



Diseño y construcción una máquina de extracción de los flancos laterales de los neumáticos para el laboratorio de materiales

Vásquez Valle, Paúl Esteban y Bustamante Bustamante, German Alfonso

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero Automotriz

Ing. Argüello Maya, Edison Oswaldo

24 de febrero de 2023

Latacunga

Reporte de verificación de contenidos

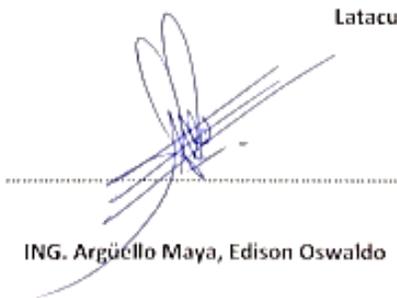
Document Information

Analyzed document	TESIS VASQUEZ - BUSTAMANTE.docx (D159275195)
Submitted	2023-02-22 22:12:00
Submitted by	Juan Carlos Altamirano
Submitter email	jc.altamiranoc@uta.edu.ec
Similarity	5%
Analysis address	jc.altamiranoc.uta@analysis.urkund.com

Sources included in the report

SA	TESIS ALBAN.docx Document TESIS ALBAN.docx (D21318653)		1
SA	Desarrollo proyecto Grado [1]_compressed-1-100.pdf Document Desarrollo proyecto Grado [1]_compressed-1-100.pdf (D142281552)		7
W	URL: http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/7279/2/ARTICULO.pdf Fetched: 2023-02-22 22:13:00		3
W	URL: https://www.lfeder.com/esfuerzo-cortante/ Fetched: 2023-02-22 22:13:00		3
SA	ultima descarga - copia.docx Document ultima descarga - copia.docx (D36699785)		1
SA	Tesis de Investigación Diseño de una maquina roladora hidraulica de perfiles para la empresa Agroindustrias Montenegro.docx Document Tesis de Investigación Diseño de una maquina roladora hidraulica de perfiles para la empresa Agroindustrias Montenegro.docx (D115745842)		1
SA	g4 tesis.docx Document g4 tesis.docx (D62959443)		2
SA	Tesis final final.docx Document Tesis final final.docx (D21448424)		1
SA	Tesis_Finalizada-Chavez-Coyago.docx Document Tesis_Finalizada-Chavez-Coyago.docx (D154028908)		1
SA	Diseño y construcción de trapiche de 150 -Cs y Robi.docx Document Diseño y construcción de trapiche de 150 -Cs y Robi.docx (D143867390)		1

Latacunga, 24 de febrero de 2023



ING. Argüello Maya, Edison Oswaldo

C.C.:1708903024



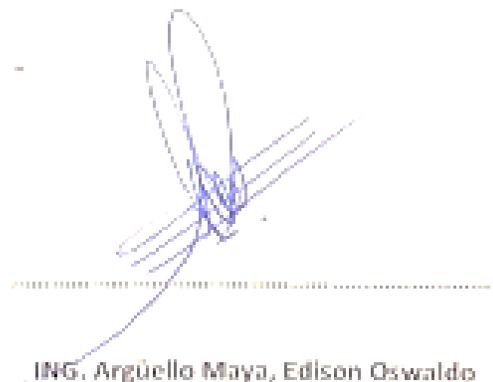
Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Certificación

Certifico que el trabajo de Integración curricular: "Diseño y construcción una máquina de extracción de los flancos laterales de los neumáticos para el laboratorio de materiales" fue realizado por los señores **Bustamante Bustamante, German Alfonso** y **Vasquez Valle, Paul Esteban** el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 24 de febrero de 2023



ING. Argüello Maya, Edison Oswaldo

C.C.:1708903024



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Responsabilidad de autoría

Nosotros, **Bustamante Bustamante, German Alfonso y Vasquez Valle, Paul Esteban**, con cedula de ciudadanía n° **1725784423** y **1804719563** declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **"Diseño y construcción una máquina de extracción de los flancos laterales de los neumáticos para el laboratorio de materiales "** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 24 de febrero de 2023

Vásquez Valle, Paul Esteban

C.C.:1804719563

Bustamante Bustamante, German Alfonso

C.C.: 1725784423

Autorización de publicación



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Autorización de publicación

Nosotros, **Bustamante Bustamante, German Alfonso** y **Vasquez Valle, Paul Esteban**, con cedula de ciudadanía n° **1725784423** y **1804719563** autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: "Diseño y construcción una máquina de extracción de los flancos laterales de los neumáticos para el laboratorio de materiales" en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 24 de febrero de 2023

Vásquez Valle, Paul Esteban

C.C.:1804719563

Bustamante Bustamante, German Alfonso

C.C.: 1725784423

Agradecimiento

En estos momentos es imposible no pensar en mi familia, mis padres y mi hermano que han sido un apoyo incondicional a lo largo de estos años de estudio; acompañándome siempre en cada paso que doy. Agradecer a Nicole quien ha sido fuente de inspiración y motivación día a día, estoy inmensamente agradecido por su dedicación y paciencia durante este largo y duro camino.

German Alfonso Bustamante Bustamante

Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo de investigación, a mis padres y a mi hermano; este logro es tan mío como suyo, porque jamás me han dejado desamparado siempre me han apoyado y por sobre todo han hecho de este camino suyo.

Una dedicatoria a todos los amigos y compañeros que me dejo esta universidad, personas que de una u otra forma me apoyaron, me ayudaron, en esos momentos cuando más lo necesite. Finalmente, pero no menos importante esto va dedicado a Nicole ya que sin ella nada de esto habría sido posible.

German Alfonso Bustamante Bustamante

Agradecimiento

En todo este tiempo tengo pocas personas que pueda agradecer en estos momentos primero puedo decir a mis amigos que me apoyaron todos estos momentos difíciles dentro y fuera del salón de clases, a mi familia que me ha apoyado y ha creído en mi todos los momentos desde que soy pequeño demostrándome cariño y afecto, también a mi hermano que me ha sabido ayudar en los momentos que son necesarios y finalmente a mis padres que con su amor incondicional me han sabido guiar paso a paso cada momento, dejándome volar cuando lo merita y llevándome de la mano a convertirme lo que soy ahora y no puedo olvidarme de los que ya no están que desde el cielo me están viendo y dando su apoyo incondicional.

Paúl Esteban Vásquez Valle

Dedicatoria

Dedico este trabajo de investigación a mi amada familia, quienes siempre han sido mi mayor apoyo y motivación en cada uno de mis proyectos. Su inquebrantable amor, paciencia y sacrificio han sido la fuerza que me ha impulsado a superar obstáculos y a perseverar en mi camino hacia la realización de mis metas. Gracias por su constante aliento, sus palabras de aliento y su infinita comprensión. Este logro es también suyo y espero poder retribuirles todo el amor y la dedicación que me han brindado a lo largo de mi vida. Los amo con todo mi corazón.

Solo puedo decir que este logro es tanto mío como suyo gracias.

Paul Esteban Vasquez Valle

ÍNDICE DE CONTENIDO

Carátula	1
Reporte de verificación de contenidos	2
Certificación	3
Responsabilidad de autoría	3
Autorización de publicación	5
Agradecimiento	6
Dedicatoria	7
Agradecimiento	8
Dedicatoria	9
Índice de contenido	10
Índice de figuras	16
Índice de tablas	18
Resumen.....	19
Abstract	20
Capítulo I: Introducción	21
Antecedentes.....	21
Planteamiento del problema	22
Objetivos.....	23
<i>Objetivo General</i>	23

<i>Objetivos Específicos</i>	23
VARIABLES DE INVESTIGACIÓN.....	23
<i>Variable Dependiente</i>	23
<i>Variable Independiente</i>	24
Hipótesis.....	24
Capítulo II: Marco teórico	25
Neumáticos	25
<i>Partes del neumático</i>	26
Flanco.....	26
Talón	26
Carcasa	27
Aislamiento interior.....	27
Correa	27
Banda de rodadura.....	27
Hombro	27
<i>Tipos de neumáticos</i>	27
<i>Nomenclatura de un neumático</i>	28
Esfuerzo cortante	29
Esfuerzo de torsión	31
Esfuerzos Axiales.....	31
Transmisión de potencia	32
Diseño de ejes	32
<i>Torsión en el eje</i>	33

<i>Cargas fluctuantes</i>	33
<i>Límite de resistencia a la fatiga</i>	33
<i>Resistencia a la fatiga</i>	35
<i>Factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga</i>	36
Factor de superficie k_a	37
Factor de tamaño k_b	38
Factor de carga k_c	38
Factor de temperatura k_d	39
Factor de confiabilidad k_e	40
Factor de efectos varios k_f	41
<i>Factor de concentración del esfuerzo por fatiga K_f</i>	42
<i>Factor de seguridad</i>	42
<i>Caracterización de esfuerzos fluctuantes</i>	43
Cargas Estáticas	45
Rodamientos	46
<i>Componentes y materiales</i>	47
Aros de los rodamientos.....	47
Elementos rodantes	48
Jaulas	48
<i>Sellado integral</i>	49
<i>Juego interno</i>	49
<i>Tratamiento térmico y de la superficie</i>	49
Templado	50
<i>Dimensiones principales</i>	51
Cuñas y pasadores	52

Cuñas	52
Cuña cuadrada	53
Materiales de fabricación de cuñas	54
Fallas en las cuñas	54
Soldadura por arco SMAW	54
Proceso	55
Equipo	56
Electrodo	56
Engranajes	57
Máquinas previas	59
Capitulo III: Metodología	61
Identificación de parámetros	61
<i>Diámetros relativos del límite de los Neumáticos</i>	62
<i>Selección de ruedas motrices</i>	63
Requisitos	63
<i>Selección de la cuchilla</i>	66
Selección del Motor	67
<i>Fuerza del motor</i>	67
<i>Relación de transmisión polea-neumático</i>	67
<i>Potencia necesaria del motor</i>	68
Diseño	68
<i>Diseño de flecha</i>	69
Selección del material	72
<i>Análisis de tensiones de la palanca</i>	74

Construcción	75
<i>Identificar elementos</i>	77
Tubos cuadrados.	81
Eje sólido.	82
<i>Proceso de construcción</i>	82
Construcción de la base.	82
Mecanizado de la flecha.....	83
Construcción de palanca de corte.	84
Construcción de palanca de sujeción.....	85
Construcción del portaherramientas.	86
Mecanizado de cuñeros de los engranes.	86
<i>Proceso de ensamble</i>	87
Circuito de seguridad.....	89
Capitulo IV: Análisis de resultados	92
Resultados	92
<i>Prueba 1 - 175/70 R13</i>	93
<i>Prueba 2 - 175/70 R13</i>	93
<i>Prueba 3 - 185/65 R14</i>	94
<i>Prueba 4 - 185/70 R14</i>	94
<i>Prueba 5 - 185/70 R14</i>	94
<i>Prueba 6 - 185/70 R14</i>	94
<i>Prueba 7 - 185/70 R14</i>	94
Capitulo V: Marco Administrativo	98
Recursos.....	98
<i>Recursos humanos</i>	98

<i>Recursos materiales</i>	98
<i>Recursos Tecnológicos</i>	99
Financiamiento	100
Capítulo VI: Conclusiones y Recomendaciones.....	102
Conclusiones.....	102
Recomendaciones.....	103
Bibliografía:.....	104
Anexos.....	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Partes del neumático</i>	26
Figura 2	<i>Dimensiones del neumático</i>	29
Figura 3	<i>Demostración de un esfuerzo cortante</i>	30
Figura 4	<i>Diagrama de límites de resistencia a la fatiga contra resistencias a la tensión</i>	35
Figura 5	<i>Diagrama de resistencia a la fatiga por número de ciclos</i>	35
Figura 6	<i>Tipos de esfuerzos fluctuantes</i>	44
Figura 7	<i>Componentes de un rodamiento</i>	48
Figura 8	<i>Dimensiones de un rodamiento</i>	52
Figura 9	<i>Cuña en el eje</i>	53
Figura 10	<i>Esquema de la soldadura por arco SMAW</i>	55
Figura 11	<i>Equipo para soldadura SMAW</i>	56
Figura 12	<i>Siglas de identificación de electrodos</i>	57
Figura 13	<i>Rueda motriz</i>	64
Figura 14	<i>Rueda de sujeción</i>	65
Figura 15	<i>Simulación de cuchilla</i>	66
Figura 16	<i>Motor reductor seleccionado</i>	68
Figura 17	<i>Bocetos iniciales del diseño de flecha</i>	69
Figura 18	<i>Análisis de cargas de la flecha</i>	70
Figura 19	<i>Diagramas de esfuerzo cortante y momento flector</i>	71
Figura 20	<i>Simulación de fuerzas en eje</i>	74
Figura 21	<i>Simulaciones de Palanca de la cuchilla</i>	75
Figura 22	<i>Construcción de primeros bocetos de estructura</i>	76
Figura 23	<i>Bocetos con los elementos</i>	77

Figura 24	<i>Construcción de la base de la máquina</i>	83
Figura 25	<i>Torneado de la flecha.....</i>	84
Figura 26	<i>Construcción de palanca de corte.....</i>	85
Figura 27	<i>Construcción de portaherramientas</i>	86
Figura 28	<i>Mecanizado en los engranes.</i>	87
Figura 29	<i>Sujeción del rodamiento de piso a la base.....</i>	88
Figura 30	<i>Sujeción de la flecha al motor.....</i>	88
Figura 31	<i>Sujeción del engrane a la flecha.</i>	89
Figura 32	<i>Esquema del circuito de seguridad</i>	90
Figura 33	<i>Conexión Sistema de seguridad</i>	91
Figura 34	<i>Neumáticos de prueba.....</i>	93
Figura 35	<i>Proceso corte de neumático</i>	95
Figura 36	<i>Evidencia de corte de prueba 1 – Banda de rodadura</i>	96
Figura 37	<i>Evidencia de corte de prueba 4 – Flancos laterales.....</i>	96
Figura 38	<i>Evidencia corte de prueba 2 – Banda de rodadura</i>	97
Figura 39	<i>Evidencia de corte de prueba 5 – Flancos laterales.....</i>	97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Clasificación de los neumáticos.....</i>	28
Tabla 2	<i>Muestra de viga rotativa dada la resistencia a la tensión mínima.....</i>	34
Tabla 3	<i>Parámetros en el factor de la condición superficial de Marín</i>	37
Tabla 4	<i>Factor de tamaño según el diámetro</i>	38
Tabla 5	<i>Factor de carga</i>	38
Tabla 6	<i>Factor de temperatura</i>	39
Tabla 7	<i>Factor de confiabilidad.....</i>	41
Tabla 8	<i>Estabilidad dimensional.....</i>	50
Tabla 9	<i>Identificación de los elementos necesarios para la construcción de la cortadora.....</i>	78
Tabla 10	<i>Elementos del circuito de seguridad.....</i>	90
Tabla 11	<i>Neumáticos de prueba.....</i>	92
Tabla 12	<i>Resultados obtenidos.....</i>	95
Tabla 13	<i>Recursos Humanos</i>	98
Tabla 14	<i>Recursos Materiales</i>	99
Tabla 15	<i>Recursos Tecnológicos.....</i>	100
Tabla 16	<i>Gastos realizados</i>	101

Resumen

En el desarrollo del presente proyecto se logró diseñar y construir una máquina cortadora de flancos laterales de neumáticos de manera exitosa. Para la construcción de la máquina se tuvieron en cuenta varios factores con la finalidad de llegar al modelo más adecuado, estos factores son, la posición de la llanta, el esfuerzo cortante, la velocidad de giro y la composición interna del material de corte. Para realizar el diseño y su análisis se utilizó un software CAD y se validó con la función CAE del mismo programa, realizando todas las simulaciones necesarias para determinar la factibilidad del proyecto. Una vez el diseño estaba completo y validado mediante las simulaciones se empezó la construcción de la máquina, lo primero fue corroborar los procesos de manufactura disponibles en la localidad de Latacunga, para posteriormente seleccionar los más adecuados que necesitamos utilizar para la construcción de la máquina, los procesos de manufactura utilizados fueron la soldadura SMAW, y el torneado que son de fácil acceso en la localidad. Después el proceso de construcción las pruebas de la máquina fueron satisfactorias, cumpliendo el objetivo de extraer los flancos laterales del neumático, todo esto nos llevó a concluir en el presente trabajo de investigación la factibilidad de construir máquinas de este tipo en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – sede Latacunga.

Palabras clave: Planta recicladora, cortadora-neumáticos, flancos laterales.

Abstract

In the development of this project, a successful design and construction of a machine for cutting the side flanks of tires was achieved. Several factors were taken into account for the construction of the machine in order to arrive at the most suitable model, such as the tire position, cutting force, rotational speed, and the internal composition of the cutting material. CAD software was used for the design and analysis and validated with the CAE function of the same program, performing all necessary simulations to determine the feasibility of the project. Once the design was complete and validated through simulations, the construction of the machine began. The first step was to confirm the manufacturing processes available in the locality of Latacunga, and then select the most appropriate ones for the construction of the machine, which were SMAW welding and turning, as they are easily accessible in the area. After the construction process, the machine tests were satisfactory, achieving the objective of extracting the tire side flanks. All this led to the conclusion in this research work of the feasibility of building machines of this type at the Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE - Latacunga campus.

Keywords: Recycler plant, tire-cutter, tire side flanks.

Capítulo I

Introducción

Antecedentes

Cuando acaba la vida útil de los neumáticos la opción más ecológica y sostenible es reutilizarlos, supone varias ventajas medioambientales, como el ahorro en emisiones de gases contaminantes a la atmósfera (Luna, Ortiz y Rodríguez, 2019).

Este tipo de elementos al pasar por el procedimiento del reciclaje, se someten a diferentes procesos; una de ellas es la transformación de los neumáticos en gránulos, donde el caucho se desmenuza en partículas para su posterior uso (Morales, Flores, Ortiz, Mosquera y Erazo, 2020).

Los neumáticos reciclados son utilizados como combustible en diferentes proyectos de ingeniería civil. Además, pueden ser convertidos en asfalto a través del proceso de modificación con herramientas para manipular el caucho. También se pueden utilizar para fabricar guardias de barro para diferentes medios de transporte, como vehículos, secciones para baldosas, alfombras, superficies para campos de juego, y muchas otras opciones de reciclaje para este tipo de elementos. (Morales, Flores, Ortiz, Mosquera y Erazo, 2020).

Reciclaje de neumáticos:

Sebastián Pozo (2017), en su artículo denominado *“Estudio de factibilidad para la reutilización, reciclaje y procesamiento de neumáticos fuera de uso en la ciudad de Ibarra”* menciona que:

El Ministerio del Ambiente de Ecuador ha impulsado la propuesta de movilización de neumáticos fuera de uso que consiste en retirar los mismos de vertederos y botaderos del país para que sean entregadas a empresas que manejan su disposición final con el propósito de evitar el inadecuado almacenamiento y la proliferación de plagas. Con este

plan se logró que en el año 2014 se movilizaran alrededor de 72 652 neumáticos fuera de uso en todas las provincias y cantones del país, mismos que ya están destinados al reciclaje y son usados como materia prima en procesos productivos como generación de asfalto para carretera, fabricación de césped sintético, rompe velocidades entre otros. Esto ha ayudado al estado a manejar de forma eficaz y controlar el problema ambiental y social generado debido a que se alarga la capacidad de los rellenos sanitarios.

La conciencia sobre los efectos negativos que tienen los neumáticos fuera de uso al medio ambiente, y la colocación inadecuada de los mismos, puede ayudar significativamente a prevenir su eliminación descuidada en espacios abiertos.

Tal como lo menciona Pozo (2017), para nuestro país el desarrollo de la industria del reciclaje de neumáticos es fundamental, ya que, según datos del ministerio del ambiente, el desarrollo de esta industria promueve el crecimiento económico de varias industrias; que utilizan el resultante de esta actividad industrial, como materia prima para el desarrollo de nuevos productos.

Planteamiento del problema

En la actualidad una gran cantidad de neumáticos es desechada en nuestro país, el periódico “El Universo” (2018) en uno de sus artículos mencionó que, en los últimos años, se han calculado aproximadamente 2 400 000 llantas desechadas, en donde cada una se demora alrededor de 500 años en desintegrarse. Esta problemática dista mucho de los nuevos objetivos que las empresas de la industria automotriz se van planteando año tras año, que van más enfocados hacia el cuidado del medio ambiente y reducir la contaminación. La vanguardia de la industria automotriz apunta claramente hacia un desarrollo sustentable de la industria, es

por esto por lo que se vuelve esencial el disponer de estas máquinas dentro de los laboratorios de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga, ya que permitirá a los estudiantes tener un perfil más amplio de cara al mercado laboral.

Objetivos

Objetivo General

Fabricar una máquina cortadora para la extracción de los flancos laterales de neumáticos con la finalidad de reciclarlos en un proceso de triturado.

Objetivos Específicos

- Desarrollar una máquina cortadora de flancos laterales de neumáticos con materiales, partes, equipos y procesos de manufactura disponibles en la localidad.
- Determinar la geometría que tendrá la máquina, considerando el proceso de corte empleado para separar los flancos laterales del neumático.
- Analizar mediante software CAD-CAE las partes críticas de la máquina sometida a cargas típicas de su funcionamiento.
- Validar matemáticamente los resultados obtenidos en la simulación.
- Aplicar métodos de mecanizado para fabricar la flecha requerida en la máquina.
- Construir máquina cortadora de neumáticos según el diseño validado

Variables de investigación

Variable Dependiente

Fabricación de la máquina cortadora de neumáticos

Variable Independiente

El diseño de la máquina cortadora de neumáticos es el más idóneo para usar materiales, partes, equipos y procesos de manufactura que se tiene en la localidad.

Hipótesis.

Con los materiales, partes, equipos, procesos de manufactura que se pueden adquirir localmente y con el análisis bajo el método de elementos finitos se fabrica una máquina cortadora de flancos laterales de neumáticos para el laboratorio de materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE sede Latacunga.

Capítulo II

Marco teórico

Neumáticos

Son elementos desechables que encontramos en los vehículos, y que son imprescindibles en el funcionamiento de estos, ya que son el medio de contacto entre el vehículo y el asfalto; además influyen de manera directa en aspectos fundamentales del desempeño del vehículo tales como, seguridad, estabilidad y confort. (Lozano & García, 2013)

Un neumático es un volumen teórico en el que se introduce aire a presión, está compuesto por un conjunto de telas engomadas superpuestas, soportadas por una estructura de hilos metálicos y textiles (carcasa), sobre las cuales se dispone de una banda de caucho que es la banda de rodadura. (Lozano & García, 2013)

El neumático, es un elemento fabricado a base de caucho, es colocado en la rueda de un vehículo necesario para el rodamiento de este y que tiene contacto directo con el suelo. (Rodríguez, Álvarez, & Vera, 2008).

Del neumático depende en buena medida el comportamiento dinámico del vehículo: es decir, cómo se mueve el vehículo sobre el terreno. Una de las características principales de un neumático es la elasticidad, esta se encarga de que el neumático pueda soportar los enormes esfuerzos que se le exigen en su uso cotidiano; también la durabilidad, que garantiza que el neumático será capaz de realizar sus funciones durante una extensa vida útil. Además, su agarre debe ser correcto sobre seco y sobre mojado. (Rodríguez, Álvarez, & Vera, 2008)

Además de que según un estudio reciente de la universidad técnica del norte y por medio de su metodología de estudio práctica, se estima que para el corte de los flancos de los

neumáticos se requiere un 53% de la que requiere el corte de la banda de rodadura siendo esta de aproximadamente de 2630 N (Morales, Flores, Ortiz, Mosquera y Erazo 2020)

Partes del neumático

En la figura 1 podemos ver las partes de las que se encuentra compuesto el neumático

Figura 1

Partes del neumático



Nota. En la figura podemos apreciar las partes que forman el neumático y la ubicación de cada una de ellas. Tomado de Pacejka (2012)

Flanco.

Esta es la parte que se encuentra en la zona lateral del neumático, ubicada entre hombro y talón, su función es proteger la carcasa debido a su flexibilidad, en esta zona por lo general se encuentra la información del neumático.

Talón

Esta parte es la que se encuentra en contacto con el aro, y su función es sujetar el neumático al mismo de una manera firme y segura; se encuentra fabricado de alambre, y caucho.

Carcasa

Es la parte más importante dentro de la estructura del neumático, está compuesta de diferentes capas por lo que le brinda robustez al neumático, su función es absorber la presión interna del neumático y el peso del vehículo.

Aislamiento interior

La función principal de esta parte del neumático es mantener el sello hermético, es decir aislar el aire dentro del neumático.

Correa

Conjunto de elementos que forman parte de la estructura del neumático, su ubicación es entre la carcasa y la banda de rodadura; su principal función es absorber los impactos externos que puedan llegar hacia la carcasa.

Banda de rodadura

Es la zona del neumático que se encuentra en contacto directo con el suelo, se encuentra formado por una capa de caucho.

Hombro

Esta zona del neumático se encuentra entre el flanco lateral y la banda de rodadura; contiene la capa más gruesa de caucho de todo el neumático.

Tipos de neumáticos

Los neumáticos son un elemento necesario en todos los vehículos es por esto por lo que debido a la gran variedad de circunstancias a las que son sometidos y con la finalidad de que puedan cumplir con los requerimientos del usuario, existen diferentes tipos de llantas que se detallan en la tabla 1

Tabla 1*Clasificación de los neumáticos*

Tipo	Característica
Neumático tubeless	neumático sin cámara para mantener el aire
Neumático de perfil bajo	Posee una mayor rigidez en curvas La base del neumático es aprovechada
Neumático recauchado	para colocar una nueva banda de rodadura
Neumático runflat	Neumático que al sufrir una fuga de aire no sufre gran deformación

Nota. Tabla de clasificación de los neumáticos según la tecnología de su construcción, Tomado de Pacejka (2012)

Nomenclatura de un neumático

Todo neumático consta de una sucesión alfanumérica que permite al usuario conocer el índice de carga, la anchura, el diámetro entre talones.

Para poder leer esta nomenclatura es necesario precisar el significado de esta sucesión alfanumérica.

Por lo general consta de la estructura mostrada en la figura 2

Figura 2

Dimensiones del neumático



Nota. En la figura se resalta el lugar donde generalmente se encuentran los datos del neumático y la estructura de estos. Tomado de Pacejka (2012)

Dado la figura 2 el primer número que encontramos determina el ancho del neumático en milímetros, el número que continua indica la relación entre el ancho y alto del neumático, en porcentaje. Finalmente, la letra R nos indica que es un neumático de estructura radial y el número que le sigue determina el diámetro exterior del neumático en pulgadas

Esfuerzo cortante

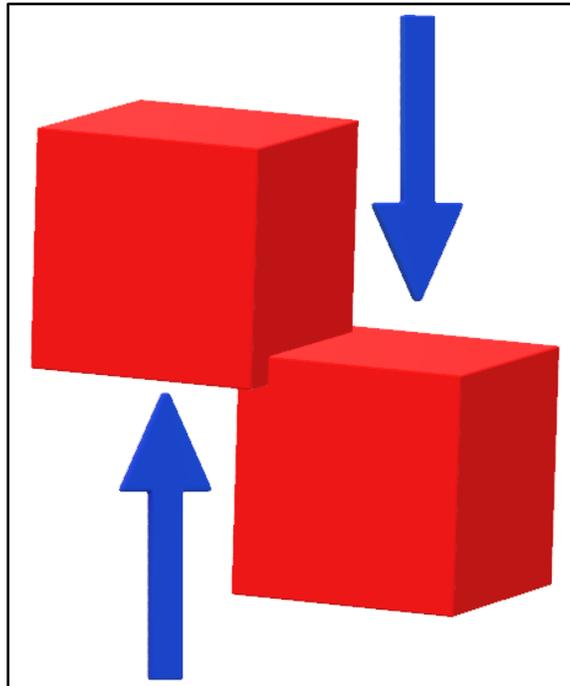
El esfuerzo cortante es aquel que resulta de aplicar dos fuerzas de forma paralela a una superficie, en sentido contrario; y conseguir dividir el objeto en dos partes; provocando un deslizamiento de secciones, una sobre otra. (Zapata, 2019).

El esfuerzo cortante es una medida de la tensión que se aplica a un material en una dirección que es perpendicular a la superficie de la sección transversal. Es una de las dos formas principales de esfuerzo que se pueden aplicar a un material, la otra es el esfuerzo axial. El esfuerzo cortante se produce cuando una fuerza externa actúa en un objeto y lo corta, generando tensiones en la superficie de la sección transversal que son proporcionales a la fuerza aplicada. El esfuerzo cortante es un factor importante en el diseño de estructuras como

puentes, vigas y columnas, y su capacidad para resistir el esfuerzo cortante es una consideración crucial en la selección de materiales y la determinación de las dimensiones de las estructuras.

Figura 3

Demostración de un esfuerzo cortante



Nota. Aplicación de dos fuerzas paralelas sobre una superficie resultando en un esfuerzo cortante. Tomado de Budynas y Nisbett,(2008)

Según Zapata (2019), el esfuerzo cortante se denomina con la letra griega τ (tau), y para calcularla se debe encontrar el coeficiente dado entre las magnitudes de la fuerza aplicada F y el área de la superficie en la que se ejerce dicha fuerza.

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Las unidades de medida de este esfuerzo en el sistema internacional son $\frac{N}{m^2}$, que equivale a un Pascal.

Esfuerzo de torsión

El esfuerzo de torsión es una medida de la tensión que se produce en un material cuando se aplica una fuerza de torsión a un objeto. Se produce cuando un objeto gira alrededor de su eje longitudinal y las fuerzas que actúan sobre él generan tensiones en los materiales que lo componen. La magnitud del esfuerzo de torsión se puede calcular mediante la fórmula:

$$T = \frac{T_w}{J}$$

Donde:

T es el esfuerzo de torsión

T_w es la fuerza de torsión

J es el momento de inercia de la sección transversal del objeto.

El esfuerzo de torsión es un factor importante en el diseño de componentes mecánicos como ejes y componentes de transmisión de potencia, y su capacidad para resistir el esfuerzo de torsión es una consideración crucial en la selección de materiales y la determinación de las dimensiones de los componentes.

Esfuerzos Axiales

El esfuerzo axial también es una medida de la tensión que se produce en un material, cuando se aplica una fuerza en la dirección de su longitud. Esta fuerza puede ser de compresión o de tracción, y la tensión resultante es proporcional a la fuerza y al área transversal de la sección del objeto. La fórmula para calcular el esfuerzo axial es

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

donde:

σ es el esfuerzo axial

F es la fuerza aplicada

A es el área transversal.

Esfuerzos de Flexión

El esfuerzo de flexión es una medida de la tensión que se produce en un material cuando se aplica una fuerza que lo dobla o produce una curva en la forma del objeto. Se produce cuando se aplica una carga en el centro de una barra o viga y las fuerzas internas generan tensiones en la parte superior e inferior de la sección transversal. La magnitud del esfuerzo de flexión se puede calcular mediante la fórmula:

$$\frac{M}{S} = \frac{My}{I}$$

Donde

M es el momento flector

S es el esfuerzo de flexión

My es la torsión

I es el momento de inercia de la sección transversal del objeto.

Transmisión de potencia

Hibbeler (2011), en su libro de mecánica de materiales define a la potencia como el trabajo realizado por unidad de tiempo; así mismo el trabajo transmitido a un eje giratorio es igual al par que se le aplica multiplicado por su ángulo de rotación. (p. 190)

Debido a que la velocidad angular de un eje se define como, la variación del ángulo sobre la variación de tiempo

$$w = \frac{d\theta}{dt}$$

Entonces la potencia instantánea puede expresarse de la siguiente manera:

$$P = T * w \quad (2)$$

Diseño de ejes

Al conocer el torque al que va a ser sometido el eje y también su esfuerzo cortante permisible para el material τ_{Perm} , es posible determinar la sección transversal del eje empleando

la fórmula de la torsión. (Hibbeler, 2011, p. 190). Por lo tanto, el parámetro específico de diseño J/c se emplea de la siguiente manera:

$$\frac{J}{c} = \frac{T}{\tau_{perm}} \quad (3)$$

Torsión en el eje

Según Hibbeler (2011), si el eje posee una sección transversal circular sólida, el momento polar de inercia J puede determinarse usando un elemento de área en forma de un aro o anillo diferencial, y una circunferencia de $2\pi r$. (p. 184)

$$J = \frac{\pi}{2} c^4 \quad (4)$$

Cargas fluctuantes

Generalmente en las máquinas podemos encontrar elementos que han fallado, cuando son sometidos a esfuerzos repetitivos o fluctuantes; un análisis más cuidadoso de estos fallos revela que los esfuerzos máximos reales estuvieron por debajo de la resistencia última del material, e incluso por debajo de la resistencia a la fluencia. Estas fallas tienen como característica principal el gran número de veces que se repitió el esfuerzo. Por lo tanto, a estas fallas se las conoce como fallas por fatiga. (Budynas, Nisbett, 2008, p. 258-260).

Budynas y Nisbett (2008), al diseñar un eje debemos tener en cuenta que según las revoluciones que tenga por cada minuto el eje deberá soportar esa cantidad de esfuerzos, en esa unidad de tiempo; es por esto por lo que el análisis de las cargas fluctuantes es fundamental para el diseño del eje.

Límite de resistencia a la fatiga

Budynas y Nisbett (2008), en su libro “*Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*” encontramos un método que permite estimar los límites de resistencia a la fatiga, las

estimaciones se obtuvieron a partir de grandes cantidades de datos obtenidos de diversas fuentes. Como el área de incertidumbre es más grande debe realizarse una compensación mediante el empleo de factores de diseño más grandes que podrían usarse para el diseño estático.

Tabla 2

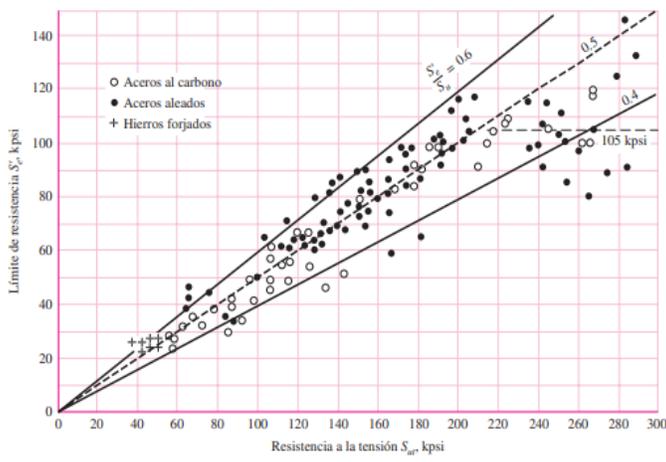
Muestra de viga rotativa dada la resistencia a la tensión mínima

Muestra de viga rotativa	Resistencia a la tensión mínima	Rango de selección
S'_e	0.5 S_{ut}	$S_{ut} \leq 200$ kpsi
	100 kpsi	$S_{ut} > 200$ kpsi
	700 Mpa	$S_{ut} > 1400$ kpsi

Nota. Donde S_{ut} es la resistencia a la tensión mínima, y S'_e se refiere a la propia muestra de viga rotativa. Tomado de Budynas y Nisbett(2008)

Figura 4

Diagrama de límites de resistencia a la fatiga contra resistencias a la tensión

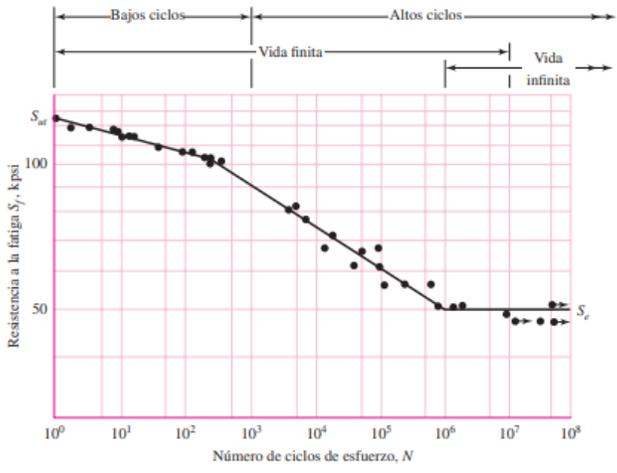


Nota. Gráfica de resultados de ensayos reales de un gran número de hierros forjados y aceros aleados. Las relaciones de S'_f/S_{ut} de 0.60, 0.50 y 0.40 se indican por líneas continuas y discontinuas. (Cotejada de datos compilados por H. J. Grover, S. A. Gordon y L. R. Jackson en Fatigue of Metals and Structures, Bureau of Naval Weapons Document NAVWEPS 00-25- 534, 1960; y de Fatigue Design Handbook, SAE, 1968, p. 42.) Tomado de Budynas y Nisbett(2008)

Resistencia a la fatiga

Figura 5

Diagrama de resistencia a la fatiga por número de ciclos



Nota. Diagrama S-N que se graficó a partir de los resultados de ensayos a la fatiga axial completamente invertidos. Material: acero UNS G41300, normalizado; $S_{ut} = 116$ kpsi; S_{ut} máxima = 125 kpsi. (Datos de NACA Tech. Nota 3866, diciembre de 1966.) según Budynas y Nisbett, 2008, McGrawHillEducation.

Como podemos observar en la figura número 3 una región de fatiga de ciclos bajos se puede extender desde $N=1$ hasta casi 10^3 ciclos. En esta región la resistencia a la fatiga S_f es ligeramente inferior a la resistencia a la tensión S_{ut}

Factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga

Es imposible esperar que el límite de resistencia a la fatiga en un elemento mecánico sea igual al que se obtuvo en los ensayos de laboratorio, en su uso cotidiano existen algunas diferencias entre la aplicación real y el ensayo; según Budynas y Nisbett (2008) estas son :

- Material, composición
- manufactura, tratamiento térmico, corrosión, acabado superficial
- Entorno, temperatura, tiempos de relajación
- Diseño, tamaño, forma, vida, velocidad, rozamiento

Según Marín (s.f) (citado por Budynas y Nisbett 2008), todos estos factores que cuantifican los efectos de la condición superficial, el tamaño, la carga, la temperatura y varios otros puntos; pueden converger en una sola ecuación, a la cual Marín llegó después de un extenso análisis estadístico del acero 4330

Entonces la ecuación de Marín es:

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e \quad (6)$$

en donde:

k_a = factor de modificación de la condición superficial

k_b = factor de modificación del tamaño

k_c = factor de modificación de la carga

k_d = factor de modificación de la temperatura

k_e = factor de confiabilidad

k_f = factor de modificación de efectos varios

S'_e = límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria

S_e = límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la geometría y condición de uso.

Factor de superficie k_a .

Este factor de modificación según Budynas y Nisbett (2008), depende en gran medida de la calidad que se le da al acabado superficial de la parte y la resistencia a la tensión, Este factor se determina con la siguiente expresión:

$$k_a = aS_{ut}^b \quad (7)$$

En este sentido los valores de a y b se encuentran en la tabla número 2:

Tabla 3

Parámetros en el factor de la condición superficial de Marín

Acabado Superficial	Factor a $S_{utr}MPa$	Exponente b
Esmerilado	1.58	-0.085
Maquinado o Laminado en frío	4.51	-0.265
Laminado en caliente	57.7	-0.718
Como sale de la forja	272.	-0.995

Nota. De C. J. Noll y C. Lipson, "Allowable Working Stresses," en Society for Experimental Stress Analysis, vol. 3. núm. 2, 1946, p. 29. Tomado de Budynas y Nisbett,(2008)

Factor de tamaño k_b .

Este factor fue evaluado en 133 conjuntos de puntos de datos, obteniendo la siguiente ecuación:

Tabla 4

Factor de tamaño según el diámetro

Factor	Valor	Condición
k_b	$0.879d^{-0.107}$	$0.11 \leq d \leq 2$ in
	$0.91d^{-0.157}$	$2 \leq d \leq 10$ in
	$1.24d^{-0.107}$	$2.79 \leq d \leq 51$ mm
	$1.51d^{-0.157}$	$51 \leq d \leq 254$ mm

Nota. Valores del factor de tamaño. Tomado de Budynas y Nisbett, (2008)

Factor de carga k_c

Según Budynas y Nisbett (2008), estos son los valores medios del factor de carga, según la carga a la que están sometidos:

Tabla 5

Factor de carga

Factor	Valor	Condición
k_c	1	Flexión
	0.85	Axial
	0.59	Torsión

Nota. Factor de carga según a cada esfuerzo que se someta Tomado de Budynas y Nisbett,(2008)

Factor de temperatura k_d

Existen diversos motivos para el uso de este factor, cuando la temperatura de operación es inferior a la temperatura ambiente existe una alta probabilidad de una fractura frágil; cuando la temperatura de operación es superior a la temperatura ambiente, entonces se debe investigar la resistencia a la fluencia porque esta disminuye con rapidez con la elevada temperatura. (Budynas y Nisbett, 2008).

Para calcular este factor se utiliza la siguiente ecuación:

$$k_d = \frac{S_T}{S_{RT}}$$

En donde S_T = resistencia a la tensión a la temperatura de operación; S_{RT} = resistencia a la tensión a temperatura ambiente; $0.099 \leq \sigma \leq 0.110$.

En orden de facilitar el cálculo de este factor; existe una tabla que tabula los resultados:

Tabla 6

Factor de temperatura

Temperatura	S_T/S_{RT}	Temperatura	S_T/S_{RT}
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927

Temperatura	S_T/S_{RT}	Temperatura	S_T/S_{RT}
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1000	0.698
550	0.672	1100	0.567
600	0.549		

Nota. Efecto de la temperatura de operación en la resistencia a la tensión del acero según tabla 2 de la norma para ejes ANSI/ASME B106. 1M-1985 y E. A. Brandes (ed.) Smithell's Metals Reference Book, 6a. ed., Butterworth, Londres, 1983, pp. 22-134 a 22-136, donde se tabulan los límites de resistencia a la fatiga de 100 a 650°C. Tomado de Budynas y Nisbett,(2008)

Factor de confiabilidad k_e

Los datos presentados por Haugen y Wirching (s.f) (citado por Budynas y Nisbett 2008), muestran desviaciones estándar de la resistencia a la fatiga de menos del 8%. Por lo tanto, el factor de confiabilidad se escribe como:

$$k_e = 1 - 0.08Z_\alpha \quad (8)$$

Donde Z_α es la variación de la transformación, para ilustrar de mejor manera tenemos la tabla número 7:

Tabla 7*Factor de confiabilidad*

Confiabilidad	Variación de transformación	Factor de confiabilidad
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Nota. Factores de confiabilidad k_f correspondientes a 8 desviaciones estándar porcentuales del límite de resistencia a la fatiga. Tomado de Budynas y Nisbett, (2008)

Factor de efectos varios k_f

El factor k_f se utiliza para considerar la reducción en el límite de resistencia a la fatiga debido a otros efectos. Sin embargo, no siempre están disponibles los valores precisos de k_f . Los esfuerzos residuales pueden mejorar o empeorar el límite de resistencia a la fatiga, y en general, un esfuerzo residual compresivo en la superficie de la pieza mejorará el límite de resistencia a la fatiga. Las operaciones como el granallado, el martillado y el laminado en frío aumentan la cantidad de esfuerzos compresivos en la superficie y mejoran la resistencia a la fatiga. Sin embargo, es importante no sobrecargar el material. Las partes hechas de placas o barras laminadas o estiradas, así como las forjadas, pueden verse afectadas por las diferencias en la resistencia a la fatiga en diferentes direcciones, como una reducción del 10% a 20% en la

resistencia a la fatiga en la dirección transversal en comparación con la dirección longitudinal en piezas laminadas o estiradas. (Budynas y Nisbett, 2008).

Factor de concentración del esfuerzo por fatiga K_f

El factor de corrección de forma o "Kf" según Budynas y Nisbett (2008) es un factor de corrección que se utiliza en el diseño de elementos mecánicos para tener en cuenta las condiciones de carga y las características geométricas del elemento. Es un factor que se utiliza para ajustar la carga nominal a la carga efectiva que se aplicará al elemento mecánico, y se puede definir matemáticamente como:

$$K_f = \text{Carga efectiva} / \text{Carga nominal}$$

Donde la carga nominal es la carga nominal que se aplicará al elemento mecánico y la carga efectiva es la carga real que actúa sobre el elemento mecánico debido a las condiciones de carga y las características geométricas del elemento.

El valor de Kf se determina en función de la forma y las características geométricas del elemento, así como de las condiciones de carga a las que estará expuesto. El uso de Kf permite considerar las diferencias en las condiciones de carga y las características geométricas de los elementos mecánicos, lo que permite un diseño más preciso y seguro.

En general, un elemento mecánico con una forma y una geometría favorables para resistir las cargas a las que estará expuesto tendrá un Kf más bajo, mientras que un elemento mecánico con una forma y una geometría desfavorables para resistir las cargas a las que estará expuesto tendrá un Kf más alto.

Factor de seguridad

Se utiliza para determinar la carga nominal que un elemento mecánico puede soportar sin fallar. Se determina mediante una relación entre la carga nominal y la carga máxima que un elemento puede soportar antes de fallar.

El factor de seguridad se usa para asegurar que un elemento mecánico está diseñado con un margen adicional de seguridad para considerar las incertidumbres en las condiciones de carga y las propiedades de los materiales. Esto asegura que el elemento mecánico tenga un margen de seguridad adecuado contra fallas durante su vida útil.

El factor de seguridad según Budynas y Nisbett (2008), se determina en función del tipo de falla que se desea evitar y de los criterios de diseño específicos. Por ejemplo, un factor de seguridad alto se utiliza para asegurar que el elemento mecánico no falle por fatiga, mientras que un factor de seguridad bajo se utiliza para asegurar que el elemento mecánico no falle por falla por fluencia. Tomado de Budynas y Nisbett,(2008)

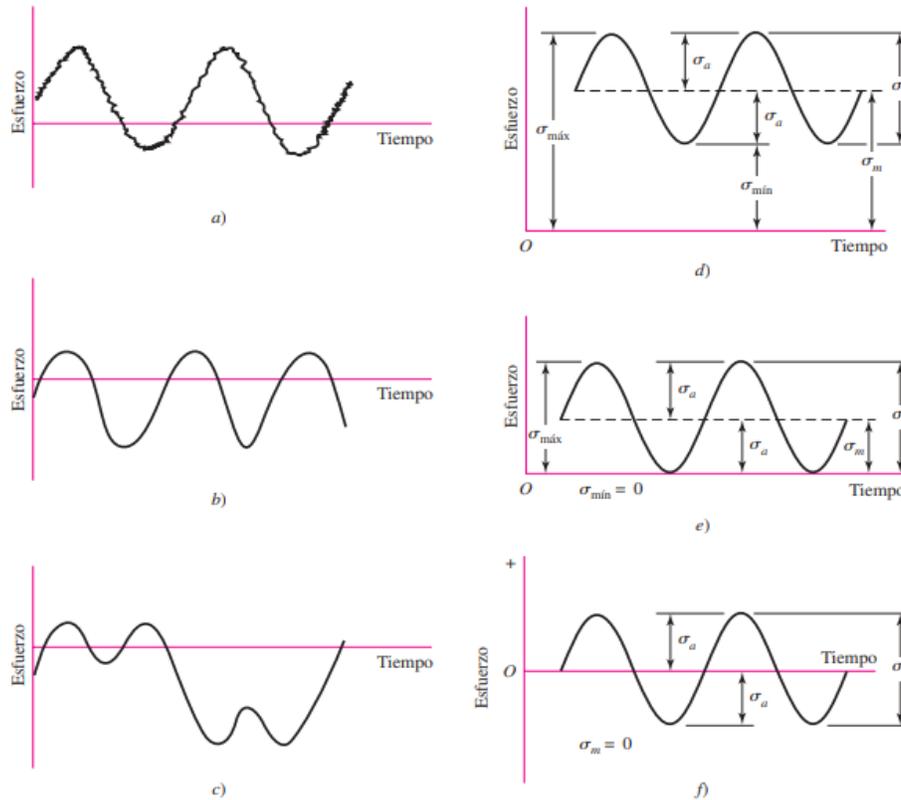
Caracterización de esfuerzos fluctuantes

Por lo general los esfuerzos fluctuantes, se comportan como un patrón sinusoidal, esto se debe a la naturaleza de las máquinas rotatorias en las que son utilizadas. Sin embargo, estos patrones suelen presentarse con diversas alteraciones es por esto por lo que Budynas y Nisbett (2008), nos plantea que lo más importante al analizar los esfuerzos fluctuantes son los picos de la gráfica donde obtendremos un F_{max} para el pico más alto y un F_{min} para el pico más bajo. Con esto se constituye una componente media de fuerza F_m y una componente alternante F_a

$$F_m = \frac{F_{max} + F_{min}}{2} \quad F_a = \left| \frac{F_{max} - F_{min}}{2} \right|$$

Figura 6

Tipos de esfuerzos fluctuantes



Nota. Algunas relaciones esfuerzo tiempo: a) esfuerzo fluctuante con pulsaciones de alta frecuencia; b) y c) esfuerzo fluctuante no sinusoidal; d) esfuerzo fluctuante sinusoidal; e) esfuerzo repetido; f) esfuerzo sinusoidal completamente invertido. Tomado de Budynas y Nisbett,(2008)

En la figura número 4 encontramos varios registros de esfuerzo-tiempo los cuales son:

σ_{min} = esfuerzo mınimo

σ_{max} = esfuerzo mımimo

σ_a = componente de amplitud

σ_m = componente de esfuerzo medio

σ_r = intervalo de esfuerzo

σ_s = esfuerzo estático o constante

Teniendo 4 relaciones evidentes entre estas:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \quad (9)$$

$$\sigma_a = \left| \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \right| \quad (10)$$

La razón de esfuerzo

$$R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} \quad (11)$$

La razón de amplitud

$$A = \frac{\sigma_a}{\sigma_m} \quad (12)$$

Esfuerzos en ejes

Cargas Estáticas

Según Hibbeler (2011), las cargas estáticas son aquellas que se mantienen en una posición fija y no varían con el tiempo. Estas cargas incluyen el peso de la estructura, las fuerzas de viento y nieve, y las cargas de tierra y agua. En la ingeniería estructural, es importante conocer la magnitud y la dirección de las cargas estáticas y su distribución en la estructura.

La ecuación que describe la fuerza total que actúa sobre un objeto en equilibrio es:

$$\Sigma F = 0$$

donde

ΣF representa la suma de todas las fuerzas que actúan sobre el objeto.

En una estructura, las cargas estáticas deben ser consideradas en el cálculo de las fuerzas y los momentos que actúan sobre la estructura, y deben ser incluidas en la ecuación de equilibrio.

Además, la distribución de las cargas estáticas a lo largo de la estructura también debe ser considerada en el diseño. La ecuación que describe la distribución de carga en una barra es:

$$w(x) = w_0 + (x/L)(w_L - w_0)$$

donde $w(x)$ representa la carga por unidad de longitud en un punto x a lo largo de la barra, w_L y w_0 representan las cargas por unidad de longitud en los extremos de la barra y L es la longitud de la barra.

Rodamientos

Los rodamientos son dispositivos que brindan soporte y guían elementos rotativos u oscilantes en máquinas, como árboles, ejes o ruedas, y transfieren las cargas a otros componentes de la máquina. Con una fricción mínima, los rodamientos permiten altas velocidades de giro, reducen el ruido, el calor, el consumo de energía y el desgaste, y brindan precisión y fiabilidad. Además, son elementos rentables e intercambiables en máquinas que cumplen con estándares de dimensión nacionales o internacionales.

Existen dos tipos principales de elementos rodantes que se utilizan en rodamientos: bola y rodillo. Los rodamientos de bolas están compuestos por bolas que establecen contacto puntual con los caminos de rodadura del aro. Con el aumento de la carga, el punto de contacto se convierte en un área elíptica, lo que reduce la fricción, lo que a su vez permite altas velocidades, pero limita su capacidad de carga. Por otro lado, los rodamientos de rodillos tienen rodillos que establecen contacto lineal con los caminos de rodadura del aro. Con el aumento de

la carga, el contacto lineal se transforma en rectangular, lo que permite soportar cargas más pesadas, pero a velocidades más bajas que un rodamiento de bolas del mismo tamaño.

Los rodamientos son categorizados en dos categorías en base a la dirección de la carga que soportan principalmente:

- Rodamientos radiales: estos soportan cargas que están, en su mayoría, en una dirección perpendicular al eje. Algunos solo pueden soportar cargas radiales, mientras que otros también pueden soportar algunas cargas axiales en una dirección y, en ciertos casos, en ambas direcciones.

- Rodamientos axiales: estos soportan cargas que actúan principalmente de manera axial a lo largo del eje. Según su diseño, pueden soportar cargas axiales puras en una o ambas direcciones, y algunos también pueden soportar cargas radiales. Sin embargo, los rodamientos axiales no pueden admitir velocidades tan elevadas como los rodamientos radiales de igual tamaño.

Componentes y materiales

Un rodamiento está conformado por los siguientes componentes

Aros de los rodamientos

Los aros son cruciales para el correcto funcionamiento de los rodamientos. La presión y el movimiento repetitivo pueden causar fatiga en los aros de los rodamientos, por lo que estos deben estar hechos de materiales resistentes y endurecidos. El acero más comúnmente utilizado en la fabricación de los aros y arandelas de los rodamientos es 100Cr6, que contiene aproximadamente un 1% de carbono y un 1,5% de cromo.

Elementos rodantes

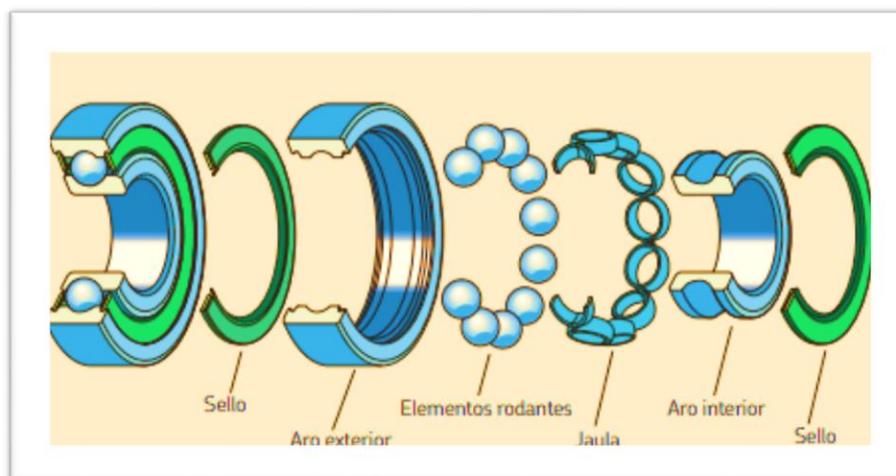
Los componentes que sostienen la carga en un rodamiento son las bolas o rodillos, que transfieren la carga desde el aro interior hasta el aro exterior. Por lo general, se utiliza el mismo material para los elementos rodantes y los aros de los rodamientos, que suele ser acero. Sin embargo, cuando se requiere, los elementos rodantes pueden fabricarse con material cerámico, resultando en rodamientos híbridos que son cada vez más comunes.

Jaulas

El propósito principal de la jaula en un rodamiento es separar los elementos rodantes, reducir el calor generado por la fricción, distribuir uniformemente la carga, guiar los elementos rodantes en la zona sin carga, y retenerlos en el caso de los rodamientos desmontables. Las jaulas pueden centrarse radialmente en los elementos rodantes, en el aro interior o en el aro exterior. Las jaulas centradas en los elementos rodantes permiten una fácil entrada del lubricante, mientras que las centradas en el aro brindan un guiado más preciso y son apropiadas para situaciones de alta velocidad, vibración o fuerzas de inercia.

Figura 7

Componentes de un rodamiento



Nota. Elementos que conforman el rodamiento, despiezados. Tomado de Norton, (2011)

Sellado integral

Un sellado integral puede prolongar la vida útil del rodamiento al mantener el lubricante dentro y los contaminantes fuera. Hay dos tipos de sellos integrales: placas de protección y sellos. Los rodamientos equipados con placas de protección se utilizan en condiciones relativamente limpias y cuando la baja fricción es importante debido a la velocidad o temperatura. Los rodamientos con sellos son preferidos para condiciones moderadamente contaminadas y en presencia de agua o humedad, los sellos rozantes producen un contacto positivo con la superficie deslizante del aro. Los sellos de baja fricción y no rozantes también pueden soportar las mismas velocidades que los rodamientos con placas de protección, pero con una mayor eficacia de sellado.

Juego interno

La cantidad de movimiento relativo entre dos anillos de un rodamiento se conoce como juego interno. Este puede ser en sentido radial o axial. La mayoría de los rodamientos tienen un juego interno mayor al inicio que durante su funcionamiento, debido a la dilatación y compresión que se producen por el montaje y la generación de calor. Es importante que el rodamiento tenga un juego interno adecuado para su funcionamiento, y en algunos casos, se puede utilizar una precarga. La norma ISO establece cinco clases de juego para diferentes tipos de rodamientos, para ayudar a seleccionar el juego interno apropiado.

Tratamiento térmico y de la superficie

Los componentes de los rodamientos, como los aros y las bolas, deben ser capaces de soportar la fatiga y las deformaciones, ser resistentes ante las cargas aplicadas y mantener sus dimensiones estables con el tiempo. Esto se logra a través de procesos de tratamiento térmico y en la superficie.

Templado

Existen tres formas comunes de temple que se aplican a los componentes del rodamiento:

- **Templado total:** Este es el método estándar para la mayoría de los rodamientos y brinda una buena resistencia a la fatiga y al desgaste debido a que el temple se aplica en toda la sección transversal.
- **Templado por inducción:** Este proceso implica el endurecimiento selectivo del camino de rodadura de un componente mediante corrientes de inducción para limitar la fatiga por contacto de rodadura sin afectar la resistencia estructural del resto del componente.
- **Cementado:** Este proceso proporciona dureza a la superficie y se utiliza, por ejemplo, cuando los aros del rodamiento están sujetos a altas cargas de choque que causan deformaciones estructurales.
- **El tratamiento térmico es necesario para mantener la estabilidad dimensional de los componentes, limitando los cambios causados por temperaturas extremas. Hay una clasificación estandarizada para medir la estabilidad dimensional.**

Tabla 8

Estabilidad dimensional

Clase de estabilización	Estabilizado hasta	
	C°	F°
SN	120	250
S0	150	300
S1	200	390
S2	250	480
S3	300	570
S4	350	660

Nota. Estabilidad dimensional según las normas ISO Tomado de Budynas y Nisbett,(2008)

El empleo de capas de revestimiento es una técnica conocida para brindar a los componentes de los rodamientos características funcionales adicionales para soportar las demandas únicas de su aplicación. Entre los revestimientos ampliamente utilizados se encuentran el cromo-zinc y el óxido negro.

Dimensiones principales

Las dimensiones más importantes de un rodamiento son:

- diámetro del agujero (d)
- diámetro exterior (D)
- ancho o altura (B, C, T o H)
- dimensiones de los chaflanes (r)

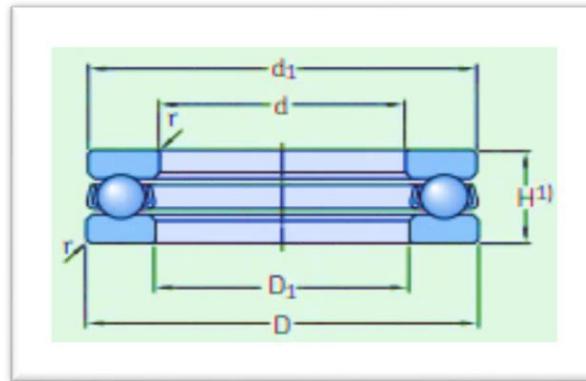
Estas dimensiones principales para los rodamientos métricos están estandarizadas bajo los estándares de la Organización Internacional para la Normalización (ISO).

- ISO 15: Estándar para los rodamientos radiales, excepto los rodamientos de inserción, algunos tipos de rodamientos de agujas y rodamientos de rodillos cónicos.
- ISO 104: Estándar para los rodamientos axiales.
- ISO 355: Estándar para los rodamientos de rodillos cónicos.

La mayoría de los rodamientos siguen las dimensiones según estos estándares ISO, lo que es un requisito necesario para garantizar la intercambiabilidad.

Figura 8

Dimensiones de un rodamiento



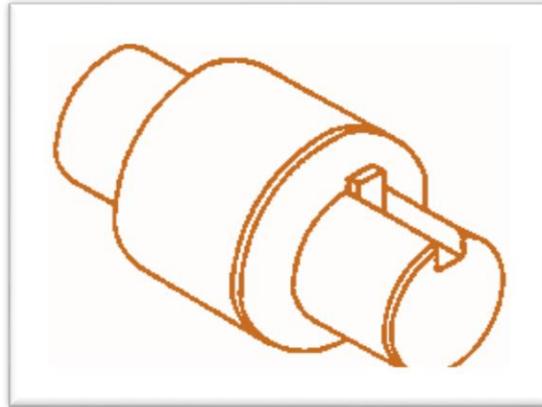
Nota. Definición de cada una de las dimensiones del rodamiento Tomado de Norton, (2011).

Cuñas y pasadores

Los árboles o flechas son cilindros escalonados que tienen hombros o resaltos para situar elementos axialmente y transmitir cargas axiales. Estos árboles se usan para transmitir potencia o para colocar o fijar elementos en su superficie. Para transmitir pares de torsión y potencia, se utilizan elementos como cuñas o chavetas, ejes estriados, espigas o pasadores.

Cuñas

El objetivo de las cuñas es mantener en su lugar componentes de la máquina, como engranajes, poleas, manubrios, y brazos de motor, a través de su colocación parcial en la caja de cuña del eje y su penetración en el alojamiento del cubo. De esta manera, se permite la transmisión de movimientos y potencia entre la pieza y el eje. Además, estas piezas de acero también proporcionan seguridad, ya que su tamaño está diseñado para deformarse o romperse en caso de sobrecarga para proteger el eje.

Figura 9*Cuña en el eje*

Nota. Ubicación de la cuña en un eje. Tomado de Norton, (2011).

Las cuñas que son más utilizadas son:

- Cuña cuadrada
- Cuña cónica
- Cuña de Woodruff

Cuña cuadrada

Es el tipo más común de cuña, la cuña cuadrada. La dimensión W es igual a un cuarto del diámetro de la flecha y está diseñada para que la mitad del espesor haga contacto con la flecha y la otra mitad con el cubo. La creación de la cuña se realiza a través de una máquina especializada o con una escariadora, mientras que el cuñero en la flecha se corta con una fresa. Se utilizan cortadores específicos, como un cortador fresa plano de ancho W o un cortador fresa de espiga de diámetro igual al ancho W de la cuña, para crear los cuñeros. Es recomendable utilizar cuñeros con curvatura siempre que sea posible.

Materiales de fabricación de cuñas

La mayoría de las cuñas se fabrican de acero de bajo carbono laminado en frío. Si es necesario una resistencia más alta, se puede usar acero con un contenido más alto de carbono también laminado en frío o acero con tratamiento térmico. Es importante que el material conserve una buena ductilidad con una elongación porcentual mayor al 10% para manejar cargas de choque o impacto.

La distribución exacta del esfuerzo en las uniones con cuñas aún no se comprende completamente, por lo que se recomienda un factor de seguridad de 1.5 para pares de torsión estables y de 2.5 a 4.5 para cargas fuertes y fluctuantes. Para prevenir desgaste del cubo en la flecha y asegurar un buen agarre, la longitud del cubo debe ser al menos 25% mayor que el diámetro de la flecha y la longitud mínima de la cuña debe ser al menos 25% mayor que el diámetro de la flecha. Normalmente, el cubo se fija sobre la cuña recta con opresores. Si no se usan opresores, se debe especificar un ajuste de baja presión entre la flecha y el cubo.

Fallas en las cuñas

Los materiales sujetos a esfuerzos torsionales a menudo fallan por corte en sus fibras internas, mientras que los materiales sujetos a esfuerzos de compresión fallan debido al aplastamiento de su estructura y el reblandecimiento debido a su relación de ancho a altura. Las cuñas experimentan estos dos tipos de esfuerzos, por lo que su ancho y su altura o espesor producen resultados diferentes. En resumen, se puede afirmar que, en base a la misma base, las cuñas planas más anchas que profundas fallan por compresión, mientras que las que son más profundas que anchas fallan por corte.

Soldadura por arco SMAW

Este proceso de unión de metales es uno de los más antiguos que existen y se remonta a los años 90 del siglo XVIII, cuando se utilizaba un electrodo de carbón para producir un arco eléctrico. Sin embargo, no fue hasta 1907 cuando Oscar Kjellber, el fundador de ESAB,

desarrolló el método de soldadura con electrodo recubierto, también conocido como SMAW (Shielded Metal Arc Welding). Este fue el primer método que se aplicó con gran éxito, no solo a nivel técnico, sino también económico, ya que permitió el desarrollo de procesos de fabricación más eficaces. Aunque existen modernas aplicaciones que han mejorado este proceso, estas aún se basan en el concepto básico de la soldadura al arco con electrodo auto protegido, que se sigue utilizando hasta hoy en día.

Figura 10

Esquema de la soldadura por arco SMAW



Nota. Se muestra de forma esquemática los elementos que conforman el proceso de soldadura por arco SMAW. Tomado de Schey, (2019)

Proceso

Este método de soldadura se basa en el uso de un electrodo que cuenta con un recubrimiento específico, dependiendo de las características del material que se desea unir. El proceso implica hacer circular una corriente eléctrica, ya sea alterna o directa, a través del electrodo, creando un cortocircuito entre el electrodo y el material base que se desea soldar o unir. El arco eléctrico generado por este proceso puede alcanzar temperaturas extremadamente altas de hasta 5500°C, fundiendo el núcleo del electrodo y depositándolo en

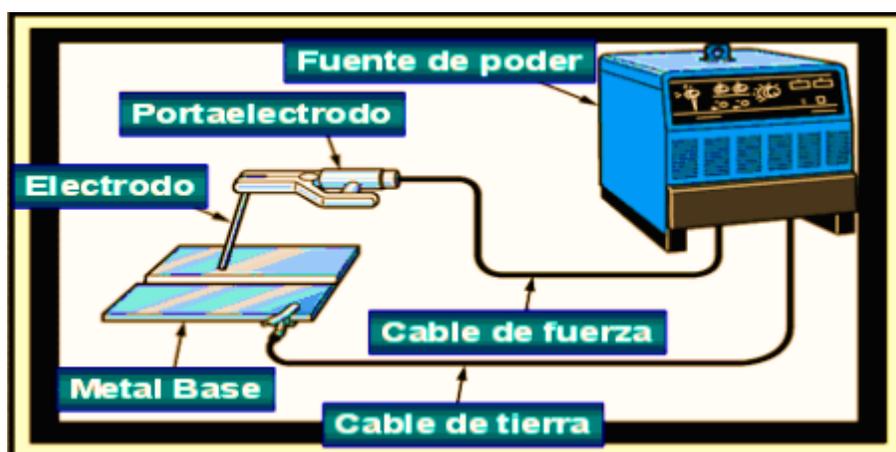
el material que se está soldando. Además, mediante la combustión del recubrimiento del electrodo, se genera una atmósfera protectora que evita la penetración de humedad y otros elementos contaminantes. Al mismo tiempo, se forma una escoria que recubre el cordón de soldadura creado durante el proceso.

Equipo

El equipo requerido para este tipo de soldadura es relativamente sencillo, consta de una fuente de poder, una porta electrodo y un cable de fuerza.

Figura 11

Equipo para soldadura SMAW



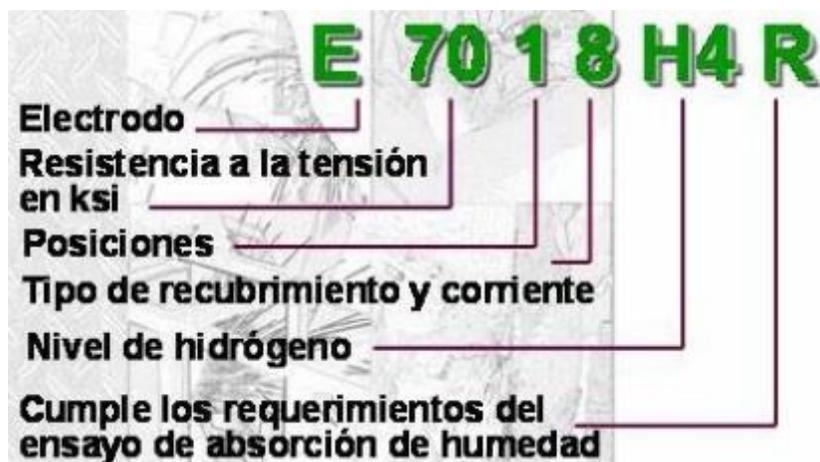
Nota. Elementos que conforman un equipo de soldadura SMAW. Tomado de Groover, (2007)

Electrodo

Para llevar a cabo la soldadura al arco con electrodo recubierto, se cuenta con una amplia variedad de tipos de electrodos. La selección del electrodo adecuado depende del material del núcleo del electrodo, el tipo de recubrimiento y su diámetro. La AWS (Sociedad Americana de Soldadura) ha normalizado el diseño y la utilización de estos electrodos.

Figura 12

Siglas de identificación de electrodos



Nota. Siglas que se utilizan de forma estándar para la identificación de electrodos según

Groover, 2007, McGraw-Hill Professional

Engranajes

Un engranaje es un mecanismo que se utiliza para transmitir potencia mecánica entre diferentes partes de una máquina. Está compuesto por dos ruedas dentadas, la más grande se llama corona y la más pequeña piñón. Los engranajes permiten la transmisión de movimiento circular a través del contacto de las ruedas dentadas. Una de las aplicaciones más importantes de los engranajes es la transmisión de movimiento desde el eje de una fuente de energía, como un motor de combustión interna o eléctrico, hasta otro eje que se encuentra a cierta distancia y necesita realizar trabajo. Una de las ruedas está conectada a la fuente de energía y se conoce como engranaje motor, mientras que la otra está conectada al eje que debe recibir el movimiento del motor y se conoce como engranaje conducido. Si el sistema consta de más de un par de ruedas dentadas, se llama tren de engranajes.

Clasificación de los engranajes

Los engranajes se clasifican principalmente según la disposición de sus ejes de rotación y los tipos de dentado. Existen cinco tipos principales de engranajes según estos criterios.

Los engranajes de ejes paralelos se fabrican a partir de un disco cilíndrico cortado de una plancha o de un trozo de barra maciza redonda. Luego, el disco se lleva al proceso de fresado para formar los dientes. La fabricación de estos engranajes es más simple y, por lo tanto, sus costos son reducidos.

Los engranajes cilíndricos rectos son el tipo de engranaje más simple y común que existe. Se utilizan generalmente para velocidades pequeñas y medias, y a grandes velocidades, si no son rectificadas o corregido su tallado, pueden producir ruido cuyo nivel depende de la velocidad de giro que tengan.

Los engranajes cilíndricos de dentado helicoidal tienen un dentado oblicuo con relación al eje de rotación y se utilizan de manera similar a los cilíndricos de dentado recto, pero con mayores ventajas. Los ejes de estos engranajes pueden ser paralelos o cruzarse, generalmente a 90 grados. Para eliminar el empuje axial, el dentado puede hacerse doble helicoidal.

Los engranajes de ejes perpendiculares se fabrican a partir de un tronco de cono, formando los dientes por fresado de su superficie exterior. Los dientes pueden ser rectos, helicoidales o curvos. Esta familia de engranajes se utiliza para solucionar la transmisión entre ejes que se cortan y se cruzan. Los datos de cálculo de estos engranajes están en prontuarios específicos de mecanizado.

Los engranajes cónicos de dientes rectos se utilizan para efectuar la transmisión de movimiento de ejes que se cortan en un mismo plano, generalmente en ángulo recto, por medio de superficies cónicas dentadas. Los dientes convergen en el punto de intersección de los ejes y se utilizan para efectuar la reducción de velocidad con ejes en 90 grados. Estos engranajes

generan más ruido que los engranajes cónicos helicoidales y se utilizan en transmisiones antiguas y lentas, siendo poco utilizados en la actualidad.

Máquinas previas

Según una nueva investigación la idea de corte de los flancos de los neumáticos tiene el principio de funcionamiento similar a la de un torno y por medio de implementar un buril universal fabricado de acero rápido (HSS), utilizado para refrentado de metales, siendo el análisis con ángulos de corte de $x=45^\circ$ y $y=12^\circ$, siendo x el ángulo de posición el cual forma el ángulo principal con la superficie trabajo y el segundo como ángulo de inclinación que fija la posición de corte con respecto a la horizontal (Pedroza y Moreno, 2015).

Gracias a la modelación FEM contempla el análisis de dos aspectos importantes: que el esfuerzo generado en los discos de corte sea menor que la resistencia del material y que el corte del neumático para producir las tiras de refuerzo sea viable. (Meza, Sierra, Rodríguez y Romo, 2019).

Uno de los métodos de reciclaje de neumáticos más utilizado es el método de trituración mecánica para obtener granulado. Eso implica la desintegración de los neumáticos de acuerdo con los siguientes pasos:

- Desintegración inicial en partículas con dimensiones iguales a 50 – 80 mm,
- Trituración, que es una mayor desintegración de un neumático,
- Pulverización de granulado hasta un tamaño de 150 μm a 0,8 cm (Holka y Jarzyna, 2017).

Como las herramientas de trabajo son utilizadas por varias personas dentro del entorno de estudio de la universidad, estas deben regularse de acuerdo con la altura de los estudiantes para que los equipos utilizados, así se obtiene una cifra que indica cómo se deben ajustar las mesas según la altura de él o la estudiante. La línea de referencia de la figura es la altura del codo desde el suelo que, en el promedio es de 850 mm para hombres y 800 mm para mujeres

ya que se puede considerar un trabajo que no requiere mayor precisión, pero resulta pesado al realizarlo muchas veces. (Laureano y De Oliveira, s. f.)

Capítulo III

Metodología

Identificación de parámetros

Todo este proceso parte desde la premisa de que neumáticos son los más utilizados dentro del mercado automotriz mediante la practica los tamaños más comunes se rigen a partir de los rines 13 siendo su principal uso en taxis y carros pequeños o de bajo costo, hasta el rin 16 usados en SUVs y hasta en carros medianos, cabe destacar que la idea se basa en una máquina, casi universal que en realidad no depende tanto del tamaño del rin sino del tamaño del flanco lateral es así como:

Tamaño máximo de neumático

235/50R16 o que el tamaño del flanco no sobrepase 150mm

Tamaño Mínimo de Neumático

- Neumáticos Rin 13

El peso de un neumático está dado esencialmente por el tamaño de este como pueden pesar desde 8kg en promedio para neumáticos de 13 pulgadas de rin, pueden llegar a pesar unos 15kg los neumáticos más pesados, dado el caso se toma el peso mayor con un factor de seguridad superando dos veces las máximas condiciones de funcionamiento.

Límite de peso del Neumático

- 15kg

Según ergonomía de trabajo se tiende a que los trabajos pesados se den aproximadamente de 900mm a 1000mm del suelo.

Altura de trabajo

- 1000mm

Unas condiciones de trabajo seguras para el ocupante de la maquinaria se requieren que la velocidad de esta sea baja y teniendo en cuenta que la velocidad de giro del neumático depende del tamaño del neumático variable así la relación de la transmisión para el giro de este

Velocidad de giro del Motor

- 30 RPM

Velocidad de giro del Neumático

- 13 RPM-30 RPM

La fatiga del operario es de tomar en cuenta en el momento de aplicar la fuerza que se requiera para el corte, así se tiene una fuerza estimada que permita su continua utilización.

Fuerza de la Palanca

- 25kg

Diámetros relativos del límite de los Neumáticos

- Distancia de los Flancos

$$235mm * 50\% = 117.5mm = L_F$$

- Diámetro interior del neumático

$$D_{t_N} = 406.4mm$$

- Diámetro exterior del neumático

$$D_{ext_N} = D_{t_N} + 2L_F$$

$$D_{ext_N} = 641.4mm$$

- Diámetro Máximo

$$D_{max} = 700mm$$

- Peso límite del neumático

Neumático 15kg (FS=2)

- Rango de Rin

$$rango = R13aR16(min)$$

Selección de ruedas motrices

Requisitos

Parámetros de diseño a partir de la idea de que los tamaños más comunes de neumáticos en nuestro país van desde el diámetro de rin 13 hasta rin 16, se tiene como requisitos de diseño que la rueda motriz, tenga un diámetro menor que 13 pulgadas, aunque esto signifique que se descarten flancos laterales superiores a 6 pulgadas. Además de que el diámetro interno no supere los 32mm o 1 ¼ pulgadas y que el ancho sea menor de 100mm con el objetivo de su instalación del neumático sea fácil y eficiente.

Con estos requisitos el análisis costo/beneficio de su manufactura o selección en el mercado, está dado correspondiendo del mercado ya que la manufactura de un piñón, presenta un costo elevado además que existen opciones en el mercado a una fracción del precio, que el

propósito de uso del mismo solo requiere su forma para generar arrastre ya que sus múltiples puntos de apoyo además de su rigidez presentan una opción viable, comparable a una rueda flexible que solamente generaría deslizamiento al contacto con el objeto a cortar. Es así como se opta por el uso de unos piñones como rueda motriz y de sujeción.

En el mercado podemos encontrar variedades sorprendentes de piñones, pero uno de los que se acerca a los requisitos de diseño para la rueda motriz llega a ser uno de 11 pulgadas de diámetro exterior, un diámetro interior para la flecha de 20 mm, aunque este presenta un ancho de 29 mm, presentando una ventaja tal que es un piñón hueco siendo su peso su punto clave y determinante para que este cuente con un diámetro interior pequeño.

Figura 13

Rueda motriz



Nota. Selección de la rueda motriz, que se encuentra disponible en el mercado

Para la selección de la rueda de sujeción, se tuvo en cuenta el uso de un piñón para el elemento motriz, aunque más pequeño, aunque se debe tener en cuenta que sea de similares características siendo un piñón recto de diámetro exterior de no más de 4 pulgadas con un diámetro interior despreciable, ya que este debe presentar condiciones de giro libre para lo cual se tiende el uso de un rodamiento de bolas interiores. Dentro del mercado se encuentra tal piñón con las características similares a las descritas, presentando un diámetro exterior de 3 pulgadas y un ancho de 25 mm, ya que para el diámetro exterior se tiende a una adaptación mediante el torneado.

Figura 14

Rueda de sujeción



Nota. Selección de la rueda de sujeción, que se encuentre disponible en el mercado

Radios de la rueda motriz

$$R_{minPolea} = 117.5mm$$

$$R_{RealPolea} = 5 \in 127mm = 0.127m$$

Selección de la cuchilla

Cuchilla de acero rápido de 3/8*1/4*5 útil para torneado que cumple con las características de sobra al ser un acero utilizado de manera típica en herramientas y operaciones de torneado, teniendo que soportar las cargas calculadas así que mediante el esfuerzo cortante para el caucho que tiende a ser con un τ de 1.655 MPa y utilizando la ecuación 1

$$\tau = \frac{F}{A}$$

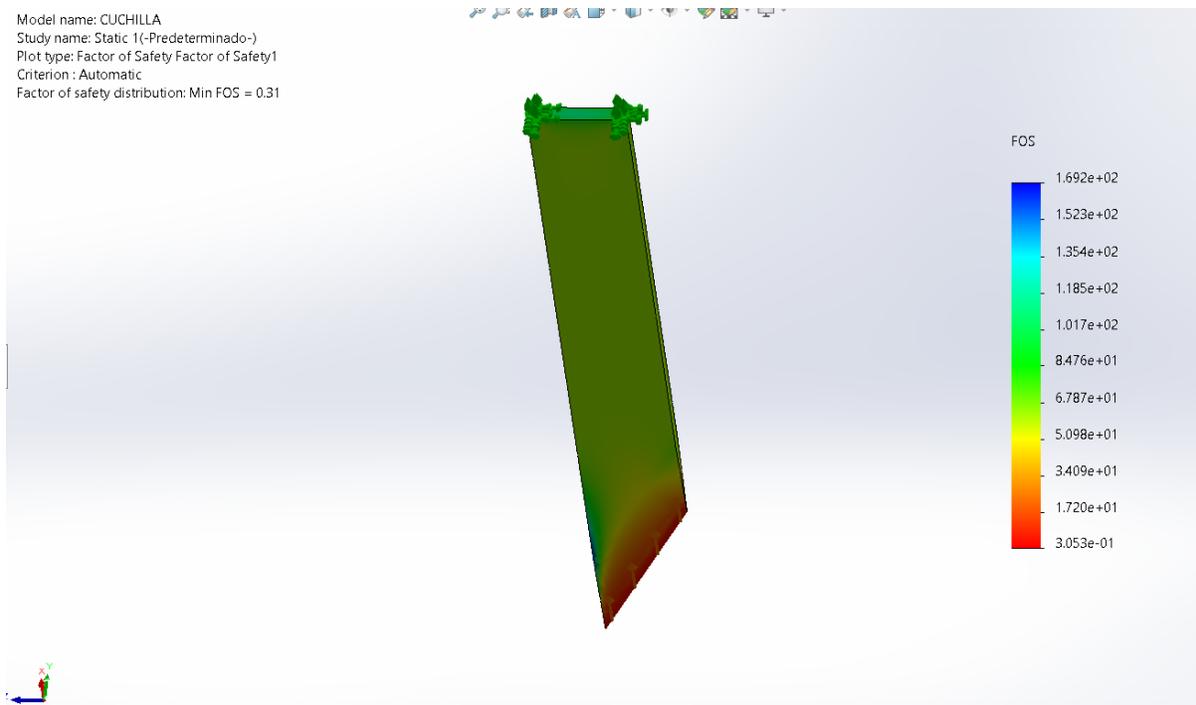
$$F = A\tau$$

$$F = 95.4\text{mm}^2 * 1.655 \text{ N/mm}^2$$

$$F = 157.887\text{N}$$

Figura 15

Simulación de cuchilla



Nota. Simulación de la fuerza aplicada en la cuchilla al momento de corte

Selección del Motor

Los requisitos que este motor debe cumplir previo a cualquier calculo es que debe contar acoplado de una caja reductora, encargada de bajar revoluciones por seguridad del operario y multiplicar el torque producido

Fuerza del motor

$$F = ma$$

$$F = 30kg * 9.8 m/s$$

$$F = 294N$$

$$T = fD$$

$$T = F * R_{RealPolea}$$

$$T = 294N * 0.1524m$$

$$T = 44.805Nm = 4.5688kgf.m$$

Relación de transmisión polea-neumático

$$n_1 d_1 = n_2 d_2$$

$$n_1(700mm) = 30rpm(304.8mm)$$

$$n_1 = 30rpm \frac{254mm}{(700mm)}$$

$$n_1 = 10.88rpm$$

Potencia necesaria del motor

$$T = \frac{HP * 716}{rpm}$$

$$HP = \frac{T * rpm}{716}$$

$$HP = \frac{4.5688kgf.m * 30rpm}{716}$$

$$P = 0.1914HP$$

Figura 16

Motor reductor seleccionado



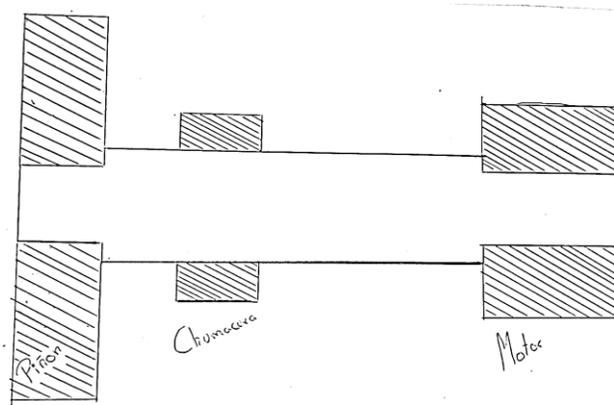
Nota. motorreductor WEG W12 monofásico 0.5HP + ortogonal aluminio i:60 30RPM FS0.9

Diseño

Diseño de flecha

Figura 17

Bocetos iniciales del diseño de flecha



Nota. Dibujos iniciales para entender las cargas que debe soportar

La relación del radio de entalle y del diámetro menor, dada por mediciones y tolerancias establecidas normalmente

$$r/d = 0.04$$

$$D/d = 1.33$$

$K_{ts} = 1.8$ Tomado de la Figura A-15-8 del libro de diseño en energía mecánica de Shigley para un eje redondo con el filete en el hombro en torsión

$K_t = 2$ Tomado de la Figura A-15- del libro de diseño en energía mecánica de Shigley para un eje redondo con el filete en el hombro en flexión

La concentración de esfuerzos y sensibilidad de la muesca según Budynas R. y Nisbett j: están dadas por las gráficas 6-20 y 6-21 del el libro de diseño en energía mecánica de Shigley en la página 290.

$$q = 0.7$$

$$q_{cortante} = 0.75$$

Factor de concentración de esfuerzo por fatiga

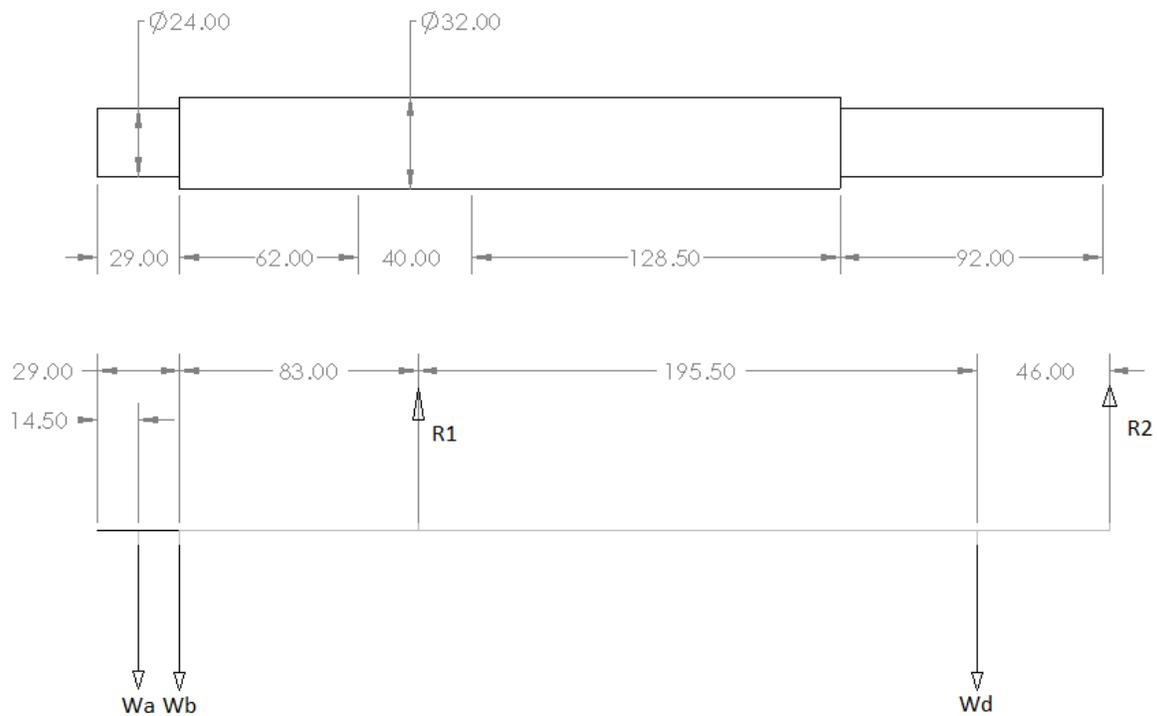
$$K_f = 1 + q(K_t - 1) = 1 + 0.7(2 - 1) = 1.7$$

$$K_{fs} = 1 + q_{cortante}(K_{ts} - 1) = 1 + 0.75(1.8 - 1) = 1.6$$

En este caso de una flecha el momento flexionante se obtiene mediante el análisis de las curvas momento flector y esfuerzo cortante con el uso del diagrama de cuerpo libre obteniendo las fuerzas en reacción en los rodamientos y puntos fijos

Figura 18

Análisis de cargas de la flecha



Nota. Bocetos y análisis de cargas en el diseño de ejes

$W_a = 323.4N$ tomando en cuenta el peso del piñón y el peso estimado del neumático más grande que se espera poner

Con una cuchilla de ancho $\frac{3}{8}$ y un espesor medio de las paredes de los neumáticos se estima el área de corte

$$A = 95.4\text{mm}^2$$

$W_b = 157.887\text{N}$ Calculado mediante el esfuerzo cortante del neumático

Y con los pesos obtenidos analíticamente de las cargas que soporta el eje dadas por el peso máximo del neumático y el peso del engrane instalado

$$W_a = 323.4\text{N}$$

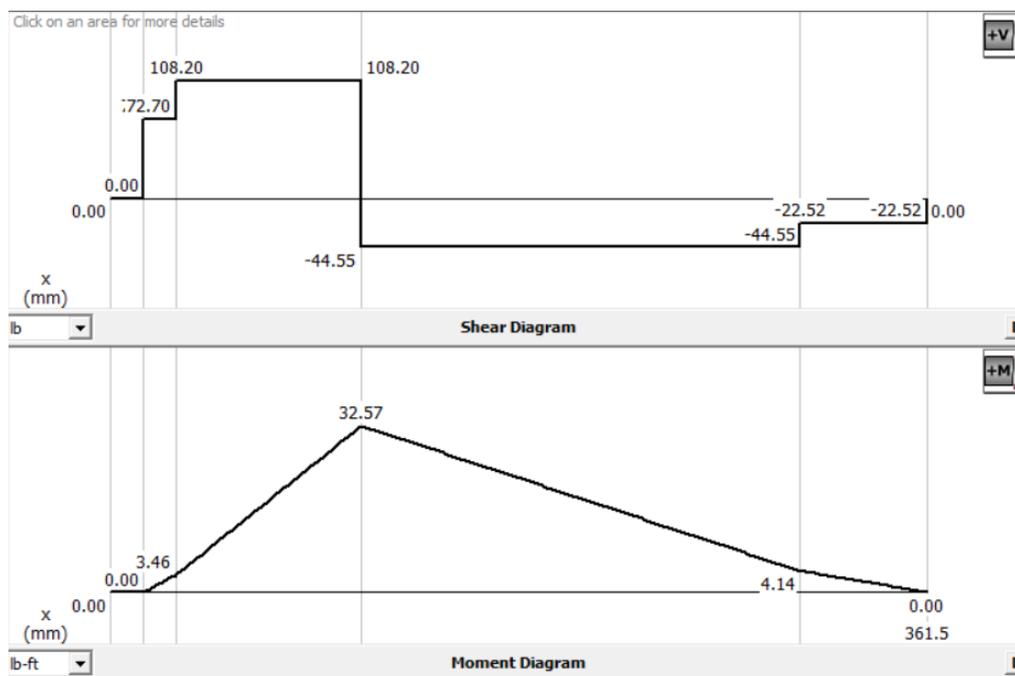
Además del peso del motor

$$W_d = 98\text{N}$$

Es así como mediante un software de simulación se obtuvo los diagramas de esfuerzos cortantes y momentos flectores para dicho eje y sus cargas estáticas que soporta

Figura 19

Diagramas de esfuerzo cortante y momento flector



Nota. Obtención de los diagramas de esfuerzo cortante y momento flector por un software de simulación

El momento flexionante en la parte más crítica según la gráfica representa el punto en que cambia de diámetros del mayor al menor con mayor longitud del eje, y además aquí existe un par de torsión presente del motor

$$M_a = 10.86 \text{ lb.ft}$$

$$T_m = 8.018606 \text{ lb.f}$$

Selección del material

Escogiendo un acero disponible en el mercado, utilizando un acero de transmisión AISI 1018 con características de resistencia última a la tensión.

$$S_{ut} = 440 \text{ N/mm}^2 = 63.91 \text{ ksi}$$

Según la tabla 1 el límite de resistencia a la fatiga se obtiene

$$S'_e = 0.5 S_{ut} \quad \text{Para una resistencia a última menor de 200 ksi}$$

$$S'_e = 0.5(63.91 \text{ ksi}) = 31.955 \text{ ksi}$$

Factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga (Ecuación de Marín)

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e \quad (6)$$

Factor de modificación por la condición superficial

$$k_a = a S_{ut}^b \quad (7)$$

Obteniendo las constantes a y b de la tabla 2

$$k_a = 2.7(63.91 \text{ ksi})^{-0.265} = 0.870$$

Factor de tamaño

$$k_b = (d/7.62)^{-0.107} \quad \text{según la tabla 3 para diámetros entre 2.79 a 51 mm}$$

$$k_b = (24/7.62)^{-0.107} = 0.884$$

Factor de carga

$$k_c = 1$$

Factor de temperatura

$$k_d = 1$$

Factor de confiabilidad

Para un factor de confiabilidad del 99 por ciento según la tabla 6

$$k_e = 0.814$$

Factor de efectos varios

$$k_f = 1$$

$$S_e = (0.870)(0.884)(1)(1)(0.814)(1)(31.955ksi)$$

$$S_e = 20.0048ksi = 20004.8psi$$

Para los esfuerzos en los ejes mediante torsión y flexión, mediante criterios de fallas según los esfuerzos de Von Misses

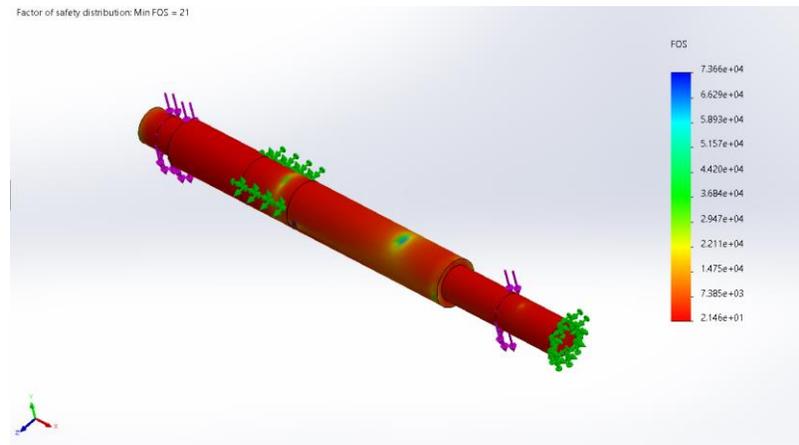
Teoría de la energía de la distorsión de Goodman

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

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

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi (0.96')^3} \left\{ \frac{1}{20004.8psi} \left[4(1.7 * 10.86)^2 \right]^{1/2} + \frac{1}{63910psi} \left[3(1.6 * 8.018)^2 \right]^{1/2} \right\}$$

$$n = 20.59$$

Figura 20**Simulación de fuerzas en eje**

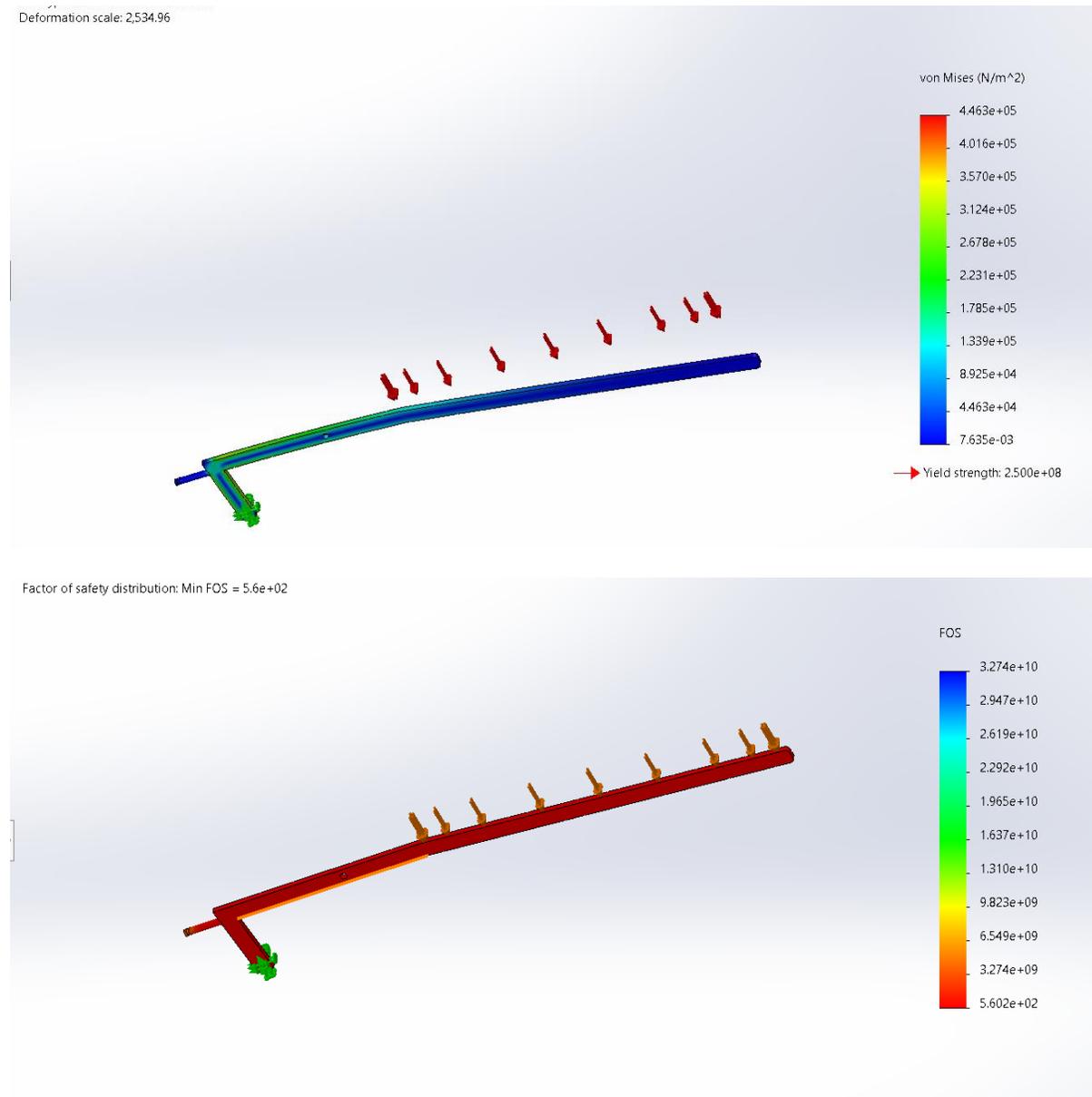
Nota. Análisis de factor de seguridad del eje según cálculos de esfuerzo de seguridad de diseño flecha mediante software de simulación

Análisis de tensiones de la palanca

La palanca debe cumplir con la condición de al aplicarse una fuerza considerablemente menor a lo que es necesario para el corte del neumático que

Figura 21

Simulaciones de Palanca de la cuchilla



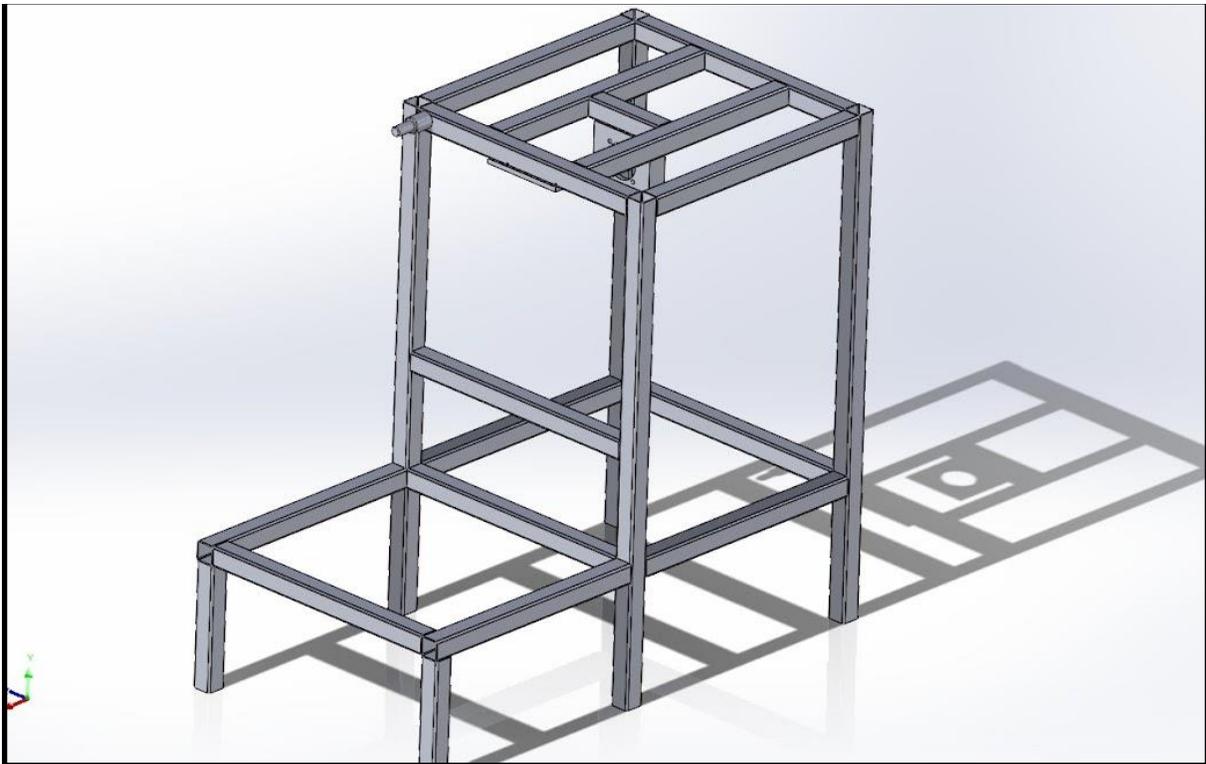
Nota. Simulación de la fuerza aplicada en la palanca al momento de corte por Autores 2023

Construcción

Después del proceso de diseño e la máquina descrita previamente que pasa primero por la identificación de los parámetros, luego se desarrolla un boceto y se mejora el mismo de acuerdo con las condiciones y necesidades de trabajo que se van observando en la máquina a través de su diseño, hasta finalmente determinar su diseño final basado en los cálculos pertinentes y la simulación de toda la máquina tanto estructural como funcional.

Figura 22

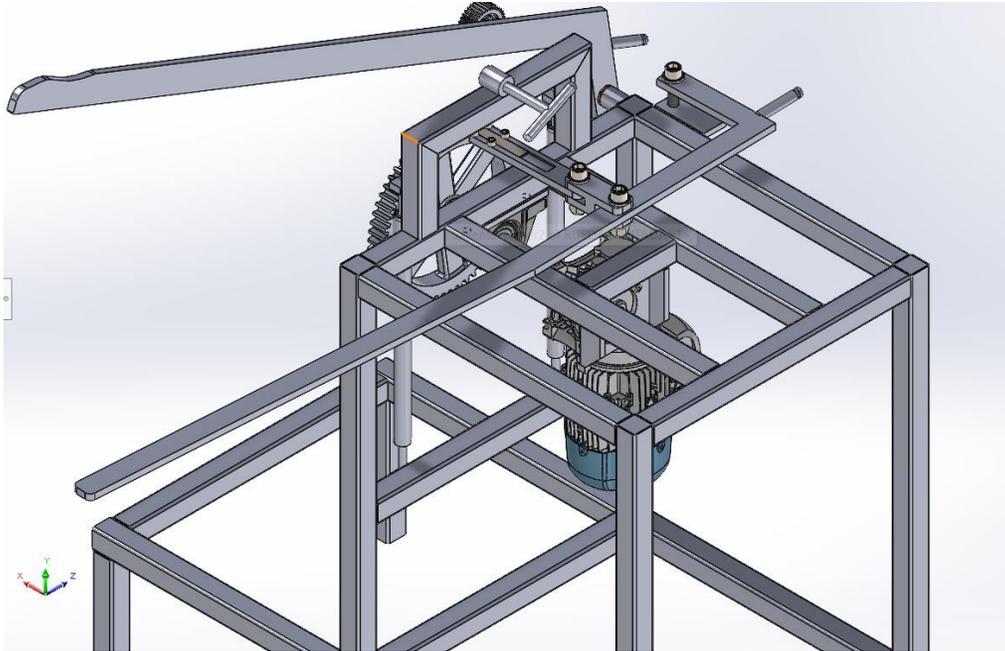
Construcción de primeros bocetos de estructura



Nota. Primeros bocetos, contruidos en un software de simulación CAD

Figura 23

Bocetos con los elementos



Nota. Primeros bocetos, construidos en un software de simulación CAD

Identificar elementos

El primer paso para la construcción es identificar los materiales que se van a utilizar para así poder adquirirlos:

Tabla 9*Identificación de los elementos necesarios para la construcción de la cortadora*

Elemento	Dimensiones	Cantidad
tubo cuadrado	40mmx40mm espesor 2 in largo 1 m	4
tubo cuadrado	40mmx40mm espesor =2 in largo= 0.52 m	14
tubo cuadrado	40mmx40mm espesor =2 in largo= 0.3 m	3
tubo cuadrado	40mmx40mm espesor =2 in largo= 0.15 m	3
Eje sólido	Radio 1 ¼ in	1

Elemento	Dimensiones	Cantidad
Engrane	Diámetro primitivo :10 in	1
Engrane	Diámetro primitivo :2.75 in	1
Rodamiento	Diámetro externo: 50 mm Diámetro interno: 20 mm	1
Rodamiento de piso	Diámetro interno: 1 ¼ in	1
Cimbra externa	Diámetro: 50 mm	1

Elemento	Dimensiones	Cantidad
Cimbra interna	Diámetro: 20 mm	1
Pernos Allen	m8x12	6
Pernos Allen	m12x40	6
Pernos Allen	$\frac{5}{8}$ x 2 $\frac{1}{2}$ in	3
Tuercas	$\frac{5}{8}$ in	3

Elemento	Dimensiones	Cantidad
Tuercas	$\frac{7}{8}$ in	1
Platina	3m 2in x 20 mm	1
Tubo estructural redondo	Diámetro: 1in	2
Rodamientos de bolas	Diámetro externo: 1in Diámetro interno: 20 mm	2

Nota. Después del análisis realizado en el diseño se han determinado los elementos necesarios para la construcción de la máquina

Tubos cuadrados.

Se adquirió los tubos cuadrados regulados bajo la norma NTE INEN 2415 que tienen una calidad SAE J 403 1008, con un acabado de acero negro; se adquirió aproximadamente 18 metros de tubo debido a que este se comercializa en 6m únicamente. Después de adquirirlas fueron cortadas dentro de los tamaños necesarios para la construcción de la máquina

Eje sólido.

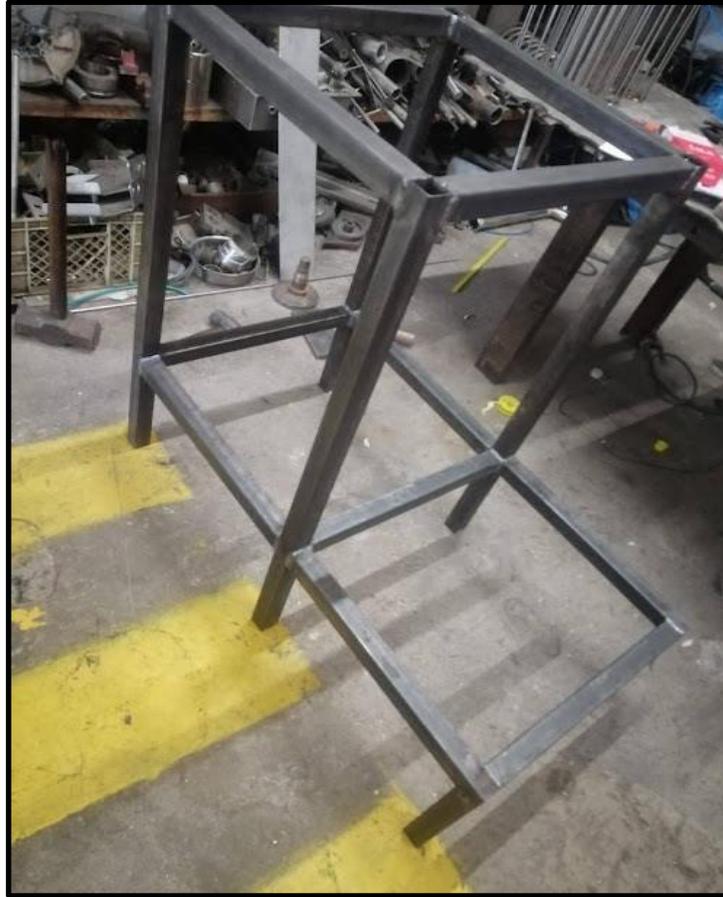
Para el correcto funcionamiento de la máquina se utilizó un eje de transmisión que cumple con la norma AISI 1018 y que de acuerdo con los cálculos previamente realizados es el que cumple los requerimientos de la máquina cortadora

Proceso de construcción**Construcción de la base.**

Según el modelo diseñado se construye una base en forma de mesa, que tiene 1 metro de altura por 60 centímetros de ancho y profundidad. Este proceso de unión se realiza mediante soldadura SMAW, además de el contrapeso delantero que de igual manera se construye con tubo cuadrado unido por soldadura. Finalmente, mediante una platina se coloca la base para el rodamiento de piso y la base para el motor, esto realizado también por proceso de soldadura SMAW.

Figura 24

Construcción de la base de la máquina



Nota. Construcción de la base de la máquina mediante proceso de soldadura SMAW

Mecanizado de la flecha.

Para el mecanizado de la flecha el proceso seleccionado fue el torneado, se eligió este proceso de mecanizado debido a que no altera las propiedades mecánicas, y dentro de la ciudad de Latacunga es de fácil acceso encontrar un lugar para mecanizar de esta manera. De forma adicional es importante mencionar que este proceso de mecanizado no tiene un elevado costo, siendo esto un motivo más para su selección.

Figura 25

Torneado de la flecha.



Nota. Mecanizado de la flecha, mediante proceso de torneado.

Construcción de palanca de corte.

Para la construcción de la palanca se utiliza la platina de 3 metros de largo, 2 pulgadas de ancho y 20 milímetros de profundidad. Se corta esta platina de acuerdo con el diseño y las medidas especificadas en el mismo, luego para tomar la geometría deseada de la palanca, esta es unida mediante un proceso de soldadura SMAW. Una vez obtenida la geometría completa de la palanca de corte, se procede a taladrar los agujeros necesarios para la sujeción de esta a la base mediante pernos y tuercas de seguridad. Finalmente, para la palanca de corte

necesitamos colocar el portaherramientas; el mismo que va sujeto a la palanca mediante pernos, por lo tanto, necesitamos taladrar un último agujero, que servirá para colocar el portaherramientas.

Figura 26

Construcción de palanca de corte



Nota. Construcción de la palanca de corte mediante proceso de soldadura, respetando las dimensiones.

Construcción de palanca de sujeción

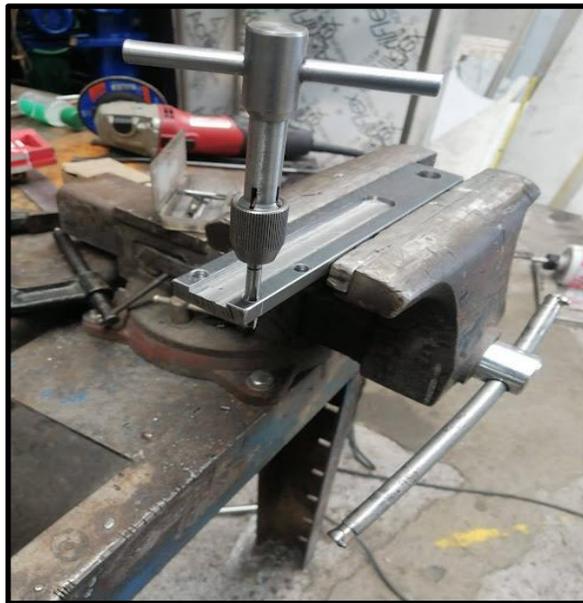
De igual manera que en la palanca de corte se utiliza la platina de 2 pulgadas por 20 mm, se realiza el corte para obtener la geometría deseada, además esta palanca no necesita puntos de soldadura, únicamente los agujeros para poder colocar los pernos que la sujetan a la base, y el agujero para ubicar el engrane, que permitirá sujetar la llanta en la máquina.

Construcción del portaherramientas.

Se construye el portaherramientas a la medida de la cuchilla que se va a utilizar para cortar los flancos laterales, adicionalmente se le realizan los agujeros que permitirán su sujeción a la palanca

Figura 27

Construcción de portaherramientas



Nota. Construcción de portaherramientas a medida, con los agujeros necesarios para su fijación.

Mecanizado de cuñeros de los engranes.

Los cuñeros de los engranajes se mecanizan mediante un proceso de taladrado, en donde es fundamental mantener las medidas precisas para el correcto ensamble del motor con el piñón.

Figura 28

Mecanizado en los engranes.



Nota. Mecanizado diámetro interno de los engranes.

Proceso de ensamble

Después de tener todas nuestras piezas construidas y mecanizadas se realiza el proceso de ensamble, que consta de la unión de todas las piezas previamente construidas o mecanizadas con la finalidad de obtener la máquina cortadora de flancos laterales, funcional.

La base para nuestro ensamble es la base que se construyó, mediante el proceso de soldadura SMAW, en forma de mesa, el primer paso es colocar el rodamiento de piso, en la base, para poder fijar el rodamiento se utilizaron pernos Allen m12x40.

Figura 29

Sujeción del rodamiento de piso a la base.



Nota. Se coloca el rodamiento de piso en la base de la máquina.

El segundo paso es colocar el motor dentro de las bases, que se construyeron con esa finalidad, para la sujeción del motor usamos pernos de tipo Allen m8x12.

El siguiente paso dentro del ensamble después de fijar el motor a la base es la sujeción de la flecha al motor, mediante las cuñas previamente mecanizadas, para esto la flecha entrara a presión en el motor y en el rodamiento de piso ubicado en la base de la máquina.

Figura 30

Sujeción de la flecha al motor



Nota. Ensamble, se observa colocando la flecha en el motor y la base.

Una vez colocado el motor y el eje, el siguiente paso en el ensamble es colocar el engrane principal, el cual va a permitir girar el neumático durante el funcionamiento de la máquina, se va a sujetar al eje mediante una cuña y un perno Allen m12x40.

Figura 31

Sujeción del engrane a la flecha.



Nota. Proceso de ensamble, fijación del engrane, a la punta de la flecha.

Como punto final del ensamble tenemos el colocar las palancas, tanto de sujeción como de corte; ambas van fijadas a la base mediante pernos Allen 5/8 x 2 y media pulgadas; terminando así con el proceso de ensamble de la máquina cortadora de flancos laterales.

Circuito de seguridad

Para el correcto funcionamiento de la máquina es necesario la instalación de un circuito de seguridad con la finalidad de regular la tensión que se dirige al motor, esto para precautelar la seguridad del operario y el correcto funcionamiento de la máquina evitando posibles danos eléctricos

Para el sistema de seguridad se utilizan los siguientes elementos

Tabla 10

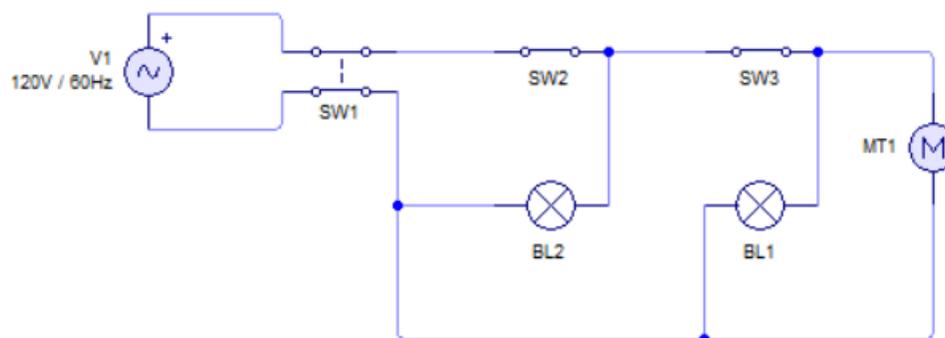
Elementos del circuito de seguridad

Elemento	Cantidad
Breaker	1
Switch	1
Focos Led	2
Botón de seguridad	1
Enchufe	1
Cable 16	6 metros

Nota. Elementos que permiten la correcta instalación del sistema de seguridad

Figura 32

Esquema del circuito de seguridad



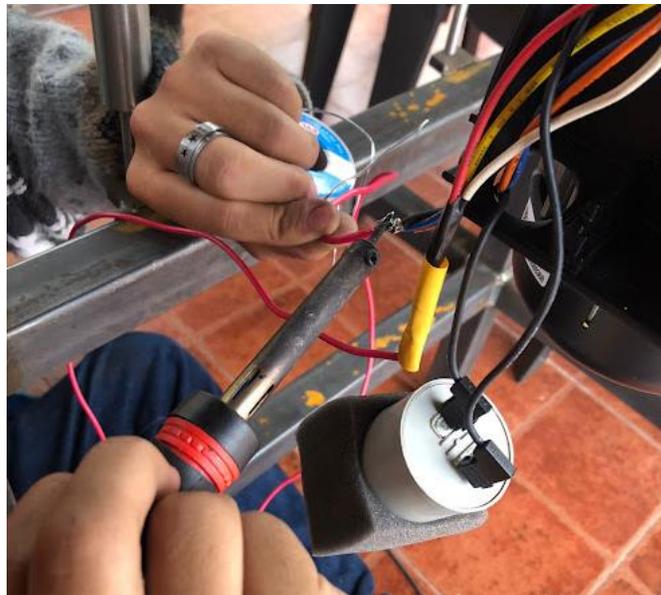
Nota. Diagrama eléctrico del circuito de control

Este circuito parte de un breaker de dos polos conectados directamente a la corriente de 110V, a partir de ahí uno sale al switch de seguridad, a la salida de este se encuentra conectado una luz indicadora conectada al switch, evidenciando así el corte y suministro de energía, a la salida del switch de seguridad se ubica un switch ojo de cangrejo este se encarga

de energizar el motor iniciando así el movimiento, también cabe destacar que a la salida de este switch además del motor encontramos otra luz indicadora que indica cuando el motor esta encendido, finalmente todas las luces indicadoras van dirigidas directamente a la otra línea para que sean solo dependientes del switch al que hacen referencia también el motor van directo de ahí al breaker.

Figura 33

Conexión Sistema de seguridad



Nota. Conexión del motor trifásico hacia el breaker y todo el sistema de seguridad.

Capítulo IV

Análisis de resultados

Resultados

Para medir los resultados de nuestro trabajo de investigación, lo primordial es evidenciar el correcto funcionamiento de la máquina cortadora de flancos laterales, es por esto por lo que realizamos pruebas con distintos neumáticos en la tabla 11 se muestran los neumáticos utilizados

Tabla 11

Neumáticos de prueba

Neumático	Cantidad
175/70 R13	1
175/70 R13	1
185/65 R14	1
185/70 R14	1
185/70 R14	1
185/70 R14	2
185/70 R14	1

Nota. Descripción de los neumáticos usados para las pruebas

Figura 34

Neumáticos de prueba



Nota. Evidencia de neumáticos con los que se realizó las pruebas, previo a estas.

La distinción que se hace con neumáticos de la misma medida se da debido a las marcas de procedencia de cada neumático es por esto por lo que para realizar las pruebas y tabular los resultados se toman como llantas diferentes.

Prueba 1 - 175/70 R13

La primera prueba de la máquina se realizó en un neumático 175/70 R13 el cual fue cortado de manera exitosa.

Prueba 2 - 175/70 R13

Esta prueba se realizó de manera exitosa en el neumático 175/70 R13 obteniendo la extracción del flanco lateral.

Prueba 3 - 185/65 R14

La siguiente prueba se realizó en un neumático que presentaba un desgaste excesivo, el neumático 185/65 R14, debido a esto el corte se realizó de forma más fácil y en un menor lapso.

Prueba 4 - 185/70 R14

El neumático de esta prueba se encontraba en condiciones medias de uso sin excesivo desgaste, sin embargo, el neumático 185/70 R14 fue cortado con éxito y se pudo extraer sus flancos laterales.

Prueba 5 - 185/70 R14

En la prueba número cinco se cortó un neumático que se encontraba en muy mal estado, la prueba se realizó con éxito y se cortó de forma eficiente los flancos laterales.

Prueba 6 - 185/70 R14

En esta prueba se cortaron dos neumáticos 185/70 R14 de la misma marca, que se encontraban con poco uso, semi nuevos, siendo la prueba más exigente para la máquina cortadora de flancos laterales, esta prueba fue realizada con éxito.

Prueba 7 - 185/70 R14

La última prueba realizada en un neumático 185/70 R14 que se encontraba en muy mal estado, la prueba fue exitosa y se retiró con de forma eficiente los flancos laterales.

Figura 35*Proceso corte de neumático*

Nota. Imagen que refleja el proceso de corte en las pruebas realizadas

Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 12

Tabla 12*Resultados obtenidos*

Neumático	Resultado
175/70 R13	Se realizo el corte
175/70 R13	Se realizo el corte
185/65 R14	Se realizo el corte
185/70 R14	Se realizo el corte
185/70 R14	Se realizo el corte
185/70 R14	Se realizo el corte
185/70 R14	Se realizo el corte

Nota. Tabulación de los resultados obtenidos en pruebas de corte

Figura 36

Evidencia de corte de prueba 1 – Banda de rodadura



Nota. Banda de rodadura extraída de la prueba número uno, neumático 175/70 R14

Figura 37

Evidencia de corte de prueba 4 – Flancos laterales



Nota. Banda de flancos laterales de la prueba número uno, neumático 185/70 R14

Figura 38

Evidencia corte de prueba 2 – Banda de rodadura



Nota. Banda de rodadura extraída de la prueba número dos, neumático 175/70 R13

Figura 39

Evidencia de corte de prueba 5 – Flancos laterales



Nota. Banda de flancos laterales de la prueba número dos, neumático 185/70 R14

Capítulo V

Marco Administrativo

Recursos

Con la finalidad de concluir con la investigación “Diseño y construcción una máquina de extracción de los flancos laterales de los neumáticos para el laboratorio de materiales” los siguientes recursos humanos, materiales y tecnológicos.

Recursos humanos

Se puede observar en la tabla 13 todas las personas que han aportado en el desarrollo de este trabajo de investigación

Tabla 13

Recursos Humanos

Nombre	Función
Sr. Alfonso Bustamante	Investigador
Sr. Esteban Vásquez	Investigador
	Investigador
Ing. Edison Arguello	Docente a cargo del trabajo de investigación

Nota. Detalle de las personas que han participado dentro de esta investigación.

Recursos materiales

Los recursos materiales utilizados para la construcción de la máquina, destinados como piezas están descritos en la tabla 9, y los elementos del sistema de seguridad en la tabla 10 sin embargo existen materiales que permiten la construcción de la máquina que no constan como materiales, estos están descritos en la tabla 14

Tabla 14*Recursos Materiales*

Material	Cantidad
Torno	1
Soldadora	1
Neumáticos usados	4
Cautín	1
Taípe	1
Cajetín de seguridad	1
Caja de Herramientas	1

Nota. Detalle de los materiales utilizados durante el trabajo de investigación, que no han sido mencionados previamente en las tablas 9 Y 10

Recursos Tecnológicos

En la tabla 15 se describen todos los recursos tecnológicos utilizados, dentro de este trabajo de investigación

Tabla 15*Recursos Tecnológicos*

Recurso	Función
Software SolidWorks	Utilizado para el dibujo, construcción y simulación de la máquina cortadora de flancos laterales.
Paquete Office	Utilizado para la escritura del trabajo de investigación.

Nota. En la tabla se detallan los recursos tecnológicos utilizados en el trabajo de investigación y su función.

Financiamiento

En el desarrollo del trabajo de investigación se realizaron ciertos gastos, esto con la finalidad de cumplir los objetivos planteados; en la tabla 16 se describe a detalle los gastos realizados durante la investigación

Tabla 16*Gastos realizados*

Elemento	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Tubo cuadrado (6m)	3	17	51
Eje solido (1m)	1	10	10
Rodamiento de piso	1	12	12
Engranajes	2	25	50
Platina	1	21.25	21.25
Motor 0.5 hp	1	299	299
Cuchilla	1	25	25
Pernos, rodelas y tuercas	Varios	-	15
Rodamientos	3	5	15
	TOTAL		498.25

Nota. Descripción de los gastos realizados a lo largo de toda la investigación

Capítulo VI

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

En el desarrollo del presente trabajo de investigación se llegó a varias conclusiones, el diseño de la máquina fue adecuado, considerando los factores necesarios para cortar el flanco lateral de un neumático, el esfuerzo cortante, la velocidad de giro, la composición interna, el material de corte, la posición en la que se va a cortar; una vez consideradas todas estas variables y con las pruebas realizadas se concluye que el análisis fue el adecuado.

La construcción se desarrolló con los materiales, partes, equipos, procesos de manufactura que se pueden adquirir localmente y además con el análisis bajo el método de elementos finitos se corroboró el diseño.

Se diseñó la máquina cortadora de flancos laterales tomando en consideración la posición del neumático para el corte, y el proceso que se empleó para realizar el mismo, partiendo de estos dos puntos se logró llegar al diseño final, después de considerar una gran cantidad de modelos que variaban en tamaño y geometría, se optó por realizarlo de la forma más sencilla, práctica y cómoda para el operario de la máquina.

Los métodos de mecanizado empleados en la construcción de la máquina y sobre todo en el diseño de la flecha fueron estudiados y analizados con la finalidad de determinar cuál sería el mejor, teniendo en cuenta las características mecánicas del material, la disponibilidad en la comunidad, y el costo del mismo, concluimos que el proceso de mecanizado por torneado para la flecha sería el método adecuado, y fue el utilizado durante el proceso de construcción, para la unión del tubo cuadrado que conformó la base se utilizó el proceso de soldadura SMAW.

Con la finalidad de demostrar matemáticamente el correcto diseño y funcionamiento de la máquina se utilizó software CAD-CAE, esto mediante el análisis de la aplicación de fuerzas

en partes críticas de la máquina; estos resultados obtenidos en software fueron validados de forma matemática, obteniendo con precisión los mismos resultados lo que determino que el proceso de construcción y ensamble podía continuar.

Finalmente, con las pruebas realizadas y el análisis de resultados llegamos a la validación de todo lo previamente expuesto, concluyendo que el trabajo de investigación para la fabricación de una máquina cortadora de flancos laterales, culmino exitosamente cumpliendo todos los objetivos planteados al inicio del presente trabajo.

Recomendaciones

El uso de la maquinaria debe realizarse tomando todas las medidas de seguridad, como el uso de guantes, gafas y zapatos de protección

El diseño de la máquina tendrá que ser realizada al conjunto con la construcción de la máquina ya que una vez plasmada la idea, se deben realizar adaptaciones para su correcto funcionamiento con el fin de que la metodología

Analizar el funcionamiento de la maquinaria antes de su uso para evitar malas manipulaciones y garantizar la seguridad.

Revisar las condiciones del filo de la herramienta y su sujeción al portaherramientas antes de cada uso.

Ubicar y analizar los métodos de seguridad implementados mediante el circuito de control en la maquinaria, para evitar daños materiales y lesiones laborales.

Bibliografía:

Anónimo, (3 de junio de 2018). 2,4 millones de neumáticos se desechan cada año en Ecuador. *EL UNIVERSO*. Recuperado de: <https://www.eluniverso.com/vida/2018/06/03/nota/6790121/24-millones-neumaticos-se-desechan-cada-ano-pais/>

Vasquez, S. (2017). "Estudio de factibilidad para la reutilización, reciclaje y procesamiento de neumáticos fuera de uso en la ciudad de Ibarra". *Repositorio Universidad Técnica del Norte*. volumen 01 (23), (p. 2). Recuperado de: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/7279/2/ARTICULO.pdf>

Zapata, F. (4 de julio de 2019). Esfuerzo cortante: cómo se calcula y ejercicios resueltos. *Lifeder*. Recuperado de: <https://www.lifeder.com/esfuerzo-cortante/>

Holka, H. y Jarzyna, T. (2017). Recycling of car tires by means of Waterjet technologies.

Laureano De Melo, A., & Carolliny De Oliveira Costa, N. (s. f.). O CONTEXTO ERGONÔMICO E SUAS INTERAÇÕES NOS MECANISMOS DA FILOSOFIA JUST IN TIME DE PRODUÇÃO. *Org.br*. Recuperado 29 de diciembre de 2022, de https://abepro.org.br/biblioteca/enegep2011_tn_stp_135_855_18113.pdf

Meza, A. Sierra, B, Rodríguez, J, Romo, F. (2019). Diseño y dispositivo de tiras de llantas, una opción de reciclado. *ConCiencia Tecnológica*, 58, 24–31. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7253414>

Morales, Flores, Ortiz, Mosquera, Erazo, Victor. (2020). Estimación de la fuerza de corte en neumáticos usados Rin 14 para un proceso de trituración. 10.13140/RG.2.2.13659.72481.

Pedroza, J. Moreno, A. (2015). *Metodología utilizada en el diseño y construcción de un torno para el mecanizado de caucho*. *Ingeniare*, 19, 81-98. <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.19.526>

Hibbeler, R. (2011). *Mecánica de materiales: Octava Edición*. Naucalpan de Juárez, México: PEARSON.

Budynas, R. Nisbett, J. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. Distrito Federal de México. México: McGraw-Hill.

Beer, F. P., Russell Johnston, E., DeWolf, J. T., & Mazurek, D. F. (2014). *Mechanics of Materials* (7^a ed.). McGraw-Hill Professional.

Norton, R. L. (2011). *Diseño de máquinas: un enfoque integrado*. Pearson Educación.

Schey, J. A. (1999). *Introduction to manufacturing processes* (3^a ed.). McGraw-Hill Professional.

Groover, M. P. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas*. McGraw-Hill.

Pacejka, H. B. (2012). *Tire and Vehicle Dynamics* (3a ed.). Butterworth-Heinemann.

Anexos