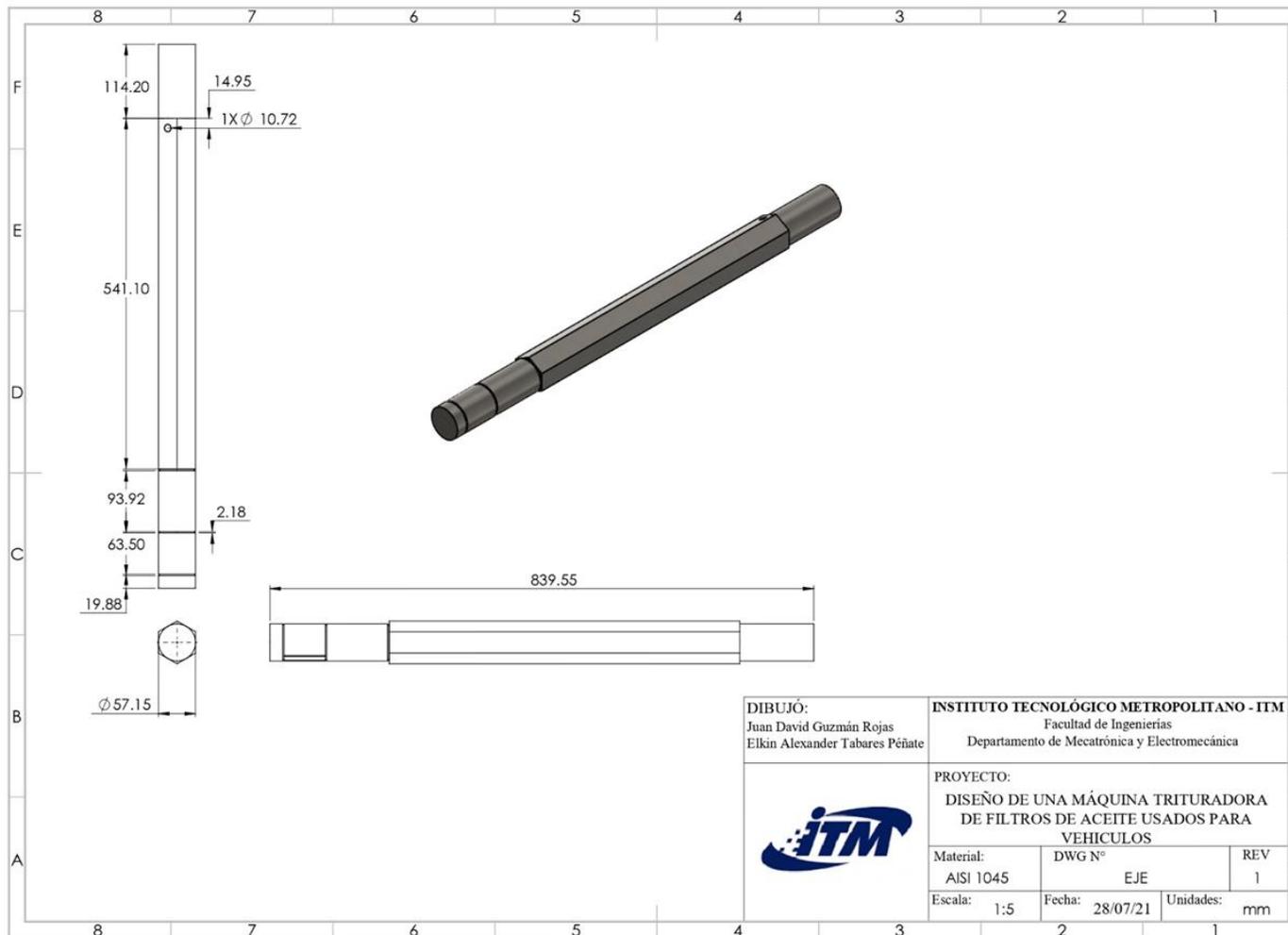
ANEXO 7

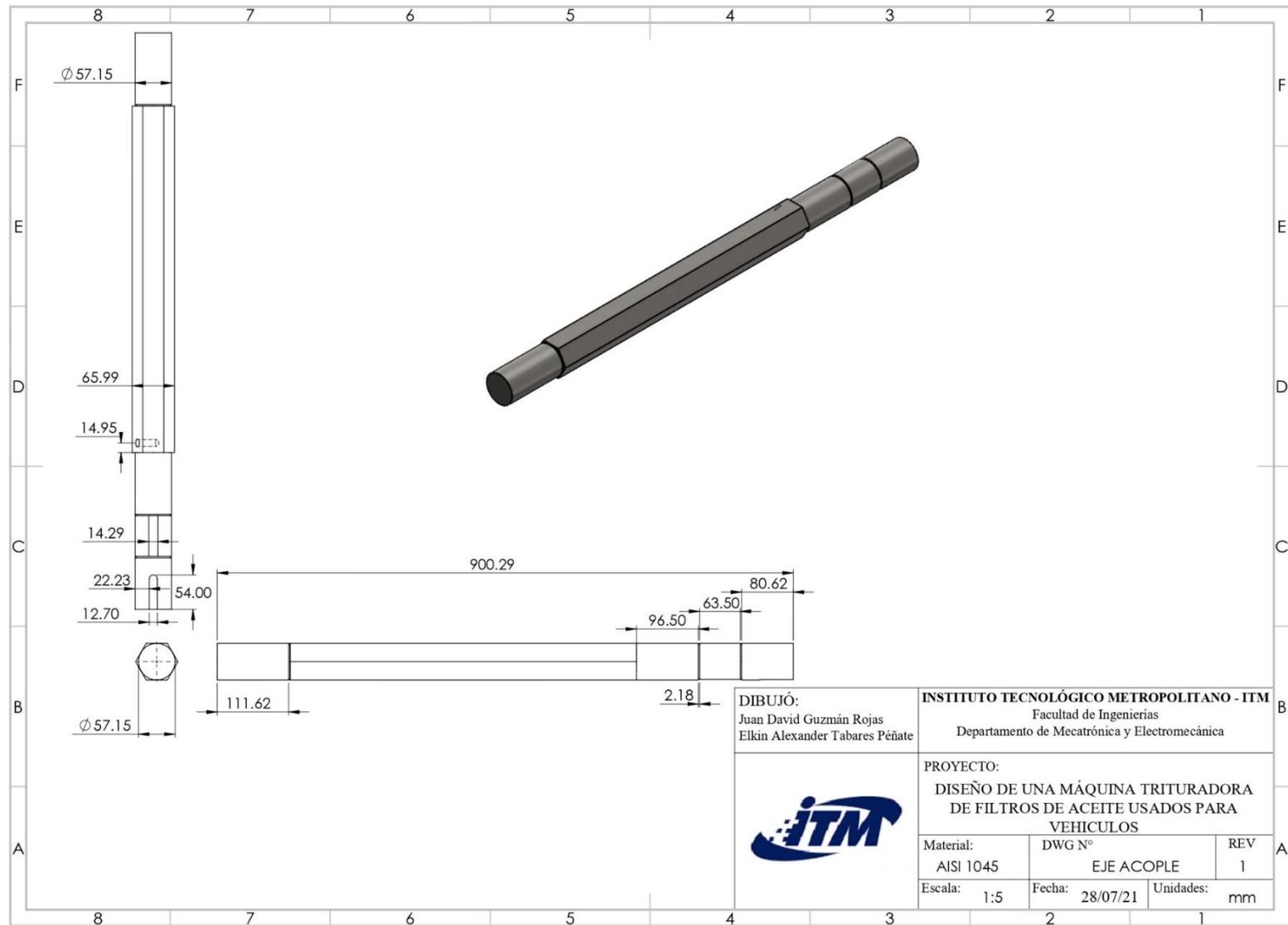
Plano del separador de sujeción



ANEXO 8

Plano de los ejes

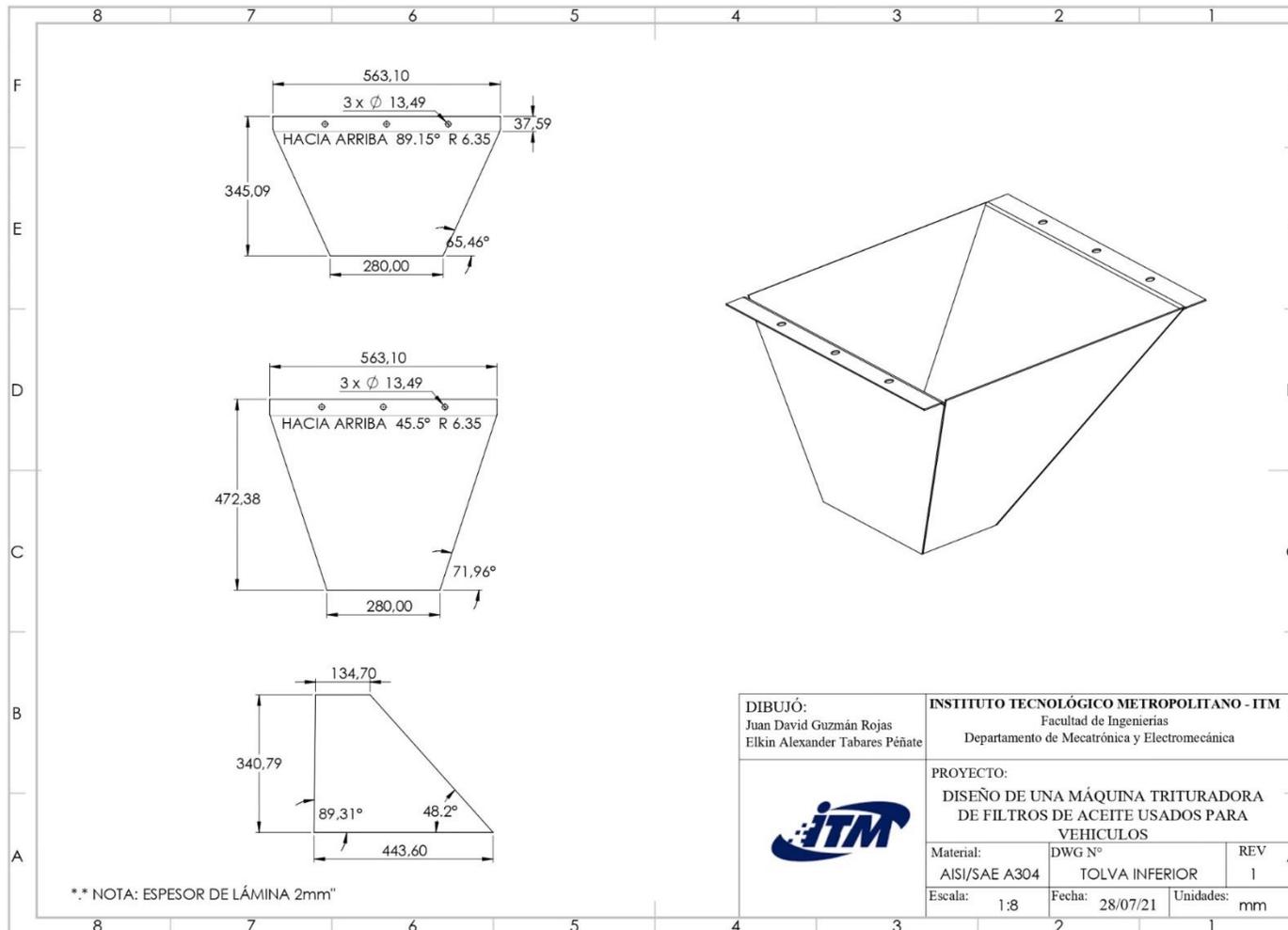




DIBUJÓ: Juan David Guzmán Rojas Elkin Alexander Tabares Peña	INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO - ITM Facultad de Ingenierías Departamento de Mecatrónica y Electromecánica		
	PROYECTO: DISEÑO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE FILTROS DE ACEITE USADOS PARA VEHICULOS		
Material:	DWG N°	REV	
AISI 1045	EJE ACOPLE	1	
Escala: 1:5	Fecha: 28/07/21	Unidades: mm	

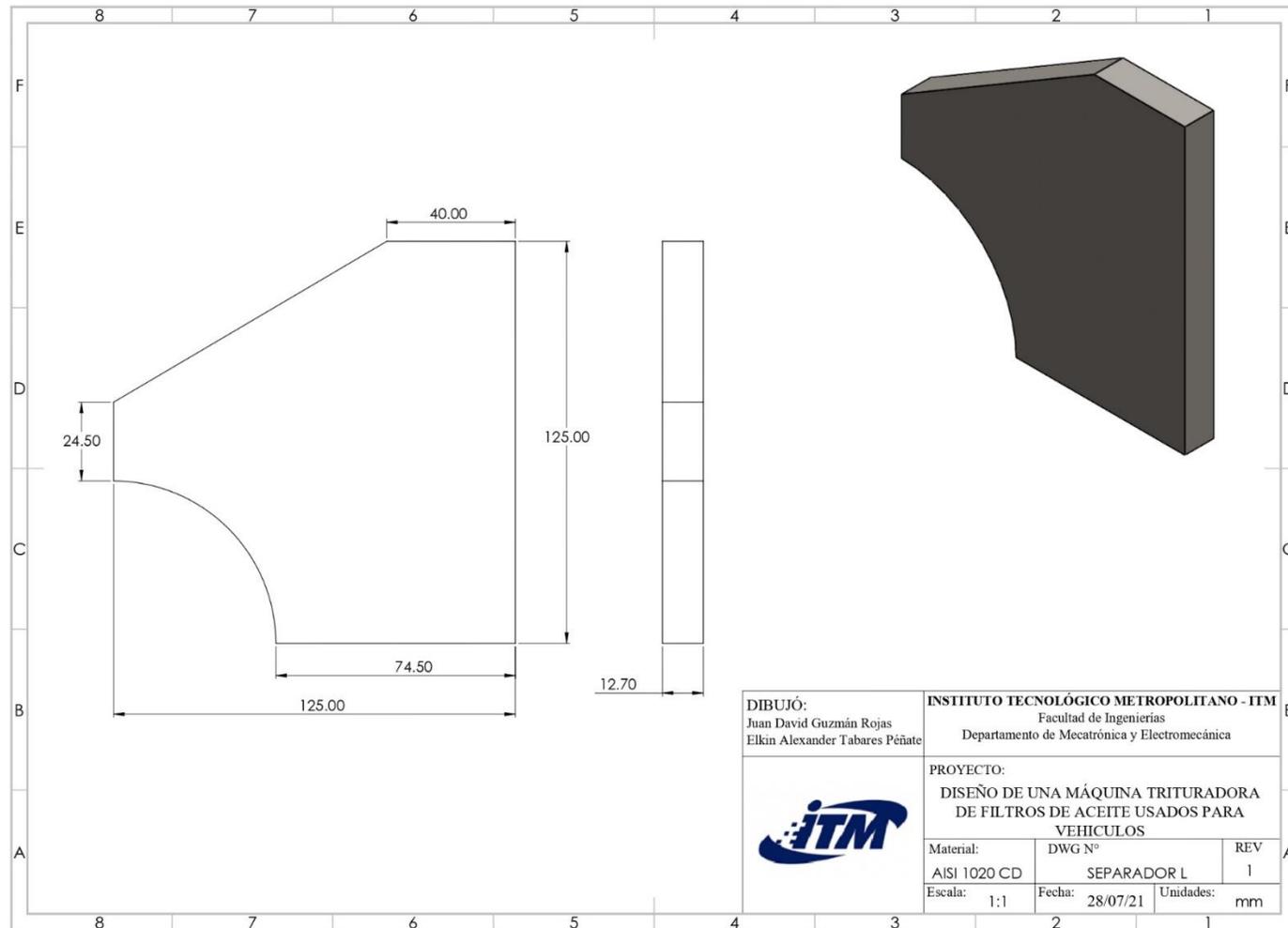
ANEXO 9

Plano de la tolva de salida



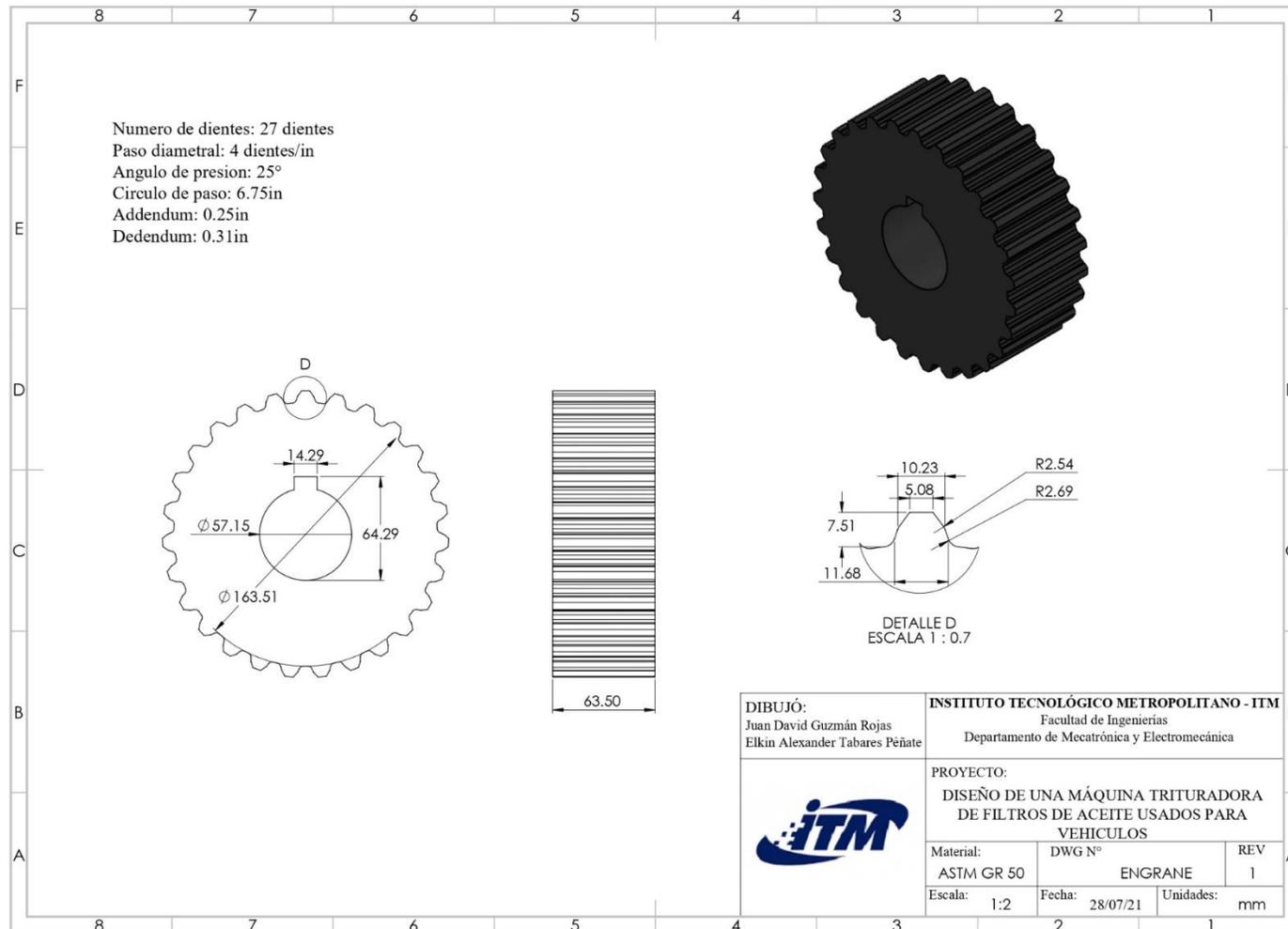
ANEXO 10

Plano del separador lateral



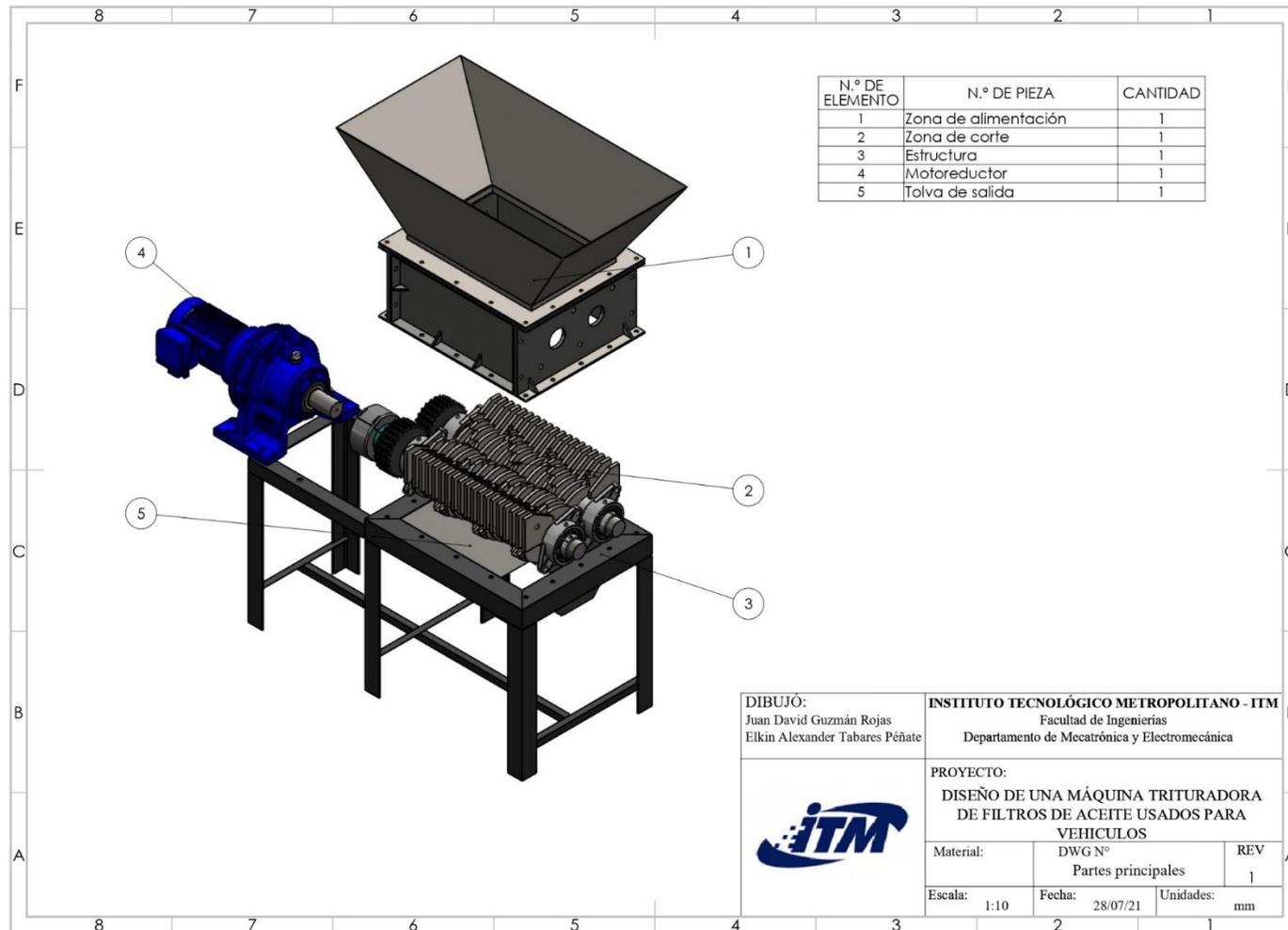
ANEXO 11

Plano del engrane



ANEXO 12

Listado de las zonas y elementos



Nombre: Juan David Guzmán R.
Cedula. = 1026134427
Firma = 

FIRMA ESTUDIANTES

NOBRES: Elkin Alexander Tabares Peñate.
C.C: 1017150491
CARNET: 16116077
PROGRAMA: Ingeniería electromecánica

 1017150491
Firma y C.C

FIRMA ASESORES



Informe final para ser evaluado por segunda vez

FECHA ENTREGA: Agosto 17 de 2021

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020