

DISEÑO DE UNA MAQUINA DESTALONADORA DE LLANTAS USADAS

SERGIO ANDRÉS CASTILLO QUINTERO

Proyecto integral de grado para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO

Orientador:

DUBERNEY HINCAPIE LADINO
INGENIERO MECÁNICO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del director

Firma del Presidente Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bogotá D.C. octubre de 2022

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de investigaciones

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario General

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decano facultad de ingenierías

Dra. Naliny Patricia Guerra Prieto

Director del Programa de Ingeniería Mecánica

PhD. María Angélica Acosta Pérez

DEDICATORIA

Dedico este proyecto terminado a Dios quien me guió e iluminó en este proceso. También dedico y agradezco a mis padres por su apoyo y colaboración, sin los cuales no hubiera sido posible la generación de esta etapa de la vida, por la crianza y ejemplo que me brindaron, a mi novia que siempre me animó incondicionalmente, y a mis hermanos que me acompañaron en la realización de este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCIÓN	12
1. GENERALIDADES EN LA INDUSTRIA DEL RECICLAJE DE LLANTAS	14
1.1. Procesamiento de llantas usadas a nivel internacional y nacional	16
1.2. Referentes en fabricación de maquinaria para el proceso de llantas usadas	20
1.3. Tipologías de maquinaria para el reciclaje	21
2. MARCO TEÓRICO	35
2.1. Las llantas y su impacto ambiental	35
2.2. Partes de las llantas	37
2.3. Tipos de llantas en el mercado	39
2.3.1. <i>Tipo de llanta por su construcción</i>	39
2.3.2. <i>Tipo de llanta con cámara o tubuless</i>	40
2.3.3. <i>Tipo de llanta de temporada</i>	42
2.3.4. <i>Tipo de llanta simétrica, asimétrica y ireccional</i>	44
2.3.5. <i>Tipo de llanta ecológica</i>	44
2.3.6. <i>Tipo de llanta eencauchada</i>	45
3. PARÁMETROS DE DISEÑO	46
3.1. Tamaño y peso de la llanta	46
3.2. Fuerza de corte	47
3.3. Velocidades de proceso	51
3.4. Características básicas de la máquina por diseñar	54
4. ALTERNATIVAS DE DISEÑO	55
4.1. Alternativas de solución	56
4.1.1. <i>Alternativa 1</i>	56
4.1.2. <i>Alternativa 2</i>	57
4.1.3. <i>Alternativa 3</i>	58
4.2. Selección de alternativas de solución	59
4.3. Cuadro de resumen de alternativas de diseño	62
5. DEFINICIÓN DE SISTEMAS Y SUBSISTEMAS DE LA MÁQUINA	63

5.1. Diagrama de flujo	63
5.1.1. <i>Diagrama de caja negra</i>	65
5.1.2. <i>Diagrama de caja gris</i>	66
6. DESARROLLO Y CÁLCULOS DE DISEÑO	68
6.1. Selección de reductor	68
6.2. Selección del motor	75
6.3. Diseño del eje	79
6.3.1. <i>Cálculos del eje</i>	79
6.3.2. <i>Análisis de esfuerzos del eje</i>	90
6.4. Análisis estructural	91
6.4.1. <i>Calculo de soldadura</i>	94
6.5. Diseño de las ruedas dentadas (sprockets) y unión con la cuchilla	97
6.6. Selección cuchilla	98
6.7. Selección de rodamiento	102
6.8. Diseño de palanca	115
7. MANUALES	117
7.1. Manual de operación	117
7.2. Manual de mantenimiento	119
8. ANÁLISIS DE COSTOS	120
9. CONCLUSIONES	122
BIBLIOGRAFÍAS	138
ANEXOS	145

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Incendio en Seseña	17
Figura 2. Zonas y secciones de las llantas	23
Figura 3. Línea completa para el reciclaje de llantas	24
Figura 4. Cortadora manual de cara	25
Figura 5. Extrusora de acero de llanta	26
Figura 6. Cortadora de tiras de llanta	27
Figura 7. Trituradora de tiras de llantas	28
Figura 8. Cortadora de banda de rodadura	29
Figura 9. Cortadora de flancos	30
Figura 10. Cortadora transversal	31
Figura 11. Destalonadora sencilla	32
Figura 12. Destalonadora doble	33
Figura 13. Línea de reciclaje industrial de llantas	34
Figura 14. Ciclo de la reutilización y el reciclado de llantas	36
Figura 15. Componentes de una llanta	37
Figura 16. Tipos de llantas	39
Figura 17. Llanta con cámara	41
Figura 18. Llanta Tubuless	42
Figura 19. Llanta de verano y de invierno	43
Figura 20. Llanta All Season	43
Figura 21. Llanta simétrica, asimétrica y direccional	44
Figura 22. Llanta reencauchada	45
Figura 23. Resultados de laboratorio	49
Figura 24. Gráfica de fuerza de corte	50
Figura 25. Fuerza de corte de banda lateral	51
Figura 26. Alternativa de diseño N.1	56
Figura 27. Alternativa de diseño N.2	57
Figura 28. Alternativa de diseño N.3	58

Figura 29. Diagrama de flujo	64
Figura 30. Diagrama de caja negra	65
Figura 31. Diagrama de cada gris	66
Figura 32. Ejemplo de mando a dos manos	67
Figura 33. Preselección del motor	69
Figura 34. Verificación de relación de transmisión	70
Figura 35. Selección del modelo del reductor de velocidad	72
Figura 36. Tipo de montaje del reductor de velocidad	73
Figura 37. Dimensiones del reductor de velocidad	74
Figura 38. Datos A del motor	76
Figura 39. Datos B del motor	76
Figura 40. Características específicas del motor	77
Figura 41. Montaje y posicionamiento del motor	78
Figura 42. Diagrama de fuerzas actuantes para el corte	80
Figura 43. Diagrama de cuerpo libre del eje	81
Figura 44. Diagrama de fuerza cortante	81
Figura 45. Diagrama de fuerza cortante plano yz	82
Figura 46. Diagrama de momento flector	82
Figura 47. Diagrama de momento flector plano yz	82
Figura 48. Datos para el valor de muesca (q)	85
Figura 49. Datos para el valor de muesca (q cortante)	86
Figura 50. Momento flector en el punto del cojinete	88
Figura 51. Momento flector en el punto del cojinete plano yz	88
Figura 52. Datos para el valor de muesca (q) en el cojinete	89
Figura 53. Diagrama de análisis de esfuerzo del eje	90
Figura 54. Diagrama de análisis del desplazamiento del eje	91
Figura 55. Diagrama de análisis de esfuerzo de la estructura	92
Figura 56. Diagrama de análisis de desplazamiento de la estructura	92
Figura 57. Ecuaciones para un perfil de estructura en ángulo	93
Figura 58. Ecuación para determinar Sw	94
Figura 59. Ejemplo de cuchilla comprada	98

Figura 60. Diseño de cuchilla	99
Figura 61. Esquema de la geometría del filo de la cuchilla	100
Figura 62. Selección de rodamiento	102
Figura 63. Viscosidad nominal V1	104
Figura 64. Tipo de lubricante	105
Figura 65. Vida específica en horas de funcionamiento	107
Figura 66. Condición de lubricación	109
Figura 67. Factor de contaminación	110
Figura 68. Factor aSKF	111
Figura 69. Diagrama del mecanismo seleccionado para aplicar la fuerza de corte entre la llanta y la cuchilla, medidas en mm	115
Figura 70. Posición inicial de la palanca	116
Figura 71. Posición final de la palanca	116
Figura 72. Diseño final de la máquina cortadora de bandas laterales de llantas usadas	117

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Las categorías de los materiales de la llanta	22
Tabla 2. Partes de una llanta	38
Tabla 3. Tamaño y peso de las llantas implementadas	47
Tabla 4. Criterio de ponderación	60
Tabla 5. Ponderación	61
Tabla 6. Método de Score	61
Tabla 7. Ventajas y desventajas de cada alternativa	62
Tabla 8. Factor de servicio (Fs) de la máquina	71
Tabla 9. Propiedades del material AISI 1045	79
Tabla 10. Datos para el valor de Kt y Kts	83
Tabla 11. Datos para el factor a y exponente b	84
Tabla 12. Datos para el valor de Kb	86
Tabla 13. Datos para el valor de Kt cojinete	89
Tabla 14. Datos para el esfuerzo admisible	95
Tabla 15. Tamaño máximo para soldadura de chaflán	96
Tabla 16. Viscosidad real de funcionamiento	108
Tabla 17. Datos de cálculo del rodamiento seleccionado	113
Tabla 18. Dimensiones del rodamiento seleccionado	114
Tabla 19. Manual de mantenimiento	118
Tabla 20. Costo estimado de fabricación	119
Tabla 21. Costos de ingeniería	120
Tabla 22. Costo estimado total del desarrollo de la máquina	120
Tabla 23. Comparación de costos en el mercado	121

RESUMEN

Las llantas usadas constituyen un problema mundial por su difícil tratamiento, en las últimas décadas han aumentado los esfuerzos de los países industrializados en dar un mejor tratamiento a estos residuos, ya en países en vía de desarrollo los esfuerzos son escasos. Este proyecto tiene como objetivo diseñar una máquina para el corte de llantas usadas, el cual hace parte del proyecto NFU-SENA-FUA, el cual pretende dar un tratamiento a las llantas desechadas, mejorando las condiciones medioambientales de la ciudad y del país. El desarrollo del diseño de la máquina se inició con una búsqueda bibliográfica de los parámetros necesarios para el diseño de la máquina, seguidamente se hizo la comparación de diferentes máquinas utilizadas para el procesamiento de llantas usadas, permitiendo tener una visión general de la realización del proceso de corte y triturado de las llantas. A partir de esta información recolectada se determinó la mejor alternativa de diseño que cumpliera con las condiciones del proyecto. Fueron definidos los subsistemas de la máquina que cumplieran con el diseño al menor costo posible, es decir menor cantidad de piezas y que fueran de fácil adquisición. Ya definida la mejor alternativa se procedió a la selección de los diferentes componentes de la máquina y el diseño de los elementos que no son comerciales. Fue realizado un manual de operación y mantenimiento el cual es parte fundamental para el buen funcionamiento e incremento de la vida útil de la máquina. Finalmente fue realizado un comparativo del costo de la máquina y el precio de máquinas disponibles en el comercio (para importación) donde se pudo verificar que el diseño es viable económicamente.

Palabras clave: Reciclaje de llantas, Diseño de máquinas, Alternativas de diseño, Máquina de corte de llantas, viabilidad económica.

INTRODUCCIÓN

En todo el planeta la proporción de productos poliméricos utilizados aumenta todos los años, la mayor parte de ellos son neumáticos usados de carros. Según informes de asociaciones importantes de fabricantes de neumáticos y productos de caucho, la fabricación a nivel mundial anual de neumáticos es de unos 1400 millones de unidades, lo correspondiente a un estimado de 17 millones de toneladas de neumáticos utilizados cada año [1]. El incremento dinámico del número de llantas utilizadas incrementó de 2,1 millones de toneladas en 1994 a 3,3 millones de toneladas en 2010 [1]. El tamaño del problema se ve magnificado por los vertederos ya existentes los cuales son peligrosos para el medio ambiente, donde se almacenan inútilmente unos 4.000 millones de llantas [1].

En la actualidad, el procedimiento común para la administración de llantas de desecho es la recuperación de energía, donde se trituran mecánicamente para usarse como combustible alternativo en hornos de cemento, fábricas de papel o plantas de producción de energía [2]. El último informe estadístico sobre la administración de neumáticos al final de su ciclo, publicado por ETRMA [2], demostró que en 2018 el 91% de los neumáticos de desecho en la Unión Europea, así como Noruega, Serbia, Suiza y Turquía fueron recogidos y gestionados correctamente por medio de reciclaje de material y valorización energética [2].

Otros métodos están ganando reconocimiento en la trituración de residuos de caucho, como la trituración con ayuda de ultrasonidos, el corte con agua a presión (water-jet), la pulverización en presencia de dióxido de carbono supercrítico, por ejemplo las hermanas Dobrotã [3], investigaron la tecnología de trituración de residuos de caucho activada con ultrasonidos, este enfoque posibilita la preparación de caucho molido con una repartición de tamaño de partícula bastante buena y tamaños de partícula promedio en el rango de 100 a 150 μm , que puede suplir la demanda de caucho recuperado usado en la industria. Además, los resultados mostraron que la aplicación de ultrasonidos a lo largo de la trituración de residuos de caucho disminuye el consumo de energía y simultáneamente se incrementa la eficiencia de la producción por medio de una mayor rapidez de trituración [3].

En Colombia la mayor parte de las llantas luego de haber sido utilizadas se almacenan en depósitos, techos, patios de casas, calles, ríos y lagos, con un efecto negativo para el medio ambiente y para la salud pública, ya que las llantas se convierten en un sitio ideal para ratas y mosquitos que pueden transmitir el dengue, la fiebre amarilla y la encefalitis equina, tornándose en un grave problema para la sociedad [4].

Las llantas usadas son residuos cuyo reciclaje es extremadamente difícil, debido a que su estructura es compleja y la composición química de la materia prima con la que se fabrica. La tecnología de fabricación de productos de caucho se basa principalmente en la reacción de vulcanización irreversible que tiene lugar entre cauchos diénicos naturales y sintéticos, azufre y una variedad de compuestos auxiliares [1]. Es por esto que los artículos de caucho son firmes flexibles, insolubles e infusibles que no tienen la posibilidad de ser reprocesados, característica de los termoplásticos [1]. Por consiguiente, su reciclado necesita un alto gasto de tiempo, energía y dinero en procesos y maquinaria adecuada.

El objetivo principal de este proyecto es el diseño de una máquina cortadora de bandas laterales de llantas usadas y lograr mejorar el sistema de recolección y reciclaje de la llanta en Colombia debido a que muchas llantas por su gran tamaño y volumen, se hace difícil la recolección y terminan yendo a botaderos y basureros de barrio, se espera que con ayuda de esta máquina el reciclaje de la llanta y su transporte sea más eficaz y fácil.

1. GENERALIDADES EN LA INDUSTRIA DEL RECICLAJE DE LLANTAS

Alrededor del 16 % de la generación de llantas de desecho en el mundo aún se deposita en vertederos, lo cual genera gran impacto ambiental [5]. Las llantas viejas brindan refugio a los roedores y tienen la posibilidad de atrapar agua, lo cual otorga un cultivo para los mosquitos [5]. En los vertederos, las llantas consumen hasta un 75 % del espacio disponible. Además, las llantas tienen la posibilidad de volatilizarse en gases como el metano [5]. Estos gases se acumulan y pueden romper los revestimientos de los vertederos que fueron creados con el fin de retener los contaminantes y evitar el contacto con las aguas superficiales y subterráneas [5].

Para realizar el reciclado de llantas se tiene en cuenta los pasos básicos para descomponer la llanta por medio de procedimientos como corte en tiras del caucho, corte del flanco, extracción del acero y por último la trituración.

El reciclado de llantas se inicia con la recolección de las llantas usadas en los talleres de mantenimiento, las llantas usadas se recolectan por las empresas de aseo o las encargadas de llevar las llantas hasta el lugar de reciclaje o botadero, las llantas usadas se pueden clasificar como reutilizables y las que no lo son, las llantas reutilizables son aquellas que pueden pasar por un proceso de reencauche que alarga su vida útil, estas llantas son comercializadas, para así terminar con su ciclo de vida. Las llantas que por su deterioro no pueden reutilizarse son desechadas o se llevan hasta las plantas de reciclaje para separar sus componentes básicos [6].

En las plantas de reciclaje se procesan las llantas mediante procesos que separan sus partes y trituran el caucho hasta llegar a un polvo fino del cual ya se ha separado el acero y el textil, los cuales se reciclan por separado, el acero se envía a acerías para su procesamiento y el textil es utilizado como combustible en hornos de cemento [6].

El caucho triturado se clasifica en distintas granulometrías para diferentes aplicaciones, la granulometría más fina es casi un polvo, su tamaño es menor de 0,8 mm, este normalmente es el que se utiliza para la fabricación de mezclas asfálticas [6]. La siguiente clasificación es un polvo menos fino con una granulometría de entre 0,8 y 2,5 mm, se suele utilizar para el relleno en césped

artificial de canchas sintéticas o jardinería [6]. El último tamaño de granulometría está entre 2,5 a 4 mm, este es el más popular y más utilizado, se suele usar para la fabricación de pisos de parques infantiles o pistas especiales para atletismo, pisos de seguridad en geriátricos o aplicación donde se requiera de un suelo antideslizante, resistente a la intemperie y buen desempeño bajo cargas [6].

Los neumáticos triturados pueden utilizarse en hornos como sustituto de la antracita (carbón mineral) donde 1,7 Kg de llantas recicladas (end-of-life tyre - ELT) es equivalente a 1 Kg de antracita [6]. Además de la utilización del poder calorífico del neumático, todo el acero contenido en los neumáticos es reciclado. Todo ello sin que se produzcan cambios en los niveles de emisiones de ciertos contaminantes, como el polvo y los gases de la acería, este puede ser incluso menor, como en el caso de los metales pesados y CO₂ [15].

En Europa, el sector del cemento es el principal destino de llantas como fuente alternativa de combustible, en Austria el 60 % de las llantas usadas se utilizan como una alternativa de combustible en hornos de cemento, mientras que en Francia, Alemania y Gran Bretaña se utiliza el 38 %, 8 % y 6 % respectivamente [6]. En España, hay varios hornos de cemento que utilizan neumáticos enteros o triturados como Combustibles derivados de las llantas (Tire-Derived-Fuels - TDF) [6].

El clinker (Componente del cemento Portland) obtenido a partir de TDF mediante un 20 % de sustitución del combustible convencional es similar al que se obtiene utilizando únicamente carbón mineral (Coque) [6], lo cual hace que el uso de llantas usadas (ELT) en la industria del cemento sea un proceso viable.

En la actualidad, el uso de llantas recicladas como combustible alternativo está muy extendido en las industrias de Estados Unidos al igual que en Japón [6]. Los EE.UU. consumieron 39 millones de toneladas de llantas usadas en 24 fábricas de papel en 2005, en Japón usaron para este fin el 32 % de las llantas generadas en 2008, porcentaje que fue superior al utilizado en la industria del cemento en Japón que fue solo del 13 % [6].

1.1. Procesamiento de llantas usadas a nivel internacional y nacional

El reciclado de llantas se ha implementado en diferentes países, aunque el mayor desarrollo se encuentra en Europa, los cuales han desarrollado tecnologías para el aprovechamiento de llantas usadas (ELT), implementando tecnologías en alargamientos de vida útil de los neumáticos con el reencauche, tecnologías de trituración de ELT y en tecnologías de recuperación de energía como pirolisis y gasificación [6].

En Rusia, cada una de sus regiones ha establecido su propio operador municipal para gestionar la recogida de residuos, clasificar los neumáticos y enviarlos a reciclaje, así como un modelo regional de gestión de residuos [7]. Sin embargo, no todas las regiones han tenido éxito, ya que los funcionarios regionales no han logrado que este sistema sea económicamente viable [7]. Además, el gobierno no estaba dispuesto a crear sanciones financieras adicionales en forma de tasas de reciclaje para sus ciudadanos [7]. Para las llantas usadas, se espera que para cualquier propietario de automóvil o empresa de transporte lo mejor sea tirar las llantas usadas, en lugar de pagar por su correcto reciclaje. Como resultado, el dinero estatal sigue siendo una parte crucial de los programas de gestión de residuos a nivel regional en Rusia [7].

Debido a que en la mayoría de las ciudades Rusas no hay lugares reservados para la colocación permanente o temporal de este tipo de residuos sólo se lleva a cabo el reciclaje del 2,0 al 15 %, el restante es desechado al costado de las carreteras, vertederos o predios baldíos (lo cual está prohibido por ley) [7]. Todas las grandes ciudades tienen un principal problema que es los centros de recepción de llantas de desecho (ELT) y la infraestructura destinada para ello no son comunes, como resultado, en 2013 sólo se reciclaron 70 mil toneladas de productos derivados de llantas de desecho de las más de 700 mil toneladas generadas en todo el país [7].

Si bien existe una empresa pública que se dedica a la recolección de residuos en toda Rusia, según el especialista en llantas Cordiant [7], aproximadamente el 60 % del reciclaje de llantas corresponde a sólo cuatro ciudades: Volgogrado, Moscú, Smolensk y Vladimir. Particularmente, en ciudades con poca población, el sistema de recolección de llantas usadas es inexistente, lo que significa que la situación ecológica es desfavorable para estas regiones [7].

Puesto que en muchos lugares como botaderos o basureros se queman llantas que cumplieron con su vida útil, estos gases que libera el caucho son peligrosos tanto para la salud humana como para el medio ambiente, el fuego del caucho de llantas de desecho resulta en emisiones de óxidos de azufre, hidrocarburos aromáticos policíclicos, partículas finas y otros compuestos peligrosos [2]. Como consecuencia, el riesgo de cáncer es mayor para la población que vive cerca de tiraderos ilegales, basureros de llantas y también de plantas de quema de caucho [2].

Por ejemplo en 2016 alrededor de 9000 personas fueron evacuadas de sus viviendas ubicadas en Seseña cerca de Madrid (España) debido a la combustión del mayor vertedero ilegal de neumáticos de la Unión Europea (Figura 1). La estimación mostró que alrededor de 70 a 90 mil toneladas de neumáticos se acumularon en Seseña (España) durante más de 15 años [2].

Figura 1.

Incendio en Seseña



Nota. Figura 1. Labores de extinción del incendio en el cementerio de neumáticos de Seseña. Tomado de: F. Javier Barroso y P. León, “Un gran incendio en Seseña arrasa el mayor cementerio de neumáticos de España,” Ediciones EL PAÍS S.L, 14-May-2016. [Online]. Available: https://elpais.com/ccaa/2016/05/13/madrid/1463120336_194139.html.

Estas emisiones también son provocadas por accidentes en plantas de tratamiento de llantas. Por ejemplo, en 2020 un incendio de granulado de caucho en Vinderen, Polonia (productor de artículos técnicos de caucho) causó graves afectaciones a la comunidad. En la planta de reciclaje

de Elan Welshpool, Australia se presentó el incendio de un tanque de combustible, producto de la pirólisis de caucho de llantas [2].

En Europa se encuentran plantas destinadas con el reencauche de llantas donde el reencauche es un proceso que permite reutilizar una llanta desgastada colocando una nueva banda de rodadura recuperando sus características originales y alargando así más su vida útil, en Europa los principales neumáticos reencauchados son los de camiones debido a que son más aceptados en el mercado [6]. En España, la implementación más usada para el reciclado de llantas es el triturado, manejando tecnologías de triturado como la trituración criogénica donde se utiliza nitrógeno líquido para enfriar el neumático hasta temperaturas de -100 donde el caucho queda frágil y por tanto es fácil de triturar [6].

En Estados Unidos en 2017, fueron generados 249,4 millones de unidades de desechos de llantas. Se espera que en los años siguientes este número aumentará gracias al crecimiento económico que conlleva a vehículos más baratos [8].

El reciclaje de llantas es algo casi nuevo y ha logrado tener un impacto significativo en la acumulación de llantas usadas desechadas en todo el mundo. Incluso, entre 1990 y 2015, el reciclaje de llantas usadas pasó de reducir 1 millón de llantas de desecho hasta lograr reducir aproximadamente 67 millones [8]. En 2017 en los EE. UU. se consumieron 8 % de las llantas recicladas en aplicaciones de ingeniería civil, dichas aplicaciones pueden reemplazar otros materiales, como bloques de aislamiento de poliestireno, agregados de drenaje u otros tipos de relleno [8].

En Canadá cada provincia tiene un programa de organización que es la encargada y responsable de asegurarse de que las llantas de desecho se recolectan y administren de manera correcta [8]. Según Glenn Maidment, presidente y director ejecutivo de la asociación de neumáticos y caucho de Canadá, el país se ha acercado a un tratamiento cercano al 100% de sus llantas desechadas [8]. La mayor parte del reciclado de llantas usadas es polvo que se utiliza para el asfalto engomado, siendo el que más se exporta Canadá a los Estados Unidos [8].

La empresa EcoGreen, siendo una empresa de origen Canadiense ha logrado superar el número de toneladas de llantas recicladas en Estados Unidos, lograron trabajar en conjunto con empresas estadounidenses creando líneas completas de plantas de reciclaje [8].

La empresa EcoGreen hace trituración de neumáticos y su reciclaje, incluso se convirtió en el mayor proveedor de equipos de reciclaje de llantas para latinoamérica, al igual que para Colombia en el 2011 [8].

Si hablamos un poco del reciclado de llantas de latinoamérica, en México hay empresas que se encargan de recibir las llantas usadas que serán desechadas, como la empresa Firestone de México, que lanzó el programa llamado "Llantaton" en asociación con Bridgestone, que tiene como principal objetivo recuperar y reciclar las llantas que hayan finalizado su vida útil, ayudando así al medio ambiente, se han logrado recuperar con esta alternativa propuesta alrededor de 128 toneladas de llantas [9]. En México se cree que alrededor de 300 millones de llantas desechadas, 40 millones de esas llantas se tiran anualmente en botaderos o basureros y únicamente un 12% forma parte del reciclaje de llantas, que con los procesos correctos, se considera que alrededor de 500 millones de unidades serían recicladas en el futuro [9].

En Bolivia escasamente llega al 5% en reciclado de llantas, aprovechando solo el 50% de los productos obtenidos. Sin embargo, se desconoce el dato exacto de la cantidad de llantas recicladas [10]. Según datos de un estudio sobre la gestión de residuos del sector transporte en Bolivia realizado por Swisscontact en 2018, se calcula que un 4,3% es reciclado del total de las llantas generadas [10]. En Cochabamba hay empresas que reciclan las llantas, mientras que en otros lugares como Santa Cruz de la Sierra, tiene una planta trituradora que convierte las llantas en caucho granulado [10].

La empresa Boliviana Ingoqui se encarga de recoger las llantas de empresas públicas y privadas, utilizan las llantas recolectadas para producir alambre, polvo de caucho, grano, viruta de acero y fibra sintética de Nylon, materiales que son vendidos o usados por la misma empresa para fabricación de trapeadores de caucho y destapa caños, finalizando así el ciclo de reciclaje [10].

En Colombia la empresa Mundo Limpio, la cual fue creada en 2015, es un grupo de industriales que se dedicaron a realizar la disposición final de llantas usadas en Colombia, en este año la empresa realizó la disposición final de cerca de 1,4 millones de llantas [11]. La empresa Mundo Limpio produce partículas de caucho de diferentes granulometrías la cual es utilizada por la misma empresa para producir pisos de seguridad para parques infantiles, gimnasios y caballerizas [11].

En Bogotá y en algunas ciudades principales, cada distrito tiene reglamentado campañas para la recolección de llantas usadas, por ejemplo la Secretaría de Gobierno de Bogotá establecen diálogos con concesionarios y así poder disminuir el número de llantas desechadas, esta campaña se logró hacer en ocho localidades de la capital del país, con la finalidad de mejorar la cantidad de llantas en aprovechamiento de estos desechos, pues en los últimos años (2019-2021) se estima que se han reunido 73.000 llantas en espacio público, como desechos sólidos [11].

Se logra observar que la logística y procesamiento del reciclado de llantas ya sea en otros países desarrollados y en vía de desarrollo como Colombia, se implementa de manera similar, pero los avances en este temas aún son limitados. El material obtenido del reciclaje de llantas es utilizado mayormente como agregado para el asfalto de carreteras y fabricación de pisos, llevando a la necesidad de desarrollar nuevas aplicaciones para su uso.

1.2. Referentes en fabricación de maquinaria para el procesado de llantas usadas

Con la creciente necesidad de dar un tratamiento a las llantas usadas, un número grande de empresas fabrica y distribuye a nivel mundial diferentes tipos de soluciones para el corte y triturado de llantas. La información de las condiciones de operación de las máquinas comerciales es información reservada y son datos propios de cada empresa, por tal motivo datos relevantes sobre algunas condiciones de operación son escasos en la literatura, por otro lado se encuentran patentes y estudios como lo es la patente de Estados Unidos presentada por Thomas G, A, M [12] siendo una máquina que retira los alambres del talón de los neumáticos con el fin de recuperar el alambre y reciclar el neumático. Otra patente de Estados Unidos presentada por los mismos autores [13], describe una máquina de corte de llantas que retira los flancos de las llantas realizando la operación de corte en ambos flancos de la llanta simultáneamente.

A continuación serán mostradas dos empresas que fueron consideradas como referente para el desarrollo del diseño propuesto en este proyecto.

La primera empresa es la Henan Honest Heavy Machinery Co, que es una empresa China, que se especializa en investigación, producción, desarrollo y venta de equipos de procesamiento de residuos sólidos, orgánicos y electrónicos, para la protección del medio ambiente. Los productos principales de esta empresa para el procesamiento de llantas incluyen, línea de producción de caucho granulado y pulverizado, sistemas semiautomáticos de corte, extractores de acero de la llanta, trituradoras de un solo eje, trituradoras de doble eje [14]. Según La empresa Henan Honest Heavy Machinery Co, ella desarrolla sus equipos basados en el concepto de responsabilidad social, protección ambiental e innovación, basados en investigación y producción de equipos que logren ayudar al procesamiento de residuos dañinos al ambiente [14]. En la actualidad, la empresa cuenta con un centro de investigación y desarrollo tecnológico y posee varias patentes y tecnologías líderes a nivel internacional [14].

Por otro lado, la empresa canadiense *Butty MFG - Manufacturing production equipment*, es una empresa de menor tamaño que *Honest Heavy Machinery Co.* y solo se especializa en máquinas de corte de llantas, entre las que se encuentran máquinas de corte de flancos de llantas de diferentes tamaños, corte radial de llantas y corte de bandas de rodadura [15]. *Butty MFG* cuenta con una amplia trayectoria en el diseño y fabricación de soluciones para equipos de corte de llantas usadas (más de 30 años), las cuales comparten características similares con las necesidades expuestas en este proyecto, puesto que son máquinas semiautomáticas o manuales, de tamaño reducido y bajo costo . Por este motivo algunas características de operación mostradas por *Butty MFG* serán el punto de partida para el desarrollo del proyecto de diseño de una máquina para hacer el procesamiento inicial de llantas usadas, que pueda ser fácilmente transportada a diferentes localidades de Bogotá.

1.3. Tipologías de maquinaria para el reciclaje

Con el fin de que los residuos de la llanta puedan ser reutilizados en diferentes aplicaciones, la llanta pasa por cuatro procesos principales (corte de flanco, corte de anillo, remoción de acero y

corte en tiras), realizados por máquinas diferentes, posteriormente pasa a la planta trituradora donde las tiras de caucho ya cortadas se procesan dependiendo de la granulometría requerida, cada una de las cuatro máquinas de corte cumple con una tarea en el procesamiento de las llantas [14].

Para un mejor entendimiento del procesamiento de las llantas usadas se describen las partes que componen las llantas, las cuales deben ser tenidas en cuenta a la hora de realizar su procesamiento en plantas de reciclaje.

Las llantas están compuestas por cuatro categorías de materiales principales como se presenta en la Tabla 1, las máquinas destinadas a su corte y reciclaje deben trabajar bajo ciertas condiciones para que logren cortar y extraer estos materiales [16].

Tabla 1.

Las categorías de los materiales de la llanta

CATEGORÍA	Cantidad en la llanta (%)		DESCRIPCIÓN
Caucho natural y sintético	40-48		Proporción de caucho natural a sintético: 2-1 llanta de camión de camión; 4-3 llanta de automóvil. Se utilizan diferentes polímeros y aditivos en cada parte de la llanta.
Negro de humo	22-27		Una gama de negros de humo de diferentes tamaños, estructuras y características en diferentes partes de un neumático. Se utilizan tamaños más grandes en el revestimiento interior, partes más pequeñas en la carcasa y en la banda de rodadura.
Materiales de refuerzo	Metales	15-25	En los talones, correas y carcasas de una llanta de camión.
	Textiles	11-13	Los textiles se utilizan en la banda de rodadura de las llantas. El rayón natural y el nylon en la UE, en los Estados Unidos y Asia se utilizan para los cordones de las carcasas.
Otros	0-8		Los sistemas de curado pueden incluir azufre, óxido de zinc, ácido esteárico, peróxido y agentes aceleradores, antioxidantes, antiozonantes, etc., que protegen el compuesto.

Nota. Esta tabla muestra las categorías de los materiales que componen las llantas. Tomado de: Researchgate.net.

[Online]. Available:

https://www.researchgate.net/publication/49591485_Mechanical_Properties_of_Industrial_Tyre_Rubber_Compounds.

Para comprender los cuatro procesos principales para el tratamiento de las llantas usadas las máquinas que deben realizar estas tareas, inicialmente se deben entender las zonas y secciones que componen la llanta, en la Figura 2 se muestran las secciones de una llanta.

Figura 2.

Zonas y secciones de las llantas



Nota. La figura muestra las secciones y zonas que componen una llanta. Tomado de: J. L. Gómez, “¿Cuáles son los diferentes elementos que conforman un neumático? Descubre todos sus secretos,” *Diariomotor*, 17-Mar-2020. [Online]. Available: <https://www.diariomotor.com/que-es/mecanica/neumatico-elementos/>.

La figura muestra que la llanta se divide en dos secciones pero las zonas como el hombro, el flanco y el talón hacen parte de la sección de la banda lateral o pared lateral lo cual cada una se describe más adelante en la Tabla 2 y la otra sección es la banda de rodadura que es la que hace contacto con el suelo, esta sección es la más resistente ya que tiene que soportar altas cargas y desgastes [17].

Conociendo las zonas de la llanta podemos describir algunas de las máquinas disponibles en el mercado para el corte y procesamiento de las llantas usadas.

Para la realización de este proyecto se presentan máquinas que pueden ser alternativas de diseño, fue realizada la búsqueda en distribuidores especializados disponibles en la internet, los diseños son referentes tentativos de dos empresas especializadas en la creación, distribución y venta de máquinas y líneas completas para el reciclado de llantas. Fueron seleccionadas estas alternativas porque son las que mejor se acomodan a las necesidades requeridas y establecidas por el proyecto NFU-SENA-FUA, es decir, máquina semiautomática, de fácil transporte, bajo costo y fácil mantenimiento. En la Figura 3 se presenta la línea completa de máquinas semi automáticas requeridas para la realización de los cuatro procesos de tratamiento de las llantas, distribuidas por la empresa Henan Honest Heavy Machinery Co.

Figura 3.

Línea completa para el reciclaje de llantas



Nota. La figura muestra la línea completa del reciclado de llantas de máquinas semiautomáticas. Tomado de: “Línea de Reciclaje de Neumáticos Usados, Unidad Semiautomática, Bloques DE Goma Y Máquina DE Producción DE Miga - Buy Rubber Crumb Rubber Powder Rubber, Used Cement Bag Recycling Machine, Rubberized Asphalt Plant Used Rubber Powder Product on Alibaba.com,” Alibaba.com. [Online]. Available: https://spanish.alibaba.com/p-detail/Used-62453539518.html?spm=a2700.shop_plgr.41413.9.2044789dpTUY20.

Para la alternativa de diseño presentada por la empresa Henan Honest Heavy Machinery Co, el proceso se inicia con la máquina encargada de separar la pared lateral, obteniendo así dos partes de las llantas, la máquina cuenta con tres partes principales para realizar esta tarea, un sistema de transmisión de potencia que permite que la llanta gire, una cuchilla que realiza el corte y un accionamiento manual que presiona la cuchilla con la llanta que se encuentra en movimiento permitiendo el corte, en la Figura 4 se muestra la máquina cortadora manual del flanco o de pared lateral.

Figura 4.

Cortadora manual de cara



Nota. La figura muestra la maquina encargada de cortar las bandas laterales de una llanta. Tomado de: “Cortadora Manual DE Doble Cara Para Neumáticos,A Buen Precio - Buy Double Side Tire Bead Circular Cutter Machinery Equipment,Bilateral Tire Bead Circular Cutter Machinery,Tire Wall Circular Cutter Product on Alibaba.com,” Alibaba.com. [Online]. Available: https://spanish.alibaba.com/p-detail/Good-62436319662.html?spm=a2700.shop_plgr.41413.16.2044789dpTUY20.

La segunda máquina es la encargada de extraer el acero del talón de la llanta, utilizando unos rodillos que estrujan el talón triturando el caucho que rodea el acero permitiendo que el acero se extraiga manualmente por un operario. La parte principal de esta máquina son sus rodillos de acero, que son los encargados de sacar el acero, en la Figura 5 se muestra la máquina extractora de acero del talón.

Figura 5.

Extrusora de acero de llanta



Nota. La figura muestra la máquina encargada de extraer el acero de las llantas. Tomado de: “Separador DE Cuentas DE Neumáticos, Separador DE Llantas DE Acero - Buy Used Tire Bead Wire Separator Tire Rim Steel Separator, Tire Bead Wire Separator, Tire Rim Steel Separator Product on Alibaba.com,” Alibaba.com. [Online]. Available: https://spanish.alibaba.com/p-detail/Used-62096350113.html?spm=a2700.shop_plgr.41413.40.702c4f5bOZ9qNx.

La siguiente máquina es la encargada de cortar en tiras lo que quedó de la llanta, la parte sobrante siendo esta la banda de rodadura y el hombro, se coloca el restante de la llanta en las cuchillas, cortando la llanta en ambas caras y así girando la llanta van saliendo tiras de caucho, la

parte principal de esta máquina empleada son las cuchillas que son parte clave para cortar el caucho, en la Figura 6 se muestra la máquina cortadora en tiras.

Figura 6.

Cortadora de tiras de llanta



Nota. La figura muestra la máquina encargada de cortar las bandas laterales en tiras de caucho. Tomado de: “Máquina De Corte DE Bloque DE Neumático DE Larga Vida Útil - Buy Tire Wire Pulling Tire Strip Making Machine,Tire Bead Cutting Tire Chips Cutting Machine,High Quality Tire Lump Cutter For Waste Tire Recycling Product on Alibaba.com,” Alibaba.com. [Online]. Available: https://spanish.alibaba.com/p-detail/Long-62356498072.html?spm=a2700.shop_plgr.41413.30.702c4f5bOZ9qNx.

Por último la máquina que se encarga de cortar las tiras de llantas que quedaron de la anterior máquina, esta corta las tiras en pequeños cuadros de goma para así facilitar su transporte del taller hasta las plantas de reciclaje, que procesan el caucho en las granulometrías requeridas, la parte principal de esta máquina es la trituradora que puede utilizar unas navajas filosas que son las que

cortan o trituran las tiras de llantas, en la Figura 7 se muestra la máquina encargada de este último proceso antes de ser llevado todo a las plantas de reciclaje.

Figura 7.

Trituradora de tiras de llantas.



Nota. La figura muestra la máquina encargada de triturar las bandas de rodadura en pedazos pequeños. Tomado de: “Línea DE Reciclaje DE Neumáticos Usados, Unidad Semiautomática, Bloques DE Goma Y Máquina DE Producción DE Migas - Buy Rubber Crumb Rubber Powder Rubber, Used Cement Bag Recycling Machine, Rubberized Asphalt Plant Used Rubber Powder Product on Alibaba.com,” Alibaba.com. [Online]. Available: https://spanish.alibaba.com/p-detail/Factory-60718865162.html?spm=a2700.shop_plgr.41413.38.6d394f5b2bJePE

La empresa *Butty MFG* distribuye máquinas de corte como la mostrada en la Figura 8, siendo una máquina de corte de llantas no tan grandes, que permite cortar el centro de la banda de rodadura utilizando una palanca de activación manual para el levantamiento de la llanta, permitiendo que la llanta toque la cuchilla que está girando con un eje conectado al motor y finalizando con el corte,

esta máquina no necesita de girar la llanta ya que su funcionamiento se limita solo a cortar la llanta por la mitad.

Figura 8.
Cortadora de banda de rodadura



Nota. La figura muestra la máquina encargada de cortar la banda de rodadura de una llanta. Tomado de: “Home,” Buttymfg.com. [Online]. Available: <http://www.buttymfg.com/page1.html>.

La siguiente máquina es la encargada de cortar los flancos o paredes laterales de la llanta, el operario inicia cargando la llanta hasta dejarla caer en los rodillos, luego la máquina funciona con ayuda de un motor que hace girar la cuchilla y unos piñones de agarre que hacen contacto con la llanta y una roldana, luego con activación hidráulica la cuchilla hace la presión necesaria contra la llanta para realizar el corte, la llanta gira mientras se corta la pared lateral encima de unos rodillos de movimiento libre como se muestra en la Figura 9.

Figura 9.
Cortadora de flancos



Nota. La figura muestra la máquina que corta los flancos de una llanta de la empresa Butty.
Tomado de: “Home,” Buttymfg.com. [Online]. Available:
<http://www.buttymfg.com/page5.html>.

La siguiente máquina como se ve en la Figura 10, es una cortadora de llantas transversal que corta en pedazos la banda de rodadura después de que se ha cortado sus flancos, permitiendo así entregar la banda de rodadura en tamaños pequeños haciendo su fácil transporte y reduciendo su espacio, esta máquina funciona con un motor que conecta un eje y hace girar dos piñones de agarre y una cuchilla, con lo cual el operario levanta la banda de rodadura y solo tiene que ir cortando por pedazos la banda.

Figura 10.
Cortadora transversal



Nota. La figura muestra la máquina que corta en pedazos pequeños la banda de rodadura después de haber cortado las bandas laterales. Tomado de: “Home,” Buttymfg.com. [Online]. Available: <http://www.buttymfg.com/page6.html>.

En el mercado también hay máquinas automáticas, las cuales son costosas, robustas, pero con mayor rapidez de procesamiento, que se encargan de hacer todo el proceso para entregar como producto final una llanta casi en polvo. Estas máquinas a diferencia de las cuatro máquinas anteriores recibe el producto “la llanta usada” ya con el acero del anillo extraído (destalonado), para que así pueda dar como resultado la llanta triturada.

Actualmente el proceso de destalonamiento de llantas, se encuentran máquinas neumáticas que se encargan de las llantas pequeñas o máquinas hidráulicas que son utilizadas para generar mayor

fuerza y permitir la extracción del alambre. A continuación se describen las dos tipos de destalonadoras existentes en el mercado, destalonadora sencilla y destalonadora doble.

La Destalonadora Sencilla cuenta con solo un cilindro hidráulico que mediante un gancho sujeta y rasga el talón de un lado de la llanta; para hacer el destalonamiento del otro lado se necesita desmontar la llanta y girarla para reiniciar el proceso [18]. Como se puede ver en la Figura 11.

Figura 11.

Destalonadora sencilla.



Nota. La figura muestra la destalonadora sencilla encargada de extraer el acero con un gancho neumático. Tomado de: “Destalonadora De Llantas De Camión 03,” 10-Aug-2017. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=0eQjSAocfVE> .

Las destalonadoras dobles no son tan usadas, son máquinas un poco más costosas y robustas, sin embargo, más eficientes, ya que cuentan con 2 cilindros hidráulicos que se accionan al mismo tiempo o con dos ganchos que giran al mismo tiempo, utilizando la fuerza hidráulica o con motor sujetan ambos talones y los rasgan al mismo tiempo obteniendo un desalambriamiento de la llanta sin requerir desmontarla, como se observa en la Figura 12 [18].

Figura 12.

Destalonadora doble.



Nota. La figura muestra una destalonadora de gancho doble de activación neumática. Tomado de: “Máquina/tirador/Debeader/removedor/extractor/separador del trefilado del grano del neumático de la basura/del desecho,” Made-in-china.com. [Online]. Available: https://es.made-in-china.com/co_cxrubbermachine/product_Waste-Scrap-Tire-Bead-Wire-Drawing-Machine-Puller-Debeader-Remover-Extractor-Separator_euhrsyyny.html .

Después de que se extrae el acero con ayuda de estas destalonadoras, que son mucho más rápidas, se pasa a la línea completa de triturado, que se muestra en la Figura 13, encargada de entregar la llanta en las granulometrías deseadas.

Figura 13.

Línea de reciclaje industrial de llantas.



Nota. La figura muestra la línea de reciclaje industrial que son máquinas encargadas de entregar el caucho en diferentes tamaños de grano. Tomado de: “Reciclaje DE Residuos DE Neumáticos DE La Línea DE Producción DE Granulado DE Caucho Polvo DE Caucho - Buy Rubber Crumb Rubber Powder Rubber,Tire Granulator,Rubberized Asphalt Plant Used Rubber Powder Product on Alibaba.com,” Alibaba.com. [Online]. Available: https://spanish.alibaba.com/p-detail/Waste-62435998391.html?spm=a2700.shop_plgr.41413.12.6b4e789dQ3wq8P.

En el proyecto NFU-SENA-FUA, se desea enfocar el diseño de máquinas que realicen el proceso de corte de las llantas usadas, de manera semiautomática, con bajo costo, fácil mantenimiento y transporte, para realizar el corte de las llantas usadas en los propios talleres donde es desechada y hacer más fácil su transporte hasta la planta de reciclaje y así aprovechar más espacio en el transporte, permitiendo reciclar más llantas en menos tiempo.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Las llantas y su impacto ambiental

Los residuos sólidos poliméricos constituyen un grave problema ambiental, entre estos encontramos el caucho proveniente de las llantas. Una vez que las llantas se amontonan en vertederos o depósitos de chatarra, existe una alta posibilidad de liberar algunas sustancias químicas al viento, al suelo y al agua que alterarían el ecosistema. Con el simple hecho de que una llanta esté bajo el sol todo el día, una llanta libera gas metano en el aire [19]. Este gas es de efecto invernadero aumentando la huella de carbono en el medio ambiente y contribuye al cambio climático y si la llanta se incinera, libera nubes de humo negro tóxico, este humo es el que lleva consigo varios de los productos químicos que se aplican en la fabricación de llantas. Por esta razón, los incendios de llantas en los vertederos o botaderos son imposibles de extinguir con agua, una vez que se rocía agua sobre esta clase de fuego, los productos químicos se mezclan con el agua, después tienen la posibilidad de filtrarse en las reservas de agua bajo tierra y contaminar estanques o lagos [19].

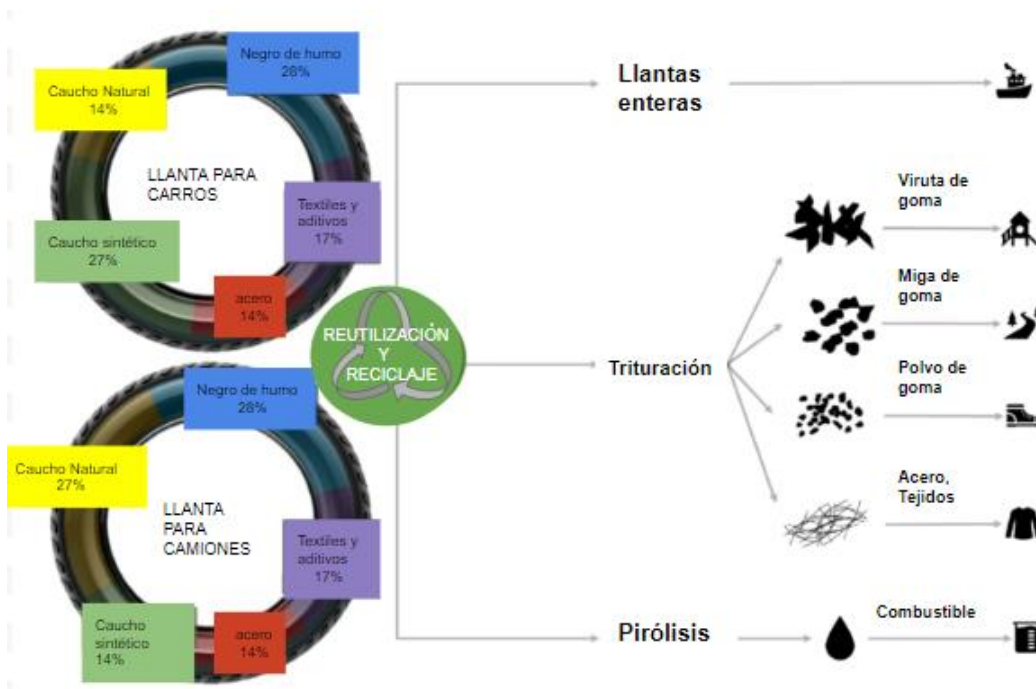
Conforme con la Alianza Universal para la Conservación de la Naturaleza (IUCN por sus siglas en inglés), en torno al 28 % de los residuos plásticos que contaminan los mares todos los años nace de pequeños escombros realizados por las llantas y sus textiles [20]. Según cifras de la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales (DIAN), en Colombia en el año 2020 se importaron 1.350.000 llantas, de las cuales se reencauchó solo un 29 %. El total de llantas utilizadas que acabaron en calles y rellenos sanitarios ha sido de 958.500 unidades [20].

Las llantas ocasionan altas cotas de contaminación ambiental si no son manipulados de manera correcta luego de su implementación. Comúnmente los procedimientos que se han usado para remover dichos residuos ha consistido en la quema y el depósito de neumáticos utilizados en vertederos o en las calles, ocasionando inconvenientes por la degradación química parcial que éstos padecen, a lo que se suma la proliferación de roedores, insectos y otros animales perjudiciales que las montañas de neumáticos producen [21].

Actualmente diferentes organizaciones públicas y privadas se encuentran realizando investigaciones de metodologías para el reciclaje de llantas usadas (ELT), como se muestra en la siguiente Figura 14, donde a las llantas ya sean de camión o de carros después de que terminan su ciclo de vida, estas pueden pasar por 3 opciones para su reciclado o su reutilización, una opción es que las llantas enteras sean llevadas para su proceso de reencauche para alargar su vida útil, una segunda opción es reciclar estas llantas por medio de trituración ya sea para obtener viruta, miga, polvo de goma o acero para diferentes usos dependiendo del tamaño de triturado ya sea para asfalto, pisos de parques o para prendas de vestir y como ultima opcion esta el tratado de llanta por medio de pirólisis que se utiliza este método para obtención de combustible derivado de la llanta.

Figura 14.

Ciclo de la reutilización y el reciclado de llantas.

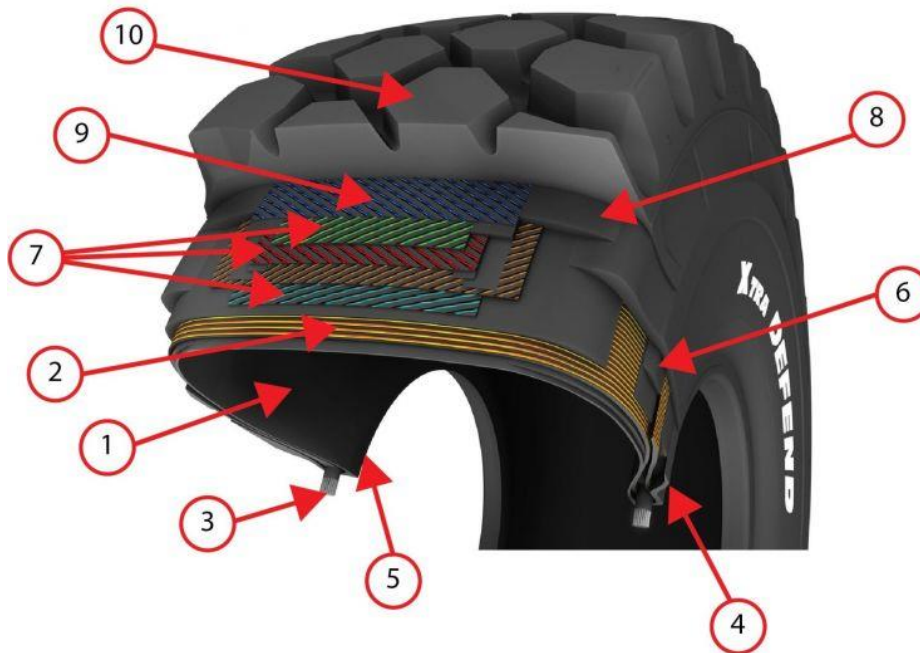


Nota. La figura muestra el ciclo del reciclado y reutilización que puede tener la llanta en fuera de uso. Tomando de: B. A. Monge and R. Página, Upv.es. [Online]. Available: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/149591/Monge%20-%20Dise%C3%B1o%20del%20proceso%20de%20reciclaje%20y%20reutilizaci%C3%B3n%20de%20neum%C3%A1ticos%2C%20introducci%C3%B3n%20en%20la%20econom%C3%AD...pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

2.2. Partes de las llantas

La llanta es un objeto de goma con forma de anillo circular sólido o hueco, fabricado de caucho y reforzada habitualmente con materiales textiles y acero, la cual es montada en un rin [22]. En la Figura 15 y en la Tabla 2 se muestran y describen los componentes que conforman una llanta.

Figura 15.
Componentes de una llanta.



Nota. La figura muestra los diferentes componentes que conforman o hacen parte de la llanta. Tomado de: J. L. Gómez, “¿Cuáles son los diferentes elementos que conforman un neumático? Descubre todos sus secretos,” Diariomotor, 17-Mar-2020. [Online]. Available: <https://www.diariomotor.com/que-es/mecanica/neumatico-elementos/>.

Según lo presentado en la Tabla 2, una llanta está formada por una gran variedad de materiales los cual dificulta su tratamiento después de terminar su vida útil, requiriendo especial cuidado para su reciclaje o uso en otras aplicaciones.

Tabla 2.*Partes de una llanta.*

No	NOMBRE DE LA PARTE	DESCRIPCIÓN
1	Alma interna	Es una capa de caucho bastante fina, que se halla en el centro de la llanta, de talón a talón, y cuya funcionalidad es garantizar su agarre del mismo.
2	Lona de carcasa	Es una capa conformada de cables cubiertos de caucho, dispuestos al mismo tiempo entre sí. En las llantas radiales, tiene por objeto estabilizar el neumático.
3	Talón	Es un anillo con alta resistencia y rigidez compuesto por un cable de acero trenzado. Se ubica en el área del talón, de manera que garantiza la fijación de la llanta.
4	Banda de protección de talón	Es una banda de caucho sobre la que se secundan los alambres de talón, y que salvaguarda la llanta de probables rozaduras.
5	Relleno de talón	Es un relleno de caucho que se sitúa en el área entre los alambres de talón y la lona de carcasa. Su funcionalidad es la de mejorar la estanquidad de la llanta.
6	Relleno lateral	Es una banda de caucho situada en los flancos de la llanta, su funcionalidad es defender las lonas de carcasa contra impactos, abrasión e incrementar su resistencia a fatiga.
7	Cinturón	Son unas lonas iguales a las lonas de carcasa ubicadas entre los hombros del neumático.
8	Cuñas el cinturón	Son unas láminas de caucho resistentes a la fatiga que se ubican en los extremos del cinturón. Su funcionalidad es prevenir que los hilos del cinturón se rompan.
9	Capa de recubrimiento	Es una lona de fibras textiles que cubre el cinturón y que va más allá de los extremos del mismo.
10	Banda de rodadura	Es una capa de caucho de alta cohesión y resistencia al desgaste, se sitúa en la parte externa del neumático, entre los hombros.

Nota. La tabla muestra los nombres y la descripción de cada uno de los componentes de la llanta. Tomado de: J. L. Gómez, “¿Cuáles son los diferentes elementos que conforman un neumático? Descubre todos sus secretos,” *Diariomotor*, 17-Mar-2020. [Online]. Available: <https://www.diariomotor.com/que-es/mecanica/neumatico-elementos/>.

2.3. Tipos de llantas en el mercado

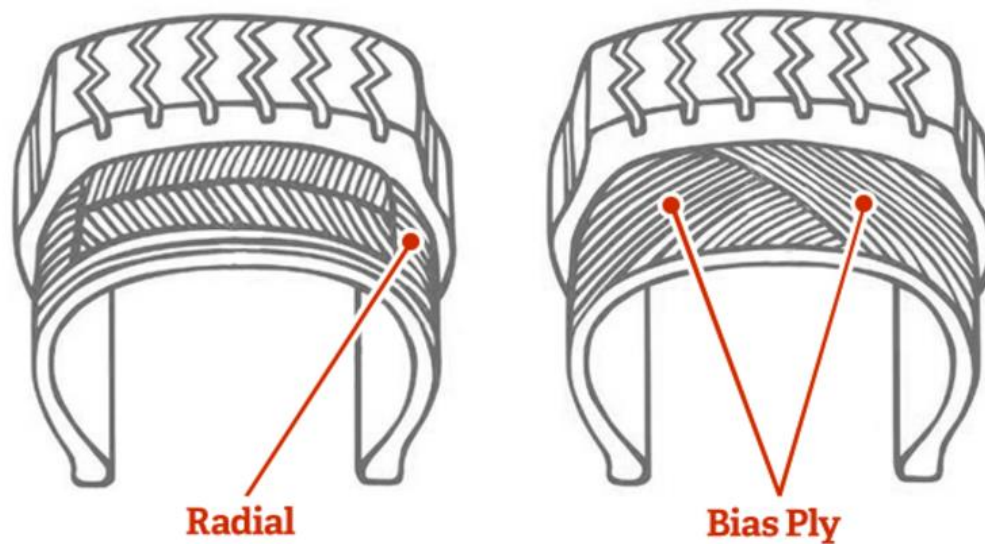
Existen diferentes tipos de llantas que se venden en el mercado y este tipo de llantas se caracterizan conforme a sus características constructivas, el tipo de grabado de la banda de rodadura, el modo de uso y la temporada o estación del año (para países con estaciones), dependiendo de estas características mencionadas se sabe que función va a cumplir cada llanta a la hora de su fabricación [23].

2.3.1. Tipo de llanta por su construcción

En la construcción de llantas son utilizados dos tipos de configuraciones de refuerzo, radiales y diagonales (la llanta convencional) en la Figura 16 se muestran los dos tipos de construcción.

Figura 16.

Tipos de llantas.



Nota. La figura muestra los dos tipos de construcción de llantas radiales y convencionales. Tomado de: “Neumáticos radiales contra convencionales,” Importadora Guillén, 11-Apr-2019. [Online]. Available: <https://importadoraguillen.com/neumaticos-radiales-contra-convencionales/>.

El diseño y construcción de llantas radiales muestra una banda lateral (flanco y hombro) y una banda de rodadura que funcionan independientemente, usan correas de acero que ofrecen como consecuencia menos capas, lo cual posibilita que la llanta sea más flexible, estas correas de acero además resisten cortes y pinchazos [24]. La más grande flexibilidad y resistencia supone que el neumático absorbe mejor los golpes y los impactos, lo cual resulta en una marcha muchísimo más dócil y más cómoda para los pasajeros. La obra radial además transfiere más grande adhesión entre la llanta y el suelo [24].

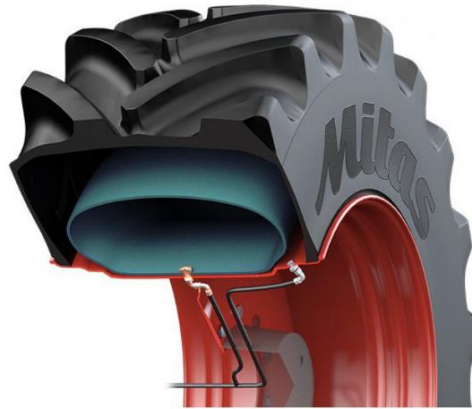
Las llantas diagonales siguen construidas con diversas capas de goma que se superponen una con otra [24]. Cada una de las capas se prolongan entre los muros laterales y conforman una capa gruesa que es menos flexible y más sensible al sobrecalentamiento. Las llantas de creación diagonal permanecen compuestas de tejido interno y cruzado dispuesto en forma diagonal en la carcasa, conformando ángulos entre 40 y 45 grados [24]. La superposición de las capas que van de lado se hallan con los flancos y en la parte preeminente de la llanta aportando una rigidez mayor, aunque su punto más débil es la estabilidad lateral [24].

2.3.2. Tipo de llanta con cámara y Tubuleless (sellomatic)

Existen dos tipos de neumáticos: con cámara y sin cámara, o tubeless o sellomatic . Con cámara es un tipo de bomba de tubo o cámara colocada en el interior de la llanta, como se muestra en la Figura 17 [23]. Aunque todavía se utilizan en neumáticos de camiones y algunas motocicletas, pocos vehículos todavía utilizan este tipo de neumáticos y tienden a ser reemplazados por tubeless o sellomatic [23].

Figura 17.

Llanta con cámara.



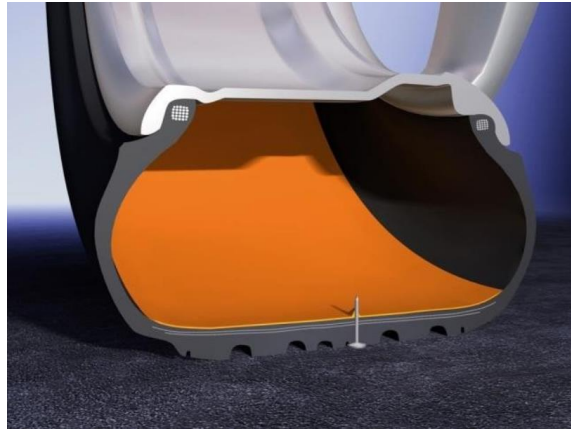
Nota. La figura muestra el tipo de llanta con cámara en el interior. Tomado de: “¿Cuántos tipos de neumáticos para coche existen?” Auto10.com | Expertos en coches. [Online]. Available:

<https://www.auto10.com/reportajes/cuantos-tipos-de-neumaticos-para-coche-existen/5412>.

Una llanta sin cámara (tubeless) es una llanta que no requiere cámara de aire y tiene una capa aislante hecha de una goma especial en el interior que sella el neumático a la llanta [23]. La cubierta funciona como una cámara además de su función propia y tiene una construcción convencional con la particularidad de estar diseñada y fabricada para que pueda instalarse sin necesidad de usar una cámara, como se muestra en la Figura 18. [23].

Figura 18.

Llanta Tubeless.



Nota. La figura muestra el tipo de llanta en el mercado llamado Tubeless. Tomado de: “¿Cuántos tipos de neumáticos para coche existen?,” Auto10.com | Expertos en coches. [Online]. Available: <https://www.auto10.com/reportajes/cuantos-tipos-de-neumaticos-para-coche-existen/5412>.

2.3.3. Tipo de llanta de temporada

Las llantas según su diseño y fabricación sirven para cierta estación del año, existen llantas de verano, llantas de invierno y las denominadas All season o todo tiempo [23].

Las llantas de verano se pueden utilizar en cualquier época del año, a menos que haya nieve. Porque sus características de diseño y construcción están optimizadas para mejorar el agarre, reducir la resistencia a la rodadura y permitir una conducción más suave y precisa en comparación con los neumáticos de invierno (Figura 19) [23].

El neumático de invierno está fabricado con un compuesto especial para mejorar el agarre a bajas temperaturas y está diseñado con un dibujo especial de la banda de rodadura que se agarra a la nieve [23]. No es un neumático que solo deba usarse en carreteras nevadas, ya que se comporta mejor que cualquier otro tipo de neumático con lluvia y temperaturas exteriores por debajo de los 7 grados centígrados [23].

Figura 19.

Llanta de verano y de invierno.



Nota. La figura muestra el tipo de llanta para verano y de invierno. Tomado de: “¿Cuántos tipos de neumáticos para coche existen?,” Auto10.com | Expertos en coches. [Online]. Available: <https://www.auto10.com/reportajes/cuantos-tipos-de-neumaticos-para-coche-existen/5412>.

Actualmente hay fabricantes que venden llantas para todas las estaciones o para todo clima que no ofrecen los beneficios de las llantas de invierno sobre nieve y hielo, pero con más surcos y un dibujo más profundo de la banda de rodadura, como se muestra en la Figura 20, brinda una mayor profundidad, para una buena conducción y buen agarre en zonas invernales donde la temperatura exterior no es demasiado fría y la temporada de nieve es corta [23].

Figura 20.

Llanta All Season.



Nota. La figura muestra el tipo de llanta en el mercado llamada All Season. Tomado de: “¿Cuántos tipos de neumáticos para coche existen?,” Auto10.com | Expertos en coches. [Online]. Available: <https://www.auto10.com/reportajes/cuantos-tipos-de-neumaticos-para-coche-existen/5412>.

2.3.4. Tipo de llantas simétricas, asimétricas y direccionales

La llanta con diseño simétrico es el tipo de llanta más corriente en los coches compactos o urbanos, su diseño en la banda de rodadura es simple y básica siendo una línea recta, garantizando una buena adherencia, confort y larga vida útil, este tipo de llanta no tiene sentido de montaje por lo que es fácil de montar y de rotar sin riesgo de cometer errores [23].

Las llantas con diseño asimétrico tienen un grabado diferente en la parte interna y la parte externa de la llanta, donde una parte es optimizada para drenar el agua y la otra para mejorar más el agarre en seco. Esta llanta tiene un solo sentido de montaje y los flancos marcan el sentido de cómo se debe montar [23].

Las llantas direccionales tienen un grabado en forma de V o flecha, conocidos como espina de pez siendo perfectas para la evacuación del agua, tienen un solo sentido de rotación lo que hace que este tipo de llanta sea importante respetar la dirección de montaje, un montaje incorrecto conduce a una menor tracción direccional en la humedad y menos estabilidad de frenado y también suelen ser utilizadas para invierno [23]. En la Figura 21 se permite detallar más el diseño de la banda de rodadura.

Figura 21.

Llanta simétrica, asimétrica y direccional.



Nota. La figura muestra el tipo de llanta con una banda de rodadura simétrica, asimétrica y direccional. Tomado de: “¿Cuántos tipos de neumáticos para coche existen?,” Auto10.com | Expertos en coches. [Online]. Available: <https://www.auto10.com/reportajes/cuantos-tipos-de-neumaticos-para-coche-existen/5412>.

2.3.5. Tipo de llanta Ecológica

Un número cada vez mayor de fabricantes produce neumáticos ecológicos, que mejoran la resistencia al rodamiento y la eficiencia del combustible añadiendo materiales reciclables a los

mismos materiales que los neumáticos normales y diseñando patrones de dibujo. Hoy en día, este tipo de neumático no compromete el agarre ni la durabilidad, lo que se traduce en un ahorro de consumo, equivalente a un ahorro de combustible de casi 200 litros para un neumático que dura de 45.000 a 50.000 km [23].

2.3.6. Tipo de llanta reencauchada

Una llanta reencauchada es una llanta que utiliza bandas laterales y reemplaza la banda de rodadura por una banda de rodadura nueva para extender la vida útil de la llanta. Actualmente ya no se usa para automóviles de pasajeros y ahora se usa para neumáticos de camiones y aviones. La clave para el reencauchado es que los neumáticos se diseñan y fabrican teniendo en cuenta su posterior reencauchado. En la Figura 22 se muestra el proceso del reencauchado de una llanta usada para así después volver a ser vendida y utilizada.

Figura 22.
Llanta reencauchada.



Nota. La figura muestra el tipo de llanta cuando se puede reencauchar y volver a vender para darle más tiempo de uso. Tomado de: “¿Cuántos tipos de neumáticos para coche existen?” Auto10.com | Expertos en coches. [Online]. Available: <https://www.auto10.com/reportajes/cuantos-tipos-de-neumaticos-para-coche-existen/5412>.

3. PARÁMETROS DE DISEÑO

Para el diseño de una máquina que corte las paredes laterales de una llanta separando el flanco y el talón de la banda de rodadura y que cumpla con las necesidades planteadas, es decir, tamaño compacto para ser transportada, ser una máquina de operación manual de bajo costo y con la capacidad de operar con diferentes tamaños de llantas que permitan el fácil transporte de las piezas cortadas a un sitio de procesamiento final, se deben tener en cuenta ciertas condiciones para el diseño y selección de los diferentes componentes de la máquina, a continuación se describen los parámetros y condiciones bajo los cuales se realizará el diseño.

3.1. Tamaño y peso de la llanta

Se desea diseñar una máquina para los tamaños de llantas más usuales en el parque automotor de las ciudades, para así lograr reducir la cantidad de llantas que resultan en los rellenos sanitarios y botaderos, ocasionando daños al medio ambiente.

Para seleccionar el tamaño de la llanta debemos tener en cuenta la seguridad del operario, ya que en la mayoría de las empresas las operaciones de carga y transporte manual de materiales es un trabajo donde ocurren lesiones frecuentes, para evitarlas, es recomendable que en tareas repetitivas se disminuya el peso manejado, siendo 25 kg el peso máximo recomendado para un operario que trabaja 8 horas continuas [25]. A continuación, en la Tabla 3 se muestran los tamaños de llantas más usadas en Colombia, con sus especificaciones de peso y usos.

El tamaño requerido por el proyecto NFU-SENA-FUA es de 22,5 pulgadas que constituyen el parque automotor de transporte público y de carga pesada. La finalidad del proyecto es que la máquina pueda trabajar con ese tamaño de llanta máximo y de acuerdo con la información anterior una llanta de ese tamaño pesa 47 kg sobrepasando el peso máximo que se recomienda que un operario levante para evitar complicaciones con la salud que es de 25 kg, debido a que ese tamaño de llanta sobrepasa el peso máximo es necesario que el diseño de la máquina tenga un diseño ergonómico y práctico, donde el operario no tenga que levantar completamente la llanta, resguardando la salud del operario.

Tabla 3.*Tamaño y peso de las llantas implementadas*

Tamaño de Rin (Pulg)	Peso (kg)	Implementación de la llanta en su uso
13	2 - 4	Se utiliza en todos los taxis de Colombia, lo que quiere decir que hay una alta demanda de uso de este tamaño.
14	5 - 7	Es utilizada en muchos vehículos de pequeño tamaño.
15	22	Esta medida es la más común usada en los automóviles de las ciudades.
17	33	
18	35	Esta medida es utilizada en autos un poco más grandes como las camionetas.
19	40	
20	41	
22.5	47	Vehículos de carga pesada, camiones de gran tamaño
24.5	60-70	Vehículos de trabajo industrial de un gran tamaño

Nota. La tabla muestra los tamaños más comunes de llantas y su peso. Tomado de: [14]“Buscador llantas,” Com.co. [Online]. Available: <https://www.michelin.com.co/auto/llantas-para-autos-suv-y-camionetas>. [Accessed: 23-Jul-2022].

3.2. Fuerza de corte

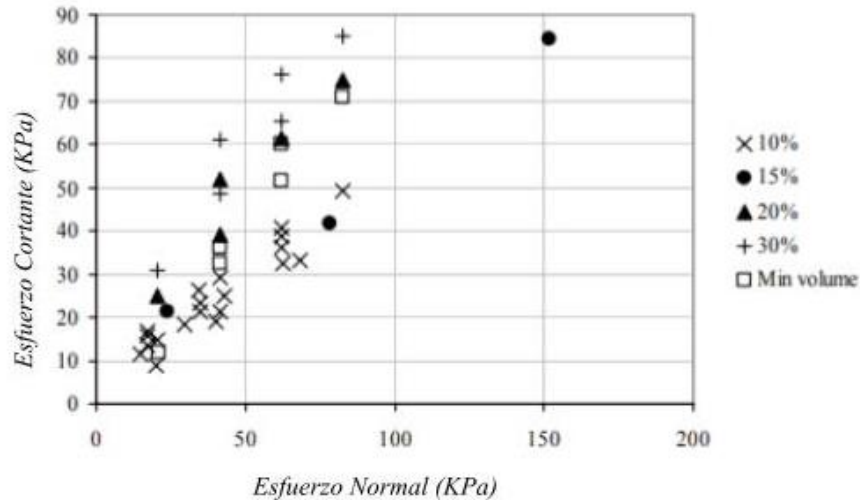
Para el proceso de corte de las llantas es necesario conocer la fuerza requerida para que una cuchilla pueda penetrar y realizar el corte de la banda lateral, debido a que en el mercado se manejan diferentes tamaños de llantas y que cada tamaño tiene un espesor propio, la fuerza necesaria para el corte va a variar dependiendo del espesor de la llanta. Para el diseño propuesto los cálculos serán realizados con la condición más crítica la cual es presentada por la llanta de mayor peso y mayor espesor de pared.

Para el triturado de llantas usadas se manejan diferentes fuerzas puesto que algunas zonas de la llanta son más resistentes que otras por los materiales que las componen, entonces la fuerza requerida para cortar la parte la pared lateral de la llanta es menor a la fuerza requerida para la parte de la banda de rodadura [26], como la máquina a diseñar tiene como finalidad cortar la pared lateral de la llanta la fuerza necesaria para realizar el corte será menor. En el trabajo realizado por García, H.J. [27], desarrollaron un análisis numérico de una máquina trituradora para generar material particulado de caucho para su aplicación en diferentes sectores como la construcción civil, artesanal y el vial, como agregado en la materia prima, donde estimaron la fuerza y momento requerido para el corte de la llanta utilizando dos ejes en paralelo, teniendo como resultado una fuerza de corte de 162 KN, basándose con las características de una llanta de tamaño de 22.5 pulgadas [27], es importante destacar que esta trituradora procesa la llanta completa, por tal motivo esta fuerza debe ser mayor que la necesaria para realizar el corte del espesor de la llanta en la pared lateral. En otro estudio se realizaron pruebas de laboratorio [26], donde se obtuvieron las fuerzas de corte en neumáticos de tamaño Rin 14, se realizaron 10 muestras y 16 perforaciones con un punzón de diámetro 8 mm y se obtuvo una fuerza estimada de corte de 2630 N en la banda de rodadura y 1100 N en la cara lateral [26].

Edeskär, 2006 [28], en su tesis doctoral presenta el estado del arte de los valores de esfuerzo cortante determinado en laboratorio para llantas, los resultados son mostrados en la Figura 23, donde se presenta que los valores de esfuerzo cortante varían con el esfuerzo normal aplicado en las muestras. Donde el esfuerzo cortante se evalúa con un criterio de deformación de 10%, 15%, 20% y 30%.

Figura 23.
Resultados de laboratorio.

Utilización del triturado de llantas en aplicaciones de ingeniería civil

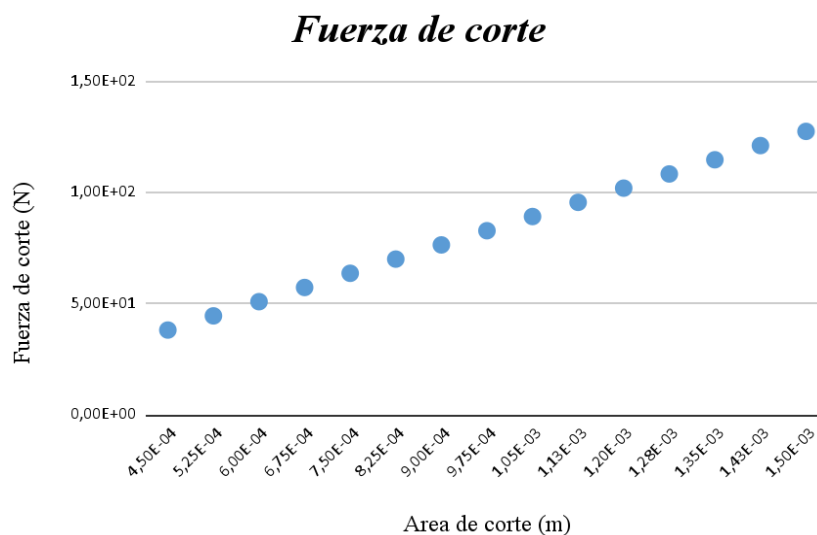


Nota. La figura muestra los resultados obtenidos en el laboratorio realizado para determinar el esfuerzo cortante de una llanta donde se implementan diferentes porcentajes de deformación para determinar el esfuerzo cortante del caucho. Tomado de: T. Edeskär, “Use of tyre shreds in civil engineering applications : technical and environmental properties,” 2006.

A partir de los valores de la Figura 23 se realiza un análisis para intentar determinar la fuerza necesaria para realizar el corte de una llanta, para tenerlo como referencia en el presente trabajo. Se tomó un valor máximo de esfuerzo cortante de 85 kPa con una deformación de 30%, un espesor medio de pared de la llanta de 15 mm y valores variables de longitud de corte, para determinar el área, fue multiplicando el esfuerzo cortante por el área a ser cortada y se obtuvo la fuerza, en la Figura 24 se grafica la fuerza en función del área de corte, mostrando que la fuerza llega a valores máximos de 127 N en una longitud de corte de 10 cm, estos valores resultan bajos cuando comparados con los mostrados por M. F. Ortiz [26].

Figura 24.

Gráfica de fuerza de corte.

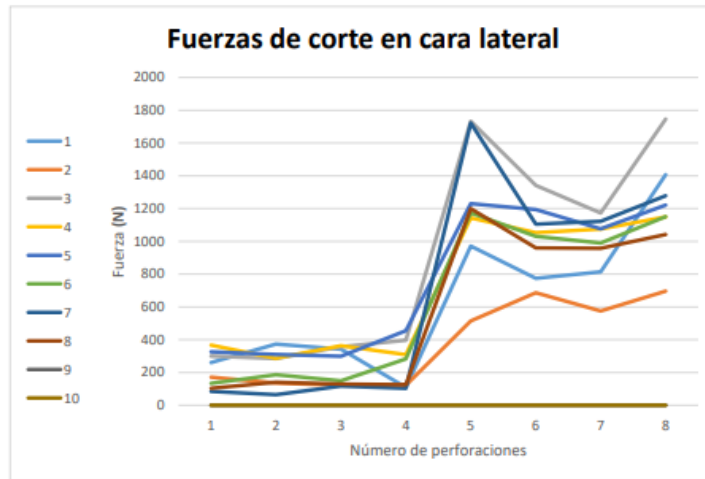


Nota. La figura muestra los resultados obtenidos de la fuerza de corte a partir de los datos de la referencia [28].

Vasconez, 2021 [29] diseñó una máquina trituradora de llantas, encontrando en la literatura valores bajos de fuerza de corte algunos de estos valores son bajos como los obtenidos en el análisis de la Figura 25.

Figura 25.

Fuerza de corte de banda lateral.



Nota. La figura muestra los diferentes resultados obtenidos en una prueba de laboratorio de una llanta, donde muestra las fuerzas de corte para la banda lateral. Tomado de: V. Jaramillo and A. Virginia, “Diseño de máquina trituradora para la obtención de partículas de caucho a partir de neumáticos pre-cortados,” 2020.

En el análisis realizado en el diseño de la máquina trituradora [29], los investigadores determinaron que la fuerza con la cual se diseñaría la máquina es un valor máximo de 1733 N [29].

Basados en los resultados mostrados en los estudios de fuerza de corte de llantas, se optó por utilizar una fuerza de corte, para el diseño de la máquina, de 1733 N para el corte de la banda lateral, el cual es superior al mostrado por Ortiz en su diseño [26].

3.3. Velocidades de proceso

Para lograr determinar la velocidad bajo la cual se realizará el proceso de corte de la pared lateral de una llanta nos basamos en la siguiente información, primero se realizó la consulta de las velocidades típicas de operación de maquina comerciales como la cortadora de llantas manual TC100 de la empresa *Butty MFG*, que corta la llanta en dos partes y maneja un promedio de 125 cortes por hora, con tamaños de llanta medianos y pequeños (menores de RIN 18 in) entregando mil llantas por día y la máquina de corte de banda semi automatica de referencia SW200 de la

misma empresa, que corta las dos caras laterales, es decir dos cortes por llanta, que entrega un total de 90 llantas por hora y un total de 720 llantas al día [15].

Para la selección de la velocidad de cortes por día se seleccionó la velocidad entregada por la máquina manual, la cual realiza 1000 cortes por día, así tendremos velocidad promedio para la máquina de corte de las dos caras laterales de 500 llantas al día, con un trabajo de la máquina de 8 horas por día. Para conocer el tiempo que tarda en cortar una cara de la llanta, se realiza el cálculo partiendo de la suposición de 500 llantas/día, valor obtenido de las máquinas comerciales manuales.

500 llantas -----> 8 horas

63 llantas -----> 1 hora

1 llanta <----- 0,016 horas (58 s)

Para lograr entregar 500 llantas al día, la máquina tardará 58 segundos (anexo A) en cortar una sola llanta. Tomando como referencia la demostración de operación de la máquina de SW200 [30], la máquina tarda 40 segundos en realizar los dos cortes, teniendo en cuenta el tiempo que toma ponerla a funcionar, luego voltear la llanta, quitar la banda cortada y volverla a poner a funcionar el tiempo efectivo de corte total de la llanta es de 20 segundos. Lo que significa que para cortar una sola cara tardaría 10 segundos aproximadamente [30].

El tiempo mínimo estimado que tardaría en cortar una cara sería de 9 seg (0,15 min), sabemos que el diámetro de la llanta de rin 22,5 tiene una medida máxima de 1,143 m ($r = 0,5715$ m). Con este valor extremo determinamos el perímetro de la llanta que debe ser cortado, así tenemos que el perímetro es de $S=3,59$ m (anexo A).

Con este valor de la distancia que debe ser cortada, determinamos la velocidad lineal de corte como presentado a seguir:

$$V_{lineal} = \frac{X}{t} \quad (1) \quad S = X$$

V_{lineal} : velocidad en metros sobre segundos de la llanta

x: perímetro a ser cortado.

t: tiempo.

$$V_{lineal} = \frac{3,59 m}{9 s} = 0,40 \frac{m}{s}$$

A partir de la velocidad lineal determinamos la velocidad angular (ω) a la cual debe girar la llanta, mediante la ecuación (2)

$$V_{lineal} = \omega_{ll} * r_{ll} \quad (2)$$

ω_{ll} : Velocidad angular de la llanta.

r_{ll} : Radio de la llanta.

$$\omega_{ll} = \frac{0,40 m/s}{0,5715 m} = 0,70 \frac{rad}{s}$$

Para determinar la velocidad angular de la cuchilla de corte, hacemos la relación de velocidad tangencial entre llanta y cuchilla la cual es la misma (llanta y de la cuchilla), así podemos decir que:

$$\omega_{ll} * r_{ll} = \omega_c * r_c \quad (3)$$

ω_c : Velocidad angular de la cuchilla.

r_c : Radio de la cuchilla.

Nota: Se despeja ω_c para conocer la velocidad angular con la que gira la cuchilla.

$$\omega_c = \frac{\omega_{ll} * r_{ll}}{r_c}$$

$$\omega_c = \frac{0,70 \frac{rad}{seg} * 0,5715 m}{0,054 m}$$

$$\omega_c = 7,41 \frac{rad}{s}$$

Así, obtenemos la velocidad en rpm

$$n_u = 0,70 \frac{rad}{s} * \frac{60}{2*\pi} \quad (4)$$

$$n_u = 6,68 \text{ rpm} \approx 7 \text{ rpm}$$

$$n_c = 7,41 \frac{rad}{s} * \frac{60}{2*\pi} \quad (4)$$

$$n_c = 70,76 \text{ rpm} \approx 71 \text{ rpm}$$

Como resultado final obtenemos la velocidad media necesaria entregada por el motorreductor, la cual será de 71 rpm y a esa velocidad se realizarán los cálculos de todo el proceso.

3.4. Características básicas de la máquina por diseñar

Para que el diseño de la máquina destalonadora de llantas sea óptimo es necesario tener en cuenta las características a cumplir para su funcionamiento y finalidad de forma que el diseño se adapte al espacio disponible y que de esta forma supla las necesidades de este proyecto. Los requerimientos del proyecto NFU-SENA-FUA son de seguridad al operario, realización de uno de los cuatro procesos de corte de las llantas usadas, tamaño de la máquina y eficiencia de la operación.

- *Seguridad del operario.* Debido a que las máquinas diseñadas empíricamente no cuentan con sistemas de seguridad adecuada, el operario está expuesto a sufrir algún accidente mientras las opera, además, de tener que levantar grandes pesos. Con el desarrollo de este diseño se busca disminuir el riesgo de lesiones al que pueden estar expuestos los operarios, debido a la gran cantidad de operaciones de corte por día, por lo que es necesario que en el diseño se evite cualquier tipo de riesgo para los operarios, como evitar que las cuchillas estén expuestas o sean de fácil contacto con los operarios.
- *Proceso de corte de bandas laterales.* Dado que son 4 procesos para el proceso de reciclado final de la llanta, se desea que se reduzca el tamaño de la llanta para disminuir el volumen, para esto se realiza el proceso de corte para quitar las bandas o paredes laterales de las llantas.

- *Tamaño de la máquina.* Puesto que estas máquinas para el reciclado de llantas usadas (ETL) generalmente son usadas en un sitio fijo, el proyecto NFU-SENA-FUA requiere que la máquina se pueda transportar a diferentes localidades de la ciudad, por tal motivo la máquina diseñada debe ser de tamaño compacto donde las medidas de la máquina estén alrededor de 0.8m largo x 0.8m ancho x 1.20m largo.
- *Eficiencia.* En el diseño propuesto se busca que la máquina tenga la transferencia de potencia directa para que la máquina no presente pérdidas mecánicas, también evitando tener mayor cantidad de componentes para la máquina, con lo que se pretende disminuir el costo de fabricación y mantenimiento, es decir no se utilizaran elementos móviles como correas, poleas, engranajes y cadenas.

4. ALTERNATIVAS DE DISEÑO

El diseño de la máquina para el corte de la banda lateral de llantas usadas puede ser abordado de diferentes maneras de acuerdo con los parámetros de diseño presentados, a continuación, será realizado un análisis de las posibles opciones de diseño respecto a los requerimientos del proyecto, donde se presentan alternativas de diseño para llegar a la mejor solución para el problema planteado.

Se eligió un procedimiento de puntuación para evaluar las alternativas de diseño en el que se determina una puntuación global (scoring) a partir de la suma de las contribuciones logradas de cada criterio. Si hay varios criterios con diferentes escalas (porque no se pueden sumar directamente), se requiere un proceso de normalización previo para sumar la contribución de cada atributo [31]. La metodología de evaluación ayudará a determinar las alternativas que mejor se adapten a las necesidades del proyecto NFU-SENA-FUA.

4.1. Alternativas de solución

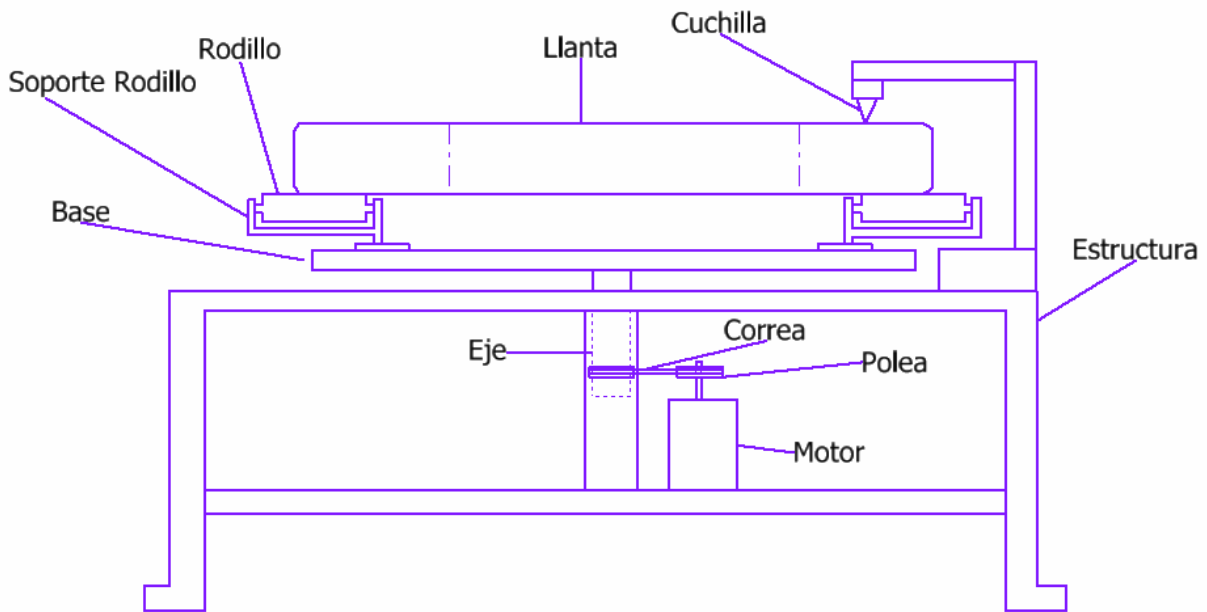
Se presentan 3 alternativas de diseño para cumplir con las condiciones del proyecto, estas se evaluarán para saber cuál es la más factible y si cumple con los requerimientos de la máquina.

4.1.1. Alternativa 1

En la Figura 26, se presenta un esquema de la primera alternativa de diseño, la máquina cuenta con un sistema de transmisión de un motor conectado por poleas y correas, el cual hace la reducción de velocidad para así hacer girar el eje de la plataforma donde se encuentra la llanta. Para realizar el corte, la máquina cuenta con una cuchilla instalada en un sistema de palanca el cual es accionado por el operario. La llanta es posicionada de forma horizontal, para esto el operario tiene que cargar la llanta y ubicarla encima del soporte para iniciar el proceso de corte, luego se activa la máquina y la llanta empieza a girar y el operario presiona la cuchilla sobre la banda lateral de la llanta, ya cortada una cara el operario tiene que girar la llanta para cortar la otra cara y luego repetir el proceso bajando la cuchilla manualmente.

Figura 26

Alternativa de diseño N.1



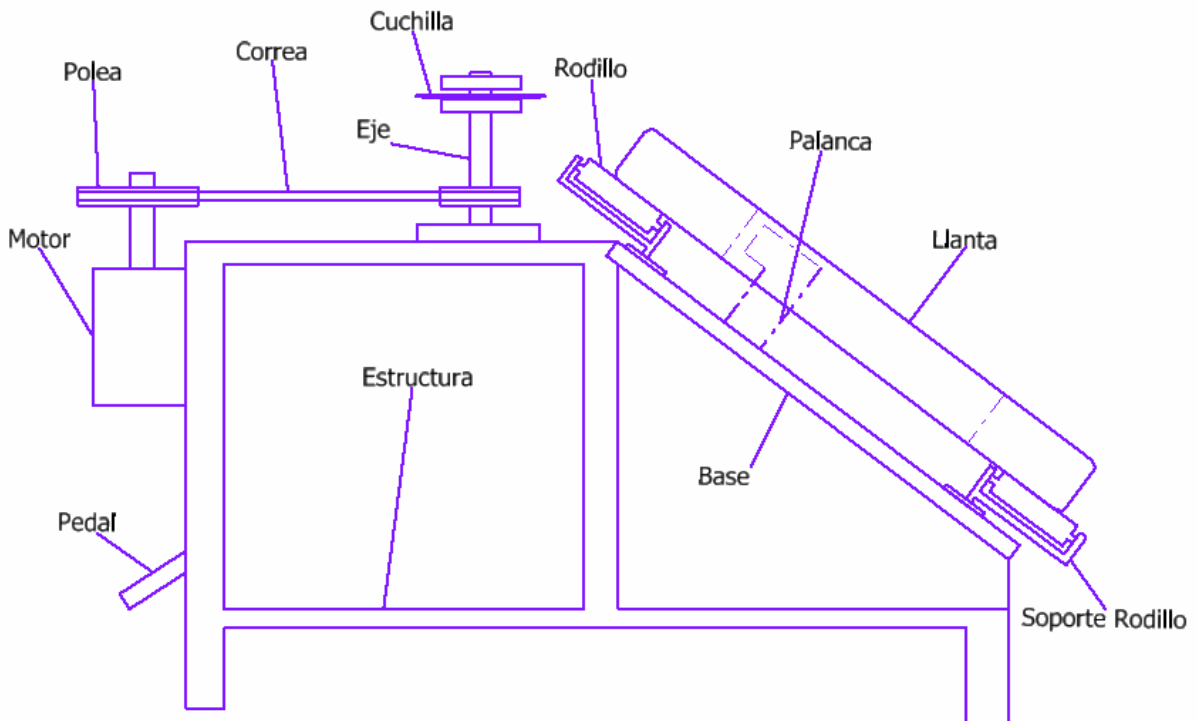
Nota. Esta figura muestra el posible diseño de la máquina como alternativa 1.

4.1.2. Alternativa 2

En la Figura 27, se presenta el esquema de la segunda alternativa de diseño, el sistema de transmisión de la máquina está ubicado en la parte posterior, con un motor y una transmisión de poleas y correas, las cuales realizan la reducción de velocidad. El sistema de corte cuenta con una cuchilla circular entre ruedas dentadas que al presionar la llanta contra ellas la hacen girar realizando el corte, es importante destacar que la región de corte es muy cercana a la banda de rodadura. La base donde va ubicada la llanta está inclinada 30 grados aproximadamente, con el fin de que el operario realice menos esfuerzo al colocar una llanta, ya que solo se deja caer la llanta encima de los rodillos que funcionan como soporte, luego de que la llanta se encuentra en posición por medio de un sistema de palancas operado por un pedal, se acerca la llanta a la cuchilla que la hace girar por medio de unos sprockets, una vez cortada la primera cara de la llanta el operario tiene que girar la llanta para seguir con la otra cara, esta alternativa no cuenta con llantas para su transporte debido a que la transmisión de potencia se ubica en la parte posterior de la máquina haciendo aumentar el tamaño de la máquina.

Figura 27

Alternativa de diseño N.2



Nota. Esta figura muestra el posible diseño de la máquina como alternativa 2.

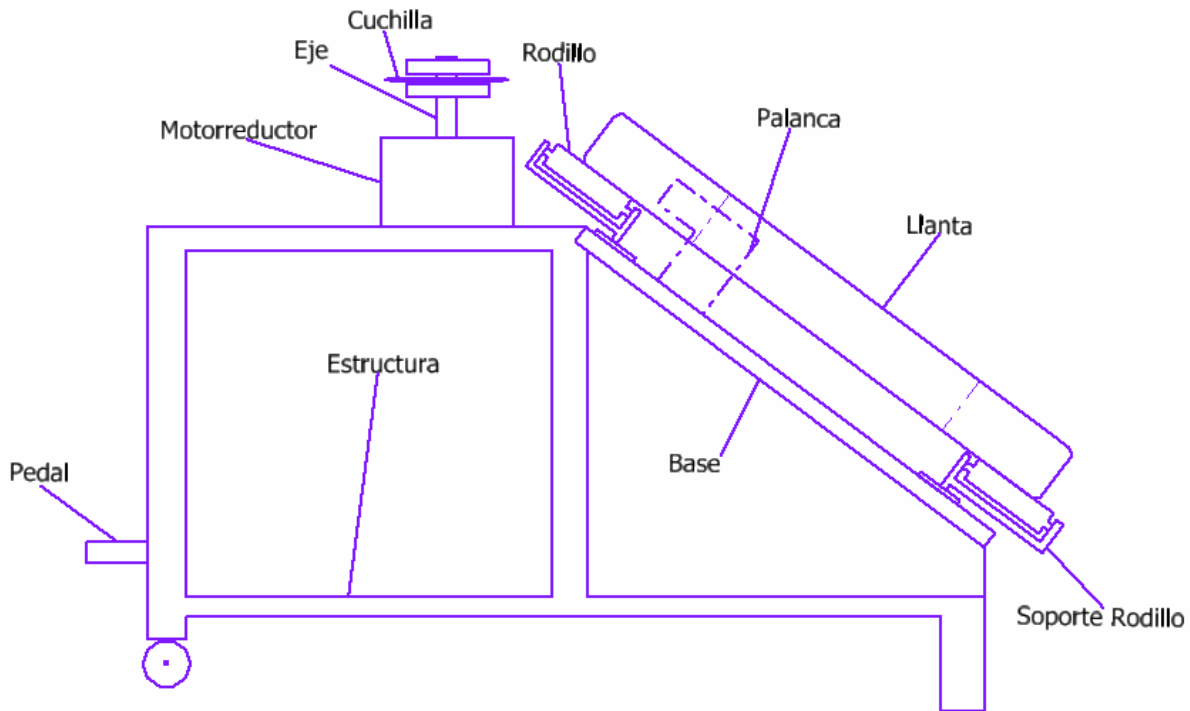
4.1.3. Alternativa 3

En la Figura 28, se presenta el esquema de la tercera alternativa de diseño, en esta se mantiene la base con una inclinación de 30 grados aproximadamente para facilitar la ubicación de la llanta, en esta alternativa se eliminan las poleas y correas para la transmisión de potencia, el sistema consta de un motor conectado directamente a un reductor de velocidad, el cual presenta ventajas debido a un menor tamaño de la estructura, para obtener una reducción de velocidad adecuada. Al igual que la alternativa 2, el sistema de corte cuenta con una cuchilla circular entre sprockets que al presionar la llanta contra ellas la hacen girar realizando el corte, se propone implementar una carcasa que sostendrá el lado fijo del eje (parte superior del eje) y el rodamiento. El funcionamiento de esta máquina comienza con el posicionamiento de la llanta en los rodillos y la activación de la máquina, por medio de un sistema de palancas accionadas por un pedal se presiona la llanta contra la cuchilla y los sprockets realizando el corte, cuando se corta la banda lateral de la llanta, el operario tiene que voltear la llanta para cortar la otra cara y finalizar la operación. Como condición

del proyecto la máquina debe ser de fácil transporte, por tener un tamaño reducido cuando comparado con las alternativas anteriores, se propone colocar ruedas en la parte trasera facilitando su transporte. Para esta alternativa el operario está ubicado detrás de la máquina para poder realizar el accionamiento, lo cual constituye un sistema de seguridad, que no permite que el operario manipule la llanta o la cuchilla mientras la máquina se encuentra en funcionamiento.

Figura 28

Alternativa de diseño N.3



Nota. Esta figura muestra el posible diseño de la máquina como alternativa 3.

4.2. Selección de alternativas de solución

Para la evaluación y selección de las alternativas, se realiza un sistema de ponderación al cual se le asignan los requerimientos del proyecto NFU-SENA-FUA, además de otros parámetros necesarios para garantizar el diseño de la máquina cortadora de bandas laterales.

Para facilitar la identificación de la mejor alternativa en un problema, se tienen que identificar las siguientes etapas:

- Identificar las alternativas.

- Lista de los criterios a emplear en la toma de decisión.
- Asignar una ponderación para cada uno de los criterios establecidos.
- Establecer cuanto satisface cada alternativa en cada uno de los criterios propuestos.
- Calcular el puntaje final para cada alternativa.

Para utilizar este método se utiliza la ecuación (5):

$$S_j = \sum_i W_i r_{ij} \quad (5)$$

Donde:

r_{ij} : Evaluación de la alternativa j con el criterio i .

W_i : Ponderación para cada criterio i

S_j = Resultado (Score) para alternativa J

Identificación de las alternativas. Como presentado anteriormente las alternativas seleccionadas son las siguientes:

- Alternativa de diseño N.1
- Alternativa de diseño N.2
- Alternativa de diseño N.3

Lista de criterios. Para evaluar las alternativas se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

- Costo de fabricación.
- Facilidad de operación y ergonomía.
- Facilidad de mantenimiento y reparación.
- Menores riesgos derivados del uso de la máquina.
- Facilidad de transporte.

Asignación de ponderación para cada uno de los criterios. En este punto se realiza una evaluación de los requerimientos en el que la calificación será de 1 a 5 como se muestra a continuación.

1. Muy poco importante.
2. Poco importante.
3. Importación media.

- 4. Algo importante.
- 5. Muy importante.

Obteniendo la ponderación se califica de la siguiente manera como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4.
Criterio de ponderación.

Ítem	Criterio	Ponderación W_i
1	Costo de fabricación.	4
2	Facilidad de operación y ergonomía.	4
3	Facilidad de mantenimiento y reparación.	3
4	Menores riesgos derivados del uso de la máquina.	5
5	Facilidad de transporte.	5

Nota. Esta tabla muestra la ponderación evaluada para cada uno de los criterios.

Definición de cada criterio

Costo de fabricación: Este criterio evalúa el valor del diseño de la máquina contra la rentabilidad del producto final.

Ergonomía: Este criterio evalúa la facilidad de operación para quien ejecute el proceso.

Mantenimiento: Este criterio evalúa la cantidad y complejidad de tareas necesarias para desarrollar el mantenimiento.

Seguridad industrial: Este criterio evalúa la seguridad que se debe garantizar para los operarios en el funcionamiento de la máquina y proceso de corte.

Fácil transporte: Este criterio evalúa la facilidad con la que se puede transportar la máquina de un lugar a otro sin que sea una tarea tediosa.

Satisfacción de cada alternativa. Para la satisfacción es necesario que cada ítem tenga una calificación de 1 a 9 como se muestra a continuación en la Tabla 5.

Tabla 5.
Ponderación.

Ponderación	
Extra bajo	1
Muy bajo	2
Bajo	3
Poco bajo	4
Medio	5
Poco alto	6
Alto	7
Muy alto	8
Extra alto	9

Nota. Esta tabla muestra la designación de cada calificación.

Teniendo las alternativas ya establecidas con el nivel de satisfacción y la ponderación de cada criterio, se realizaron los cálculos como se muestra en la Tabla 6, donde nos basamos en los criterios que requiere el proyecto NFU FUA-SENA para asignar las siguientes valoraciones, teniendo en cuenta que los criterios con un valor de 5 son los más importantes para el proyecto y se evalúa con la satisfacción de cada criterio en cada una de las alternativas planteadas.

Tabla 6.
Método de Scoring.

Ítem	Criterio	Ponderación	Alternativas		
			1 r_{i1}	2 r_{i2}	3 r_{i3}
1	Costo de fabricación.	4	5	5	8
2	Facilidad de operación y ergonomía.	4	3	9	9
3	Facilidad de mantenimiento y reparación.	3	5	7	7
4	Menores riesgos derivados del uso de la máquina.	5	7	8	8
5	Facilidad de transporte.	5	4	4	8
SCORE FINAL S_j			102	137	169

Nota. Esta tabla muestra la calificación final de cada alternativa.

Se evidencia con la tabla del método de score que la alternativa más acertada con los requerimientos y nivel de satisfacción, es la alternativa 3 teniendo mayor puntuación que las otras dos alternativas, puesto que la alternativa 3 tiene la ventaja de que cuenta con llantas en la estructura principal de la máquina, también con su costo de fabricación y mantenimiento, ya que en esta alternativa se presenta la opción de transmisión de potencia directa evitando usar poleas y correas y en ergonomía, debido a que el operario no tiene que hacer un gran esfuerzo para colocar la llanta en la máquina.

4.3. Cuadro de resumen de alternativas de diseño

Tabla 7.
Ventajas y desventajas de cada alternativa.

RESUMEN DE ALTERNATIVAS		
Tipo de alternativa	Ventajas	Desventajas
Alternativa 1	-La cuchilla para esta máquina es puntiaguda y requiere menos fuerza para atravesar el material de la llanta.	- El operario tiene que realizar un mayor esfuerzo físico. - Se reduce a llantas de menor tamaño. -La máquina es de gran tamaño haciendo que se dificulte el traslado. -Debido a su tamaño y peso se complica añadir ruedas en las patas de la estructura.
Alternativa 2	-El diseño de la máquina permite una mayor facilidad para el operario de colocar la llanta en los rodillos.	-Mayor costo en mantenimiento. -La transmisión de potencia se realiza con polea y correa, lo que requiere más piezas. -Debido a que la transmisión de potencia se ubica en la parte posterior, aumenta el largo de la máquina.
Alternativa 3	-El diseño de la máquina permite una mayor facilidad para el operario de colocar la llanta en los rodillos. -Seguridad en el proceso de corte para el operario. -Fácil mantenimiento. -Menos piezas y reducción de tamaño	-La fuerza de corte debe ser realizada por el operario. - Mayor costo por el uso de un reductor.

Nota. Esta tabla muestra las ventajas y desventajas que conlleva la selección de cada alternativa.

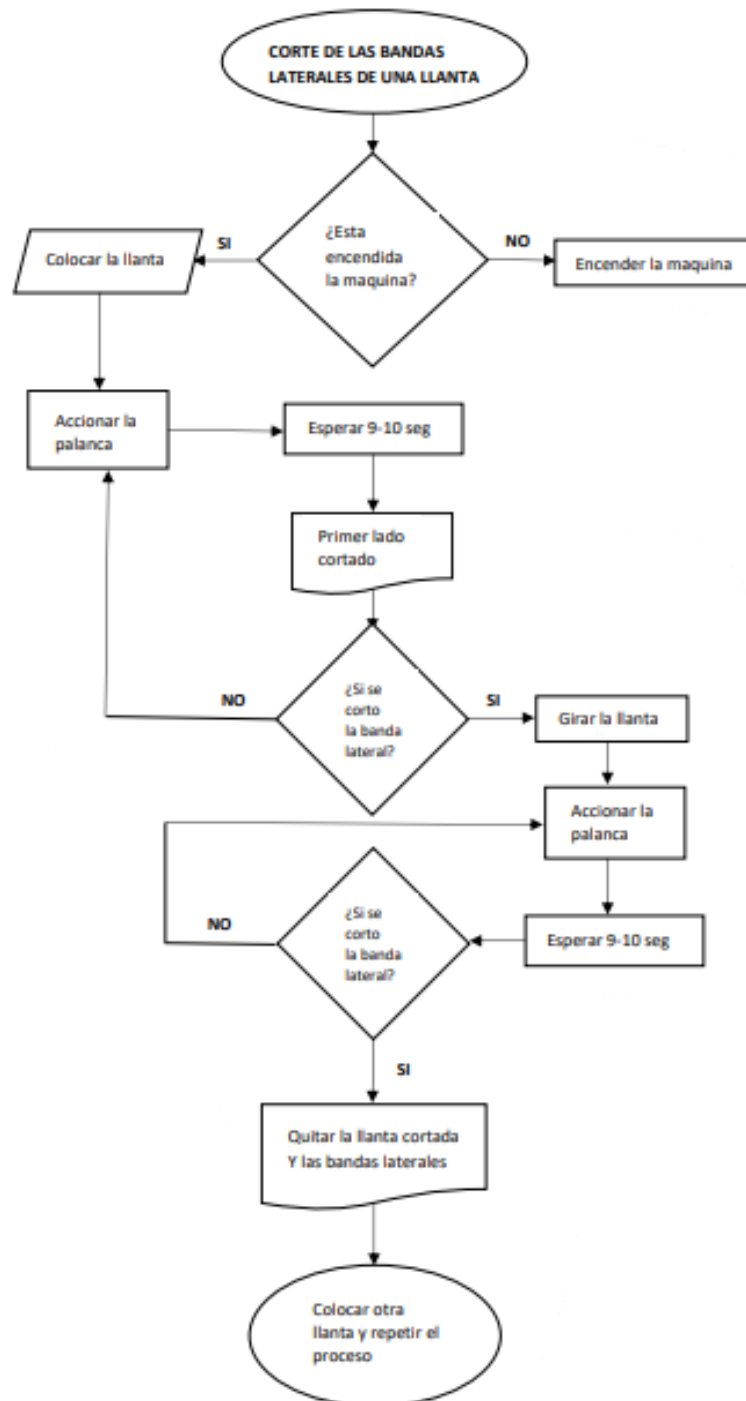
5. DEFINICIÓN DE SISTEMAS Y SUBSISTEMAS DE LA MÁQUINA

Un sistema es un conjunto organizado de partes o elementos relacionados que interactúan para lograr un objetivo, un sistema recibe (entrada) datos, energía o materia del entorno y proporciona (salida) información, energía o materia. Un subsistema es un conjunto de componentes e interrelaciones que se encuentran estructural y funcionalmente dentro de un sistema más grande [32]. A través de diagramas de flujo, diagramas de caja negra y, finalmente, diagrama de caja gris, es posible identificar los sistemas y subsistemas que componen la máquina de corte de bandas laterales de llantas usadas.

5.1. Diagrama de flujo

Con el siguiente diagrama de flujo se mostrarán los procesos y funciones requeridas para obtener como finalidad el corte de las bandas laterales de una llanta. En la Figura 29 se describen los pasos para el proceso de corte de la banda lateral de la llanta, en la máquina diseñada. Inicialmente se debe tener encendida la máquina verificando que no hay elementos obstruyendo la cuchilla, después el operario posiciona la llanta en el soporte, se acciona la palanca y se espera de 9 a 10 seg a que se corte la primera banda lateral, el operario verifica si se cortó la banda si no el operario repite la operación de accionamiento de palanca para después girar la llanta y repetir el proceso de accionamiento de la palanca y así cortar la segunda banda lateral y poder continuar con otra llanta.

Figura 29.
Diagrama de flujo.

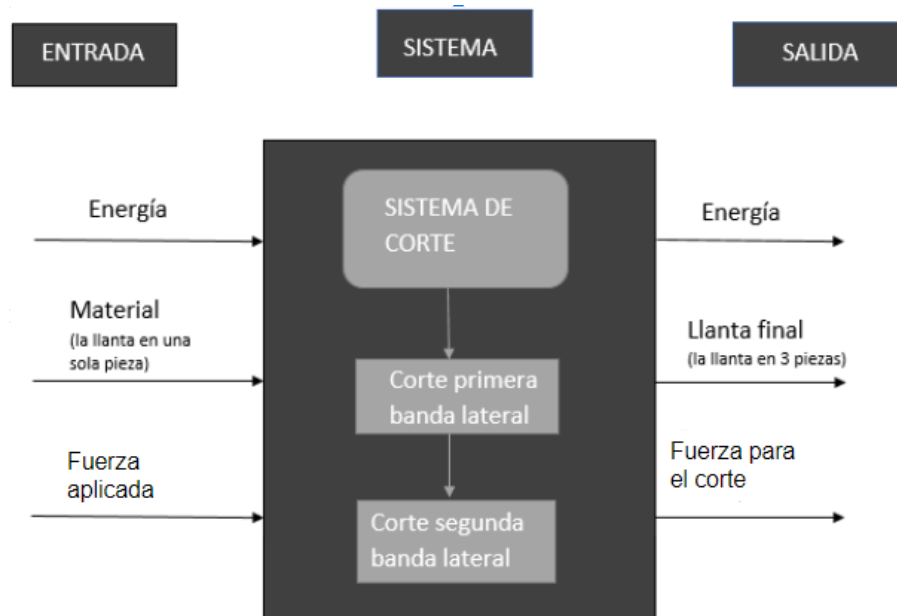


Nota. Esta figura muestra el proceso de corte de bandas laterales de una llanta usada donde se evidencia cada paso.

5.1.1. Diagrama de caja negra

Se utilizó el diagrama de caja negra, para mostrar los elementos de entrada y salida con los que será diseñado el sistema de la máquina que opera con flujos de material, energía y fuerza, para identificar el funcionamiento general de la máquina y así poder identificar los diferentes sistemas y subsistemas que la componen (Figura 30), con este diagrama se evidencia que el sistema principal de la máquina es en modo de funcionamiento del sistema de corte para las bandas laterales de la llanta donde se recibe como entrada la llanta en una sola pieza y entrega como salida la llanta en tres piezas.

Figura 30.
Diagrama de caja negra.



Nota. Esta figura muestra el sistema de corte, mostrando las entradas y salidas que componen el sistema.

Al sistema de corte ingresa el material (llanta usada), para después con la palanca de accionamiento aplicar la fuerza para realizar el corte de la primera cara y después de la segunda banda lateral, así, el sistema entrega a la salida una llanta en 3 piezas, dos caras laterales y la banda de rodadura, este proceso depende de la aplicación de la fuerza ejercida por el operario, al igual

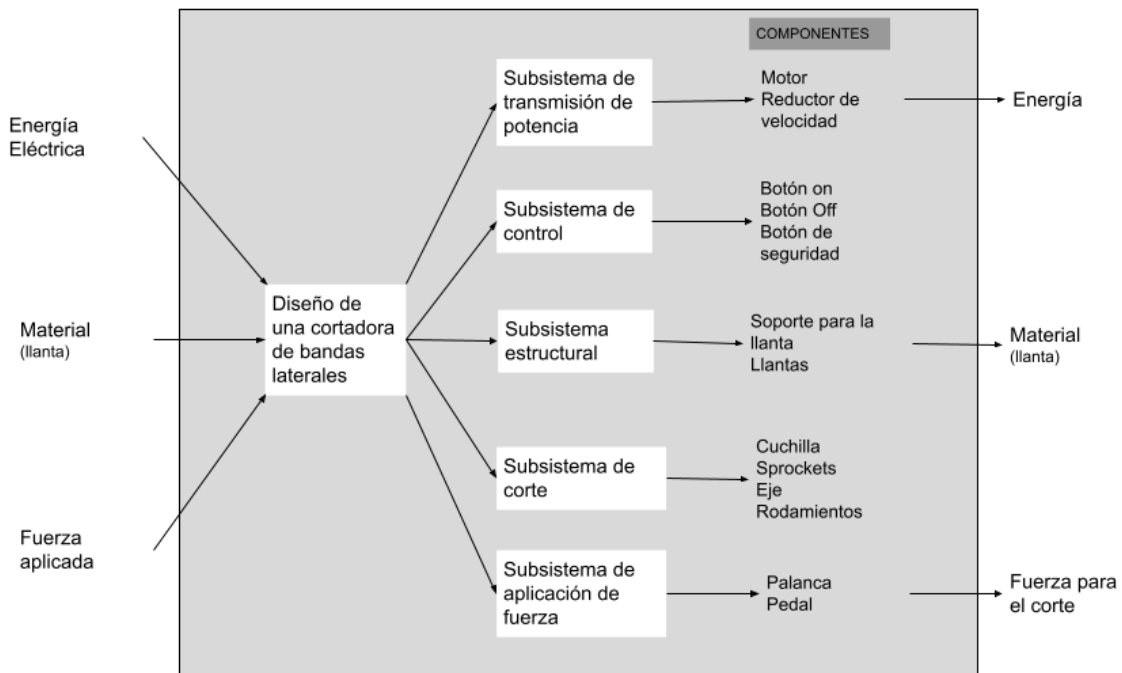
que el filo de la cuchilla, estos son factores indispensables para un funcionamiento óptimo de la máquina.

5.1.2. Diagrama de caja gris

Teniendo como base el diagrama de caja negra y conociendo ciertos aspectos específicos dentro del proceso del corte de las bandas laterales de la llanta, se puede crear un diagrama de caja gris como se muestra en la Figura 31, con el cual se hace un primer acercamiento al resultado final del diseño.

Figura 31.

Diagrama de caja gris.



Nota. Esta figura muestra los subsistemas en el que se divide el sistema del diseño de una máquina para el corte de bandas laterales de llantas usadas, mostrando los componentes implementados en cada subsistema

Subsistema de transmisión de potencia: Es el encargado de entregar la potencia para que el sistema de corte funcione con los componentes de un motor y un reductor de velocidad.

Subsistema de control: Es el encargado de hacer funcionar la máquina con un mando a dos manos para su activación, esto con dar solución a la seguridad del operario, en la Figura 32 se muestra un esquema del dispositivo para energizar la máquina.

Una operación a dos manos es un dispositivo que requiere ambas manos del operador para poner en marcha la máquina, adecuado para las condiciones previstas de uso (capacidad y frecuencia de operación, efectos perjudiciales del calor, aceite, virutas, etc.) [33].

Figura 32.

Ejemplo de mando a dos manos.



Nota. La figura muestra los diferentes resultados obtenidos en una prueba de laboratorio de una llanta, donde muestra las fuerzas de corte para la banda lateral. Tomado de: R. Chavarría, C. Ingeniero, and T. Eléctrico, “NTP 70: Mandos a dos manos. Requerimientos de seguridad,” Insst.es. [Online]. Available: https://www.insst.es/documents/94886/326853/ntp_070.pdf/a2697d31-2360-4bf3-97aa-baf2a1e1b682?version=1.0&t=1528459986050.

Subsistema estructural: Es el encargado de soportar todos los componentes y subsistemas de la máquina, donde se implementaron perfiles en ángulo en material acero A36, siendo el acero más utilizado para estructuras de máquinas, además de incluir el soporte de las llantas que consta de rodillos para ayudar a el giro de la llanta mientras hace el proceso de corte y se incluye un par de llantas en la parte trasera de la estructura para facilitar su transporte.

Subsistema de corte: Este subsistema se encarga de realizar el corte de la llanta, está compuesto por un eje que estará acoplado a la salida del eje del reductor de velocidad, el eje sostendrá una cuchilla y dos sprockets y un rodamiento que sostendrá el otro lado del eje.

Subsistema de aplicación de fuerza: Por último, el subsistema para la aplicación de la fuerza de corte se implementa una palanca que aplica la presión de la llanta contra la cuchilla y los sprockets por medio de un pedal.

6. DESARROLLO Y CÁLCULOS DE DISEÑO

6.2. Selección de reductor

Se selecciona como primera instancia una potencia tentativa de 3,5 kW teniendo como referencia las máquinas vistas anteriormente que sirvieron de guía donde trabajaban con un motor de esa potencia, un tiempo aproximado de corte de la banda lateral de 9 s, para una llanta de tamaño R.22.5 que tiene un diámetro de 45 pulgadas, que es la llanta de mayor tamaño que se utilizara. Tenemos las siguientes abreviaturas para los parámetros para la selección del reductor de velocidad que se tuvo en cuenta las velocidades del proceso del corte donde se requiere que el motorreductor entregue una velocidad de 71 rpm.

Na: Potencia de cálculo

Ne: Potencia de entrada

i: Relación de transmisión

ne: Velocidad de entrada

ns: Velocidad de salida (71 rpm)

Fs: Factor de servicio

Nm: Potencia de mando

La potencia de cálculo para esta selección es de 3,5 kW que equivale a 4,69 hp. El rendimiento del reductor es dado por el fabricante y en este diseño se seleccionó el fabricante LENTAX que nos indica un rendimiento del 98,5% en sus equipos.

$$r = \frac{98,5\%}{100\%} = 0,985 \quad (6)$$

Teniendo en cuenta el rendimiento del fabricante se determina la potencia de entrada.

$$\begin{aligned} N_e &= \frac{N_a}{r} \quad (6) \\ N_e &= \frac{4,69 \text{ HP}}{0,985} \\ N_e &= 4,76 \text{ HP} = 3,55 \text{ kW} \end{aligned}$$

Preselección del motor

Teniendo la potencia de entrada vamos al catálogo y buscamos el motor para el reductor, en la Figura 33 se inicia con la potencia de entrada (Ne), Se selecciona en la Figura con una potencia de 4 kW y 5,50 hp, que es el valor siguiente a 3,55 kW y 4,76 hp, Esta es la velocidad disponible en el eje del motor y como el eje estará acoplado a la caja reductora, podemos decir que la velocidad de entrada (ne) del reductor es 1440 rpm según la preselección del motor (Figura).

Figura 33.

Preselección del motor.

Potencia Entrada		Velocidad Salida aprox.	Relación	MODELO	Factor de Seguridad	Momento Util	Velocidad Entrada aprox.	Carga Radial adm.	Carga Axial adm.	Peso aprox.	Medidas	Repuesto	
kW	HP	(RPM)	(i)		(fz)	(Nm)	(RPM)	(kg)	(kg)	(kg)	Página	Página	
		11,7	123,30	KL3TR	5,50	1,00	3171	1440	3000	1200	193	34-35	46
		13,6	105,80	KL3TR	5,50	1,15	2721	1440	3000	1200	193	34-35	46
		15,7	91,69	KL3TR	5,50	1,35	2358	1440	3000	1200	193	34-35	46
		11,6	82,61	KL3	5,50 /6	1,00	3237	960	3000	1200	204	32-33	46
		14,3	66,92	KL3	5,50 /6	1,20	2622	960	3000	1200	204	32-33	46
		14,0	105,53	KL3	5,50	1,15	2757	1440	3000	1200	178	32-33	46
		17,0	82,61	KL3	5,50	1,50	2158	1440	3000	1200	178	32-33	46
		22,0	66,92	KL3	5,50	1,80	1748	1440	2860	1144	178	32-33	46
		26,0	55,51	KL3	5,50	2,20	1450	1440	2860	1144	178	32-33	46
		31,0	46,84	KL3	5,50	2,60	1224	1440	2860	1144	178	32-33	46
		36,0	40,03	KL3	5,50	3,05	1046	1440	2860	1144	178	32-33	46
		39,0	36,60	KL3	5,50	3,35	956	1440	2860	1144	178	32-33	46
		42,0	34,54	KL3	5,50	3,55	902	1440	2560	1024	178	32-33	46
		26,0	56,03	KL2	5,50	1,10	1464	1440	1880	752	118	32-33	46
		27,0	53,11	KL2	5,50	1,15	1387	1440	1880	752	118	32-33	46
		30,0	48,22	KL2	5,50	1,30	1260	1440	1880	752	118	32-33	46
		31,0	46,88	KL2	5,50	1,35	1225	1440	1880	752	118	32-33	46
		34,0	42,72	KL2	5,50	1,45	1116	1440	1880	752	118	32-33	46
		36,0	39,69	KL2	5,50	1,55	1037	1440	1880	752	118	32-33	46
		38,0	37,50	KL2	5,50	1,65	980	1440	1680	672	118	32-33	46
		41,0	35,16	KL2	5,50	1,75	919	1440	1680	672	118	32-33	46
		42,0	33,90	KL2	5,50	1,85	886	1440	1680	672	118	32-33	46
		48,0	30,16	KL2	5,50	2,05	788	1440	1680	672	118	32-33	46
		58,0	24,83	KL2	5,50	2,50	649	1440	1680	672	118	32-33	46
		69,0	20,77	KL2	5,50	2,95	543	1440	1460	584	118	32-33	46
		76,0	18,93	KL2	5,50	3,10	495	1440	1460	584	118	32-33	46
		82,0	17,59	KL2	5,50	3,35	459	1440	1150	460	118	32-33	46
		92,0	15,58	KL2	5,50	3,75	407	1440	1150	460	118	32-33	46
		96,0	15,02	KL2	5,50	3,80	392	1440	1150	460	118	32-33	46

4,00 kW
5,50 HP

Nota. se muestra en la figura los datos requeridos como la velocidad de entrada y salida para la selección.

Tomado de: C. No, C. No, and C. No, "LINEA DE ENGRANAJES CÓNICOS," Com.ar. [Online].

Available: <https://www.motorreductores.com.ar/wp-content/uploads/2019/10/motoreductor-lineakl-lentax.pdf>.

Relación de transmisión

Obteniendo la velocidad de entrada y de salida del reductor ya podemos determinar la relación de transmisión.

$$i = \frac{n_e}{n_s} \quad (7)$$
$$i = \frac{1440 \text{ rpm}}{71 \text{ rpm}}$$
$$i = 20,28$$

Con la relación de transmisión podemos seleccionar el modelo de la caja reductora y verificamos los datos con la Figura 34, mostrando un valor de relación de 20,77 muy cercano a el valor hallado de 20,28 lo que indica que se obtiene un modelo KL2 con una velocidad de salida aproximada del reductor de 69 rpm y una velocidad de entrada del reductor de 1440 rpm, se obtiene una salida del reductor aproximada.

Figura 34.

Verificación de relación de transmisión.

Potencia Entrada		Velocidad Salida aprox.	Relación	MODELO	Factor de Seguridad	Momento Util	Velocidad Entrada aprox.	Carga Radial adm.	Carga Axial adm.	Peso aprox.	Medidas	Repues	
kW	HP	(RPM)	(i)		(fz)	(Nm)	(RPM)	(kg)	(kg)	(kg)	Página	Págin	
4,00 kW	5,50 HP	11,7	123,30	KL3TR	5,50	1,00	3171	1440	3000	1200	193	34-35	46
		13,6	105,80	KL3TR	5,50	1,15	2721	1440	3000	1200	193	34-35	46
		15,7	91,69	KL3TR	5,50	1,35	2358	1440	3000	1200	193	34-35	46
		11,6	82,61	KL3	5,50 /6	1,00	3237	960	3000	1200	204	32-33	46
		14,3	66,92	KL3	5,50 /6	1,20	2622	960	3000	1200	204	32-33	46
		14,0	105,53	KL3	5,50	1,15	2757	1440	3000	1200	178	32-33	46
		17,0	82,61	KL3	5,50	1,50	2158	1440	3000	1200	178	32-33	46
		22,0	66,92	KL3	5,50	1,80	1748	1440	2860	1144	178	32-33	46
		26,0	55,51	KL3	5,50	2,20	1450	1440	2860	1144	178	32-33	46
		31,0	46,84	KL3	5,50	2,60	1224	1440	2860	1144	178	32-33	46
		36,0	40,03	KL3	5,50	3,05	1046	1440	2860	1144	178	32-33	46
		39,0	36,60	KL3	5,50	3,35	956	1440	2860	1144	178	32-33	46
		42,0	34,54	KL3	5,50	3,55	902	1440	2560	1024	178	32-33	46
		26,0	56,03	KL2	5,50	1,10	1464	1440	1880	752	118	32-33	46
		27,0	53,11	KL2	5,50	1,15	1387	1440	1880	752	118	32-33	46
		30,0	48,22	KL2	5,50	1,30	1260	1440	1880	752	118	32-33	46
		31,0	46,88	KL2	5,50	1,35	1225	1440	1880	752	118	32-33	46
		34,0	42,72	KL2	5,50	1,45	1116	1440	1880	752	118	32-33	46
		36,0	39,69	KL2	5,50	1,55	1037	1440	1880	752	118	32-33	46
		38,0	37,50	KL2	5,50	1,65	980	1440	1680	672	118	32-33	46
41,0	35,16	KL2	5,50	1,75	919	1440	1680	672	118	32-33	46		
42,0	33,90	KL2	5,50	1,85	886	1440	1680	672	118	32-33	46		
48,0	30,16	KL2	5,50	2,05	788	1440	1680	672	118	32-33	46		
58,0	24,83	KL2	5,50	2,50	649	1440	1680	672	118	32-33	46		
69,0	20,77	KL2	5,50	2,95	543	1440	1460	584	118	32-33	46		
76,0	18,93	KL2	5,50	3,10	495	1440	1460	584	118	32-33	46		
82,0	17,59	KL2	5,50	3,35	459	1440	1150	460	118	32-33	46		
92,0	15,58	KL2	5,50	3,75	407	1440	1150	460	118	32-33	46		
96,0	15,02	KL2	5,50	3,80	392	1440	1150	460	118	32-33	46		

Nota. se muestra en la figura los datos requeridos como la relación de transmisión para la selección. Tomado de: C. No, C. No, and C. No, “Linea De Engranajes Cónicos,” Com.ar. [Online]. Available: <https://www.motorreductores.com.ar/wp-content/uploads/2019/10/motoreductor-lineakl-lentax.pdf>.

Necesitamos determinar el factor de servicio (Fs) para adecuarlo a la potencia de entrada (Ne) calculada anteriormente, por lo general se determina con la Tabla 8, con lo cual se ingresa con las horas diarias de trabajo, tipo de carga y la cantidad de arranque por hora del equipo. Según la Tabla 8 seleccionamos el factor de servicio (Fs), teniendo en cuenta que es una máquina que trabajara con caucho durante 8 horas al día, se elige el valor mayor para el factor de seguridad Fs=1,65.

Tabla 8.
Factor de servicio (F_s) de la máquina.

MAQUINA ACCIONADA TIPO DE MAQUINA	FACTOR f_s <i>fs FACTOR</i> hs. de Servicio <i>Service hrs.</i>			APPLICATIONS - INDUSTRY DRIVEN MACHINE
	8	16	24	
EXCAVADORAS Y DRAGAS				DREDGERS
Excavadoras de cangilones (cadena fija)	1.65	1.8	1.8	Bucket excavator
Excavadoras de cangilones (cadena suelta)	1.5	1.6	1.6	Trench machine
Traslación por orugas	1.65	1.8	1.8	Travelling gear (caterpillar)
Traslación por rieles	1.5	1.6	1.6	Travelling gear (rails)
Bombas de aspiración	1.4	1.5	1.6	Suction pumps
Apiladoras de cangilones	1.4	1.5	1.6	Bucket loader
Ruedas de cangilones	1.65	1.8	1.8	Bucket wheels
Cabezales de corte	1.65	1.8	1.8	Cutter heads
Dispositivo de viraje	1.65	1.8	1.8	Manoeuvring winches
TRITURACION Y MOLIENDA (cemento-cal-yeso)				STONE AND CLAY WORKING MACHINES
Trituradoras de mandíbulas	1.65	1.8	1.8	Jaw crushers
Trituradoras de cono	1.65	1.8	1.8	Cone crushers
Trituradoras rotativas	1.65	1.8	1.8	Gyratory crushers
Quebrantadoras rotativas	1.65	1.8	1.8	Rotary breakers
Hornos rotativos	1.8	2	2	Rotary ovens
Sopladores	1.4	1.5	1.5	Blowers
Zarandas vibratorias	1.5	1.6	1.6	Vibrating screens
Molinos de martillos	1.8	2	2	Hammer mills
Molinos de bolas	1.65	1.8	1.8	Ball mills
Molinos de percusión	1.9	2.1	2.1	Beater mills
Molinos tubulares	1.8	2	2	Tube mills
Machacadoras	1.8	2	2	Breakers
MAQUINAS PARA EL CAUCHO				RUBBER MACHINERY
Calandras	1.5	1.6	1.6	Calenders
Amasadoras	1.65	1.8	1.8	Pugmills
Extrusoras	1.65	1.8	1.8	Extruders
Laminadoras	1.65	1.8	1.8	Rolling mills
Mezcladoras	1.5	1.6	1.6	Mixers

Nota. se muestra en la tabla los datos del factor de seguridad de cada tipo de máquina que para este caso es para el caucho. Tomado de: C. No, C. No, and C. No, “Linea De Engranajes Cónicos,” Com.ar. [Online]. Available: <https://www.motorreductores.com.ar/wp-content/uploads/2019/10/motoreductor-lineakl-lentax.pdf>.

Se determina la potencia de mando (N_m), con la ecuación (8), obteniendo un valor de $N_m=7,854$ HP (ver Anexo B) con el cual continuamos el proceso de selección.

$$N_m = N_e * F_s \quad (8)$$

Se selecciona el modelo de reductor por medio del catálogo con la potencia de mando ($N_m=7,854$ HP), se ingresa a la Figura 35 con la potencia de mando, se selecciona el valor siguiente a 7,854 HP que es el dato 10 HP, se ingresa con el factor de seguridad y que se cumpla la relación de velocidad hallada anteriormente que es 20,28 con estos datos de entrada se obtienen

una velocidad de salida de 70 rpm un factor de seguridad de 1,60 , una relación de transmisión de $i= 20,77$ como se muestra en la Figura 39.

Figura 35.

Selección del modelo del reductor de velocidad.

Potencia Entrada		Velocidad Salida aprox.	Relación (i)	MODELO		Factor de Seguridad (fz)	Momento Util (Nm)	Velocidad Entrada aprox. (RPM)	Carga Radial adm. (kg)	Carga Axial adm. (kg)	Peso aprox. (kg)	Medidas	Repues
kW	HP	(RPM)	(i)			(fz)	(Nm)	(RPM)	(kg)	(kg)	(kg)	Página	Página
		22,0	66,92	KL3	10,00	1,00	3135	1460	2860	1144	210	32-33	46
		26,0	55,51	KL3	10,00	1,20	2601	1460	2860	1144	210	32-33	46
		31,0	46,84	KL3	10,00	1,45	2195	1460	2860	1144	210	32-33	46
		36,0	40,03	KL3	10,00	1,70	1875	1460	2860	1144	210	32-33	46
		40,0	36,60	KL3	10,00	1,85	1715	1460	2860	1144	210	32-33	46
		42,0	34,54	KL3	10,00	1,95	1618	1460	2560	1024	210	32-33	46
		49,0	30,02	KL3	10,00	2,25	1406	1460	2560	1024	210	32-33	46
		56,0	26,23	KL3	10,00	2,55	1229	1460	2560	1024	210	32-33	46
		59,0	24,60	KL3	10,00	2,75	1152	1460	2560	1024	210	32-33	46
		63,0	23,00	KL3	10,00	2,90	1078	1460	2220	888	210	32-33	46
		70,0	20,76	KL3	10,00	3,25	972	1460	2220	888	210	32-33	46
		82,0	17,74	KL3	10,00	3,70	831	1460	1740	696	210	32-33	46
7,50 kW	10,00 HP	42,0	35,16	KL2	10,00	0,95	1647	1460	1680	672	150	32-33	46
		43,0	33,90	KL2	10,00	1,00	1588	1460	1680	672	150	32-33	46
		48,0	30,16	KL2	10,00	1,15	1413	1460	1680	672	150	32-33	46
		59,0	24,83	KL2	10,00	1,40	1163	1460	1680	672	150	32-33	46
		70,0	20,77	KL2	10,00	1,60	973	1460	1460	584	150	32-33	46
		77,0	18,93	KL2	10,00	1,70	887	1460	1460	584	150	32-33	46
		83,0	17,59	KL2	10,00	1,85	824	1460	1150	460	150	32-33	46
		94,0	15,58	KL2	10,00	2,05	730	1460	1150	460	150	32-33	46
		97,0	15,02	KL2	10,00	2,10	704	1460	1150	460	150	32-33	46
		112,0	13,04	KL2	10,00	2,40	611	1460	1150	460	150	32-33	46
		132,0	11,04	KL2	10,00	2,75	517	1460	1050	420	150	32-33	46
		155,0	9,43	KL2	10,00	3,05	442	1460	1050	420	150	32-33	46

Nota. Se muestran en la figura los datos para la selección del reductor de velocidad teniendo en cuenta la relación de potencia y la potencia de entrada. Tomado de: C. No, C. No, and C. No, “LINEA DE ENGRANAJES CÓNICOS,” Com.ar. [Online]. Available: <https://www.motorreductores.com.ar/wp-content/uploads/2019/10/motorreductor-lineakl-lentax.pdf>.

Se obtiene el modelo seleccionado de motorreductor KL2 10 Donde KL2 es el modelo y 10 indica la potencia del reductor. Para verificar se tiene que tener en cuenta que la potencia de mando (Nm) debe ser mayor que la potencia de entrada (Ne).

$$Nm = 10 \text{ HP} > Ne = 4,76 \text{ HP}$$

Se verifica que es mayor, lo que quiere decir que el modelo que se seleccionó es adecuado. Por último, seleccionamos la posición de montaje que cumpla con la propuesta de montaje del sistema

de transmisión de potencia. La posición seleccionada (Figura 36) es la M6, entonces como resultado final tenemos que se seleccionara un motoreductor con las siguientes especificaciones: KL2 10 - 70 - M6.

Donde:

KL2: Modelo de la caja reductora.

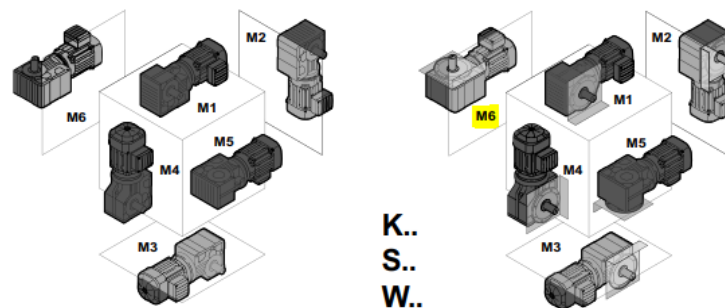
10: Caballos de fuerza (potencia HP).

70: Velocidad de salida en rpm.

M6: Tipo de montaje.

Figura 36.

Tipo de montaje del reductor de velocidad.



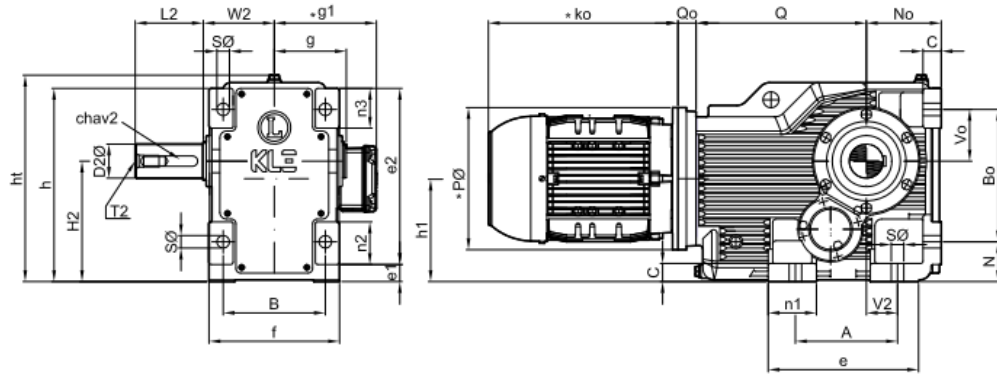
Nota. se muestra en la figura los montajes posibles y posicionamientos del reductor de velocidad. Tomado de: C. No, C. No, and C. No, “Linea De Engranajes Cónicos,” Com.ar. [Online]. Available: <https://www.motorreductores.com.ar/wp-content/uploads/2019/10/motoreductor-lineakl-lentax.pdf>.

En la Figura 37 se presentan las dimensiones del modelo de reductor seleccionado.

Figura 37.

Dimensiones del reductor de velocidad.

TABLA DE MEDIDAS - SERIE " KL " (CON EJE DE SALIDA MACIZO)
OVERALL DIMENSIONS - TYPE " KL " (WITH OUTPUT SOLID SHAFT)



Modelo	D2φ	L2	chav 2	T2	H2	A	B	Bo	C	Sφ	Q	Qo		B1φ	R1φ	S1φ	a1φ	c1	f1	J				
Model	keyway 2			Tamaño Motor IEC / Motor Size																				
												80-90	100-112	132	160-200	225								
KL2	mm	50	100	14x9	M16	180	150	165	200	25	18	278	32	32	52	82	---	230	265	14	300	16	5	4
KL3	mm	60	120	18x11	M20	212	180	180	233	32	22	300	32	32	52	82	---	250	300	18	350	18	5	4
KL4	mm	70	140	20x12	M20	265	225	225	295	36	26	340	32	32	52	82	---	350	400	18	450	18	5	8
KL45	mm	90	170	25x14	M24	315	270	280	360	40	33	378	---	45	45	75	105	350	400	18	450	18	5	8

Nota. se muestra en la figura las dimensiones y peso de la selección del reductor. Tomado de: C. No, C. No, and C. No, "Linea De Engranajes Cónicos," Com.ar. [Online]. Available: <https://www.motorreductores.com.ar/wp-content/uploads/2019/10/motoreductor-lineakl-lentax.pdf>.

6.2. Selección del motor

Una vez realizada la preselección anterior del reductor podemos seleccionar el motor, donde lo primero que se debe considerar es la velocidad de rotación y el torque requerido. Para el caso de estudio la velocidad a seleccionar debe ser una velocidad baja dada la necesidad de bajas revoluciones en la cuchilla de corte, así, con esta condición tener un reductor de velocidad con una relación de reducción menor. Para el cálculo del torque usamos la ecuación (9)

$$T = 9,55 * P * \frac{1000}{n} \quad (9)$$

Donde:

P: Potencia del motor (kW)

T: Torque del motor (Nm).

n: velocidad (rpm).

Para las condiciones iniciales elegidas de acuerdo a la necesidad potencia y velocidad tenemos que $P=3,5$ kW y una velocidad de 1440 rpm, realizado el cálculo se obtiene $T= 23,21$ Nm (Cálculos ver Anexo B). Se establece entonces que el motor a seleccionar tiene que tener las siguientes características mínimas:

- Velocidad de 1430 rpm
- Torque de 23,21 Nm
- Potencia de 3,5 Kw (4,9 hp)

La selección del motor se realizó mediante la página WEG-Selección de motores electricos permitiéndonos seleccionar el siguiente motor (Figuras 38 y 39):

Figura 38.

Datos A del motor.

Línea de Producto

	Norma	Frecuencia	Voltaje nominal	Polos	Potencia	Carcasa		Ip / In	Par de arranque	Par máxima	Momento de inercia	Tiempo de rotor bloqueado
					kW							
<input type="checkbox"/>	IEC	50 Hz	220/440V	2	3.70	112M	Carcasa Estándar	6.5	240%	200%	0.01080 kgm ²	6 s
<input type="checkbox"/>	IEC	50 Hz	230/460V	2	3.70	112M	Carcasa Estándar	6.5	240%	200%	0.01080 kgm ²	6 s
<input type="checkbox"/>	IEC	50 Hz	230V	2	3.70	112M	Carcasa Estándar	6.5	240%	200%	0.01080 kgm ²	6 s
<input type="checkbox"/>	IEC	50 Hz	240/480V	2	3.70	112M	Carcasa Estándar	6.5	240%	200%	0.01080 kgm ²	6 s
<input type="checkbox"/>	IEC	50 Hz	500V	2	3.70	112M	Carcasa Estándar	6.5	240%	200%	0.01080 kgm ²	6 s
<input type="checkbox"/>	IEC	50 Hz	525V	2	3.70	112M	Carcasa Estándar	6.5	240%	200%	0.01080 kgm ²	6 s
<input type="checkbox"/>	IEC	50 Hz	575V	2	3.70	112M	Carcasa Estándar	6.5	240%	200%	0.01080 kgm ²	6 s
<input type="checkbox"/>	IEC	50 Hz	220/440V	4	3.70	112M	Carcasa Estándar	6.0	250%	240%	0.02280 kgm ²	6 s
<input type="checkbox"/>	IEC	50 Hz	230/460V	4	3.70	112M	Carcasa Estándar	6.0	250%	240%	0.02280 kgm ²	6 s
<input type="checkbox"/>	IEC	50 Hz	230V	4	3.70	112M	Carcasa Estándar	6.0	250%	240%	0.02280 kgm ²	6 s

Nota. La figura muestra los diferentes datos de la selección del motor teniendo los datos de entrada. Tomado de: “WEG - Selección de Motores Eléctricos,” Weg.net. [Online]. Available: https://ecatalog.weg.net/TEC_CAT/tech_motor_sel_web.asp?cd_producto=74&CD_CATEGORIA_PRODUTO=&cd_mercado=000L&cd_idioma_cat=ES&cd_empresa=110.

Figura 39.

Datos B del motor.

Masa aproximada	Nivel de ruido	Factor de Servicio	Rotación nominal	Rendimiento			Factor de Potencia			Corriente nominal	Altitud	Régimen de servicio
				50%	75%	100%	50%	75%	100%			
47.7 kg	57 dB(A)	1.00	2900 rpm	78.0%	79.5%	80.0%	0.81	0.83	0.85	22.0/11.0 A	1000 m	S1
47.7 kg	57 dB(A)	1.00	2900 rpm	78.0%	79.5%	80.0%	0.81	0.83	0.85	21.0/10.5 A	1000 m	S1
47.7 kg	57 dB(A)	1.00	2900 rpm	78.0%	79.5%	80.0%	0.81	0.83	0.85	21.0 A	1000 m	S1
47.7 kg	57 dB(A)	1.00	2900 rpm	78.0%	79.5%	80.0%	0.81	0.83	0.85	20.2/10.1 A	1000 m	S1
47.7 kg	57 dB(A)	1.00	2900 rpm	78.0%	79.5%	80.0%	0.81	0.83	0.85	9.68 A	1000 m	S1
47.7 kg	57 dB(A)	1.00	2900 rpm	78.0%	79.5%	80.0%	0.81	0.83	0.85	9.22 A	1000 m	S1
47.7 kg	57 dB(A)	1.00	2900 rpm	78.0%	79.5%	80.0%	0.81	0.83	0.85	8.42 A	1000 m	S1
53.2 kg	60 dB(A)	1.00	1430 rpm	70.0%	74.0%	75.6%	0.77	0.82	0.85	26.0/13.0 A	1000 m	S1
53.2 kg	60 dB(A)	1.00	1430 rpm	70.0%	74.0%	75.6%	0.77	0.82	0.85	24.9/12.4 A	1000 m	S1
53.2 kg	60 dB(A)	1.00	1430 rpm	70.0%	74.0%	75.6%	0.77	0.82	0.85	24.9 A	1000 m	S1

Nota. La figura muestra los diferentes datos de la selección del motor teniendo los datos de entrada. Tomado de: “WEG - Selección de Motores Eléctricos,” Weg.net. [Online]. Available: https://ecatalog.weg.net/TEC_CAT/tech_motor_sel_web.asp?cd_producto=74&CD_CATEGORIA_PRODUTO=&cd_mercado=000L&cd_idioma_cat=ES&cd_empresa=110.

Otra característica importante es el voltaje de trabajo, dentro de las condiciones para este diseño está que la máquina debe ser fácilmente transportada y colocada en la red eléctrica del lugar donde se va a realizar el corte y posterior transporte. Así, se selecciona un motor que trabaje con 220/440 V. A continuación, se muestran las características específicas del motor (Figura 40).

Figura 40.

Características específicas del motor.

Características
• Carcasa: 112M
• Potencia: 3,7 kW
• Frecuencia: 50 Hz
• Polos: 4
• Rotación nominal: 1430
• Deslizamiento: 4,67 %
• Voltaje nominal: 220/440 V
• Corriente nominal: 26,0/13,0 A
• Corriente de arranque: 156/78,0 A
• I_p / I_n : 6,0
• Corriente en vacío: 8,00/4,00 A
• Par nominal: 24,7 Nm
• Par de arranque: 250 %
• Par máxima: 240 %
• Categoría: ---
• Clase de aislación: F
• Elevación de temperatura: 80 K
• Tiempo de rotor bloqueado: 6 s (caliente)
• Factor de Servicio: 1,00
• Régimen de servicio: S1
• Temperatura Ambiente: -20°C – +40°C
• Altitud: 1000 m
• Protección: IP22
• Masa aproximada: 53 kg
• Momento de inercia: 0,02280 kgm ²
• Nivel de ruido: 60 dB(A)

Nota. La figura muestra las características de la selección del motor.

Tomado de: "WEG - Selección de Motores Eléctricos," Weg.net. [Online].

Available:

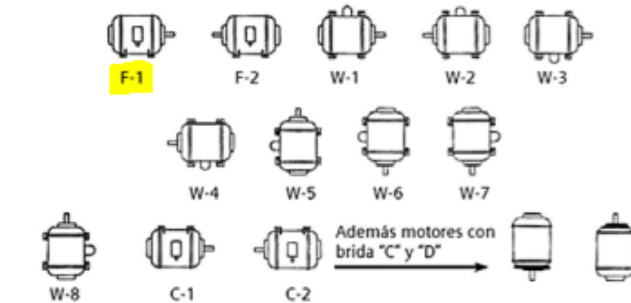
https://ecatalog.weg.net/TEC_CAT/tech_motor_sel_web.asp?cd_producto=74&CD_CATEGORIA_PRODUTO=&cd_mercado=000L&cd_idioma_cat=ES&cd_empresa=110.

Para este motor se seleccionó el siguiente montaje (Figura 41), ya que como se muestra en la alternativa seleccionada el motor va en la parte posterior de la estructura y para su acople con el reductor de velocidad.

Figura 41.

Montaje y posicionamiento del motor.

Montaje y posición de la caja de conexión / Assembly mounting and terminal box position



Montaje F-1 / Mounting F-1	Montaje W-3 / Mounting W-3
Montaje F-2 / Mounting F-2	Montaje W-4 / Mounting W-4
Montaje C-1 / Mounting C-1	Montaje W-5 / Mounting W-5
Montaje C-2 / Mounting C-2	Montaje W-6 / Mounting W-6
Montaje W-1 / Mounting W-1	Montaje W-7 / Mounting W-7
Montaje W-2 / Mounting W-2	Montaje W-8 / Mounting W-8

Nota. La figura muestra las diferentes posiciones de montaje del motor. Tomado de: “WEG - Selección de Motores Eléctricos,” Weg.net. [Online]. Available: https://ecatalog.weg.net/TEC_CAT/tech_motor_sel_web.asp?cd_producto=74&CD_CATEGORIA_PRODUTO=&cd_mercado=000L&cd_idioma_cat=ES&cd_empresa=110.

6.3. Diseño del eje

A partir de la literatura técnica pertinente, se consultan los aceros más apropiados para la construcción de ejes en máquinas rotativa, las designaciones de aceros más utilizadas son los aceros al carbono de la serie AISI 10 XX , AISI 41XX y AISI 43XX, con un contenido mínimo de carbono de 0,4 % [34]. Los aceros más comúnmente utilizados son el AISI 1045, AISI 4140 y AISI 4340, los cuales son aceros disponibles en el mercado. Para este eje se seleccionó el material AISI 1045, este posee propiedades como buena soldabilidad, fácil maquinabilidad y resistencia al impacto, sin embargo por tener menor cantidad de elementos de aleación posee menor templabilidad. Para las condiciones de sollicitación mecánica de la máquina el acero AISI 1045 presenta ventajas en cuanto a las propiedades mecánicas y costo, frente a los demás aceros

utilizados para la fabricación de ejes, en la Tabla 9 se presentan algunas características del acero AISI 1045.

Tabla 9.
Propiedades del material AISI 1045.

AISI/SAE	Composición Química	Características	Aplicaciones	Tratamientos térmicos
1045	C: 0,43 / 0,50 Mn: 0,60 / 0,90	Acero al C. De baja templabilidad. En estado templado tiene alta dureza y buena tenacidad. Es apto para temple superficial.	Piezas de alta dureza y buena tenacidad (manivelas, chavetas, ejes, cigüeñales, bielas, engranajes, espárragos, etc.)	Laminado forjado: 1200 / 850 °C Normalizado: 850 / 875 °C Recocido para mecanizar: 810 / 860 °C Temple: aceite 815 / 840 °C Revenido: 540 °C Temple: aceite 815 / 840 °C Revenido: 650 °C

Nota. Se muestran en la tabla las propiedades del material seleccionado para el eje, acero AISI 1045. Tomado de: L. P. Barrueta, “Guía para la selección de aceros para elementos tipo árboles y ejes de transmisión,” Researchgate.net. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/358128332_Guia_para_la_seleccion_de_aceros_para_elementos_tipo_arboles_y_ejes_de_transmision.

6.3.1. Cálculos del eje

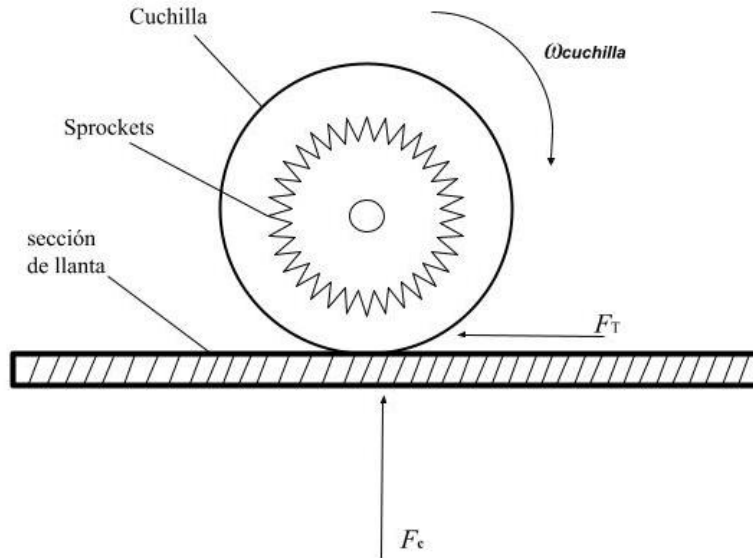
Para el cálculo del diámetro mínimo del eje que soporta la cuchilla de corte y recibe la fuerza de corte, se realizarán cálculos numéricos y la simulación de las condiciones de carga para validar el diseño. Según Budynas [35], Los hombros de soporte de rodamientos deben cumplir con las recomendaciones específicas del catálogo de rodamientos. Los catálogos de rodamientos muestran relaciones típicas de rodamientos D/d entre 1,2 y 1,5 [35].

Como primera aproximación, podemos asumir el peor de los casos con D/d=1.5. De manera similar, el radio de filete del hombro debe diseñarse para evitar la interferencia con el radio de filete del componente correspondiente, con valores típicos de r/d alrededor de 0.02 a 0.06 [35].

En la Figura 42 se muestra un esquema para evidenciar las fuerzas a las que estará sometido el eje, se realiza un diagrama de cuerpo libre (Figura 43) para determinar sus diagramas de fuerza cortante en dos planos (Figura 44 y 45) y el de momento flector en dos planos (Figura 47 y 48),

se realiza el análisis en dos puntos para determinar el diámetro mínimo requerido donde irá la cuchilla y el diámetro mínimo requerido donde irá el cojinete o rodamiento:

Figura 42.
Diagrama de fuerzas actuantes para el corte.



Nota. Esta figura muestra un esquema para determinar qué fuerzas soportará el eje en el proceso de corte.

$$T_M = 9,55 * P * \frac{1000}{\omega_{cuchilla}} = 9,55 * 3,5 \text{ kW} * \frac{1000}{71 \text{ rpm}} = 470,77 \text{ Nm} \quad (10)$$

$$F_T = \frac{T_M}{r} = \frac{470,77 \text{ Nm}}{0,0885 \text{ m}} = 5319,43 \text{ N} \quad (11)$$

Donde:

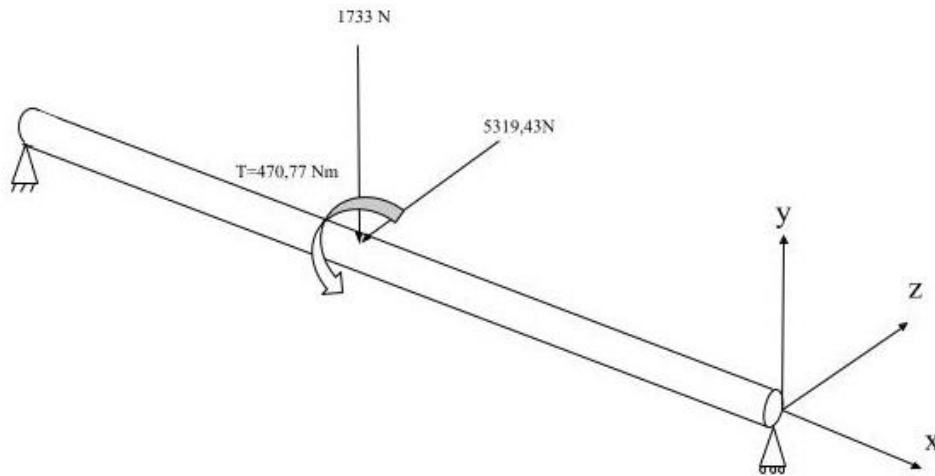
T_M : Torque medio

F_T : Fuerza de torque

r : radio de la cuchilla

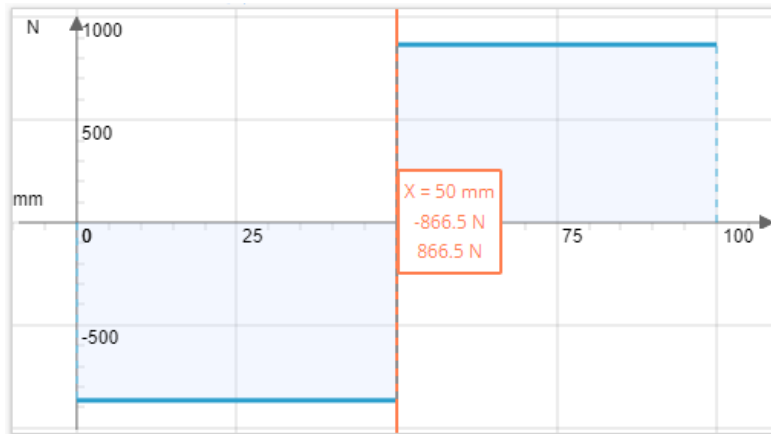
P : Potencia del motor

Figura 43.
Diagrama de cuerpo libre del eje.



Nota. Esta figura muestra el diagrama de cuerpo libre del eje.

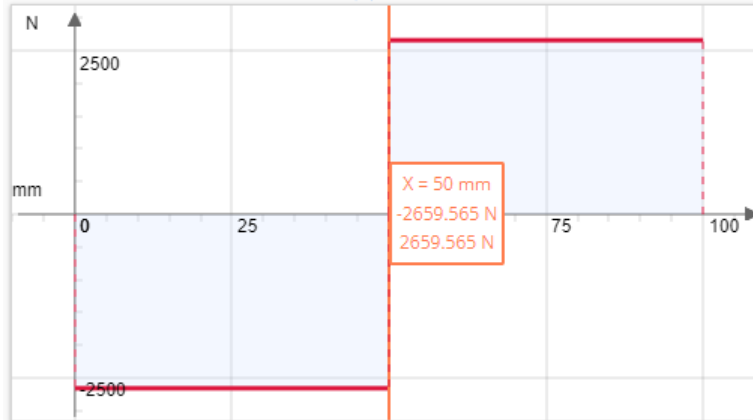
Figura 44.
Diagrama de fuerza cortante plano xy.



Nota. Esta figura muestra el Diagrama de fuerza cortante en el plano xy.

Figura 45.

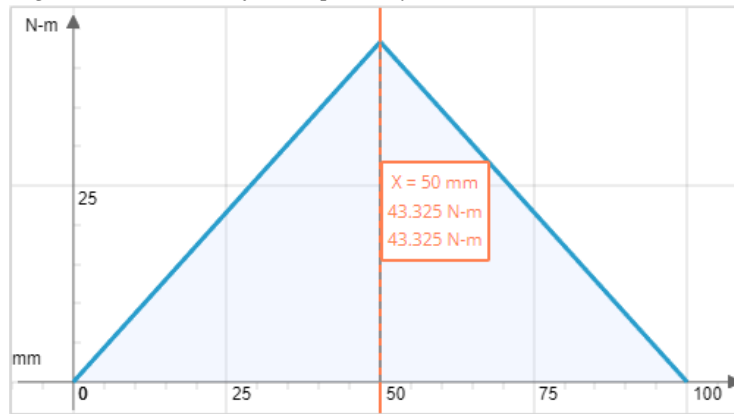
Diagrama de fuerza cortante plano xz.



Nota. Esta figura muestra el Diagrama de fuerza cortante en el plano xz.

Figura 46.

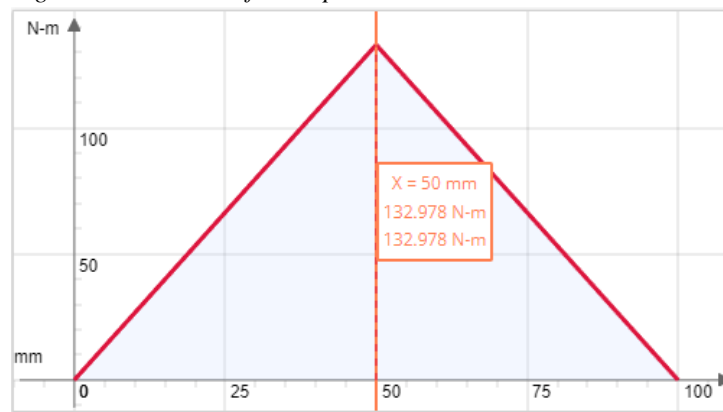
Diagrama de momento flector plano xy.



Nota. Esta figura muestra el Diagrama de momento flector en el plano xy.

Figura 47.

Diagrama de momento flector plano xz.



Nota. Esta figura muestra el Diagrama de momento flector plano xz.

-Análisis para diámetro mayor y diámetro menor del eje

A partir del diagrama del momento máximo M, combinando los planos ortogonales como vectores para obtener momentos totales como se obtiene el el punto donde actúa la fuerza de corte:

$$M_a = \sqrt{(43,325)^2 + (132,978)^2} = 139,86 \text{ Nm} \quad (12)$$

Donde:

M_a : Momento a flexión alternante (Nm)

Como primer paso, a partir de la Tabla 10 se estime el valor de K_t (flexión) 2,14 y K_{ts} (torsión) 3,0

Tabla 10.
Datos para el valor de K_t y K_{ts} .

	Flexión	Torsión	Axial
Filete de hombro: agudo ($r/d = 0.02$)	2.7	2.2	3.0
Filete de hombro: bien redondeado ($r/d = 0.1$)	1.7	1.5	1.9
Cuñero fresado ($r/d = 0.02$)	2.14	3.0	—
Cuñero de patín o trapezoidal	1.7	—	—
Ranura para anillo de retención	5.0	3.0	5.0

Nota. Se muestran en la tabla los valores de K_t y K_{ts} . Tomado de: R. G. Budynas, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, 9na Edición.

Para dar un primer pase rápido y conservador, suponga que $K_f = K_t$, $K_{fs} = K_{ts}$. Con la ecuación 13 obtenemos el límite de resistencia a la fatiga en el punto más crítico.

$$S_e = S_{e'} * K_a * K_b * K_e \quad (13)$$

Donde:

S_e : Límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica.

$S_{e'}$: Límite de resistencia a la fatiga de rotación.

K_a : Factor de modificación por la condición superficial.

K_b : Factor de modificación por el tamaño.

K_e : Factor de confiabilidad

Para determinar S_{er} , se utiliza la ecuación 14 donde el eje del material acero 1045 tiene una resistencia última (S_{ult}) de 565 MPa y una resistencia a la fluencia (S_y) de 310 MPa

$$S_{er} = 0,5 * S_{ult} = 0,5 * 565 \text{ MPa} = 282,5 \text{ MPa} \quad (14)$$

El Factor de modificación por la condición superficial K_a se obtiene mediante la ecuación 15 y la Tabla 11.

Tabla 11.

Datos para el factor a y exponente b.

Acabado superficial	Factor a		Exponente
	S_{ult} , kpsi	S_{ult} , MPa	b
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

Nota. Se muestran en la tabla los valores para el factor a y exponente b. Tomado de: R. G. Budynas, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, 9na Edición.

El eje se ha seleccionado con un acabado superficial en maquinado lo que nos da un valor del factor $a = 4,51$ MPa y un valor del exponente b de -0,265.

$$K_a = a * S_{ult}^b = 4,51(565 \text{ MPa})^{-0,265} = 0,84 \quad (15)$$

se considera k_b 0.9 y K_e valor de 1. Verifique después, cuando se conozca el valor de d . Con este último dato se procede a reemplazar en la ecuación 13.

$$S_e = S_{er} * K_a * K_b * K_e = 282,5 * 0,84 * 0,9 * 1 = 213,57 \text{ MPa} \quad (13)$$

Para la primera estimación del diámetro pequeño en el hombro del cojinete, es utilizado el criterio ED-Goodman ecuación (16). Este criterio es adecuado para el diseño inicial, puesto que es simple y conservador. Con Mm y $Ta = 0$.

$$d = \left[\frac{16n}{\pi} \left(\frac{2(K_f * M_a)}{S_e} + \frac{[3(K_{fs} * T_M)^2]^{1/2}}{S_{ult}} \right) \right]^{1/3}$$

$$d = \left[\frac{16 \cdot 2}{\pi} \left(\frac{2(2,14 \cdot 139,86)}{213,57 \times 10^6} + \frac{[3(3,0 \cdot 470,77)^2]^{1/2}}{565 \times 10^6} \right) \right]^{1/3} = 0,04172m \quad (16)$$

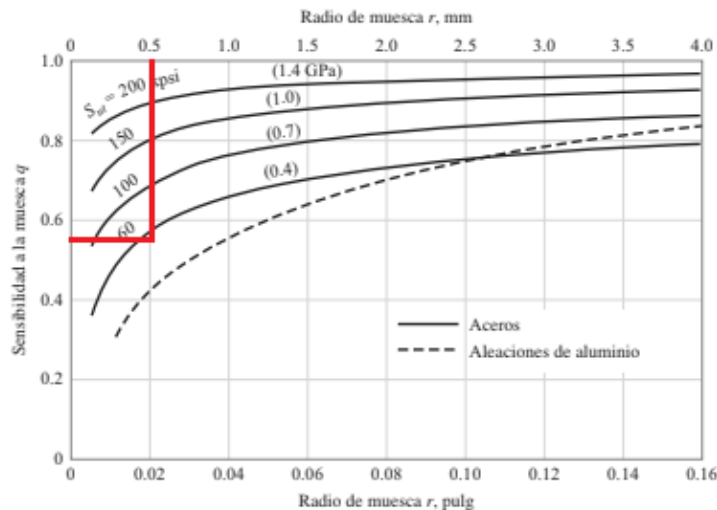
Probablemente todas las estimaciones han sido conservadoras; por lo tanto, se selecciona el siguiente tamaño estándar por debajo de 41,72 mm, conforme recomendación de Budynas [35] y verifique 40 mm. Una relación típica D/d para el soporte en un hombro es D/d = 1,2, así que D = 1,2(0,040) = 0,048 m. D = 48 mm. Se determina que 35 mm estaba sobrediseñado, se puede usar un eje de acero con un diámetro nominal de 48 mm. Se verifica que estas estimaciones son aceptables, como mostrado a continuación.

$$D/d = 48/40 = 1,2$$

Para determinar q utilizamos las siguientes Figura 47 y 48. Tomando un tentativo valor de radio de muesca de $r = 0,5$ mm

Figura 48.

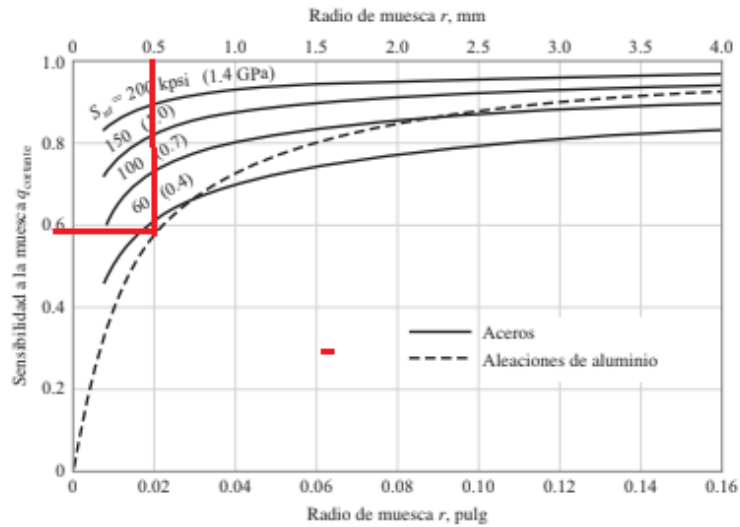
Datos para el valor de muesca (q).



Nota. Se muestran en las figuras los valores de muesca (q) y (q cortante).
Tomado de: R. G. Budynas, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley,
9na Edición

Figura 49.

Datos para el valor de muesca (q cortante).



Nota. Se muestran en las figuras los valores de muesca (q) y (q cortante).
Tomado de: R. G. Budynas, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, 9na Edición.

Obtenemos un valor de q de 0,55 y q cortante de 0,59 con estos datos utilizamos las ecuaciones 17 y 18

$$K_f = 1 + q(K_t - 1) = 1 + 0,55(2,14 - 1) = 1,627 \quad (17)$$

$$K_{fS} = 1 + q(K_{ts} - 1) = 1 + 0,59(3,0 - 1) = 2,18 \quad (18)$$

Donde:

K_f : factor de concentración del esfuerzo por fatiga

K_{fS} : factor de concentración del esfuerzo a flexión

$$K_a = a * S_{ult}^b = 4,51(565 \text{ MPa})^{-0,265} = 0,84 \quad (\text{sin cambio}) \quad (15)$$

El factor de tamaño se evaluó mediante la Tabla 12.

Tabla 12.

Datos para el valor de K_b .

$$k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases}$$

Nota. Se muestran en la tabla los valores de K_b . Tomado de: R. G. Budynas, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, 9na Edición.

$$K_b = (d/7,62)^{-0,107} = (40/7,62)^{-0,107} = 0,84 \quad (\text{una pequeña variación}) \quad (19)$$

$$K_e = 1 \quad (\text{sin cambio})$$

$$S_e = S_{e'} * K_a * K_b * K_e = 282,5 * 0,84 * 0,84 * 1 = 199,33 \text{ Mpa} \quad (13)$$

$$\sigma'_a = \left(\left(\frac{32 * K_f * M_a}{\pi * d^3} \right)^2 \right)^{1/2} = \left(\left(\frac{32 * 1,627 * 139,86}{\pi * 0,040^3} \right)^2 \right)^{1/2} = 36,22 \text{ Mpa} \quad (20)$$

$$\sigma'_m = \left(3 * \left(\frac{16 * K_{fs} * T_m}{\pi * d^3} \right)^2 \right)^{1/2} = \left(3 * \left(\frac{16 * 2,18 * 470,77}{\pi * 0,040^3} \right)^2 \right)^{1/2} = 141,45 \text{ Mpa} \quad (21)$$

Usando el criterio de Goodman

$$\frac{1}{n_f} = \frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ult}} = \frac{36,22}{199,33} + \frac{141,45}{565} = 2,3 \quad (22)$$

Para obtener el factor de seguridad contra la fluencia, se determina un esfuerzo máximo equivalente de Von Mises usando la ecuación.

$$\sigma'_{max} = \left[\left(\frac{32 * K_f * M_a}{\pi * d^3} \right)^2 + 3 * \left(\frac{16 * K_{fs} * T_m}{\pi * d^3} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (23)$$

$$\sigma'_{max} = \left[\left(\frac{32 * 1,627 * 139,86}{\pi * 0,040^3} \right)^2 + 3 * \left(\frac{16 * 2,18 * 470,77}{\pi * 0,040^3} \right)^2 \right]^{1/2} = 146,02 \text{ Mpa}$$

$$n_y = \frac{S_y}{\sigma'_{max}} = \frac{310}{146,02} = 2,1 \quad (24)$$

Para realizar una comparación de los valores obtenidos, se hace una verificación rápida del valor de fluencia haciendo la sustitución de σ'_{max} con $(\sigma'_a + \sigma'_m)$.

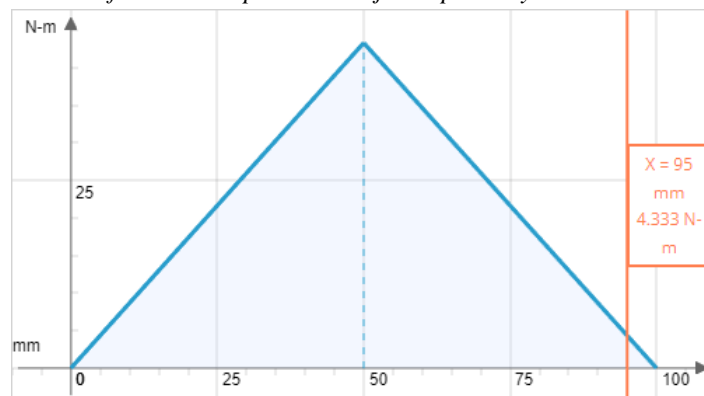
$$n_y = \frac{S_y}{\sigma'_a + \sigma'_m} = \frac{310}{36,22 + 141,45} = 1,7 \quad (25) \quad \text{donde se verifica la condición} \quad \frac{S_y}{\sigma'_{max}} > \frac{S_y}{\sigma'_a + \sigma'_m}$$

lo cual es un valor más bajo en comparación con $n_y = 2,1$.

Se verifica rápidamente si el punto donde se va a posicionar el cojinete resulta crítico. En este punto la flexión y el momento son pequeños, con un diámetro resultante pequeño (40 mm). A partir del diagrama de momento, en la posición del cojinete (Figura 49 y 50), se obtiene M_a y para $T_m = 0$.

Figura 50.

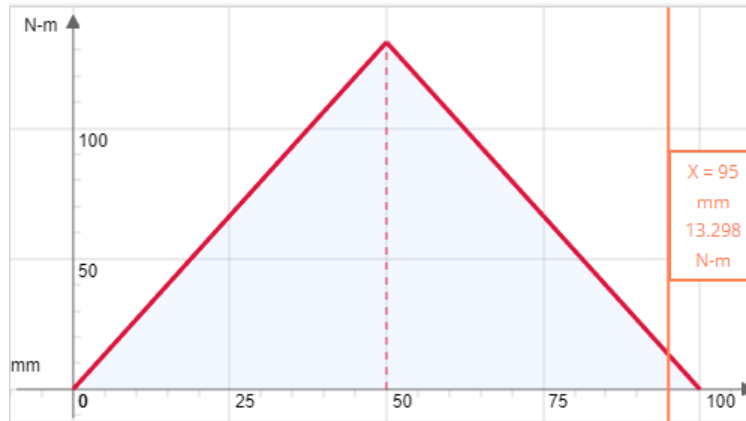
Momento flector en el punto del cojinete plano xy.



Nota. Esta figura muestra el Diagrama de momento flector, donde el punto rojo muestra el valor en el punto del cojinete.

Figura 51.

Momento flector en el punto del cojinete plano xz.



Nota. Esta figura muestra el Diagrama de momento flector en el plano yz, donde el punto rojo muestra el valor en el punto del cojinete.

$$M_a = \sqrt{(4,333)^2 + (13,298)^2} = 13,98 \text{ Nm} \quad (12)$$

Se estima $K_t = 2,7$ a partir de la Tabla 13, y $d = 40 \text{ mm}$, y el radio del filete r se estima para que se ajuste a un cojinete típico.

Tabla 13.

Datos para el valor de K_t cojinete.

	Flexión	Torsión	Axial
Filete de hombro: agudo ($r/d = 0.02$)	2.7	2.2	3.0
Filete de hombro: bien redondeado ($r/d = 0.1$)	1.7	1.5	1.9
Cuñero fresado ($r/d = 0.02$)	2.14	3.0	—
Cuñero de patín o trapezoidal	1.7	—	—
Ranura para anillo de retención	5.0	3.0	5.0

Nota. Se muestran en la tabla los valores de K_t para la parte donde está ubicado el cojinete. Tomado de: R. G. Budynas, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, 9na Edición.

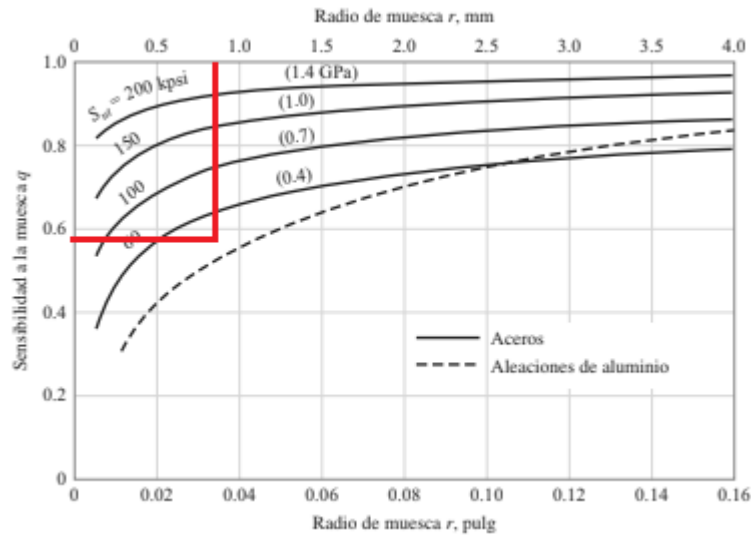
$$r/d = 0,02$$

$$r = (0,02) * (40\text{mm}) = 0,8$$

$q = 0,59$, se estima a partir de la Figura 51.

Figura 52.

Datos para el valor de muesca (q) en el cojinete.



Nota. Se muestran en las figuras los valores de muesca (q) para el cojinete. Tomado de: R. G. Budynas, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, 9na Edición.

$$K_f = 1 + q(K_t - 1) = 1 + 0,59(2,7 - 1) = 2 \quad (26)$$

$$\sigma_a = \frac{32 \cdot K_f \cdot M_a}{\pi \cdot d^3} = \frac{32 \cdot 2 \cdot 13,98}{\pi \cdot 0,040^3} = 4,45 \text{ MPa} \quad (27)$$

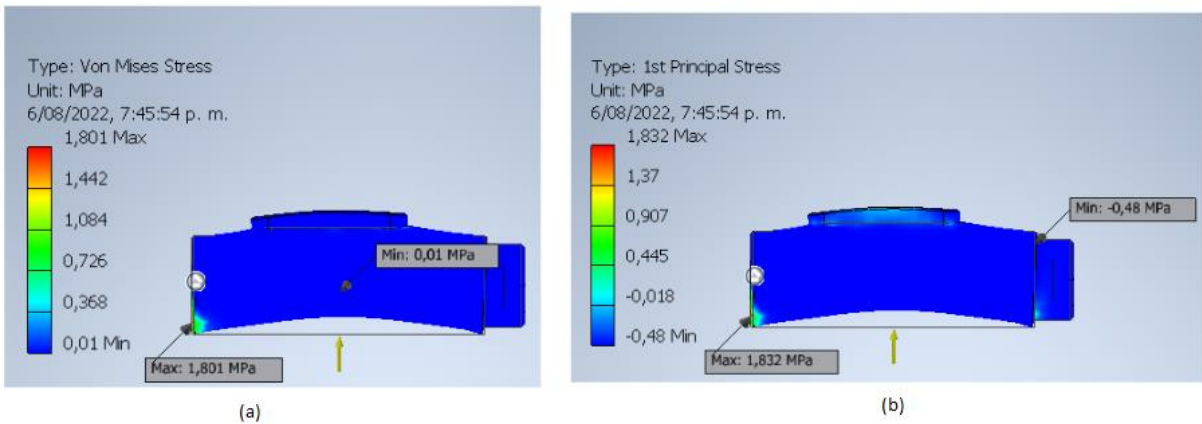
$$n_f = \frac{S_e}{\sigma_a} = \frac{199,33}{4,45} = 44,8 \quad (28)$$

6.3.2. Análisis de esfuerzos en el eje

Se realizó un análisis de esfuerzo estático al eje con ayuda del programa de diseño Autodesk Inventor, donde en la Figura 53 (a) muestra el valor de esfuerzo de Von Mises Con un valor máximo de 1,801 Mpa en la parte donde se acopla el eje con el eje del reductor de velocidad, se evidencia una pequeña deflexión en la mitad del eje que es donde recibirá la fuerza puntual del corte y la Figura 53 (b) muestra el primer esfuerzo principal con un valor máximo de 1,832 MPa, estos valores sobre el eje del corte de la máquina no superan el módulo de Young del material AISI 1045.

Figura 53.

Diagrama de análisis de esfuerzo del eje.

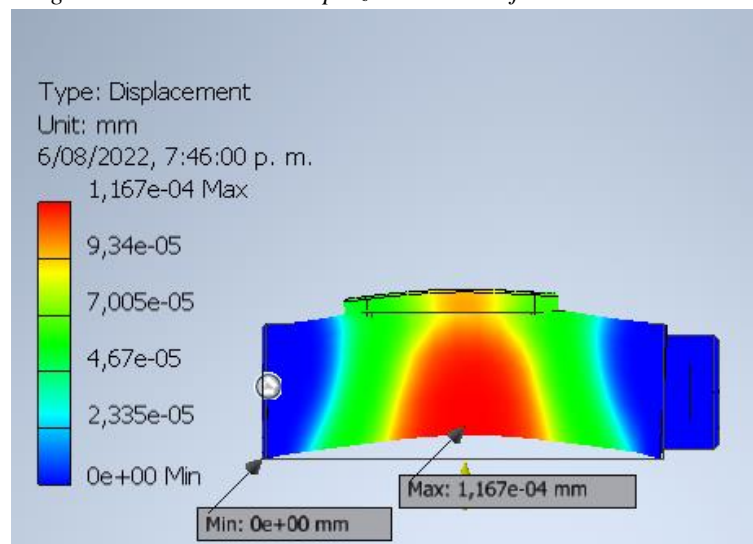


Nota. Se muestran en las figuras el análisis y el comportamiento del eje mostrando el valor de Von Mises y el principal esfuerzo.

La Figura 54 muestra el valor del desplazamiento máximo que tendría el eje siendo en la parte donde se aplica la fuerza, con un valor de 0,0000116 mm un valor demasiado pequeño lo que indica que el eje no tendrá problemas en su funcionamiento tanto en diseño como en material.

Figura 54.

Diagrama de análisis del desplazamiento del eje.



Nota. Se muestra en la figura el análisis del desplazamiento máximo obtenido por la simulación de inventor.

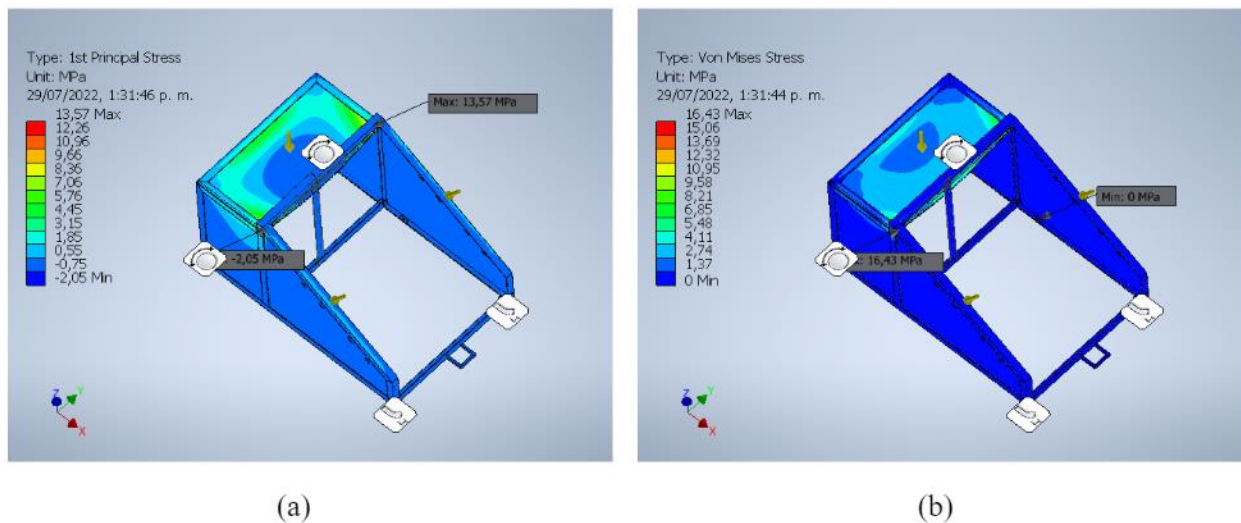
6.4. Análisis estructural

Se seleccionó un perfil estructural en ángulo de lados iguales de $1\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2} \times \frac{3}{16}$ y láminas metálicas que serán la carcasa de la estructura, todo el conjunto se fabricará con acero ASTM A36, siendo un material comercial de menor costo, cuando comparado con aceros estructurales de alta resistencia, además, este acero es ampliamente utilizado en la fabricación de estructuras metálicas.

Se realiza un análisis estructural estático por medio del software de diseño Autodesk Inventor que permite ver resultados del análisis sobre la estructura. Este análisis fue realizado teniendo en cuenta el peso de los componentes seleccionados anteriormente, es decir el motor, reductor de velocidad, eje, conjunto de corte, caja de mando. La Figura 55 (a), muestra el valor de esfuerzo de Von Mises Con un valor máximo de 16,43 Mpa donde se evidencia deflexión de la placa superior y la Figura 56 (b) muestra el primer esfuerzo principal con un valor máximo de 13,57 MPa estos valores se evidencian sobre la placa superior de la máquina que sostiene los componentes para el corte y el subsistema de transmisión de potencia, siendo estos valores pequeños donde no superan la resistencia del material ASTM A36.

Figura 55.

Diagrama de análisis de esfuerzo de la estructura.

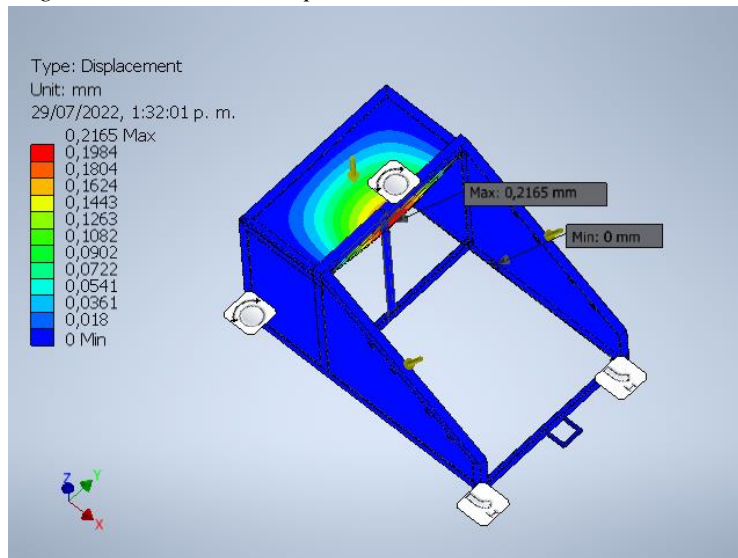


Nota. Se muestran en las figuras el análisis y el comportamiento de la estructura mostrando el valor de Von Mises y el principal esfuerzo.

Por último, la Figura 56 muestra el desplazamiento máximo realizado por la placa o la deflexión máxima que tuvo la placa, siendo un valor máximo de 0,2165 mm lo cual es un desplazamiento muy pequeño que son valores menores que no afectan al rendimiento de la máquina teniendo en cuenta las propiedades mecánicas y físicas del material lo que significa que la estructura soportará las cargas para el funcionamiento y proceso de la máquina.

Figura 56.

Diagrama de análisis de desplazamiento de la estructura.



Nota. Se muestra en la figura el análisis del desplazamiento máximo obtenido por la simulación de inventor.

6.4.1. *Calculo de soldadura*

Se implementa soldadura en las placas que conforman la estructura, Se realiza el análisis a la soldadura por dos tipos de cargas para determinar la fuerza por pulgada de soldadura en el punto más crítico de la placa de la estructura, Para dichos cálculos se utilizará como guía el libro de Diseño de elementos de Robert L. Mott [36].

Conociendo el perfil estructural de la estructura a emplearse y el punto más crítico de la estructura, se procede hacer los siguientes cálculos correspondientes teniendo en cuenta que la soldadura está sometida en ese punto con una carga (P) de 84,5 kg (186,29 Lb), se realizará el cálculo de soldadura de carga cortante vertical y carga por flexión.

Para calcular la fuerza sobre la soldadura de carga por cortante vertical f_c , se debe conocer los factores geométricos A_w

$$f_c = \frac{V}{A_w} \quad (29)$$

Donde:

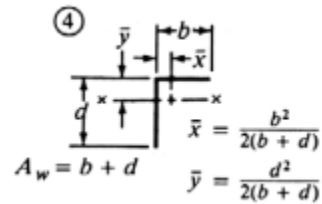
f_c : Fuerza por pulgada de carga vertical cortante

V : Cortante

A_w : Pulgada de soldadura

Figura 57.

Ecuaciones para un perfil de estructura en ángulo.



Nota. Se Muestran En La Figura Las Ecuaciones Requeridas Para Un Perfil Estructural En Ángulo. Tomado De: P. E. Robert L. Mott, DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS. Stephen Helba, 2006.

Según la ecuación de la imagen para un perfil estructural en ángulo

$$A_w = b + d \quad (30)$$

Donde:

$$b = 1\frac{1}{2}, d = 1\frac{1}{2}$$

$$A_w = 1\frac{1}{2} + 1\frac{1}{2} = 2,25 \text{ pulg}$$

$V = P$, entonces

$$f_c = \frac{V}{A_w} = \frac{186,29 \text{ Lb}}{2,25 \text{ Pulg}} = 82,79 \frac{\text{Lb}}{\text{Pulg}} \quad (29)$$

Para realizar el cálculo de la fuerza por carga a flexión se utiliza la siguiente ecuación:

$$f_{fle} = \frac{M}{S_w} \quad (31)$$

Donde:

f_{fle} : Fuerza por pulgada de carga a flexión

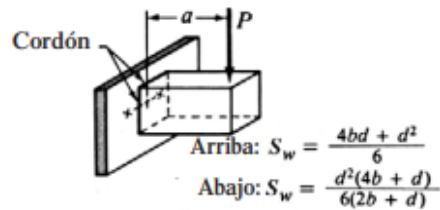
M : Momento

S_w : Pulgada cuadrada de soldadura

Para determinar S_w y M utilizamos la Figura 58.

Figura 58.

Ecuación para determinar S_w .



Nota. Se muestran en la figura las ecuaciones requeridas para determinar la pulgada cuadrada de soldadura. Tomado de: P. E. Robert L. Mott, DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS. Stephen Helba, 2006.

$$S_w = \frac{4bd+d^2}{6} = \frac{4 * 1\frac{1}{2} * 1\frac{1}{2} + (1\frac{1}{2})^2}{6} = 1,87 \text{ pulg}^2 \quad (32)$$

$$M = P * a = 186,29 \text{ Lb} * 7,87 \text{ Pulg} = 1466,10 \text{ Lb Pulg} \quad (33)$$

$$f_{fle} = \frac{M}{S_w} = \frac{1466,10 \text{ Lb pulg}}{1,87 \text{ pulg}^2} = 784,01 \frac{\text{Lb}}{\text{Pulg}} \quad (31)$$

Se realiza la sumatoria de las fuerzas de cortante vertical y por flexión para hallar la fuerza máxima actuante sobre la soldadura.

$$f_R = \sqrt{f_c^2 + f_{fle}^2} = \sqrt{82,79^2 + 784,01^2} = 788,37 \frac{\text{Lb}}{\text{Pulg}} \quad (34)$$

Se determina la longitud del cordón de soldadura con la ecuación 35

$$W = \frac{\text{Fuerza máxima sobre la soldadura}}{\text{Esfuerzo admisible}} \quad (35)$$

Donde el esfuerzo admisible se determina con la Tabla 14, donde se selecciona un electrodo E60

Tabla 14.*Datos para el esfuerzo admisible.*

Grado ASTM del metal base	Electrodo	Esfuerzo cortante admisible	Fuerza admisible por pulgada de lado
Estructuras de edificios:			
A36, A441	E60	13 600 psi	9600 lb/pulg
A36, A441	E70	15 800 psi	11 200 lb/pulg
Estructuras de puentes			
A36	E60	12 400 psi	8800 lb/pulg
A441, A242	E70	14 700 psi	10 400 lb/pulg

Nota. Se muestran en la tabla los datos del esfuerzo admisible para un material A36. Tomado de: P. E. Robert L. Mott, DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS. Stephen Helba, 2006.

$$w = \frac{788,337 \frac{Lb}{Pulg}}{8800 \frac{Lb}{Pulg}} = 0,0895 \text{ pulg} = 2,27 \text{ mm} \quad (35)$$

Concluyendo los cálculos realizados anteriormente, se obtiene que el tamaño mínimo del cordón de soldadura de chaflán para un perfil en ángulo estructural de 1 ½ x 1 ½ x 3/16 es de 2,27 mm, debido a que el espesor de la placa es menor a ½ pulg, este criterio es presentado en la Tabla 15.

Tabla 15.*tamaño máximo para soldadura de chaflán.*

Espesor de la placa (pulg)	Tamaño máximo del lado, para soldaduras de chaflán (pulg)
≤ 1/2	3/16
> 1/2-3/4	1/4
> 3/4-1 ½	5/16
> 1 ½-2 ¼	3/8
> 2 ¼-6	1/2
> 6	5/8

Nota. Se muestran en la tabla los tamaños máximos utilizados para cada espesor de placa. Tomado de: P. E. Robert L. Mott, Diseño De Elementos De Máquinas. Stephen Helba, 2006.

Según la Tabla 15 el tamaño máximo para una placa de grosor de 10 mm (0,39 pulg) es de cordón de 3/16 (0,1875) lo cual es mayor al dato obtenido lo que quiere decir que el tamaño de cordón de soldadura hallado es ideal para la placa en su punto crítico.

6.5. Diseño de las ruedas dentadas (sprockets) y unión con la cuchilla

La función de las ruedas dentadas en la máquina es, mediante el contacto de los dientes con la llanta, producir la rotación de la llanta contra la cuchilla. El par de ruedas dentadas giran conjuntamente con la cuchilla. Para las ruedas dentadas que cumplirán esta función se eligió la geometría de los sprockets tipo A (tipo más sencillo), fabricado a partir de una placa de acero estructural A36, esto debido a que los sprockets comerciales son diseñados para soportar grandes cargas y transmitir potencia en conjunto con una cadena, lo cual los hace sobredimensionados para las condiciones de trabajo en esta máquina. Se considera que las ruedas dentadas tendrán una carga baja cuando comparada con la transmisión de potencia por cadena y el desgaste pequeño porque solo estará en contacto con el caucho de la llanta. Esto justifica su fabricación en acero de baja aleación. Las dimensiones y especificaciones son tomadas a partir de las especificaciones ANSI B29.1-1975 para sprockets lo cual favorece su fabricación. Se elige un paso de 12,70 mm (0.500 pulg.) y se calcula el diámetro del paso (diámetro que sigue el centro de los pernos de la cadena) $DP = (PASÓ/SENO (180/Nd))$, donde Nd es el número de dientes.

$$DP = 147 \text{ mm}$$

$$DP = \left(\frac{\text{Paso}}{\text{Sen}(180/Nd)} \right) \quad 147 \text{ mm} = \left(\frac{12,70}{\text{Sen}(180/Nd)} \right)$$

$$Nd = 36,31 \approx 36$$

$$DP = \left(\frac{\text{Paso}}{\text{Sen}(180/Nd)} \right) = \left(\frac{12,70}{\text{Sen}(180/36)} \right) = 145,71 \text{ mm}$$

El cálculo de los tornillos de la unión del conjunto se realiza a partir de la potencia nominal transmitida por el motor la cual entrega un torque de 470,77 Nm, por cuestión de estabilidad de la unión del conjunto, ruedas dentadas - cuchilla, se elige colocar 4 tornillos ASTM A307 grado A,B (tornillos comunes), a 50mm del centro, los cuales poseen una resistencia a la tracción mínima de 60 ksi (414 MPa), para determinar el diámetro mínimo de los tornillos utilizamos la relación entre el esfuerzo cortante último (τ_{sut}) y el esfuerzo último a tracción (σ_{sut}) $\tau_{sut} = 0.82\sigma_{sut}$ [37], la fuerza ejercida por el torque suministrado es de $F = 470,77 \text{ Nm} / 0,05 \text{ m}$, así $F = 9415,4 \text{ N}$, realizando la sustitución en la ecuación 36, tenemos que el diámetro mínimo es de

$D_{\min} = 3$ mm para cada tornillo este resultado se da porque la fuerza generada en el corte es baja comparada con la resistencia del material y el número de tornillos a utilizar.

$$\tau_{sut} = \frac{F}{4A_r} \quad (36)$$

Así se considera utilizar 4 tornillos corrientes hexagonales M6 para la sujeción del conjunto.

6.6. Selección cuchilla

Para la selección de cuchilla se consideran dos opciones, la primera es adquirir directamente con el proveedor (EAECO) la cuchilla que ya viene prefabricada con una medida estándar de 180 mm de diámetro, la segunda opción es fabricar la cuchilla con materiales y medidas adecuados para la máquina diseñada. En ambas opciones se recomienda realizar el afilado de la cuchilla cada 30 días o cada 500 cortes, para que esta siga cortando con la misma efectividad, disminuyendo la potencia necesaria para realizar el proceso.

-Selección de cuchilla (primera opción-compra de fabricante especializado).

Para esta opción la cuchilla que tiene un diámetro de 4,25 pulgadas, como se muestra en la Figura 59, esta puede ser adquirida directamente con un precio del mercado de 110 USD aproximadamente \$ 473.820 pesos con el valor del dólar a la fecha de realización del proyecto, esta cuchilla está fabricada con acero aleado tratado térmicamente según información del fabricante. [38]

Figura 59.

Ejemplo de cuchilla comprada.



Nota. Se muestra en la figura la cuchilla que se puede adquirir al comprar con el fabricante de la empresa EECO. Tomado de: EECO, "4.25" cutting blade for TTSR5-1", EECO. [En línea]. Disponible en: <https://www.eaeco.com/collections/cutting-tools/products/4-25-cutting-blade?variant=39363521577058>.

-Selección de cuchilla (Segunda opción - fabricación).

Para esta opción, la cuchilla puede fabricarse disminuyendo los costos que puede presentar la compra de la misma con un distribuidor internacional. Para la fabricación de cuchillas para el corte de polímeros generalmente son fabricadas en aceros aleados o aceros herramienta, algunas de las designaciones de aceros herramienta comunes para esta aplicación son la AISI D2, D3, M2, T1 [39].

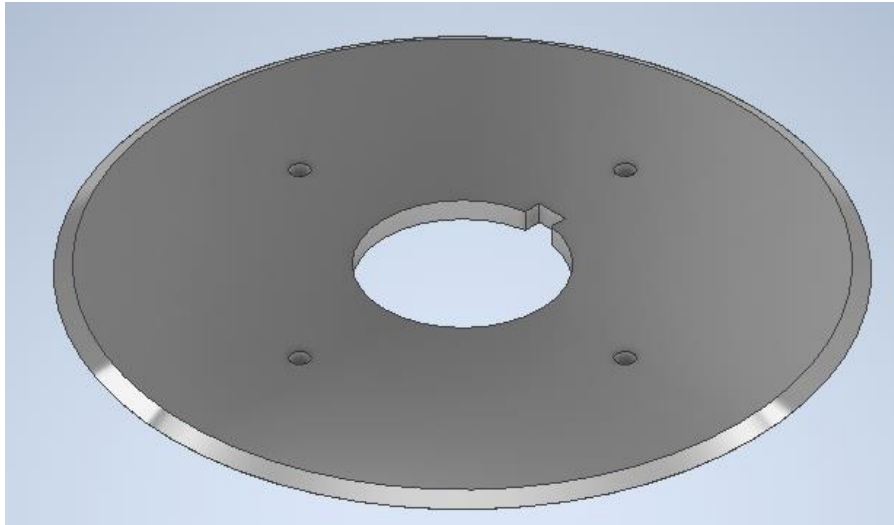
Para la fabricación de estas piezas de corte los aceros utilizados deben poseer propiedades que ofrecen alta resistencia mecánica y resistencia al desgaste para mantener el filo, otros aceros recomendados para la fabricación de cuchillas son los aceros AISI 4340, 15B30 y AISI 5160, los cuales se caracterizan por su buena templabilidad, tenacidad, resistencia a la fatiga y a la tracción. Este tipo de aceros aleados son usados en la fabricación de piezas de alta exigencia mecánica que requieren alta dureza y buena tenacidad. [40].

Por último otro acero comúnmente utilizado para herramientas de corte en frío es el acero S7 el cual es un acero con un contenido nominal de carbono 0.50 % con adiciones de silicio, cromo y tungsteno, este acero pertenece al grupo de los aceros S (SHOCK WORK.), los cuales se

caracterizan por una alta resistencia y una moderada resistencia al desgaste, con un alto grado de tenacidad [41].

Figura 60.

Diseño de cuchilla.



Nota. Se muestra en la figura la cuchilla diseñada con ayuda del programa inventor.

Un acero que cumple con las necesidades de la cuchilla para el corte es acero AISI 4340, siendo un acero de aleación de cromo-molibdeno que proporciona una excelente resistencia a la tracción, alta tenacidad y templabilidad [42]. La adición de molibdeno le da al acero AISI 4340 una resistencia superior sobre otros grados de acero, mientras que el cromo agrega una mayor capacidad de endurecimiento, resistencia a la abrasión y resistencia al desgaste, se puede tratar térmicamente para lograr una amplia gama de propiedades mecánicas [42]. Además, de ofrecer un precio razonable cuando comparado con aceros herramienta mucho más costosos. Para las cuchillas fabricadas en acero AISI 4340 de este proyecto se recomienda un tratamiento térmico de temple en aceite desde los 845 °C y un revenido entre 205°C y 250 °C con la finalidad de aumentar su tenacidad manteniendo una dureza alta (53 HRC aproximadamente) [43]

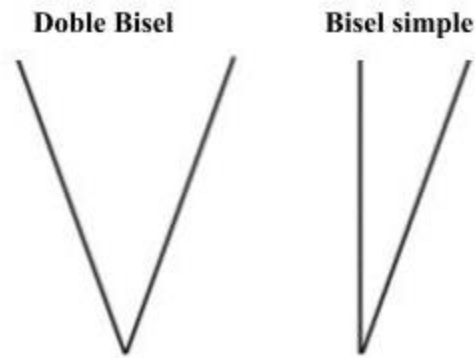
El dimensionamiento de las cuchillas se realiza teniendo en cuenta el diámetro estándar de cuchillas comerciales para esta misma aplicación, al igual que el diámetro del eje calculado, la unión se realiza por medio de una chaveta la cual facilita su fácil remoción para el intercambio de

la cuchilla. El conjunto de corte está compuesto de la cuchilla y las ruedas dentadas los cuales están unidos por tornillos que mantienen el conjunto unido.

Para el afilado de la cuchilla se puede realizar con un ángulo sencillo o ángulo doble, como se presenta en la Figura 61, la configuración de este ángulo determina la fuerza necesaria para realizar el corte y la durabilidad del afilado, se tiene que ángulos pequeños ($< 17^\circ$) resultan en fuerzas pequeñas de corte, pero para aceros con elevadas durezas son demasiado frágiles lo que los hace quebradizos y poco durables, su aplicación está restringida a materiales blandos como alimentos [44].

Se tiene que ángulos entre 22° y 30° presentan mayor durabilidad en el corte de materiales con durezas un poco mayores y con poco compromiso en la fuerza requerida para el corte. Cuchillas ángulos mayores a 30° presentan una alta durabilidad, pero se hace necesario aplicar una fuerza considerable para realizar el corte [44].

Figura 61.
Esquema de la geometría del filo de la cuchilla.



Nota. Se muestra un esquema simplificado de la geometría del afilado de la cuchilla. [https://www.sharpeningsupplies.com/Detailed-Discussion-on-Knife-Sharpening-Angles-W28.aspx].

Según el estudio de McCarthy (2010), donde se presenta el efecto del afilado de cuchillas en el corte de sólidos blandos, se muestra que para ángulos de 25° y 30° muestran un bajo índice de

afilado de la cuchilla (Blade Sharpness Index - BSI) lo cual indica una mayor facilidad en el corte [45]. A partir de las referencias bibliográficas se determina que el ángulo para el afilado de la cuchilla de la máquina se debe realizar entre 25° a 30° con lo cual se garantiza una menor fuerza requerida para el corte del material de la llanta.

6.7. Selección de rodamientos

Para seleccionar los rodamientos se realizan los siguientes pasos:

- Selección del tipo de rodamiento.
- Tipo de lubricación.
- Vida nominal básica del rodamiento.
- Condiciones de lubricación.
- Factor de contaminación.
- Factor ASKF.
- Vida nominal SKF.
- Carga mínima.

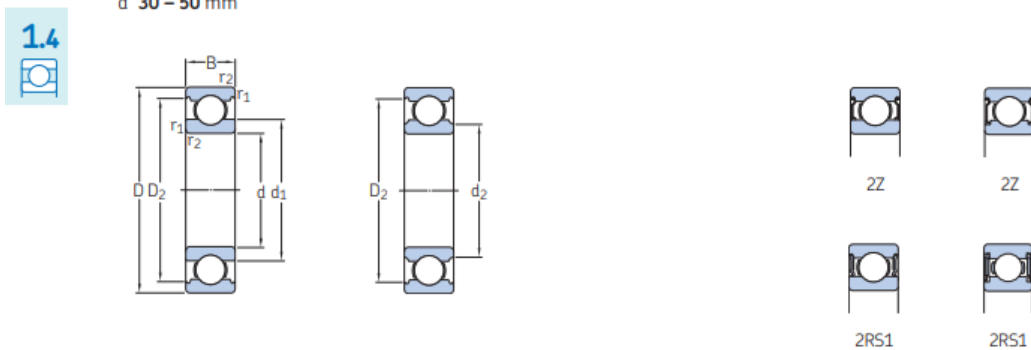
-Selección.

Como dato principal tenemos que seleccionar un rodamiento rígido de bola ya que es el adecuado para los requerimientos del montaje. Se supone que el corte de la llanta no genera cargas axiales sobre el rodamiento.

Figura 62.

Selección de rodamiento.

1.4 Rodamientos rígidos de bolas de acero inoxidable
d 30 – 50 mm



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.		g	-
30 cont.	72	19	22,9	15	0,64	-	6 300	346	▶ W 6306-2RS1
	72	19	22,9	15	0,64	22 000	11 000	345	W 6306-ZZ
	72	19	22,9	15	0,64	22 000	14 000	331	W 6306
35	47	7	3,71	3,35	0,14	-	8 500	29,5	W 61807-2RS1
	55	10	9,36	7,65	0,325	-	7 500	73,5	W 61907-2RS1
	62	14	13,8	10,2	0,44	-	6 700	147	▶ W 6007-2RS1
	62	14	13,8	10,2	0,44	24 000	12 000	148	W 6007-ZZ
	62	14	13,8	10,2	0,44	24 000	15 000	138	W 6007
	72	17	22,1	15,3	0,655	-	6 000	276	▶ W 6207-2RS1
	72	17	22,1	15,3	0,655	22 000	11 000	277	W 6207-ZZ
	72	17	22,1	15,3	0,655	22 000	14 000	262	W 6207
	80	21	28,6	19	0,815	-	5 600	441	W 6307-2RS1
	80	21	28,6	19	0,815	22 000	11 000	441	W 6307
40	62	12	11,9	9,8	0,425	-	6 700	107	W 61908-2RS1
	68	15	14,6	11,4	0,49	-	6 300	182	▶ W 6008-2RS1
	68	15	14,6	11,4	0,49	22 000	11 000	183	▶ W 6008-ZZ
	68	15	14,6	11,4	0,49	22 000	14 000	172	W 6008
	80	18	25,1	17,6	0,75	-	5 600	359	▶ W 6208-2RS1
	80	18	25,1	17,6	0,75	20 000	10 000	359	▶ W 6208-ZZ

Nota. Se muestra la selección de un rodamiento con un diámetro interno de 40 mm. Tomado de: “Catálogo de rodamientos SKF”, Skf.com. [En línea]. Disponible en: https://www.skf.com/binaries/pub201/Images/0901d19680416953-Rolling-bearings---17000_1-ES_tcm_201-121486.pdf.

Se selecciona el de diámetro interno de 40 mm ya que fue el diámetro del eje calculado para el cojinete.

-Lubricación

Como primera instancia se debe hallar el valor de diámetro medio (dm), como mostrado a seguir.

$$dm = 0,5 * (d + D) \quad (37)$$

Donde:

dm : diámetro medio del rodamiento [mm]

d : Diámetro interno

D : Diámetro externo

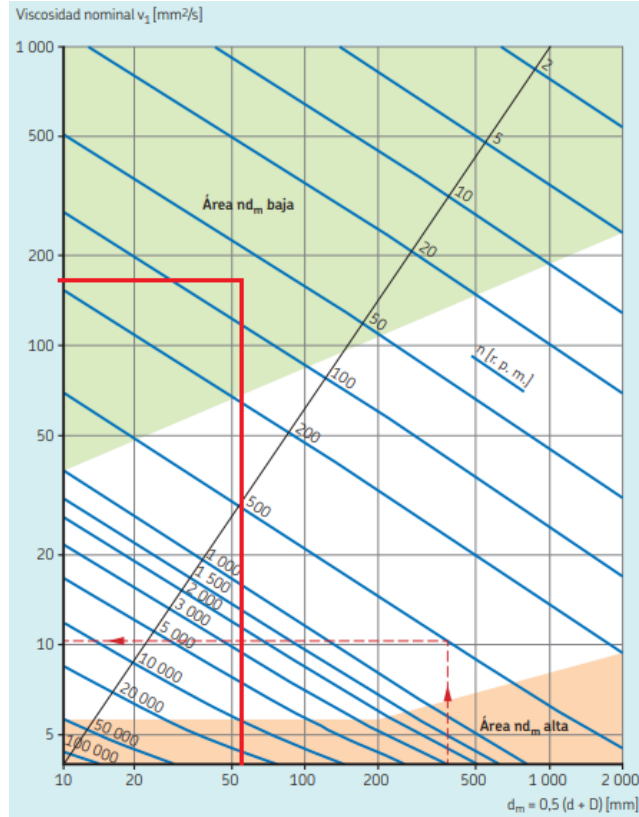
$$dm = 0,5 * (d + D) \quad (37)$$

$$dm = 0,5 * (40 \text{ mm} + 68 \text{ mm})$$

$$dm = 54 \text{ mm}$$

Teniendo el valor de dm nos vamos a la Figura 63 y buscamos el valor dm con el valor de velocidad en rpm con las que girará el rodamiento para determinar la viscosidad del lubricante.

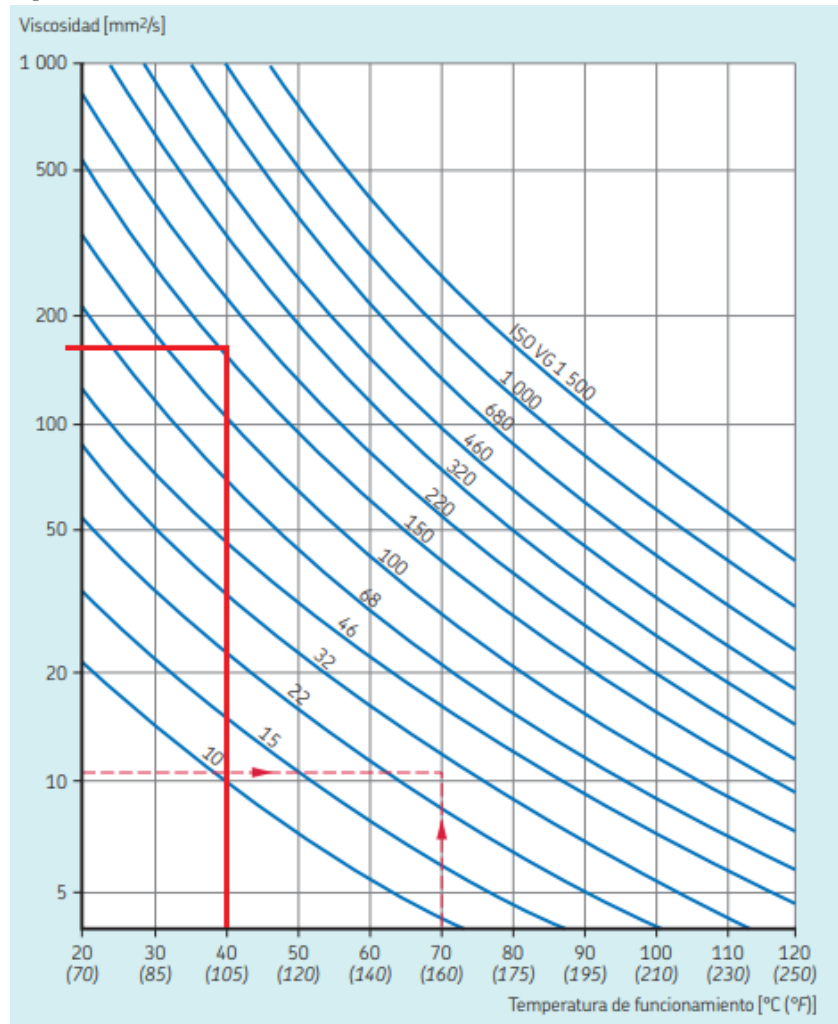
Figura 63.
Viscosidad nominal V_1 .



Nota. Se muestra la selección de la viscosidad del rodamiento. Tomado de: “Catálogo de rodamientos SKF”, Skf.com. [En línea]. Disponible en: https://www.skf.com/binaries/pub201/Images/0901d19680416953-Rolling-bearings---17000_1-ES_tcm_201-121486.pdf.

Según la Figura obtenemos un valor aproximado de 175 mm²/s como viscosidad nominal, ahora se determina el tipo de lubricante, teniendo el valor de 175 mm²/s entramos a la Figura 64. Tenemos que en la figura 150 mm²/s es el valor más cercano a los requerimientos máximos del rodamiento, así se selecciona un lubricante ISO VG 150 [46].

Figura 64.
Tipo de lubricante.



Nota. Se muestra la selección de la viscosidad del rodamiento. Tomado de: “Catálogo de rodamientos SKF”, Skf.com. [En línea]. Disponible en: https://www.skf.com/binaries/pub201/Images/0901d19680416953-Rolling-bearings---17000_1-ES_tcm_201-121486.pdf.

-Vida nominal básica

Para el diseño se tiene una velocidad constante, el cálculo de la vida expresada en horas de funcionamiento es calculada utilizando la siguiente ecuación.

$$L_{10h} = \left(\frac{10^6}{60 \cdot n}\right) \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad (38)$$

Donde:

L_{10h} : vida nominal básica (con una confiabilidad del 90%) [horas de funcionamiento]

C : capacidad de carga dinámica básica [kN] (dato de tabla)

P : carga dinámica equivalente del rodamiento [kN]

n : velocidad de giro [r. p. m.]

p : exponente de la ecuación de la vida, 3 para los rodamientos de bolas, 10/3 para los rodamientos de rodillos.

Así, tenemos que:

$$L_{10h} = \left(\frac{10^6}{60 \cdot n}\right) \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad (39)$$

$$L_{10h} = \left(\frac{10^6}{60 \cdot 71 \text{ rpm}}\right) \left(\frac{14,6 \text{ KN}}{2,9 \text{ KN}}\right)^3$$

$$L_{10h} = 29954,01 \text{ horas} < 30000 \text{ horas}$$

Este valor está en el rango el rodamiento seleccionado ya que el funcionamiento de la máquina se estima en 8 horas continuas diarias, se establece según el catálogo de SKF la vida en horas está en un rango de 20.000 a 30.000 horas de funcionamiento de vida útil.

Figura 65.

Vida específica en horas de funcionamiento.

Valores orientativos de la vida especificada de los diferentes tipos de máquinas	
Tipo de máquina	Vida especificada Horas de funcionamiento
Electrodomésticos, máquinas agrícolas, instrumentos, equipos técnicos de uso médico	300 ... 3 000
Máquinas utilizadas intermitentemente o durante breves períodos: herramientas eléctricas portátiles, dispositivos de elevación en talleres, máquinas y equipos para la construcción	3000 ... 8 000
Máquinas utilizadas intermitentemente o durante breves períodos donde se requiere una alta confiabilidad de funcionamiento: ascensores (elevadores), grúas para productos embalados o eslingas para tambores, etc.	8 000 ... 12 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario, no siempre utilizadas al máximo: transmisiones por engranajes de uso general, motores eléctricos para uso industrial, trituradoras giratorias	10 000 ... 25 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario utilizando plenamente sus capacidades: herramientas mecánicas, máquinas para carpintería, máquinas para la industria de la ingeniería, grúas para materiales a granel, ventiladores, cintas transportadoras, equipos de impresión, separadores y centrifugadoras	20 000 ... 30 000
Máquinas para 24 horas de trabajo continuo: unidades de engranajes para laminadoras, maquinaria eléctrica de tamaño medio, compresores, tornos de extracción para minas, bombas, maquinaria textil	40 000 ... 50 000
Maquinaria para energía eólica, incluidos los rodamientos del eje principal, de orientación, de la caja de engranajes de cambio de paso, del generador	30 000 ... 100 000
Maquinaria para abastecimiento de agua, hornos giratorios, máquinas de trenzado de cables, maquinaria de propulsión para buques de alta mar	60 000 ... 100 000
Máquinas eléctricas de gran tamaño, plantas de generación de energía, bombas para minas, ventiladores para minas, rodamientos para ejes en túnel para buques de alta mar	100 000 ... 200 000

Nota. Se muestran las horas de vida en horas del funcionamiento de la máquina. Tomado de: “Catálogo de rodamientos SKF”, Skf.com. [En línea]. Disponible en: https://www.skf.com/binaries/pub201/Images/0901d19680416953-Rolling-bearings---17000_1-ES_tcm_201-121486.pdf.

-Condiciones de lubricación

Para las condiciones de lubricación del rodamiento seleccionado tenemos la siguiente ecuación:

$$k = \frac{\nu}{\nu_l} \quad (40)$$

Donde:

κ : condición de lubricación del rodamiento, es decir, la relación de viscosidad

ν : viscosidad real de funcionamiento del aceite o del aceite base de la grasa [mm²/s]

ν_l : viscosidad nominal, en función del diámetro medio del rodamiento y la velocidad de giro [mm²/s].

Para determinar la viscosidad real nos basaremos en la siguiente tabla y seleccionamos según el lubricante ya seleccionado.

Tabla 16.
viscosidad real de funcionamiento.

Tabla 5

Clasificación de la viscosidad según la norma ISO 3448

Grado de viscosidad	Viscosidad cinemática límite a 40 °C (105 °F)		
	media	min.	máx.
-	mm ² /s		
ISO VG 2	2,2	1,98	2,42
ISO VG 3	3,2	2,88	3,52
ISO VG 5	4,6	4,14	5,06
ISO VG 7	6,8	6,12	7,48
ISO VG 10	10	9,00	11,0
ISO VG 15	15	13,5	16,5
ISO VG 22	22	19,8	24,2
ISO VG 32	32	28,8	35,2
ISO VG 46	46	41,4	50,6
ISO VG 68	68	61,2	74,8
ISO VG 100	100	90,0	110
ISO VG 150	150	135	165
ISO VG 220	220	198	242
ISO VG 320	320	288	352
ISO VG 460	460	414	506
ISO VG 680	680	612	748
ISO VG 1 000	1 000	900	1 100
ISO VG 1 500	1 500	1 350	1 650

Nota. Se muestra la selección de la viscosidad real del rodamiento. Tomado de: “Catálogo de rodamientos SKF”, Skf.com. [En línea]. Disponible en: https://www.skf.com/binaries/pub201/Images/0901d19680416953-Rolling-bearings---17000_1-ES_tcm_201-121486.pdf.

$$k = \frac{v}{v_1} \quad (40)$$

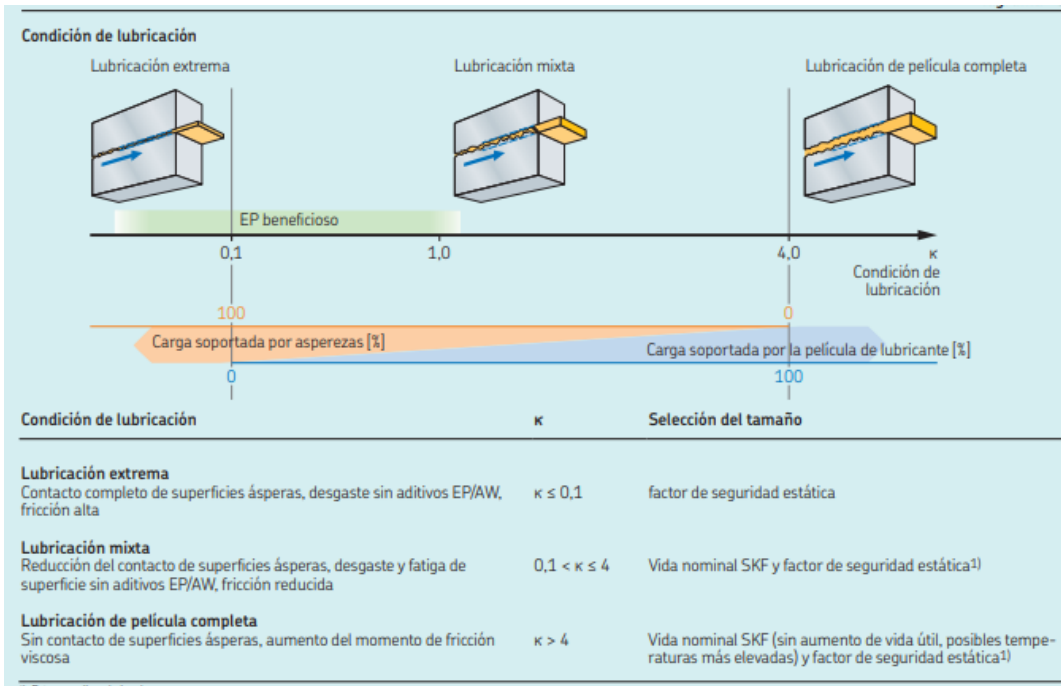
$$k = \frac{150 \text{ mm}^2/\text{seg}}{175 \text{ mm}^2/\text{seg}}$$

$$k = 0,8$$

Para esta condición de lubricación se establece que se tiene una lubricación mixta, como presentado en la Tabla 16, dada en el catálogo del fabricante.

Esto quiere decir que existe un leve contacto entre las asperezas, pero el cual el lubricante también está soportando parte de la carga y esta transición se da entre el arranque y el momento en que se alcanza la velocidad normal de operación [46].

Figura 66.
Condición de lubricación.



Nota. Se muestran los 3 tipos diferentes de lubricación del rodamiento. Tomado de: “Catálogo de rodamientos SKF”, Skf.com. [En línea]. Disponible en: https://www.skf.com/binaries/pub201/Images/0901d19680416953-Rolling-bearings---17000_1-ES_tcm_201-121486.pdf.

-Factor de contaminación.

Para determinar el factor de contaminación necesitamos establecer primero la siguiente relación $dm > 100 \text{ mm}$ ó $dm < 1000 \text{ mm}$, conociendo que $dm = 54 \text{ mm}$, entonces se establece que $dm < 100 \text{ mm}$ y la condición de contaminación es ligera, para los lugares donde se pretende utilizar la máquina diseñada, con esta información se consulta la siguiente tabla.

Figura 67.

Factor de contaminación.

Condiciones	Factor $\eta_c^{(1)}$ para rodamientos con diámetro	
	$d_m < 100$	$d_m \geq 100$ mm
Limpieza extrema • Tamaño de las partículas del orden del espesor de la película de lubricante • Condiciones de laboratorio	1	1
Gran limpieza • Aceite lubricante con filtración muy fina • Condiciones típicas: rodamientos sellados lubricados con grasa de por vida	0,8 ... 0,6	0,9 ... 0,8
Limpieza normal • Aceite lubricante con filtración fina • Condiciones típicas: rodamientos con placas de protección lubricados con grasa de por vida	0,6 ... 0,5	0,8 ... 0,6
Contaminación ligera • Condiciones típicas: rodamientos sin sello integral, filtrado grueso, partículas de desgaste y leve ingreso de contaminantes	0,5 ... 0,3	0,6 ... 0,4
Contaminación típica • Condiciones típicas: rodamientos sin sello integral, filtrado grueso, partículas de desgaste e ingreso de partículas desde el exterior	0,3 ... 0,1	0,4 ... 0,2
Contaminación severa • Condiciones típicas: altos niveles de contaminación debido a desgaste excesivo o sellos ineficaces • Disposición de los rodamientos con sellos ineficaces o dañados	0,1 ... 0	0,1 ... 0
Contaminación muy severa • Condiciones típicas: niveles de contaminación tan severas que los valores de η_c están fuera de escala, lo que reduce significativamente la vida útil del rodamiento	0	0

Nota. Se muestran los factores de contaminación a los que estará sometido el rodamiento rodamiento. Tomado de: “Catálogo de rodamientos SKF”, Skf.com. [En línea]. Disponible en: https://www.skf.com/binaries/pub201/Images/0901d19680416953-Rolling-bearings---17000_1-ES_tcm_201-121486.pdf.

Se considera un valor de factor de contaminación $\eta_c = 0,4$, en este tipo de casos por lo general se toma el valor intermedio entre 0,5 - 0,3 [46].

-Factor aSKF y SKF

El factor de modificación de vida aSKF y SKF, representa la relación entre la carga límite de fatiga y la carga de operación (P_u/P), condición de lubricación y el grado de contaminación al que va a estar sometido el rodamiento (η_c). Los valores del factor aSKF se obtienen mediante gráficas del fabricante, para los diferentes tipos de rodamientos [46].

Para el factor aSKF se utiliza la siguiente ecuación:

$$n_c * \frac{P_u}{P} \quad (41)$$

Donde:

n_c : Factor de contaminación.

P_u : Carga límite de fatiga (dato de selección del rodamiento).

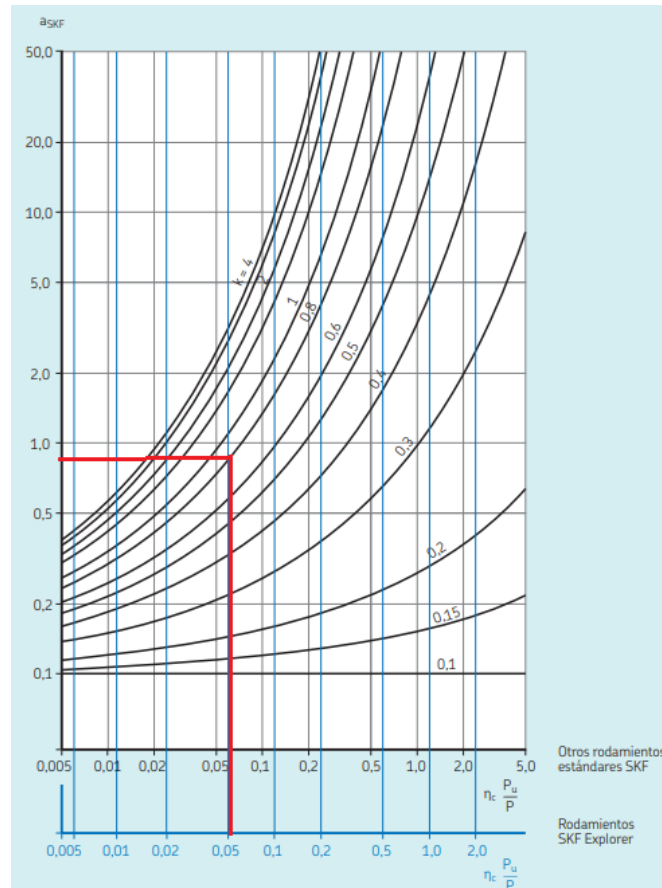
P : Carga con la que va a estar trabajando el rodamiento.

Sustituyendo tenemos

$$0,4 * \frac{0,49 \text{ KN}}{2,9 \text{ KN}} = 0,06 \quad (41)$$

A partir de este valor y con la condición de lubricación de $k = 0,8$, en la Figura 68, se lee en el valor de a_{SKF} de 0,8. El cual será utilizado para calcular la vida útil SKF.

Figura 68.
Factor de contaminación.



Nota. Se muestra el factor a_{SKF} del rodamiento rodamiento. Tomado de: “Catálogo de rodamientos SKF”, Skf.com. [En línea]. Disponible en: https://www.skf.com/binaries/pub201/Images/0901d19680416953-Rolling-bearings---17000-1-ES_tcm_201-121486.pdf.

Vida nominal SKF

Para determinar el factor de vida nominal SKF utilizamos la siguiente ecuación.

$$L_{10mh} = a_{SKF} * L_{10h} \quad (42)$$

$$L_{10mh} = 0,8 * 29954,01 h$$

$$L_{10mh} = 23963,208 h$$

Bajo las condiciones de carga, lubricación y contaminación se determina que la vida útil SKF es de 23963 horas. Este valor nos indica si el rodamiento seleccionado está sobredimensionado para dicha aplicación. En las condiciones de operación de 8 horas diarias se determinó que la vida útil estará entre 20000 y 30000 horas, así que el valor de L_{10mh} se encuentra en este rango indicando que el rodamiento es adecuado para esta aplicación.

-Carga mínima

La carga mínima se determina con la siguiente ecuación.

$$F_{rm} = kr * \left(6 + \frac{4*n}{nr}\right) \left(\frac{dm}{100}\right)^2 \quad (43)$$

Donde:

F_{rm} : carga radial mínima [kN]

kr : factor de carga mínima (tablas de productos)

n : velocidad de giro [r p m]

nr : Velocidad referencial (tablas de productos)

dm : diámetro medio del rodamiento [mm]

Para determinar el valor de Kr y nr se obtienen basado en los datos del rodamiento, a seguir son mostrados los cálculos:

Tabla 17.
Datos de cálculo del rodamiento seleccionado.

DATOS DEL CÁLCULO

Capacidad de carga dinámica básica	C	14.6 kN
Capacidad de carga estática básica	C ₀	11.4 kN
Carga límite de fatiga	P _u	0.49 kN
Velocidad límite		6 300 r/min
Factor de carga mínima	k _r	0.03
Factor de cálculo	f ₀	15.2

Nota. Se muestran los datos de cálculo del rodamiento. Tomado de: “Catálogo de rodamientos SKF”, Skf.com. [En línea]. Disponible en: https://www.skf.com/binaries/pub201/Images/0901d19680416953-Rolling-bearings---17000-1-ES_tcm_201-121486.pdf.

$$F_{rm} = k_r * (6 + \frac{4*n}{nr}) (\frac{dm}{100})^2 \quad (43)$$

$$F_{rm} = 0,03 * (6 + \frac{4*71 \text{ rpm}}{6400 \text{ rpm}}) (\frac{54 \text{ mm}}{100})^2 \quad (43)$$

$$F_{rm} = 0,058 < 2,9 \text{ KN}$$

El resultado de carga mínima no supera la carga radial a la que estará sometido el rodamiento, esto implica que el rodamiento no sufrirá falla por derrape o sobrecarga, indicando que este rodamiento es el adecuado para esta aplicación y por último en la Tabla 18 se muestra las dimensiones reales del rodamiento seleccionado para la implementación en la máquina.

Tabla 18.*Dimensiones del rodamiento seleccionado.***DIMENSIONES**

d	40 mm	Diámetro del agujero
D	68 mm	Diámetro exterior
B	15 mm	Ancho
d_1	≈ 49.2 mm	Diámetro del resalte
d_2	≈ 49.2 mm	Diámetro de rebaje
D_2	≈ 62.5 mm	Diámetro de rebaje
$r_{1,2}$	min. 1 mm	Dimensión del chaflán

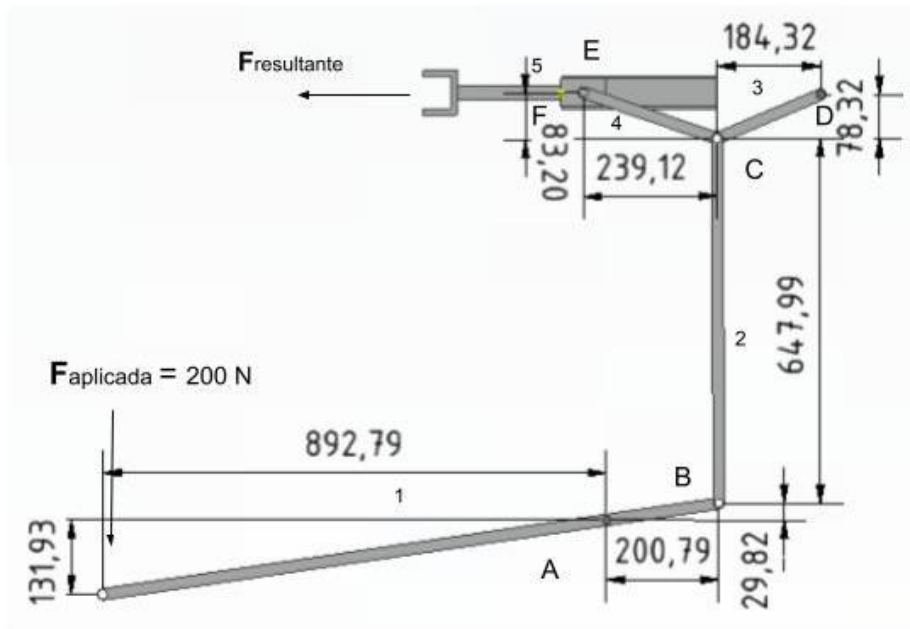
Nota. Se muestran los datos de cálculo del rodamiento. Tomado de: “Catálogo de rodamientos SKF”, Skf.com. [En línea]. Disponible en: https://www.skf.com/binaries/pub201/Images/0901d19680416953-Rolling-bearings---17000_1-ES_tcm_201-121486.pdf.

6.8. Diseño de palanca

Para el diseño del mecanismo que presiona la llanta contra la cuchilla para la realización del corte, se consideró que la fuerza media aplicada por una persona de 200 N [47, 48], según un informe de la NASA [47], la fuerza máxima que una persona puede ejercer depende del ángulo formado entre la pierna y entrepierna y está en un rango entre 150 N y 500 N aproximadamente. Así, el valor tomado para el cálculo de la fuerza ejercida por el mecanismo, es bajo comparado con los valores de este estudio, conservando la seguridad del operario en una acción repetitiva. El mecanismo que presentó la mejor relación de fuerza aplicada y fuerza ejercida contra la llanta (F resultante) es presentado en la Figura 69, Otras configuraciones mostraron menores valores de F resultante o no eran viables debido al espacio ocupado.

Figura 69.

Diagrama del mecanismo seleccionado para aplicar la fuerza de corte entre la llanta y la cuchilla, medidas en mm.

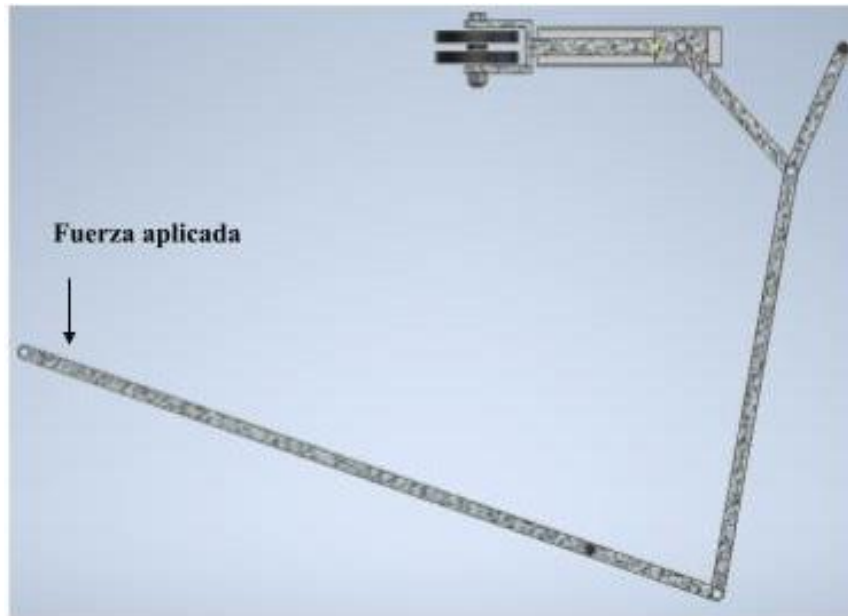


Nota. Se muestra en la figura el mecanismo que ejerce la fuerza de corte.

A partir del análisis del mecanismo se determinó que aplicando una fuerza de 200N se obtiene una fuerza resultante de 15,6 kN, con un desplazamiento del actuador de 180 mm (Ver cálculos en anexo). Estos resultados garantizan que la fuerza necesaria para hacer el corte es alcanzada fácilmente, incluso cuando la cuchilla está perdiendo su afilado.

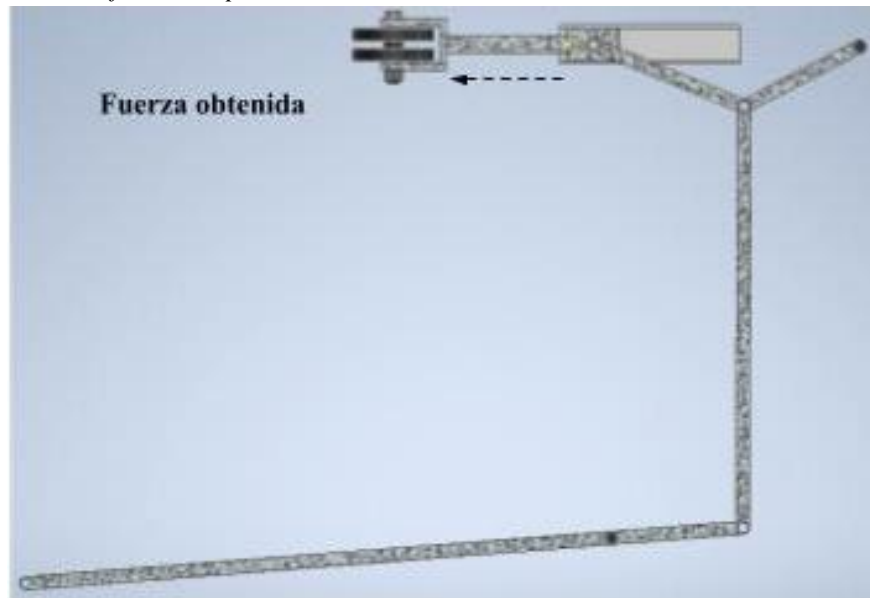
En las imágenes 70 y 71 se muestra la posición inicial de la palanca y la posición final cuando se aplica la fuerza, donde la posición inicial se le aplica una fuerza por el operario y en la posición final se realiza un recorrido en el eslabón 4 para obtener una fuerza resultante que será la aplicada a la llanta contra la cuchilla para realizar el corte.

Figura 70.
Posición inicial de la palanca.



Nota. Se muestra en la figura la posición inicial que tiene la palanca antes de que sea aplicada la fuerza.

Figura 71.
Posición final de la palanca.



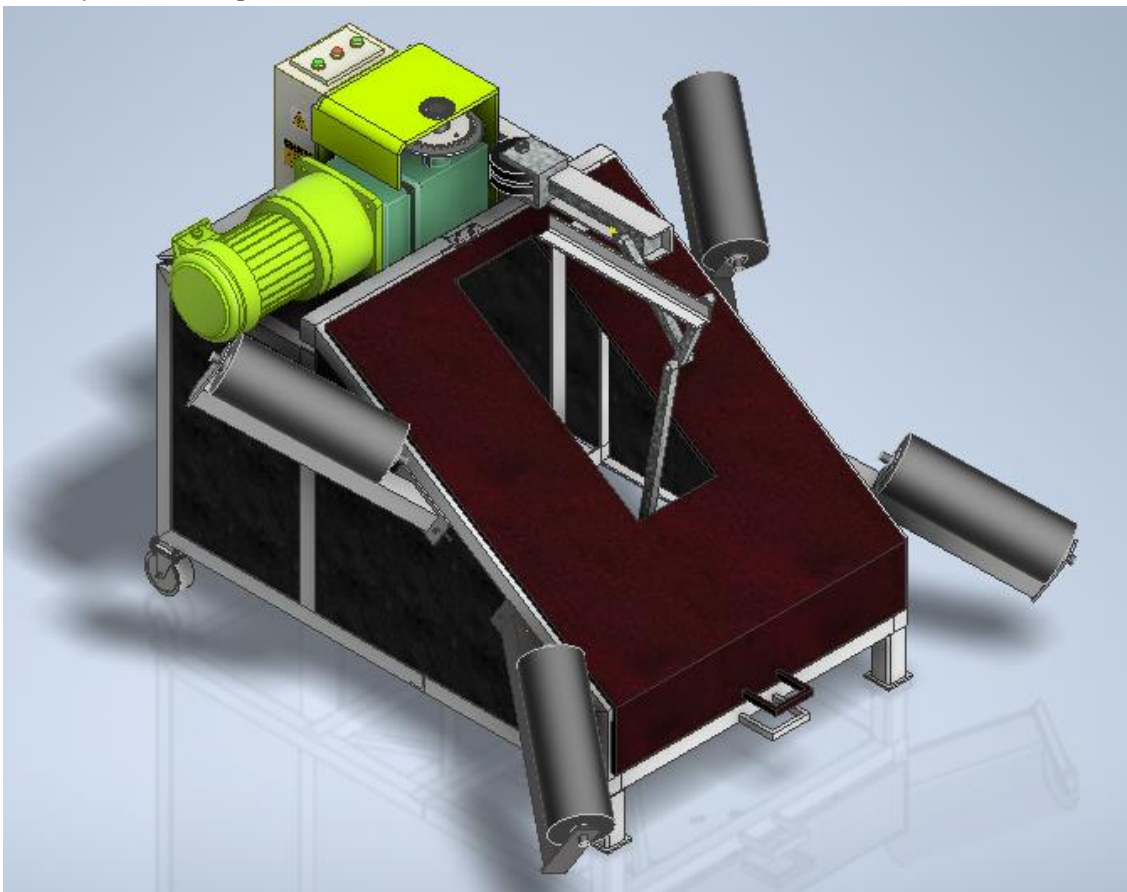
Nota. Se muestra en la figura la posición final después de que se aplica la fuerza para lograr una fuerza obtenida mayor a la aplicada.

7. MANUALES

Los manuales de operación y mantenimiento se aplicados al diseño obtenido como se muestra en la Figura 72, que son imprescindibles después de las etapas de diseño y construcción de una máquina y son herramientas fundamentales en el sitio de trabajo, constituyen un instrumento que ayudan a garantizar el óptimo funcionamiento del equipo aumentando su vida útil, además de ser fuente de información al personal encargado de operar la máquina evitando accidentes laborales.

Figura 72.

Diseño final de la máquina cortadora de bandas laterales de llantas usadas.



Nota. Se muestra en la figura el diseño final obtenido en este proyecto siendo el diseño de la máquina cortadora de bandas laterales de llantas usadas.

7.1. Manual de operación

Máquina cortadora de paredes laterales para llantas usadas, posee un tamaño de 1,2 m de largo y 0,8 m de ancho, con capacidad de corte de una llanta de tamaño máximo de RIN 22,5. A continuación, se mostrarán algunas recomendaciones y especificaciones sobre el funcionamiento y manejo de la máquina. Además, se incluirá algunas precauciones a tener en cuenta al momento de operar la máquina cortadora de llantas usadas.

-Encendido de la máquina. el operario tiene que verificar que la máquina esté conectada a la electricidad antes de iniciar el proceso de corte, es importante que el operario haya leído con anterioridad el manual de operación, este explica el uso adecuado y así evitar algún tipo de daño a la máquina, adicionalmente se debe hacer una inspección previa para evaluar el estado general de la estructura y demás componentes, observar que no haya elementos que obstruyan la palanca y el conjunto de corte.

-Precauciones de operación. para realizar un uso adecuado de la máquina, el operario debe identificar dónde se encuentra el control de mando y tener conocimiento de cómo hacer un buen uso de este para operar la máquina sin problemas, si el operario no mantiene las dos manos oprimiendo los botones la máquina no funcionará, la máquina no funciona a menos de que estén oprimidos los dos botones verdes al tiempo. En caso de emergencia que la máquina no se detenga o se requiera una detención de la máquina de inmediato se oprime el botón rojo que detendrá todo el sistema y el funcionamiento de esta.

-Operación manual. Se debe colocar la llanta en la base sobre los rodillos, una vez colocada la llanta el operario se ubica en la parte trasera donde está el control de mando a dos manos y un pedal para activar la palanca, se verifica que la palanca y el pedal estén funcionando correctamente donde la palanca realiza un movimiento acercándose a la cuchilla, después se deben realizar los pasos que se muestran a continuación para realizar un funcionamiento adecuado de la máquina:

Primer paso: El operario inicia colocando una llanta de tamaño máximo de RIN 22,5 en la base, posicionándola correctamente sobre los rodillos.

Segundo paso: El operario se dirige a la parte posterior de la máquina para oprimir los botones de inicio en el mando a dos manos (es importante que utilice las dos manos) al oprimirlos, la máquina se encenderá y empezará a girar todos los componentes encargados del corte (cuchilla, sprockets, eje).

Tercer paso: El operario debe accionar el pedal para activar la palanca y así la llanta es presionada con la palanca a la cuchilla y se realiza el corte de la primera banda lateral de la llanta mientras va girando encima de los rodillos.

Cuarto paso: Una vez realizado el paso anterior el operario debe esperar de 9 a 10 segundos para que se corte la primera banda lateral, si no se realizó el corte al completar el giro completo de la llanta, se recomienda no soltar el pedal hasta que sea completado el corte.

Quinto paso: Ya cortada una banda lateral el operario suelta las manos del mando y se procede a sacar de la máquina la pieza obtenida y se realiza el giro de la llanta para iniciar el corte de la segunda banda lateral.

Sexto paso: Una vez realizado el paso anterior el operario debe esperar de 9 a 10 segundos para que se corte la primera banda lateral, si no se realizó el corte al completar el giro completo de la llanta, se recomienda no soltar el pedal hasta que sea completado el corte.

Séptimo paso: Ya cortada la segunda banda lateral el operario libera el pedal y suelta las manos del mando y se procede a sacar de la máquina las dos piezas restantes y se procede con la siguiente llanta.

7.2. Manual de mantenimiento

El manual de mantenimiento de la máquina cortadora de paredes laterales de llantas usadas se basará en un mantenimiento preventivo el cual consiste en prevenir y evitar daños o fallas de manera anticipada. El siguiente mantenimiento se debe realizar cada 500 horas de funcionamiento y para el caso de la cuchilla cada 500 cortes. Se recomienda realizar uso de este manual, esto disminuirá fallas que a su vez genere pérdidas económicas o en casos más extremos accidentes laborales.

Tabla 19.*Manual de mantenimiento.*

ELEMENTO	PROCEDIMIENTO			
	Lubricación	Limpieza	Ajustes	Inspección
Motor	- Aplicación de aceite	-Retirar trozos de caucho, hilos u otra suciedad	-Tornillos de sujeción	- Arranque - Consumo eléctrico - Ruidos anormales
Reductor	- Aplicación de aceite	-Retirar trozos de caucho, hilos u otra suciedad	-Tornillos de sujeción	- Arranque - Consumo eléctrico - Ruidos anormales
Rodamiento	- Aplicación de aceite por goteo	-Retirar trozos de caucho, hilos u otra suciedad		- Giro deseado y óptimo
Rodillos	- Aplicación de aceite	-Retirar trozos de caucho, hilos u otra suciedad	-Tornillos de sujeción	- Verificación de óptimo rodamiento
Mecanismo de palanca	- Aplicación de aceite en la guía	-Retirar impurezas y suciedad en la guía para evitar atascamiento		-Verificar que los eslabones estén correctamente ajustados
Estructura			- Verificación de uniones y soldaduras	
Lámina estructura		-Retirar polvo y restos de caucho.	- Verificación de uniones y soldaduras	
Cuchilla			-Afilarse cada 500 cortes -Tornillos de sujeción	-Verificación de borde de cuchilla.
Sprockets			-Tornillos de sujeción	-Verificación de agarre con la llanta

Nota. Se muestra en la tabla el mantenimiento requerido para cada pieza de la máquina.

8. ANÁLISIS DE COSTOS

Este capítulo desarrolla el estudio financiero para observar la viabilidad de este proyecto, se compara el costo de máquinas similares para el mismo fin, con el costo de la máquina del proyecto realizado. Se realiza el análisis bajo una valoración monetaria teniendo en cuenta el costo de fabricación y de diseño de la máquina, estos datos se pueden observar en la Tabla 20, por último, se realizará una comparación de costos si es viable la construcción de este diseño de la máquina o es más económico comprar una maquina importada con características similares.

Tabla 20.

Costo estimado de fabricación.

ELEMENTO	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Motor	1	439.500	439.500
Caja reductora	1	420.000	420.000
Rodamiento SKF	1	40.000	40.000
Rodillo	4	160.000	640.000
Placa metálica de acero ASTM A36	6	52.320	313.920
Perfil estructural ASTM A36	25 m	33.500	837.500
llanta	2	15.000	30.000
Cuchilla	1	473.820	473.820
sprocket	2	100.000	200.000
Soldadura	3 m	280.500	841.500
Tornilleria	120	1.000	10.200
Eje de acero AISI 1045	1	39.850	39.850
Roldana	1	20.560	20.56
Mano de obra	5 días	40.000	200.000
TOTAL COSTO DE FABRICACIÓN			6.057.650

Nota. Se muestra en la tabla la cantidad de piezas y el costo de estas.

Se procede a calcular el costo de ingeniería el cual consiste en las horas gastadas realizando el proyecto y los gastos que se cubrieron durante este tiempo como se muestra en la Tabla 21:

Tabla 21.

Costos de ingeniería.

TIPO	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Ingeniería	Horas	600	6.500	3.900.00
Informes	Unidad	1	7.500	7.500
Planos	Unidad	24	7.500	180.000
TOTAL COSTO DE INGENIERÍA				4.087.500

Nota. Se muestran en la tabla los costos de ingeniería del proyecto.

Se presentan los costos totales de inversión para el proyecto, teniendo en cuenta los elementos anteriores como se muestra en la Tabla 22.

Tabla 22.

Costo estimado total del desarrollo de la máquina.

COSTOS	VALOR TOTAL
Costos de fabricación	6.077.650
Costos de ingeniería	4.087.500
TOTAL	10.165.150

Nota. Se muestra una estimación del costo final e inversión total que requiere la máquina para su desarrollo.

Comparación de costos - ¿Comprar o diseñar?

Para esta comparación se toma de referencia la máquina TC100 de la empresa Butty [30] que es una máquina cortadora de banda de rodadura manual teniendo una finalidad similar a la máquina diseñada, esta máquina según la empresa Butty tiene un valor de \$ 4.200 Dólares incluido el envío, es decir, a la fecha tiene un costo de \$18.160.800 pesos, se debe que tener en cuenta que esta máquina es para llantas ligeras y de tamaño pequeño ya que una máquina para llantas de gran tamaño requiere de máquinas accionadas por sistemas neumáticos o hidráulicos, la misma empresa ofrece la máquina TC200 que permite el corte en llantas mayores, aunque su precio de venta

aumenta, costando \$19.900 Dolares mas envio, realizando la conversión a pesos colombianos se tienen actualmente un precio de \$86.047.600 pesos.

Otra empresa que maneja máquinas con especificaciones similares es la empresa EAECO [49] que dispone de una máquina removedora de paredes laterales de neumáticos SR1-1 para llantas de tamaño pequeño cortando las bandas laterales al mismo tiempo (en un solo corte) con un valor de \$4.550 Dólares aproximadamente \$19.598.943 pesos, por último, de la misma empresa la máquina TTSR5-1 removedor de paredes laterales de llantas de camiones (llantas de gran tamaño), a diferencia de la máquina SR1-1, esta corta una banda a la vez costando \$ 8.150 Dólares, los valores de las máquinas de la empresa EAECO no incluyen el valor del envío.

Tabla 23.

Comparación de costos en el mercado.

MÁQUINA	COSTO
TC100	18.160.800
TC200	86.047.600
SR1-1	19.598.943
TTSR5-1	35.105.799
Maquina cortadora de bandas laterales de llantas usadas	10.165.150

Nota. Se muestra la comparación de precios de esta máquina con otras ya existentes teniendo en cuenta que estas máquinas a comparar requieren de más componentes para funcionamiento.

9. CONCLUSIONES

A partir del desarrollo del diseño de la máquina de corte de llantas usadas, bajo determinadas condiciones de operación requeridas en el proyecto NFU FUA-SENA, se obtuvieron las siguientes conclusiones.

El diseño de esta máquina resultó importante para afianzar los conocimientos adquiridos durante la carrera, identificando y solucionando las diferentes condiciones de diseño, aplicando diferentes áreas de la ingeniería, principalmente el diseño de elementos de máquina, selección de elementos de máquinas, mecanismos y dibujo, además de la búsqueda en fuentes bibliográficas y poner en contexto el desarrollo del proyecto realizado.

Fueron determinados los parámetros de diseño de la máquina de corte, a partir de datos disponibles en la literatura y datos de fabricantes, permitiendo la selección y cálculo de sus componentes.

A partir del análisis de las diferentes alternativas de diseño se llegó a la conclusión que la configuración que mejor se adapta a las condiciones de diseño contempladas en el proyecto es la que presenta una base para la llanta con una inclinación, un sistema de transmisión reducido (conexión directa entre motor y reductor de velocidad) y no se utilizan sistemas neumáticos o hidráulicos para la aplicación de la fuerza de corte.

El diseño presentado representa una buena alternativa en el reciclado de llantas, que puede ser fabricado con elementos comerciales con sistemas de fácil montaje y mantenimiento y con una disposición ergonómica.

BIBLIOGRAFÍAS

- [1] M. Sienkiewicz, J. Kucinska-Lipka, H. Janik, and A. Balas, “Progress in used tyres management in the European Union: A review,” *Waste Manag.*, vol. 32, no. 10, pp. 1742–1751, 2012.
- [2] K. Formela, “Sustainable development of waste tires recycling technologies – recent advances, challenges and future trends,” *Adv. Ind. Eng. Polym. Res.*, vol. 4, no. 3, pp. 209–222, 2021.
- [3] D. Dobrotă and G. Dobrotă, “An innovative method in the regeneration of waste rubber and the sustainable development,” *J. Clean. Prod.*, vol. 172, pp. 3591–3599, 2018.
- [4] P. de la S. G. de la Alcaldía Mayor de Bogotá D. C., “Resolución 1457 de 2010 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial”, Gov.co. [En línea]. Disponible en: <https://www.mincit.gov.co/ministerio/normograma-sig/procesos-de-apoyo/gestion-de-recursos-fisicos/resoluciones/resolucion-1457-de-2010.aspx>.
- [5] A. Mohajerani et al., “Recycling waste rubber tyres in construction materials and associated environmental considerations: A review,” *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 155, no. 104679, p. 104679, 2020.
- [6] G. Ramos Francisco Jose Alguacil Felix A. López, “The recycling of end-of-life tyres. Technological review,” *Researchgate.net*. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/276951144_The_recycling_of_end-of-life_tyres_Technological_review.
- [7] M.-L. Uriarte-Miranda, S.-O. Caballero-Morales, J.-L. Martinez-Flores, P. Cano-Olivos, y A.-A. Akulova, “Reverse logistic strategy for the management of tire waste in Mexico and Russia: Review and conceptual model”, *Sustainability*, vol. 10, núm. 10, p. 3398, 2018.
- [8] “Los programas de reciclaje de llantas en Canadá superan a EE. UU”, *Eco Green Equipment | Tire Shredders*, 07-dic-2020. [En línea]. Disponible en: <https://ecogreenequipment.com/es/tire-recycling-programs-in-canada-outpacing-u-s/>.
- [9] “El reciclaje de llantas es una gran solución ambiental”, *Firestone*. [En línea]. Disponible en: <https://www.firestone.com.mx/es/tips-firestone/el-reciclaje-de-llantas-una-accion-del-futuro>.

- [10] “Reciclaje De Llantas, Productos Verdes Con Valor Agregado”, Home, 26-Ago-2020. [En Línea]. Disponible En: <https://www.swisscontact.org/es/noticias/reciclaje-de-llantas-productos-verdes-con-valor-agregado>.
- [11] Editorial La República S. A. S, “Industrias Antioqueñas Realizan Reciclaje De Llantas”, Diario La República. [En Línea]. Disponible En: <https://www.larepublica.co/responsabilidad-social/industrias-antioquenas-realizan-reciclaje-de-llantas-2727104>.
- [12] DOM Thomas G. DOM Alex J. DOM Matthew R., “Tire Bead Wire Remover,” 20180036915A1, 02-Aug-2018.
- [13] T. G. Dom, “Tire Sidewall Cutting Machine,” 5235888A, 17-Aug-1993.
- [14] “Company Overview - Henan Honest Heavy Machinery Co., Ltd”, Alibaba.Com. [En Línea]. Disponible En: https://hnt.en.alibaba.com/company_profile.html?spm=A2700.shop_index.88.88.
- [15] “Home,” Buttypmg.Com. [Online]. Available: <http://www.buttypmg.com/index.html>.
- [16] Mohd Bijarimi, Zulkafli Hassan, Mohammad Dalour Hossen Beg, “Mechanical Properties Of Industrial Tyre Rubber Compounds,” Researchgate.Net, Dec-2010. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/49591485_Mechanical_Properties_Of_Industrial_Tyre_Rubber_Compounds.
- [17] J. L. Gómez, “¿Cuáles Son Los Diferentes Elementos Que Conforman Un Neumático? Descubre Todos Sus Secretos,” Diariomotor, 17-Mar-2020. [Online]. Available: <https://www.diariomotor.com/que-es/mecanica/neumatico-elementos/>.
- [18] M. F. Gonzalez Lozada Y V. D. Ocampo Pimentel, “Diseño De Una Máquina Para Destalonar Llantas”, Fundación Universidad De América, 2018. <http://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/6914>
- [19] O. Ortiz-Rodríguez, W. Ocampo-Duque, And L. Duque-Salazar, “Environmental Impact Of End-Of-Life Tires: Life Cycle Assessment Comparison Of Three Scenarios From A Case Study In Valle Del Cauca, Colombia,” Energies, Vol. 10, No. 12, P. 2117, 2017.
- [20] Semana, “En Colombia, Cada Año 950.000 Llantas Usadas Van A Parar A La Basura”, Semana.Com, 16-Abr-2021. [En Línea]. Disponible En: <https://www.semana.com/economia/inversionistas/articulo/en-colombia-cada-ano-950000-llantas-usadas-van-a-parar-a-la-basura/202129/>.

- [21] “En El País Se Desechan Más De 7 Millones De Llantas”, Publimotos.Com, 14-Ago-2015. [En Línea]. Disponible En: <https://www.publimotos.com/mactualidad/9-Mundo/176-En-El-Pais-Se-Desechan-Mas-De-7-Millones-De-Llantas>.
- [22] C. V. Méndez Peñaloza Y F. V. Solano Arias, “Diseño De Triturador De Neumáticos Usados; Capacidad De 1 TON/H, Para La Empresa Municipal De Aseo De Cuenca (EMAC)”, 2010. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1732>
- [23] “¿Cuántos Tipos De Neumáticos Para Coche Existen?,” Auto10.Com | Expertos En Coches. [Online]. Available: <https://www.auto10.com/reportajes/cuantos-tipos-de-neumaticos-para-coche-existen/5412>.
- [24] “Neumáticos Radiales Contra Convencionales”, Importadora Guillén , 11-Abr-2019. [En Línea]. Disponible En: <https://importadoraguillen.com/neumaticos-radiales-contra-convencionales/>.
- [25] “ARL SURA - Riesgos Laborales - ARL - ARL SURA - Riesgos Laborales - ARL”, Arl Sura.Com. [En Línea]. Disponible En: <https://www.arlsura.com/index.php/component/content/article/74-centro-de-documentacion-anterior/seguridad-industrial/785--sp-7581>.
- [26] M. F. Ortiz, “Estimación De La Fuerza De Corte En Neumáticos Usados Rin 14 Para Un Proceso De Trituración,” Researchgate.Net. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/339146970_Estimacion_De_La_Fuerza_De_Corte_En_Neumaticos_Usados_Rin_14_Para_Un_Proceso_De_Trituracion.
- [27] R. A. García-León, H. Y. Jaramillo, And J. A. Gómez-Camperos, “Numerical Analysis Of A Tire Shredder Machine To Produce Rubber Particulate Material,” J. Phys. Conf. Ser., Vol. 2139, No. 1, P. 012005, 2021.
- [28] T. Edeskär, “Use Of Tyre Shreds In Civil Engineering Applications: Technical And Environmental Properties,” 2006.
- [29] V. Jaramillo And A. Virginia, “Diseño De Máquina Trituradora Para La Obtención De Partículas De Caucho A Partir De Neumáticos Pre-Cortados,” 2020.
- [30] Buttymfg, “SW200 Sidewall Cutter.Wmv,” 27-Jan-2010. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=Apemmm93cmu>.

- [31] R. Hugo And C. Vejo, “Métodos Cuantitativos Aplicados A La Administración Material De Apoyo Análisis Multicriterio,” Wordpress.Com. [Online]. Available: https://feparunsa.files.wordpress.com/2012/07/amc_aplicado_administracion.pdf.
- [32] “Sistemas Y Subsistemas - Control.Estadístico De.Procesos,” Google.Com. [Online]. Available: <https://sites.google.com/site/hectorestadistica/procesos-de-manufactura/sistemas-y-subsistemas>.
- [33] R. Chavarría, C. Ingeniero, And T. Eléctrico, “NTP 70: Mandos A Dos Manos. Requerimientos De Seguridad,” Insst.Es. [Online]. Available: https://www.insst.es/documents/94886/326853/Ntp_070.pdf/A2697d31-2360-4bf3-97aa-baf2a1e1b682?version=1.0&t=1528459986050. [Accessed: 27-Jul-2022].
- [34] L. P. Barrueta, “Guía Para La Selección De Aceros Para Elementos Tipo Árboles Y Ejes De Transmisión,” Researchgate.Net. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/358128332_Guia_Para_La_Seleccion_De_Aceros_Para_Elementos_Tipo_Arboles_Y_Ejes_De_Transmision.
- [35] R. G. Budynas, Diseño En Ingeniería Mecánica De Shigley, 9na Edición.
- [36] P. E. Robert L. Mott, Diseño De Elementos De Máquinas. Stephen Helba, 2006.
- [37] Lingaiah, K. 2003. Machine Design Databook. 2nd Ed. New York: Mcgraw-Hill Education.
- [38] EECO, “4.25" Cutting Blade For TTSR5-1”, EECO. [En Línea]. Disponible En: <https://www.eaeco.com/collections/cutting-tools/products/4-25-cutting-blade?variant=39363521577058>.
- [39] “Templado Del Acero”, Tractermia. [En Línea]. Disponible En: <https://www.tractermia.com/templado-del-acero/>.
- [40] L. M. L. Sevilla, “Optimización De Parámetros En La Fabricación De Cuchillas Trozadoras Para La Cosecha De Caña De Azúcar”, Edu.Co. [En Línea]. Disponible En: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/69888/35113264.2010.pdf?sequence=1&isallowed=Y>.
- [41] J. F. Rodriguez, “Diseño De Una Herramienta: Cuchilla Para Trabajo En Frio”, Uanl.Mx. [En Línea]. Disponible En: <http://eprints.uanl.mx/7491/1/1020130031.pdf>.
- [42] “What Is 4340 Steel - Complete Buying Guide & FAQs.”

- [43] World Material, “SAE AISI 4340 Steel Properties, Heat Treatment, Equivalent, Hardness Chart, Density, Machinability”, Theworldmaterial.Com, 19-Mar-2020.
- [44] “Detailed Discussion On Knife Sharpening Angles”, Sharpeningsupplies.Com. [En Línea]. Disponible En: <https://www.sharpeningsupplies.com/detailed-discussion-on-knife-sharpening-angles-w28.aspx>.
- [45] Publishing Ethics Resource Kit, “Engineering Fracture Mechanics”, Elsevier.Com. [En Línea]. Disponible En: <https://www.journals.elsevier.com/engineering-fracture-mechanics>.
- [46] “Catálogo De Rodamientos SKF”, Skf.Com. [En Línea]. Disponible En: https://www.skf.com/binaries/pub201/images/0901d19680416953-rolling-bearings---17000_1-ES_Tcm_201-121486.pdf.
- [47] “Human Performance Capabilities,” Nasa.Gov. [Online]. Available: <https://msis.jsc.nasa.gov/sections/section04.htm>.
- [48] Cchs.Ca. [Online]. Available: <https://www.ccohs.ca/oshanswers/ergonomics/push1.html>
- [49] EECO, “Tire Recycling Equipment Manufacturer,” EECO. [Online]. Available: <https://www.eaeco.com/>.

ANEXOS

ANEXO 1.

MEMORIA DE CÁLCULOS.

En este anexo se muestran los cálculos desarrollados para obtener la velocidad con la que trabajara o se realizará el proceso de corte además de permitimos conocer las velocidades con la que girará la llanta y la cuchilla

Tiempo de corte de una llanta.

500 llantas -----> 8 horas

63 llantas -----> 1 hora

1 llanta <----- 0,016 horas (58 s)

$x=1 \text{ llanta} * 1 \text{ hora} / 63 \text{ llantas} = 0,016 \text{ horas}$

$x=0,016 \text{ horas} = 57,6 \text{ segundos}$

Perímetro de una llanta de RIN 22.5

$$S = 2 * \pi * r$$

S: Perímetro de la llanta.

r: Radio de la llanta.

$$S = 2 * \pi * 0,5715 \text{ m}$$

$$S = 3,59 \text{ m}$$

ANEXO 2

En este anexo se muestra el cálculo del torque que requiere el motor

Teniendo los datos, procedemos con el cálculo para saber el torque necesario del motor.

$$T = 9,55 * P * \frac{1000}{n}$$
$$T = 9,55 * 3,5 \text{ kw} * \frac{1000}{1430 \text{ rpm}}$$
$$T = 23,37 \text{ Nm}$$

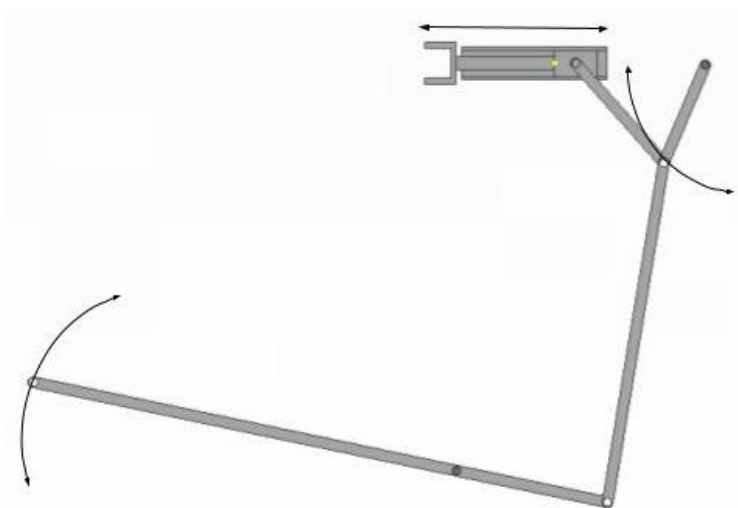
Potencia de mando

$$N_m = N_e * F_s$$
$$N_m = 4,76 \text{ HP} * 1,65$$
$$N_m = 7,854 \text{ HP}$$

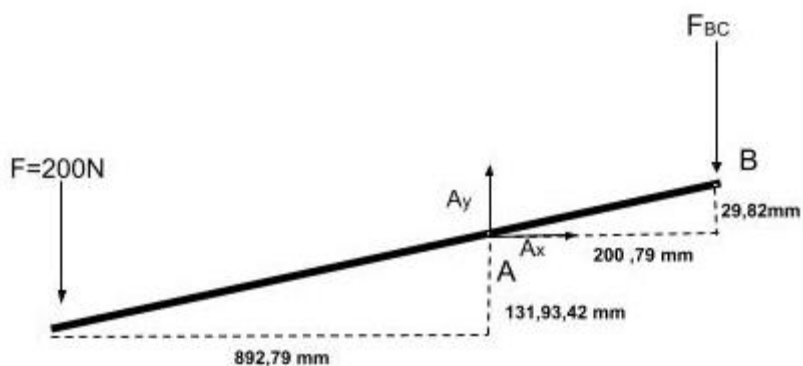
ANEXO 3

En este anexo se muestran los cálculos de desarrollo que se hicieron para determinar la fuerza obtenida por el mecanismo de palanca de cuatro barras para garantizar que se multiplique la fuerza aplicada. Se muestra principalmente el movimiento de la palanca y por último el seccionamiento del mecanismo por eslabones para determinar las fuerzas actuantes en cada punto con las dimensiones de cada eslabón.

diagrama de movimiento



Eslabón 1.

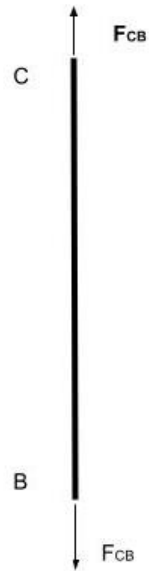


$$\sum \mathcal{U} + \sum M_A = 0$$

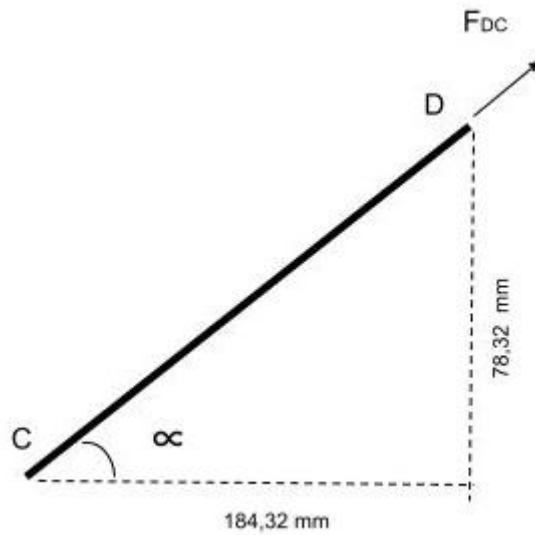
$$200(892,79 \text{ mm}) - F_{BC}(200,79 \text{ mm}) = 0$$

$$F_{BC} = 889,27 \text{ N}$$

Eslabón 2.

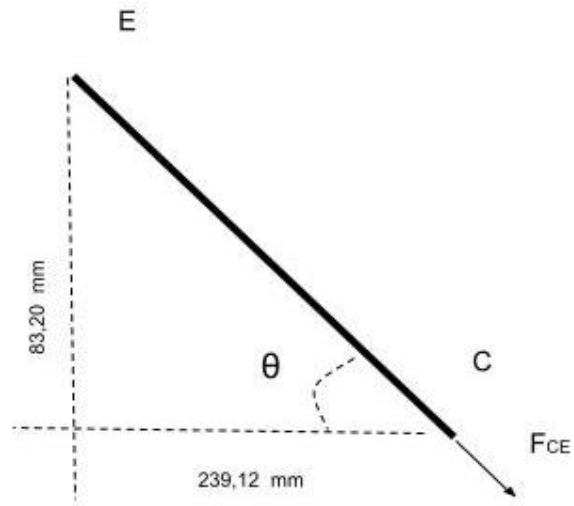


Eslabón 3.



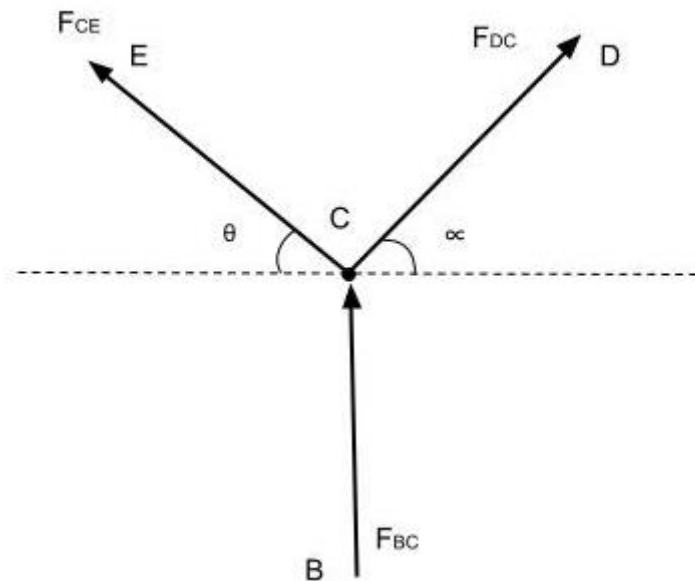
$$\alpha = \text{Tan}^{-1}\left(\frac{78,32}{184,32}\right) = 23,02$$

Eslabón 4



$$\theta = \text{Tan}^{-1}\left(\frac{83,20}{239,12}\right) = 19,18$$

Diagrama de fuerzas en el punto C



$$\Sigma F_x = 0$$

$$-F_{CE}\cos\theta + F_{DC}\cos\alpha = 0$$

$$F_{CE} = \frac{\cos\alpha}{\cos\theta} * F_{DC} = \frac{\cos(23,02)}{\cos(19,18)} * F_{DC} = 0,97 * F_{DC}$$

$$\Sigma F_Y = 0$$

$$F_{BC} + F_{DC} \text{Sen}\theta - F_{CE} \text{Sen}\alpha = 0$$

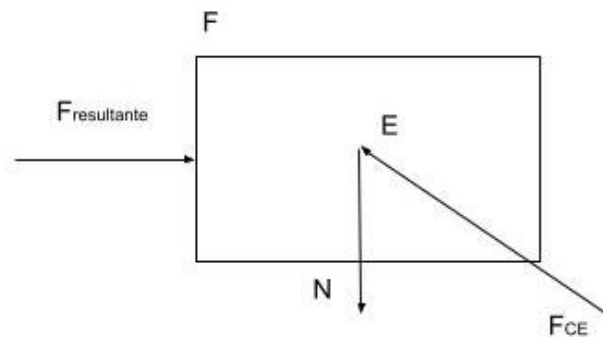
$$F_{BC} + F_{DC} \text{Sen}\theta - 0,97 * F_{DC} \text{Sen}\alpha = 0$$

$$F_{DC} (\text{Sen}\theta - 0,97 * \text{Sen}\alpha) + F_{BC} = 0$$

$$F_{DC} = 17510 \text{ N}$$

$$F_{CE} = 0,97 * 17510 = 16984,7 \text{ N}$$

Eslabón 5.



$$\Sigma F_X = 0$$

$$-N + F_{CE} \text{Sen}\theta = 0$$

$$N = 5419,6 \text{ N}$$

$$\Sigma F_Y = 0$$

$$F_{resultante} - F_{CE} \text{Cos}\theta = 0$$

$$F_{resultante} = 15580,44 \text{ N}$$

ANEXO 4

En el siguiente anexo se muestra la selección del acople que tendrá el eje de la salida del reductor con el eje implementado que sostendrá la cuchilla y los sprockets

-Selección de acople (Eje reductor - Eje corte)

Factor de servicio

		Tipo de unidad de motriz					
		Motores eléctricos y turbinas de vapor			Motores de combustión interna, turbinas de vapor e hidráulicas		
		Horas de servicio por día			Horas de servicio por día		
		<10	10-16	>16	<10	10-16	>16
Liviano	Agitadores/Mezcladores (líquidos), cintas transportadoras (carga uniforme), ventiladores y aspiradores, bombas centrífugas y compresores, ventiladores (menos de 7,5 kW).	0,8	0,9	1,0	1,3	1,4	1,5
Medio	Agitadores/Mezcladores (exc. líquidos), correas transportadoras (carga variable), ventiladores (más de 7,5 kW), generadores, ejes de transmisión, máquinas herramienta, bombas rotativas y compresores (excepto centrífugos). Maquinaria para las industrias de la alimentación, lavanderías e imprentas.	1,3	1,4	1,5	1,8	1,9	2,0
Pesado	Transportadores para servicio pesado (elevador, draga/pala, transportador a tornillo), triturador de martillos, prensas, punzonadoras, cizallas, bombas a pistón y compresores. Maquinaria para la industria textil, del papel, de ladrillos y aserraderos.	1,8	1,9	2,0	2,3	2,4	2,5
Muy pesado	Trituradoras (giratorias, de mandíbulas, por rodillos), Molinos para serv. pesado (molinos de bolas, de barras), equipos de izaje.	2,3	2,4	2,5	2,8	2,9	3,0

$$F_s = 0,8$$

Potencia de diseño

$$P_{\text{diseño}} = P * F_s = 3,5 \text{ kw} * 0,8 = 2,8 \text{ kw}$$

$$\text{Torque nominal (Nm)} = \frac{P_{\text{diseño}} * 30000}{71 \text{ rpm} * \pi} = 376,59 \text{ Nm}$$

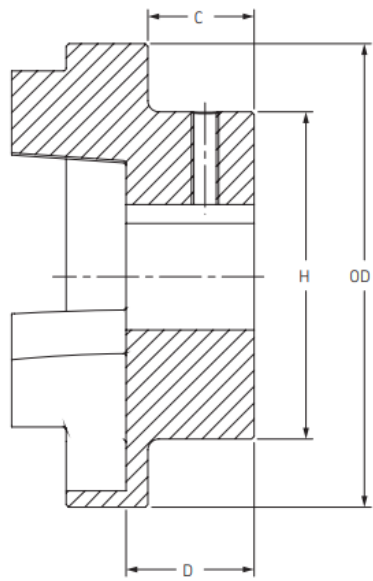
se busca en la tabla las rpm de salida y se escoge la potencia que supere por poco los 2,8 kw, es este caso 3,30 kw osea el acople es de tamaño 130 FRC

Potencias de salida (kW)

Velocidad	Tamaño del acoplamiento.							
	70	90	110	130	150	180	230	280
RPM								
50	0,16	0,42	0,84	1,65	3,14	4,97	10,47	16,49
100	0,33	0,84	1,68	3,30	6,28	9,95	20,94	32,98
200	0,66	1,68	3,35	6,60	12,57	19,90	41,88	65,97
300	0,99	2,51	5,03	9,90	18,85	29,84	62,83	98,95
400	1,32	3,35	6,70	13,19	25,13	39,79	83,77	131,94
500	1,65	4,19	8,38	16,49	31,41	49,74	104,71	164,92
600	1,98	5,03	10,05	19,79	37,70	59,69	125,65	197,91
700	2,31	5,86	11,73	23,09	43,98	69,63	146,60	230,89
720	2,37	6,03	12,06	23,75	45,24	71,62	150,79	237,49
800	2,64	6,70	13,40	26,39	50,26	79,58	167,54	263,87
900	2,97	7,54	15,08	29,69	56,54	89,53	188,48	296,86
960	3,17	8,04	16,08	31,66	60,31	95,50	201,05	316,65
1000	3,30	8,38	16,75	32,98	62,83	99,48	209,42	329,84
1200	3,96	10,05	20,10	39,58	75,39	119,37	251,31	395,81
1400	4,62	11,73	23,46	46,18	87,96	139,27	293,19	461,78
1440	4,75	12,06	24,13	47,50	90,47	143,25	301,57	474,97
1600	5,28	13,40	26,81	52,77	100,52	159,16	335,08	527,75
1800	5,94	15,08	30,16	59,37	113,09	179,06	376,96	593,72
2000	6,60	16,75	33,51	65,97	125,65	198,95	418,85	659,69
2200	7,26	18,43	36,86	72,57	138,22	218,85	460,73	725,65
2400	7,92	20,10	40,21	79,16	150,79	238,74	502,62	-
2600	8,58	21,78	43,56	85,76	163,35	258,64	544,50	-
2800	9,24	23,46	46,91	92,36	175,92	278,53	-	-
2880	9,50	24,13	48,25	94,99	180,94	286,49	-	-
3000	9,90	25,13	50,26	98,95	188,48	298,43	-	-
3600	11,87	30,16	60,31	118,74	226,18	-	-	-
Torque nominal Nm	31,5	80	160	315	600	950	2000	3150
Torque máximo Nm	72	180	360	720	1500	2350	5000	7200

Dimensiones

Tamaño	Dimensiones comunes		Tipo F y H						Tipo B				
	OD	H	Tamaño del buje	Orificio		C	D	J+	Diámetro del orificio		Tornillo de Fijación	C	D
				Min	Max				Max	mínimo			
70	69	60	1008	9	25	20	23,5	29	32	10	M6	20	25,8
90	85	70	1108	9	28	19,5	23,5	29	38	10	M6	26	30,0
110	112	100	1610	14	42	18,5	26,5	38	55	10	M10	37	45,3
130	130	105	1610	14	42	18	26,5	38	60	20	M10	39	47,5
150	150	115	2012	14	50	23,5	33,5	42	70	28	M10	46	60,0
180	180	125	2517	16	60	34,5	46,5	48	80	28	M10	58	70,0
230	225	155	3020	25	75	39,5	52,5	55	100	45	M12	77	90,0
280	275	206	3525	35	100	51	66,5	67	115	55	M16	90	105,5



Tipo B

ANEXO 5

RECOMENDACIONES

El proceso de diseño de máquinas consiste en un proceso concurrente donde deben intervenir diferentes profesionales de diferentes áreas para optimizar el tiempo de diseño y el resultado final, en el desarrollo de este proyecto se abren algunas necesidades que deben ser estudiadas y bajo las cuales se pueden realizar mejoras al diseño actual, con esta finalidad se realizan las siguientes recomendaciones.

Realizar un estudio detallado de las fuerzas necesarias para realizar la penetración y corte de llantas de diferentes espesores, datos que son nulos en la literatura especializada, con lo cual se puede optimizar la potencia necesaria para la realización del corte de llantas de gran tamaño.

Realizar un mayor estudio, donde se determine cuál es el tipo de llanta que provoca mayor impacto ambiental, para así enfocar las condiciones de diseño, para que futuras máquinas tengan el mayor impacto en la recolección de llantas.

Construir un prototipo de la máquina para verificar condiciones de operación, con lo cual se pueda garantizar un funcionamiento óptimo de la máquina requerida por el proyecto.