



Diseño y construcción de un equipo para la obtención de muestras vulcanizadas tipo bushing

Ortiz Chicaiza, Jordan Fernando y Tipán Yugsi, Wilmer Andrés

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecánica

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico

Ing. Sánchez Sánchez, Xavier Rolando, PhD

28 de marzo del 2022



ESCRITO TESIS VULCANIZACIÓN _COPYLEAKS.pdf

Scanned on: 3:15 March 3, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	331
Words with Minor Changes	93
Paraphrased Words	218
Omitted Words	0



firmado electrónicamente por:
**XAVIER ROLANDO
SANCHEZ SANCHEZ**



Website | Education | Businesses



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de integración curricular, **"Diseño y construcción de un equipo para la obtención de muestras vulcanizadas tipo bushing"** fue realizado por los señores **Ortiz Chicaiza Jordan Fernando y Tipán Yugsi Wilmer Andrés** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para lo que sustente públicamente.

Sangolquí, 28 de marzo de 2022

Ing. Sánchez Sánchez Xavier Rolando PhD.

CI: 1712575826



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotros, **Ortiz Chicaiza Jordan Fernando**, con cédula de identidad n°: 050423890-8 y **Tipán Yugsi Wilmer Andrés**, con cédula de identidad n°: 172487495-1, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **"Diseño y construcción de un equipo para la obtención de muestras vulcanizadas tipo bushing"** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando debidamente las citas bibliográficas.

Sangolquí, 28 de marzo de 2022

Ortiz Chicaiza Jordan Fernando

Ci: 050423890-8

Tipán Yugsi Wilmer Andrés

Ci: 172487495-1



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Nosotros, **Ortiz Chicaiza Jordan Fernando**, con cédula de identidad n°: 050423890-8 y **Tipán Yugsi Wilmer Andrés**, con cédula de identidad n°: 172487495-1, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE publicar el trabajo de integración curricular: “**Diseño y construcción de un equipo para la obtención de muestras vulcanizadas tipo bushing**” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 28 de marzo de 2022

Ortiz Chicaiza Jordan Fernando

CI: 050423890-8

Tipán Yugsi Wilmer Andrés

CI: 172487495-1

Dedicatoria

A mi madrecita amada Elvia, la mujer que desde niño me ha apoyado y aconsejado en caídas y celebrado en triunfos, una mujer tan comprensiva y amorosa que a pesar de los inconvenientes de la vida a sabido brindarme fuerzas y positivismo para salir adelante todo este esfuerzo invertido y conocimiento adquirido es gracias a ella.

A mis ñañitos Javier y Kelvin que juntos hemos crecido apoyándonos día a día con la bendición de Dios y de mi madre.

A mi abuelita Mamitatashi que en paz descanse, quería presentarme ante ti como un profesional y eso me daba fuerzas para seguir luchando por este título espero que desde el cielo me veas con felicidad sabiendo que logré convertirme en el profesional que deseabas ver.

Jordan Fernando Ortiz Chicaiza

A mis padres Wilmer y Ximena por haberme forjado como la persona que soy hoy en día, quienes han sido fieles testigos del sacrificio y trabajo que me tomo cumplir esta meta y que gracias a sus reglas, libertades y apoyo incondicional me enseñaron el verdadero valor de la perseverancia, gratitud y anhelo de luchar hasta hacer realidad mis sueños.

A mi confidente y persona incondicional Camila mi hermana, quien supo darme ánimo, consejos, valor de seguir adelante y no dejar que nada ni nadie me detenga.

A mi abuelita Mercedes que me dejo al apenas iniciar esta etapa, quien desde el cielo me cuida y gracias a todo el amor que me supo brindar sé que ella sería la persona más contenta al saber que lo conseguí.

Wilmer Andrés Tipán Yugsi

Agradecimiento

A papito Dios, la Virgencita del Quinche, Madrecita, Javito y Kelvincito les agradezco por confiar en siempre en mí, darme su apoyo absoluto a cada momento además de regañarme y amarme a su manera dándome lecciones de vida para poder ser mejor persona y enfrentar al mundo real.

A Jany que en todo este tiempo ha sabido consentirme, darme fuerzas, experiencias y sobre todo incondicionalidad ante todos los problemas que hemos vivido.

A mi Padre a su manera y en su momento me ha ofrecido su ayuda.

Al Ing. Xavier Sánchez por brindarnos la apertura, confianza y paciencia en todo el desarrollo de este proyecto.

Jordan Fernando Ortiz Chicaiza

A mis padres y hermana por toda la paciencia que me tuvieron, por siempre estar pendientes y nunca dejarme solo.

A toda mi familia por haber destinado parte de su tiempo en ayudarme, enseñarme y brindarme su apoyo siempre que lo necesitaba.

A mi compañera de aventuras Alejandra Solis, quien me ayudo a superar el declive más duro que viví, me lleno de optimismo y contribuyo con cambios significativos en mi percepción del mundo.

Y a cada uno de mis primos, amigos y compañeros de clase por los buenos momentos vividos que desembocaron una memorable e irrepetible etapa en mi vida.

Wilmer Andrés Tipán Yugsi

Tabla de contenido

Reporte CopyLeaks	2
Certificación	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento.....	7
Índice de tablas.....	13
Índice de figuras.....	15
Resumen	18
Abstract.....	19
Capítulo 1	20
Introducción.....	20
Antecedentes	20
Definición del Problema.....	21
Justificación e importancia	21
Alcance del Proyecto.....	22
Objetivos	22
Objetivo general.....	22
Objetivos específicos	23
Capítulo 2	24

Marco Teórico	24
Caucho Natural	24
Definición	24
Recolección y obtención del caucho	24
Estructura química	24
Composición química	25
Bushing.....	26
Definición	26
Propiedades y características mecánicas de un bushing	26
Vulcanización	27
Definición de vulcanización	27
Propiedades físicas del caucho tras la vulcanización	28
Proceso de vulcanización	29
Selección de materia prima	30
Masticación y homogenizado	30
Moldeado y vulcanización.....	30
Molde.....	30
Mezclado de la materia prima	31
Engranés.....	33
Cargas en los Engranés	34

	10
Factores de diseño de engranes	35
Factor de sobrecarga (K_o)	35
Factor de tamaño (K_s)	36
Factor de Distribución de Carga (K_m)	36
Factor de espesor del aro (K_B)	37
Factor dinámico K_v	37
Factor geométrico de flexión (J)	38
Teoría de Ejes (Rodillos)	39
Esfuerzos en ejes	39
Estimación de concentraciones de esfuerzo	41
Prensa hidráulica de vulcanización	41
Tipos de prensa hidráulica	42
Sistema Hidráulico	42
Bomba Hidráulica	42
Válvulas distribuidoras	43
Accionamiento de válvulas distribuidoras	44
Cilindro hidráulico	45
Fluido de trabajo	45
Sistema térmico	46
Capítulo 3	52

	11
Especificaciones generales del equipo	52
Diseño del equipo	52
Diseño hidráulico	53
Diseño del sistema de mezclado del caucho	58
Diseño estructural de la prensa de vulcanizado y mezcladora.....	67
Diseño y selección térmica	72
Diseño y selección electrónica.....	75
Diseño del circuito eléctrico.....	82
Prensa Hidráulica	87
Capítulo 4	90
Construcción del equipo	90
Construcción del sistema de mezclado.....	91
Construcción de la estructura de la prensa hidráulica	94
Construcción del sistema hidráulico	95
Construcción del sistema térmico.....	96
Montaje del sistema eléctrico y de control general del equipo	98
Análisis Financiero	100
Capítulo 5	106
Caracterización y ensayo de tracción	106
Caracterización para la mezcla de caucho	106

Preparación del ensayo.....	110
Probetas	110
Dimensiones.....	110
Marcas.....	111
Ensayo de tracción.....	114
Cálculo y Análisis de Resultados	116
Resistencia a la tracción.....	117
Porcentaje de elongación	118
Módulo de Young.....	119
Gráfica Esfuerzo vs Deformación.....	121
Capítulo 6.....	124
Conclusiones	124
Recomendaciones.....	125
Bibliografía	126

Índice de tablas

Tabla 1 Composición porcentual de la composición del látex natural	25
Tabla 2 Factores de sobrecarga K_o	36
Tabla 3 Tipos de prensas hidráulicas	42
Tabla 4 Tipos de Bombas Hidráulicas	43
Tabla 5 Clasificación de Válvulas distribuidoras	43
Tabla 6 Clasificación de accionamiento de las válvulas distribuidoras	44
Tabla 7 Especificaciones técnicas del cilindro hidráulico	55
Tabla 8 Especificaciones técnicas mando hidráulico	57
Tabla 9 Especificaciones técnicas válvula AST KHB-NPT 1/2	58
Tabla 10 Resultados de los datos del ensayo de compresión experimentales	60
Tabla 11 Características de la caja reductora de mezcladora	61
Tabla 12 Propiedades mecánicas del Acero AISI 8620	64
Tabla 13 Propiedades mecánicas del acero de transición AISI 1018.....	66
Tabla 14 Especificaciones dimensionales del rodillo.....	66
Tabla 15 Denominación de rodamientos seleccionados	67
Tabla 16 Denominación de anillos de retención	67
Tabla 17 Propiedades mecánicas Acero ASTM A36	68
Tabla 18 Propiedades termofísicas del aire.....	72
Tabla 19 Características termopar tipo k.....	77
Tabla 20 Características módulo MAX6675.....	78
Tabla 21 Características microcontrolador Arduino MEGA 2560.....	78
Tabla 22 Especificaciones técnicas LCD 16x2	79
Tabla 23 Especificaciones técnicas módulo I2C.....	80

Tabla 24 Especificaciones técnicas teclado matricial	80
Tabla 25 Características microcontrolador Arduino MEGA 2560.....	81
Tabla 26 Motor trifásico del sistema de mezclado.....	82
Tabla 27 Interruptor termomagnético – Circuito de Potencia (Mezcladora).....	83
Tabla 28 Contactor – Circuito de Potencia (Mezcladora).....	83
Tabla 29 Relé Térmico – Circuito de Potencia (Mezcladora).....	84
Tabla 30 Interruptor Termomagnético – Circuito de Control (Mezcladora)	86
Tabla 31 Motor monofásico (Prensa Hidráulica).....	87
Tabla 32 Interruptor termomagnético – Circuito de Potencia (Prensa Hidráulica).....	88
Tabla 33 Listado general de materiales.....	90
Tabla 34 Costos directos en la construcción del equipo	100
Tabla 35 Costo consumo de energía eléctrica de los laboratorios de Ciencias de la Energía y Mecánica.....	104
Tabla 36 Costos indirectos en la construcción del equipo	104
Tabla 37 Formulación para la obtención de la mezcla de Caucho Natural	106
Tabla 38 Formulación para la obtención de la mezcla de caucho entre SBR + NITRILO	107
Tabla 39 Formulación para la obtención de la mezcla de Caucho EPMD.....	108
Tabla 40 Parámetros de vulcanización	109
Tabla 41 Marcas en las probetas de parámetros de vulcanización Caucho Natural A.....	112
Tabla 42 Marcas en las probetas de cauchos vulcanizados	113
Tabla 43 Datos de longitudes y fuerzas obtenidos después del ensayo de tracción	115
Tabla 44 Tabulación del cálculo del esfuerzo máximo ($\sigma_{\text{máx}}$).....	117
Tabla 45 Tabulación del cálculo del porcentaje de elongación de las probetas ensayadas.....	118
Tabla 46 Tabulación del cálculo del Módulo de Young de los cauchos ensayados.....	120

Índice de figuras

Figura 1 Estructura química del caucho natural poli-isopreno.....	25
Figura 2 Diferentes tipos de bushing de uso automotriz.	26
Figura 3 Efecto de una carga F ante el bushing	27
Figura 4 Formación de redes reticuladas.....	28
Figura 5 Propiedades dependientes al grado de vulcanización.....	29
Figura 6 Diagrama ilustrativo de los principios básicos del procesamiento de caucho	29
Figura 7 Partes del molde de conformado	31
Figura 8 Vista lateral laminado plano con sus respectivos componentes	32
Figura 9 Nomenclatura de las partes de un engrane recto	34
Figura 10 Diagramas de engranes embonados, DCL engrane 1 y 2.....	34
Figura 11 Factor de espesor de aro KB	37
Figura 12 Factor dinámico K_v	38
Figura 13 Factores geométricos J para engranes rectos	39
Figura 14 Estructura de vasos comunicantes	41
Figura 15 Tipos de cilindros hidráulicos.....	45
Figura 16 Conexión típica del módulo MAX6675.	47
Figura 17 Conducción en pared plana con generación interna.....	48
Figura 18 Disposición placa horizontal	50
Figura 19 Esquema General del Equipo de Vulcanizado	52
Figura 20 Esquema del circuito hidráulico prensa de vulcanizado.....	53
Figura 21 Especificaciones técnicas bomba hidráulica HYDROMAX EG2G04S20-P60-NN4.....	54
Figura 22 Esquema del proceso de mezclado de caucho	58
Figura 23 Ensayo de compresión realizado en el Lab. de Mecánica de Materiales UFA ESPE.....	59

Figura 24 Resistencia a la fatiga por contacto Sc a 10^7 ciclos	63
Figura 25 Esquema representativo del rodillo inferior mezcladora	65
Figura 26 Diagrama de cuerpo libre del rodillo inferior de laminado	65
Figura 27 Esquema de diseño de prensa hidráulica tipo H	68
Figura 28 Mallado de la prensa hidráulica.....	69
Figura 29 Análisis de deformación direccional prensa hidráulica	70
Figura 30 Mallado de la prensa hidráulica.....	71
Figura 31 Deformación de la estructura de mezclado.....	71
Figura 32 Diagrama de flujo del sistema de control.....	76
Figura 33 Diagrama Unifilar de Potencia (Mezcladora).....	85
Figura 34 Diagrama unifilar circuito de control (Mezcladora).....	86
Figura 35 Diagrama unifilar circuito de potencia (Prensa Hidráulica).....	88
Figura 36 Diagrama unifilar circuito de control (Prensa Hidráulica)	89
Figura 37 Esquema de placa base de mezcladora y marco estructural.....	91
Figura 38 Esquema de engranes y chavetas.....	92
Figura 39 Esquema de rodillos y chumaceras.....	93
Figura 40 Esquema pieza de elevación y alza de chumacera	93
Figura 41 Esquema de bases y parantes de la prensa hidráulica	94
Figura 42 Esquema mesa de trabajo y viga superior.....	95
Figura 43 Reservorio de Aceite Hidráulico, Acople y Base Soporte.....	96
Figura 44 Esquema placas calefactoras	97
Figura 45 Esquema matriz de vulcanización.....	97
Figura 46 Esquema y distribución de elementos en el tablero de control.....	98
Figura 47 Esquema y distribución de elementos en la tapa del tablero	99

Figura 48 Distribución de pulsadores, selectores y HMI del tablero de control	99
Figura 49 Dimensiones generales troquel	110
Figura 50 Dimensiones de diferentes tipos de troqueles	111
Figura 51 Vulcanización de caucho natural A	112
Figura 52 Marcas de probetas de los cauchos vulcanizados	114
Figura 53 Probetas posterior al ensayo de tracción	116
Figura 54 Gráfica esfuerzo vs deformación caucho natural B	121
Figura 55 Gráfica esfuerzo vs deformación caucho natural C	121
Figura 56 Gráfica esfuerzo vs deformación caucho natural D.....	122
Figura 57 Gráfica esfuerzo vs deformación caucho comercial	122
Figura 58 Gráfica esfuerzo vs deformación caucho EPDM	123
Figura 59 Gráfica esfuerzo vs deformación caucho SBR+Nitrilo	123

Resumen

El presente proyecto de titulación se enfoca en el diseño y la construcción de un equipo que permita obtener muestras vulcanizadas tipo bushing a partir de las mezclas de caucho natural, EPDM, SBR+Nitrilo con diferentes formulaciones para su posterior vulcanizado a temperaturas entre 25 °C hasta 300 °C y tiempos establecidos con un máximo de 90 min en el panel de mando, a presiones regulables de hasta 10 Mpa visualizados en un manómetro.

El proceso está constituido por un área de mezclado por rodillos para la incorporación de los componentes hasta obtener una lámina de espesor previsto, pasando al área de vulcanizado conformado por una prensa hidráulica, que comprime la mezcla en una matriz térmica en un tiempo determinado por el usuario, donde finalmente se obtiene la geometría requerida.

Los resultados obtenidos se los muestra mediante una gráfica Esfuerzo - Deformación en la cual están involucradas variables como: Fuerza (N), Deformación (ϵ), Modulo de Elasticidad (E), límite de fluencia, resistencia a la tracción, en base a la comparación directa entre la probeta de caucho comercial y la muestra experimental fundamentándose en la norma ASTM D412 Propiedades de tensión de caucho vulcanizado y elastómeros termoplásticos.

La utilidad futura del equipo contempla el enriquecimiento del conocimiento práctico de los estudiantes de la Universidad de Las Fuerzas Armadas "ESPE", al ejecutar prácticas en el Laboratorio de Ciencias de los Materiales, con la obtención del caucho vulcanizado y estudiar sus propiedades físicas y mecánicas.

Palabras clave

- **VULCANIZADO**
- **BUSHING**
- **CONSTRUCCIÓN**

Abstract

This degree project is focused on the design and construction of an equipment that allows obtaining bushing type vulcanized samples from natural rubber, EPDM, SBR+Nitrile mixtures with different formulations for their subsequent vulcanization at temperatures between 25 °C and 300 °C and times established with a maximum of 90 min in the control panel, at adjustable pressures up to 3000 Psi displayed on a manometer.

The process consists of a mixing area with rollers for the incorporation of the components until a sheet of the required thickness is obtained, passing to the vulcanizing area made up of a hydraulic press, which compresses the mixture in a thermal matrix in a time determined by the user, where the required geometry is finally obtained.

The results obtained are shown by means of a Stress - Deformation graph in which are involved variables such as: Force (N), Deformation (ϵ), Modulus of Elasticity (E), yield strength, tensile strength, based on the direct comparison between the commercial rubber specimen and the experimental sample based on ASTM D412 Tensile properties of vulcanized rubber and thermoplastic elastomers.

The future usefulness of the equipment contemplates the enrichment of the practical knowledge of the students of the University of the Armed Forces "ESPE", by executing practices in the Laboratory of Materials Science, with the obtaining of vulcanized rubber and studying its physical and mechanical properties.

Key words

- **VULCANIZED**
- **BUSHING**
- **CONSTRUCTION**

Capítulo 1

Introducción

Antecedentes

La demanda mundial de caucho supera los siete millones de toneladas, a pesar que el caucho natural ha sido reemplazado por el sintético mostrando propiedades diferentes genera una alta demanda en países como Tailandia, Malasia, e Indonesia. (Rincón, 1996)

Los materiales elastómeros, usualmente denominados cauchos o hule en una gran parte de países hispanoamericanos, muestran propiedades de elasticidad y resistencia tanto química como mecánica que los hace insustituibles en objetos de nuestra vida cotidiana como neumáticos, tuberías, elementos de sujeción en el área automotriz, piezas para sellamiento de fluidos, siendo estos algunos ejemplos en los que más se emplea el caucho como materia prima.(Fang et al., 2001)

El proceso de vulcanización de los elastómeros es un proceso exotérmico con alto grado de dificultad ya que el fenómeno cuenta con varias reacciones simultaneas (Hong & Lee, 2013). La vulcanización es pilar fundamental en la industria de inyección de caucho, donde se ve implicada una gran cantidad de energía para transformar un material sin forma en un producto final elástico (Pantani, 2005).

En la actualidad la mayor dificultad del caucho vulcanizado es su impacto ambiental, ocasionado por la reducida capacidad de reciclar o disponer de él, aunque en los últimos años se desarrollaron innovaciones tecnológicas para reducir la contaminación ambiental. (Dixit et al., 2015)

Investigaciones en China han buscan la forma de transformar las estructuras químicas permanentes no-reversibles causadas por la vulcanización, dando a conocer que el CuCl_2 puede

servir como catalizador para reorganizar las redes entrecruzadas del azufre en el caucho vulcanizado, en busca de extender la vida útil y buscar nuevos métodos de reciclaje de caucho vulcanizado (Dixit et al., 2015).

Definición del Problema

El proceso de vulcanización data más de 150 años, donde fue necesario de un avance tecnológico el cual permite un procesamiento más eficiente, los diversos tipos de formulaciones que se han desarrollado a lo largo del tiempo ha generado variantes en las propiedades del caucho para llevar a cabo diferentes trabajos específicos.

El problema radica en que la Universidad no posee un equipo que permita producir probetas de caucho vulcanizado a diferentes variables como temperatura, presión y tiempo las cuales van a influir en las características y comportamiento mecánico del producto final a consecuencia el equipo propuesto es esencial para el estudio del comportamiento del caucho vulcanizado.

Justificación e importancia

Mediante el presente trabajo de titulación se permitirá comprender y adquirir un mayor conocimiento sobre el proceso de vulcanización en la elaboración de muestras tipo bushing para su posterior análisis en laboratorio de Ciencias de los Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, puesto que no se dispone de un equipo similar para el propósito deseado y no se puede abarcar el conocimiento necesario sobre el tema.

La fabricación del caucho vulcanizado en el sector industrial automotriz es fundamental en el abastecimiento de repuestos de cauchos para automóviles, además de que varias empresas dedicadas a este campo son ideales para que estudiantes de ingeniería mecánica permitan aportar tanto laboral y económicamente a la matriz productiva.

Uno de los principales motivos que incita la realización del proyecto es el posterior análisis y estudio de las probetas obtenidas con el equipo construido, una máquina comercial para dicho proceso requiere de tarifas superiores a \$7000 para obtener el mismo producto. El equipo se encontrará a libre disposición en el laboratorio de la Universidad, lo cual implica que aquellos estudiantes que se interesen en el tema puedan ampliar sus conocimientos en el área de la vulcanización de caucho y compararlos con productos disponibles en el mercado.

Alcance del Proyecto

El presente trabajo contempla desarrollar y entregar los siguientes puntos indicados a continuación:

- Construcción de la máquina de vulcanizado comprendido por un sistema de mezclado por rodillos, una prensa hidráulica de hasta 10 Mpa, un sistema de calentamiento eléctrico con un rango entre 100°C a 300°C y tiempos establecidos en el panel de mando.
- Elaboración de un manual de usuario en español correspondiente a normas de prevención, ensamble del sistema mecánico del área mezclado y vulcanizado, esquemas de conexión y procedimiento e instrucciones de funcionamiento equipo.

Objetivos

Objetivo general

Realizar el diseño y construir un equipo para la obtención de muestras vulcanizadas tipo bushing con controladores de presión, temperatura y tiempo a utilizarse en el laboratorio de Ciencia de los Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE".

Objetivos específicos

- Diseñar el sistema hidráulico y mecánico de la máquina de vulcanización usando conceptos de diseño de elementos de máquinas e hidráulica, los cuales permitan obtener un listado de materiales y presupuestos.
- Elaborar el diseño térmico y eléctrico de la matriz de vulcanizado aplicando conceptos de instrumentación industrial mecánica y transferencia de calor para obtener el dimensionamiento requerido.
- Construir el equipo de vulcanizado utilizando como punto inicial el listado de materiales y presupuesto obtenido.
- Determinar propiedades mecánicas de las muestras mediante un ensayo de tracción mediante comparación directa entre la probeta de bushig comercial y la muestra obtenida experimentalmente fundamentándose en el ensayo de tracción de la norma ASTM D412 Propiedades de tensión de caucho vulcanizado y elastómeros termoplásticos.

Capítulo 2

Marco Teórico

Caucho Natural

Definición

Gummi Elasticum hace referencia a la denominación más antigua del caucho que surge como una emulsión del producto natural látex proveniente de diversas plantas tropicales dentro de las gomas vegetales. Antecedentes directos en aprovechar las cualidades del caucho proceden de América del sur en el siglo XVI donde habitantes impermeabilizaban su calzado y vasijas. (Blucher et al., 1958)

Recolección y obtención del caucho

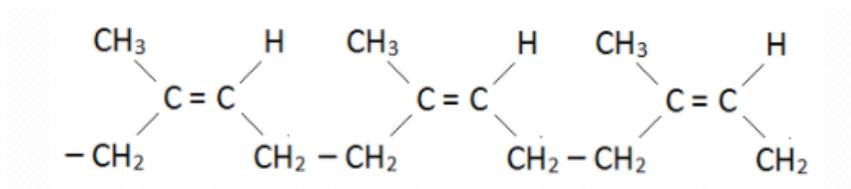
En Malaya y Nueva Guinea se encuentran los mayores puntos de cultivo del árbol de *Hevea Brasiliensis* que es la fuente más importante para la obtención del látex o savia lechosa constituido por 33% de sustancia cauchifera, un pequeño porcentaje de resinas, proteínas, azúcares y el resto de agua, este material está presente de forma natural en forma de partículas sólidas suspendidas con aproximadamente 40% de hidrocarburo. (Geissman T.A, 1974)

Estructura química

El caucho natural es un polímero del metilbutadieno isopreno C_5H_8 compuesto entre 93% y 95% de una estructura poli-isopreno y la cadena formada a partir de un monómero que contiene enlaces de carbono como se muestra en la Figura 1. (Colona, 2010)

Figura 1

Estructura química del caucho natural poli-isopreno



Nota: En esta figura se observa la cadena formada a partir de un monomero que contiene enlaces de carbono. Tomado de: (Colona, 2010)

Composición química

El caucho natural como se conoce naturalmente es una sustancia formada por gigantes moléculas entrelazadas entre sí, se denominan gigantes ya que se conforman por miles de moléculas de pequeña masa molecular por medio de enlaces químicos (Santi, 2014), están presentes en pequeñas cantidades de constituyentes no cauchíferos como son proteínas naturales, azúcares, resinas, y otros compuestos indicados en la Tabla 1, pero a diferencia del hidrocarburo estas se encuentran dispersas o asociadas los glóbulos del caucho. (Sarabia, 2014)

Tabla 1

Composición porcentual de la composición del látex natural

Contenido	%
Agua	58.5
Contenido de hule seco	36.1
Sustancias proteínicas	1.4
Lípidos neutros	1.0
Fosfolípidos	0.6

Contenido	%
Cenizas	0.5
Carbohidratos	1.6
Otros compuestos nitrogenados	0.3

Nota: Tabla original tomado de (Krista, 2015)

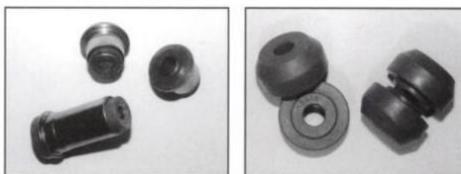
Bushing

Definición

Bushing o buje por su traducción al español es un elemento flexible que trabaja entre dos piezas metálicas donde existe fricción, de esta manera este se reduce y absorbe este efecto permitiendo un mejor desplazamiento entre las piezas acopladas, además de reducir ruidos y vibraciones ocasionados por el choque directo entre metales, existen diferentes tipos y formas mostrados en la Figura 2, estos elementos generalmente son usados en el sector automotriz en el sistema de suspensión. (Fierros clásicos, 2013)

Figura 2

Diferentes tipos de bushing de uso automotriz



Nota: En la presente figura se muestran los dos tipos de bujes más utilizados en sistemas de amortiguamiento. Tomado de: (McCleary, 1997)

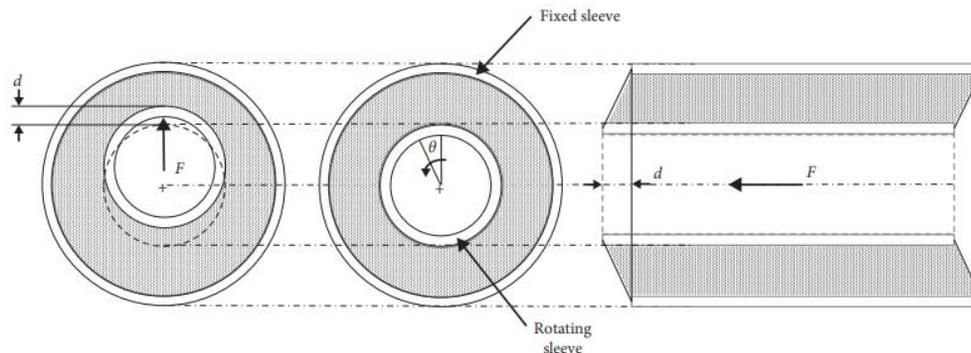
Propiedades y características mecánicas de un bushing

La geometría cilíndrica es muy utilizada debido a su gran flexibilidad para la aplicación de fuerzas en direcciones de torsión, inclinación, axial y radial como se indica en la Figura 3,

cuando el buje está sometido a torsión y en dirección axial trabaja en cortante proporcionando una baja rigidez, en cambio al estar sometido a esfuerzos radiales este trabaja en compresión y tensión teniendo mayor rigidez generando mayor estabilidad.(Rivas-Torres et al., 2019)

Figura 3

Efecto de una carga F ante el bushing



Nota: En la presente figura se representa la desviación y deformación interna del buje al estar sometido a una carga longitudinal. Tomado de: (Rivas-Torres et al., 2019)

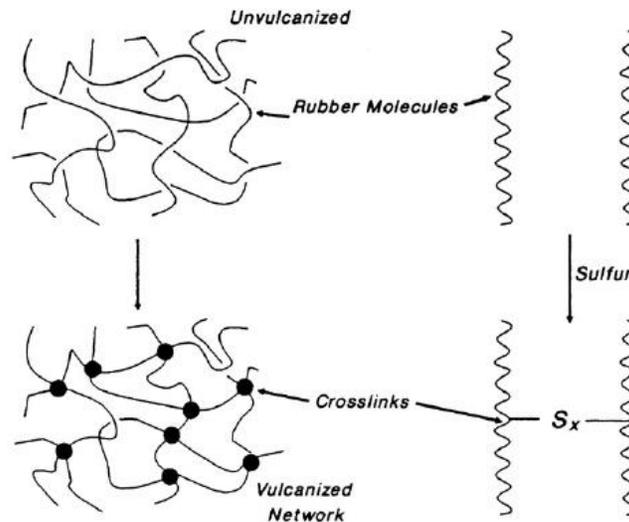
Vulcanización

Definición de vulcanización

Se define a la vulcanización como un proceso mediante el cual permite aumentar la fuerza de contracción para retomar su forma original al eliminar la carga ejercida para provocar una deformación, permitiendo elevar la elasticidad al mismo tiempo que se reduce la plasticidad mediante la creación de una malla molecular reticulada indicada en la Figura 4, el proceso se lo realiza dentro del punto de fusión del azufre que es 116 C° . (Mark et al., 2013)

Figura 4

Formación de redes reticuladas



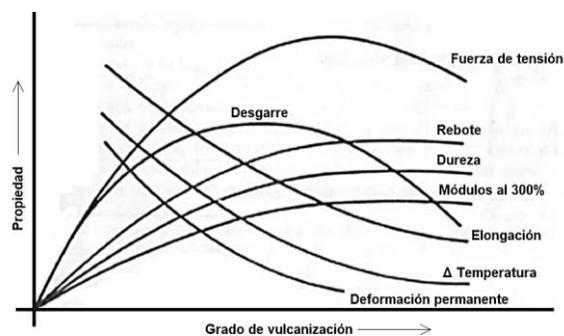
Nota: En la presente figura se representan los efectos puntuales de redes vulcanizadas. Tomado de: (Mark et al., 2013)

Propiedades físicas del caucho tras la vulcanización

El proceso de vulcanización provoca cambios significativos a nivel molecular ya que la producción de enlaces cruzados reduce en gran cantidad la histéresis que va relacionado con la componente elástica de la deformación. (Morrison & Porter, 1984) Dependiendo del tipo de vulcanizado este va a tener una influencia más significativa en las propiedades que se indican en la Figura 5 tales como: estiramiento máximo, resiliencia, límite de fluencia, deformación plástica, dureza, elongación. (Morrison & Porter, 1984)

Figura 5

Propiedades dependientes al grado de vulcanización



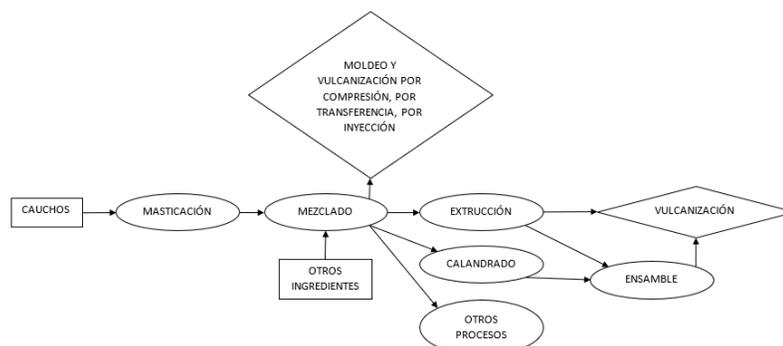
Nota: En la presente figura se muestra el índice de variación en las propiedades mecánicas del material en función del grado de vulcanización. Tomado de (Morrison & Porter, 1984)

Proceso de vulcanización

Generalmente la fabricación del caucho va compuesta por diferentes fases tal como se observa en la Figura 6, las etapas de fabricación del producto de caucho dependen de la función que desempeñará el artículo, el proceso pasa por las fases mostradas a continuación. (Castaño, 2011)

Figura 6

Diagrama ilustrativo de los principios básicos del procesamiento de caucho



Nota: El diagrama de flujo muestra los procesos habituales para la obtención de caucho vulcanizado. Tomado de (Castaño, 2011)

Selección de materia prima

Esta etapa tiene como objetivo la selección y medición del peso de las sustancias involucradas en el proceso, para lo cual identificamos el producto a obtener ya que de ello dependerán las proporciones que establecerán las propiedades mecánicas y físicas del producto final, verificando las mismas usando ensayos tales como de dureza, resistencia, compresión, tensión, tenacidad. (Castaño, 2011)

Masticación y homogenizado

La masticación es un proceso mediante el cual se ablanda el caucho sin ningún compuesto, antes de la incorporación de los otros componentes, de este modo se tendrá una consistencia mucho más blanda, suave y pegajosa que permite con más facilidad la incorporación del resto de materiales. (Ciesielski, 1999)

El homogenizado consiste en la fusión entre los demás ingredientes hasta conseguir una masa homogénea. La incorporación de cada compuesto debe ser realizado en tal orden que cada uno produzca la reacción química de la manera más eficiente evitando el calor excesivo y que la mezcla se prevulcanice. (Ciesielski, 1999)

Moldeado y vulcanización

El material obtenido en la fase anterior se coloca dentro de un molde para posteriormente elevar la temperatura mediante placas calefactoras al caucho mientras está sometido a una presión constante brindando las características requeridas al producto deseado. (Ciesielski, 1999)

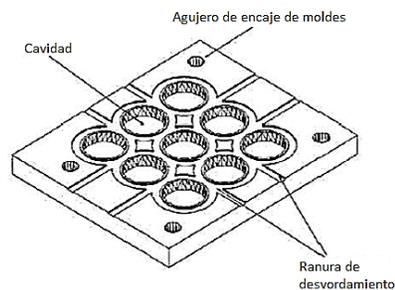
Molde

El molde es requerido para que se adopte la forma del artículo, este consta de una placa superior e inferior que está constituido por las partes indicadas en la Figura 7.

- **Cavidades:** Posee la forma del producto final puede encontrarse en ambas placas o solamente en una de ellas.
- **Agujeros de encaje de moldes:** Permite el correcto acoplamiento entre piezas ya que es necesario que no exista desface.

Figura 7

Partes del molde de conformado



Nota: En la siguiente figura se muestra un molde de seis cavidades para cilindros de caucho.

Tomado de: (Ciesielski, 1999)

Mezclado de la materia prima

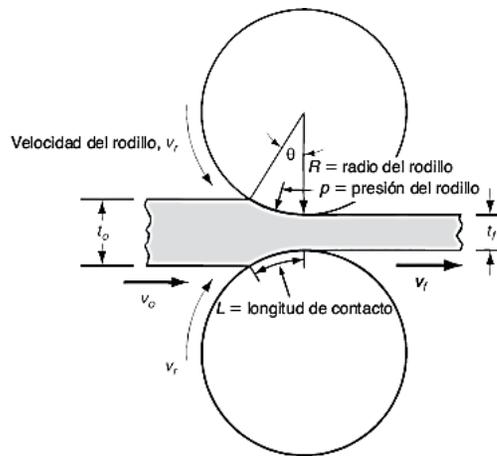
En el mezclado del caucho involucra un proceso que se denomina laminado plano, en la Figura 8 se muestra la reducción de espesor de t_o a t_f que es denominado draft al presionar la materia prima entre dos rodillos a una velocidad de ingreso por la longitud de contacto se obtiene el producto laminado, el draft es calculado usando la ecuación (2- 1) donde: (Groover, 2007)

$$d = t_o - t_f \quad (2- 1)$$

- d = draft, mm (in)
- t_o = espesor inicial, mm (in)
- t_f = espesor final, mm (in)

Figura 8

Vista lateral laminado plano con sus respectivos componentes



Nota: En la presente figura se muestra el esquema lateral del proceso de laminado para la reducción de espesor. Tomado de (Groover, 2007)

Para realizar el trabajo de deformación se requiere de un esfuerzo real experimentado el cual se lo calcula con la ecuación (2- 2): (Kalpakjian & Schmid, 2008)

$$\epsilon = \ln \frac{t_o}{t_f} \quad (2- 2)$$

Para calcular la potencia de laminado y estimaciones de fuerza es necesario conocer el esfuerzo de fluencia del material por laminar, el cual denominaremos como \bar{Y}_f . Se puede calcular un valor aproximado de la fuerza F correspondiente a la ecuación (2- 3), tomando en cuenta el esfuerzo de fluencia \bar{Y}_f en MPa (lb/in²), que es generado por el material en el espaciamiento de los rodillos; así también el área de contacto que es $w * L$ en mm² (in²). (Groover, 2007)

$$F = \bar{Y}_f * w * L \quad (2- 3)$$

De la ecuación (2- 3) la longitud de contacto L se la puede considerar con la siguiente ecuación (2- 4), siendo R el radio del rodillo.

$$L = \sqrt{R * (t_o - t_f)} \quad (2- 4)$$

El momento torsor al realizar el laminado se lo puede estimar suponiendo la fuerza ejercida en los rodillos, al pasar por ellos se genera un brazo a la mitad de la longitud de contacto L, por lo que se lo puede estimar con la ecuación (2- 5): (Kalpakjian & Schmid, 2008)

$$T = 0.5 * F * L \quad (2- 5)$$

En el proceso de laminado es necesario conocer la potencia requerida para poder ejercer movimiento a los rodillos siendo este el producto entre la velocidad angular η y el momento torsor, teniendo en cuenta que son 2 rodillos por lo que la formula tendrá un duplicado de valor obteniendo la siguiente expresión, donde la potencia P la encontramos en J/s o W (in-lb/min); η = velocidad de rotación 1/s (rev/min); F = fuerza de laminado, N (lbf); L = longitud de contacto, m (in) expresada en la ecuación (2- 6):(Schey, 2002)

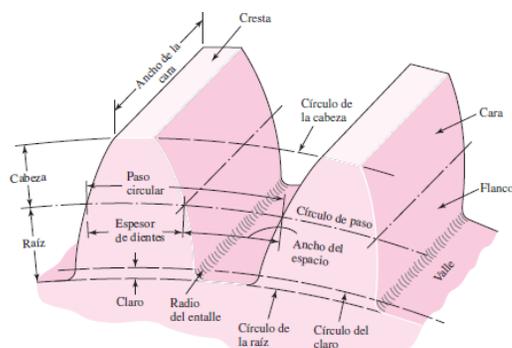
$$P = 2 * \pi * \eta * F * L \quad (2- 6)$$

Engranés

En la transmisión de potencia de un sistema de mezclado de caucho es necesario estudiar el diseño de engranes ya que es indispensable y fundamental que dichos elementos mecánicos dispongan de los requerimientos más adecuados para su correcto funcionamiento por las elevadas cargas existentes, por lo que en la Figura 9 se inicia mostrando la geometría de la rueda y el piñón que constan de las siguientes partes.

Figura 9

Nomenclatura de las partes de un engrane recto



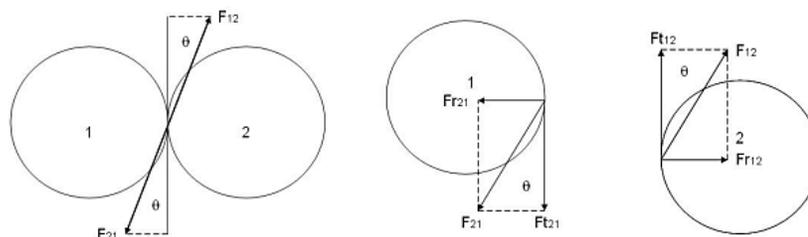
Nota: En la presente figura se muestra un esquema de la geometría y partes de un engrane recto. Tomado de (Budynas & Keith, 2008)

Cargas en los Engranes

En la Figura 10 se toma como referencia al engrane 1 como el piñón y el engrane 2 como la rueda, y denotamos las fuerzas ejercidas de acción y reacción como F_{12} y F_{21} respectivamente encontradas en la misma línea de acción pueden representarse en sus componentes verticales y horizontales siendo la horizontal como fuerza radial y la vertical como tangencial. (Budynas & Keith, 2008).

Figura 10

Diagramas de engranes embonados, DCL engrane 1 y 2



Nota: En la presente figura se muestra las disposiciones de engranes embonados. Tomado de (Budynas & Keith, 2008)

Para cualquier fuerza F , las fuerzas radiales y tangenciales usando trigonometría en base a los diagramas de cuerpo libre de los engranes, potencia y velocidad angular obtendríamos las ecuaciones (2- 7), (2- 8) , (2- 9): (Mott, 2006)

$$T_{\text{engrane}} = \frac{P_L}{\omega_{\text{rodillos}}} \quad (2- 7)$$

$$F_t = \frac{2 * T_{\text{engrane}}}{dp} \quad (2- 8)$$

$$F_r = F_t * \tan (\phi) \quad (2- 9)$$

Donde:

- F = Fuerza actuante total
- F_t = Fuerza tangencial
- F_r = Fuerza radial
- ϕ = Ángulo de presión

Factores de diseño de engranes

Factor de sobrecarga (K_o)

El factor de sobrecarga tiene como objetivo visualizar una aplicación particular ya sea uniforme, impacto moderado e impacto pesado por la maquina impulsada y la fuente de potencia de impacto uniforme, ligero o medio mostrado en la Tabla 2 y tener en cuenta las cargas en exceso aplicadas en la parte externa generando desgaste en los mecanismos.(Budynas & Keith, 2008)

Tabla 2*Factores de sobrecarga K_o*

Maquina impulsada			
Fuente de potencia	Uniforme	Impacto moderado	Impacto pesado
Uniforme	1.00	1.25	1.75
Impacto ligero	1.25	1.50	2.00
Impacto medio	1.50	1.75	2.25

Nota: Tabla original tomado de (Budynas & Keith, 2008)

Factor de tamaño (K_s)

Este factor K_s indica la falta de uniformidad del material el cual depende del tamaño del diente, ancho de la cara, diámetro de la pieza, tratamiento térmico, relación de tamaño. Aun no se ha estandarizado un valor específico para el factor de tamaño, pero AGMA recomienda $K_s = 1$, si no hay efecto perjudicial con el factor de tamaño. (Budynas & Keith, 2008)

Factor de Distribución de Carga (K_m)

El factor K_m muestra que la carga no se distribuye a lo largo del diente con uniformidad ingresando los valores de ancho de cara y diámetro de paso en la ecuación (2- 10) debido al desalineamiento axial de los engranajes y la desviación del diente en forma axial para lo cual es necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones: (Budynas & Keith, 2008)

- Cociente de ancho de cara F con respecto al diámetro de paso del piñón d .
- Elementos acoplados en cojinetes o rodamientos.
- Con ancho de hasta 40 in de la cara del engrane.

$$C_{pf} = \frac{F}{10 * d} - 0.025 \quad \text{para } F \leq 1 \text{ pulg} \quad (2- 10)$$

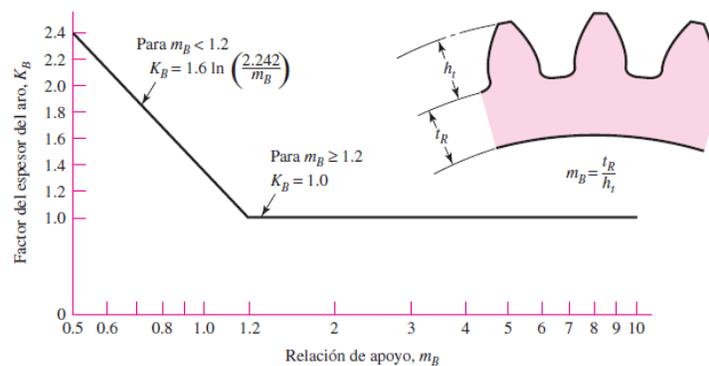
Factor de espesor del aro (KB)

El factor K_B se lo usa cuando no puede dar suficiente apoyo ante la falla por fatiga por flexión en el entalle de la raíz por lo que se recomienda el factor para ajustar el esfuerzo de flexión de un engrane de aro delgado en función de la relación m_B usando la ecuación (2- 11), que se encuentra dentro del rango de 1 a 1.2 mostrado en la Figura 11 donde T_R es el espesor de aro debajo del diente en (in) y h_t la profundidad del diente. (Budynas & Keith, 2008)

$$m_B = \frac{T_R}{h_t} \quad (2- 11)$$

Figura 11

Factor de espesor de aro K_B



Nota: En la siguiente figura se muestra la variación del factor de espesor de aro en función de la relación de apoyo. Tomado de (Budynas & Keith, 2008)

Una vez calculado el valor de m_B dependiendo de su valor se ingresa en la ecuación (2- 12): (Budynas & Keith, 2008)

$$K_B = \begin{cases} 1.6 \ln\left(\frac{2.242}{m_B}\right) & m_B < 1.2 \\ 1 & m_B \geq 1.2 \end{cases} \quad (2- 12)$$

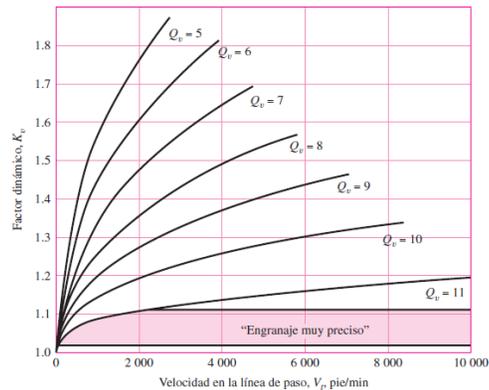
Factor dinámico K_v

El factor K_v visualizado en la Figura 12 se lo utiliza para considerar los desviamientos e imprecisiones en la fabricación de los engranes. AGMA considera un conjunto de números de

control de calidad Q_v del 3 al 7 para engranes con calidad comercial que son la mayoría y del 8 al 12 para materiales con alta exactitud y tolerancia para lo cual usamos las ecuaciones (2- 13), (2- 14), (2- 15) y (2- 16) para estimar el factor K_v . (Budynas & Keith, 2008)

Figura 12

Factor dinámico K_v



Nota: Tomado de (Budynas & Keith, 2008)

$$A = 50 + 56(1 - B) \quad (2- 13)$$

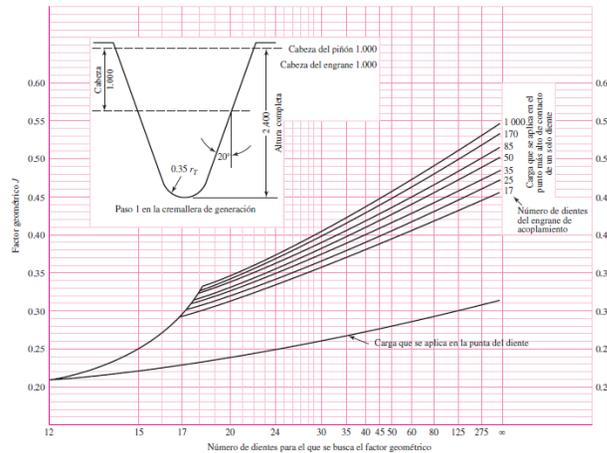
$$B = 0.25(12 - Q_v)^{2/3} \quad (2- 14)$$

$$V_{t_{\max}} = \begin{cases} [A + (Q_v - 3)]^2 & \text{pie/min} \\ \frac{[A + (Q_v - 3)]^2}{200} & \text{m/s} \end{cases} \quad (2- 15)$$

$$K_v = \begin{cases} \left(\frac{A + \sqrt{V}}{A} \right)^B & \text{V en pie/min} \\ \left(\frac{A + \sqrt{200V}}{A} \right)^B & \text{V en m/s} \end{cases} \quad (2- 16)$$

Factor geométrico de flexión (J)

Factor J usa un valor modificado del factor de forma de Lewis, la Figura 13 se utiliza para encontrar el factor geométrico para engranes rectos de dientes de tamaño completo y un ángulo de presión de 20 grados. (Budynas & Keith, 2008)

Figura 13**Factores geométricos J para engranes rectos**

Nota: En la presente figura se muestra la relación del factor geométrico en función al número de dientes para su cálculo. Tomado de (Budynas & Keith, 2008)

Teoría de Ejes (Rodillos)

En los rodillos la rigidez es la que afecta a la deflexión, esta viene representada por el módulo de elasticidad que es una cualidad que poseen todos los aceros por ello la rigidez no se la puede manipular o controlar sobre el material sino solo geoméricamente. Los materiales típicos incluyen grados de carbonización ANSI 4340, 1020, 4720, 1018. (Mott, 2006)

Esfuerzos en ejes

En los ejes existen esfuerzo tanto de flexión, torsión y axiales, estos son fluctuantes y están dados por M_a y M_m que son los momentos flexionantes alternantes y medio, así como también los momentos torsores alternante y medio T_a y T_m teniendo en cuenta concentradores de esfuerzo K_f y K_t por fatiga de la flexión y torsión presentes en las ecuaciones (2- 17), (2- 18), (2- 19) y (2- 20). (Budynas & Keith, 2008)

$$\sigma_a = K_f \frac{32 * M_a}{\pi * d^3} \quad (2- 17)$$

$$\sigma_m = K_f \frac{32 * M_m}{\pi * d^3} \quad (2-18)$$

$$\tau_a = K_{fs} \frac{16 * T_a}{\pi * d^3} \quad (2-19)$$

$$\tau_m = K_{fs} \frac{16 * T_m}{\pi * d^3} \quad (2-20)$$

Donde:

- σ_a : Esfuerzo de flexión alternante σ_m : Esfuerzo de flexión medio
- M_a : Momento flector alternante M_m : Momento flector medio
- τ_a : Esfuerzo de torsión alternante τ_m : Esfuerzo de torsión medio
- T_a : Par de torsión alternante T_m : Par de torsión medio
- d : Diámetro del eje

Al combinar esos esfuerzos según la teoría de falla de distorsión por energía, los esfuerzos de Von Mises para los ejes que son sólidos, redondos y giratorios sin tomar cargas axiales se obtienen las ecuaciones (2- 21) y (2- 22): (Budynas & Keith, 2008)

$$\sigma'_a = (\sigma_a^2 + 3\tau_a^2)^{1/2} \quad (2-21)$$

$$\sigma'_m = (\sigma_m^2 + 3\tau_m^2)^{1/2} \quad (2-22)$$

Los Esfuerzos alternantes y medios equivalentes σ'_a, σ'_m , se las puede estimar con la ecuación (2- 23) mediante el criterio de fallas de Soderberg. (Mott, 2006)

$$\frac{1}{n} = \frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}} \quad (2-23)$$

Donde:

- σ'_a : Esfuerzo alternante equivalente σ'_m : Esfuerzo medio equivalente
- S_e : Límite de resistencia a la fatiga S_y : Límite de resistencia a la fluencia
- n : Factor de seguridad

Para diseño se puede usar la ecuación (2- 24) en la obtención del diámetro en la sección más crítica del eje: (Budynas & Keith, 2008)

$$d = \left(\frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} [4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{S_{ut}} [4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2]^{\frac{1}{2}} \right\} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (2- 24)$$

Estimación de concentraciones de esfuerzo

El apoyo para los cojinetes y engranajes deben regirse al catálogo específico, ya que estos indican que la relación entre D/d debe encontrarse entre 1.2. y 1.5 para cada cambio de sección a lo largo del eje teniendo en cuenta comportamiento mecánico y estética. (Budynas & Keith, 2008).

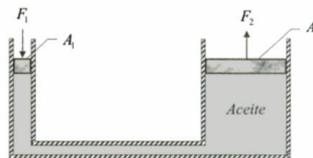
Prensa hidráulica de vulcanización

La prensa hidráulica nace a partir del principio de Pascal esquematizado en la Figura 14 que indica que se constituyen a partir de una estructura de vasos comunicantes expresado en la ecuación (2- 25). (Valera, 2005)

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \quad (2- 25)$$

Figura 14

Estructura de vasos comunicantes



Nota: En la presente figura se muestra el principio físico de Pascal mediante el experimento de vasos comunicantes. Tomando de (Valera, 2005)

Tipos de prensa hidráulica

A continuación, en la Tabla 3 se presenta los diferentes tipos de prensas hidráulicas.

Tabla 3

Tipos de prensas hidráulicas

Tipo	Descripción	Ilustración
<p>Prensa hidráulica tipo C</p>	<p>Su estructura en forma de C brinda 3 frentes de trabajo libre para el operador, por ello es ideal para producción en línea como remachado o punzonado y versatilidad.</p>	
<p>Prensa hidráulica tipo H</p>	<p>La más económica y más utilizada en el área de la metalmecánica para trabajos doblado, enderezado y troquelado.</p>	
<p>Prensa hidráulica tipo columnas</p>	<p>Por su estructura y montaje este tipo de prensa ofrece mayor exactitud y alineación, utilizada principalmente en procesos de estirado y prensado metálico.</p>	

Nota: Tomado de (Quiroz, 2019)

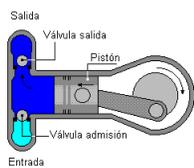
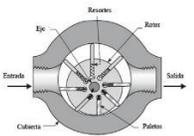
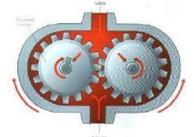
Sistema Hidráulico

Bomba Hidráulica

Las bombas hidráulicas trabajan a la par del motor acoplada a la misma al transformar la energía mecánica provocada por la rotación en energía hidráulica hacia el fluido de trabajo, es predominante emplear bombas de desplazamiento positivo en sistemas hidráulicos convencionales. (Kogyo, 2006) En bombas de desplazamiento hidrostático o positivo podemos encontrar diferentes tipos indicados en la Tabla 4.

Tabla 4

Tipos de Bombas Hidráulicas

Tipo	Principio de operación	Eficiencia	Ilustración
bomba de pistones	Expansión y compresión de un volumen en un bloque de cilindros con la carrera del pistón.	Generalmente la más alta, la placa de la válvula se daña fácilmente y la eficiencia cae a medida que la placa se desgasta	
bomba de paletas	Expansión y compresión de volúmenes entre las paletas y el anillo de leva	Generalmente bajo, se puede compensar cuando la paleta se desgasta.	
bomba de engranes	Movimiento del volumen en el espacio entre los dientes y la carcasa	Generalmente baja, disminuye cuando el engranaje se desgasta	

Nota: Tomado de (Kogyo, 2006)

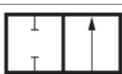
Válvulas distribuidoras

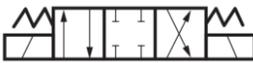
Las válvulas distribuidoras o de control direccional como su nombre indica son las encargadas de distribuir y direccionar el fluido para que nuestro sistema mecanismo inicie, pare, acelere o desacelere actuadores de conforman todo el sistema hidráulico.(Kogyo, 2006)

En la Tabla 5 se muestra diferentes válvulas distribuidoras con diferentes números de conexiones y posiciones dependiendo a las condiciones de cada sistema.

Tabla 5

Clasificación de Válvulas distribuidoras

	Clasificación	Simbología ISO	Características
Número de	Dos puertos		Tiene dos puertos, abierto y cerrado.

	Tres puertos		Tiene tres puertos, uno es la entrada desde la bomba y otros dos de salida.
	Cuatro puertos		Posees cuatro puertos de gran utilidad mueve el actuador hacia adelante y hacia atrás.
Número de posiciones	Dos posiciones		Tiene dos posiciones.
	Tres posiciones		Tiene tres posiciones.

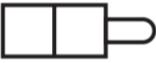
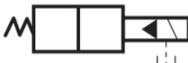
Nota: Tomado de (Kogyo, 2006)

Accionamiento de válvulas distribuidoras

Al igual que la clasificación por número de conexión y posiciones estas se pueden clasificar en función al método de accionamiento tal como se indica en la Tabla 6 el cual puede variar dependiendo de los requerimientos del sistema.

Tabla 6

Clasificación de accionamiento de las válvulas distribuidoras

	Clasificación	Símbolo	Características
Método de operación	Manual		Operada manualmente con una palanca.
	Mecánico		Operada por componentes mecánicos, incluido el seguidor de leva.
	Electrohidráulica		El carrete principal es operado por piloto controlado por una fuerza electromagnética.

	Retorno por muelle		La fuerza de control enciende / apaga. Sin la fuerza, el pistón vuelve a la posición de compensación por la fuerza del muelle.
Disposición	Muelle centrado		Sin la fuerza de control, el carrete vuelve a la posición neutra por la fuerza del muelle.

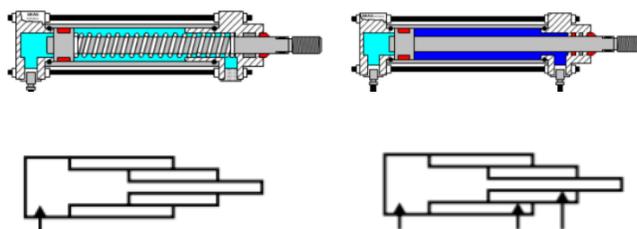
Nota: Tomado de (Kogyo, 2006)

Cilindro hidráulico

Un cilindro hidráulico se lo puede considerar como un motor hidráulico alternativo con desplazamiento positivo que al estar en movimiento convierte la energía hidráulica del fluido en cinética moviendo el pistón en un movimiento lineal, en la Figura 15 se muestran diferentes tipos estos actuadores tales como simple efecto, doble efecto o telescópicos los cuales dependen de la aplicación que se desee realizar. (Khan, 2008)

Figura 15

Tipos de cilindros hidráulicos



Nota: La siguiente figura muestra por medio de un corte transversal la estructura interna del cilindro de doble y simple efecto. Tomado de (Kogyo, 2006)

Fluido de trabajo

El movimiento programado que tienen los actuadores dentro de cualquier sistema hidráulico se debe al fluido dentro del el que es bombeado y direccionado por tuberías y

válvulas distribuidoras que concadenan en el accionamiento final del mecanismo, este fluido debe disponer de las siguientes consideraciones: (Kogyo, 2006)

- Viscosidad estable a pesar de cambios en su temperatura entre 30-70 cSt.
- Fluido incompresible.
- Capacidad de flujo estable a baja temperatura controlada por debajo de 50°C
- Variación mínima del rendimiento y calidad en altas temperaturas.

Sistema térmico

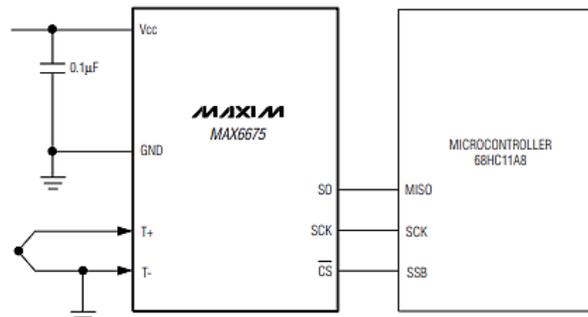
El calentamiento es indispensable en el proceso de vulcanización ya que por este efecto se calientan los moldes, por lo cual se eleva la temperatura de diferentes maneras tal como el uso de vapor, aceite térmico o en este caso resistencias eléctricas produciendo la transferencia de calor hacia la mezcla de caucho y vulcanizarla.

- **Resistencias tubulares en acero inoxidable:** El uso de resistencias tubulares se implementa en sistemas térmicos realizando una transferencia de calor indirecta hacia el interior de proceso realizado.
- **Termocupla:** Este elemento consta de dos cables conductores de aleaciones diferentes conectados formando un circuito cerrado mediante cual fluye una corriente cuando está expuesta a temperaturas diferentes en la unión.(Creus, 2010)
- **Controlador de temperatura:** El sistema térmico va a ser direccionado mediante un controlador ARDUINO MEGA, el cual consta de microcontroladores que permite guardar instrucciones escritas en un lenguaje de programación. El voltaje generado por la termocupla va a ingresar por los periféricos de entrada para su procesamiento y dirigir una respuesta hacia los actuadores por el periférico de salida.

- **El módulo max6675:** El módulo realiza una digitalización de un termopar tipo K el cual genera una lectura con una resolución de 12 bits teniendo el esquema de conexión del sensor y microcontrolador mostrado en la Figura 16.

Figura 16

Conexión típica del módulo MAX6675



Nota: La siguiente figura muestra el esquema de conexión entre módulo, sensor y microcontrolador. Tomado de catálogo (Maxim Integrated, 2021)

Transferencia de calor en una placa plana

Conducción con generación de energía térmica

Es muy usual relacionar la generación de energía térmica gracias a la conversión de energía eléctrica a térmica en un medio de conductor de corriente por su versatilidad y fácil manejo de la misma, donde la razón a la que se genera energía cuando una corriente I pasa a través de una resistencia eléctrica R_e se denota en la ecuación (2- 26). (Incropera & DeWitt, 1999)

$$\dot{E}_g = I^2 * R_e \quad [W] \quad (2- 26)$$

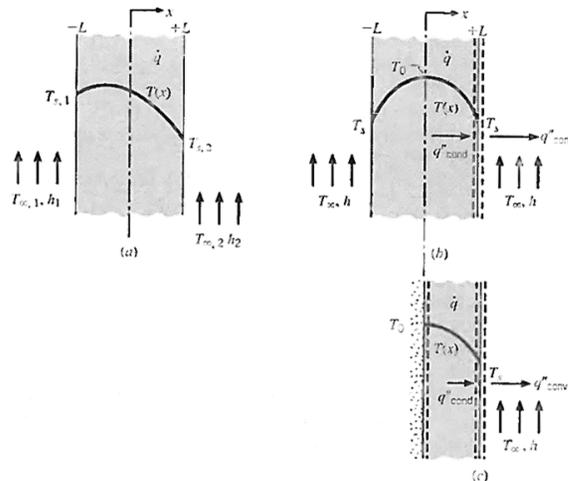
Si tomamos en cuenta que esta generación ocurre a lo largo de un volumen tenemos una generación volumétrica mostrada en la ecuación (2- 27).

$$\dot{q} = \frac{E_g}{V} = \frac{I^2 * R_e}{V} \quad \left[\frac{W}{m^3} \right] \quad (2-27)$$

Pared plana

Figura 17

Conducción en pared plana con generación interna



Nota: En la siguiente figura se establecen las 3 disposiciones generales para la conducción en pared con generación uniforme con y sin aislamiento térmico. Tomado de (Incropera & DeWitt, 1999)

Para determinar las propiedades termofísicas del fluido en este caso aire es necesario tomar en cuenta la temperatura media expresado en la ecuación (2-28).

$$T_f = \frac{T_s + T_\alpha}{2} \quad (2-28)$$

- T_s : Temperatura de superficie
- T_α : Temperatura ambiente

Es importante tomar en cuenta que en las 3 disposiciones generales para la conducción en pared con generación uniforme con y sin aislamiento térmico mostrado en la Figura 17, al

aplicar un balance global de energía a la pared plana en relación a una superficie de control, la razón a la que se genera energía dentro de la pared debe equilibrarse de manera homogénea con la energía por convección que sale a la frontera obteniendo las ecuaciones (2- 29) y (2- 30) tomando en cuenta una superficie unitaria. (Incropera & DeWitt, 1999)

$$E_g = E_{s\text{ale}} \quad [\text{W}] \quad (2- 29)$$

$$\dot{q}L = h(T_s - T_\alpha) \quad (2- 30)$$

Número de Rayleigh

Es el producto de los números de Grashof y de Prandtl, por ende, el número de Rayleigh por sí mismo puede considerarse como la razón de las fuerzas de flotabilidad, difusividades térmicas y cantidad de movimiento expresados en la ecuación (2- 31). (Cengel & Ghajar Afshin, 2011)

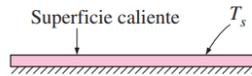
$$Ra_L = Gr_L Pr = \frac{g\beta(T_s - T_\alpha)L_c^3}{\nu\alpha} \quad (2- 31)$$

Correlación empírica del número promedio de Nusselt para la convección natural sobre superficies

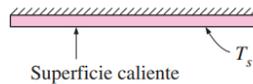
La Figura 18 muestra el modelo más elaborado para determinar la transmisión de calor por convección natural para placas horizontales hacia el exterior, tomando como régimen de selección el número de Rayleigh. (Cengel & Ghajar Afshin, 2011)

Figura 18*Disposición placa horizontal*

Placa horizontal
(Área superficial A y perímetro p)
a) Superficie superior de una placa caliente (o superficie inferior de una placa fría)



b) Superficie inferior de una placa caliente (o superficie superior de una placa fría)



Nota: Esta figura representa las superficies planas de incidencia de calor hacia el exterior.

Tomando una superficie caliente en la parte superior para un régimen de Rayleigh ya sea para la ecuación (2- 32) o (2- 33), obtenemos un número de Nusselt.

$$Ra_L \rightarrow 10^4 - 10^7 \rightarrow Nu = 0.54 Ra_L^{1/4} \quad (2- 32)$$

$$Ra_L \rightarrow 10^7 - 10^{11} \rightarrow Nu = 0.15 Ra_L^{1/3} \quad (2- 33)$$

Usando una superficie caliente en la parte inferior tenemos un régimen de Rayleigh de la ecuación (2- 35), con los valores de conducción, longitud y el número de Nusselt determinando así el coeficiente de convección con la ecuación (2- 34).

$$h = \frac{K * Nu}{L} \quad (2- 34)$$

Para determinar la longitud característica esta está en función del área superficial y el perímetro expresado en la ecuación (2- 35).

$$L_c = \frac{A_s}{p} \quad (2- 35)$$

Teniendo en cuenta que para una superficie horizontal cuadrada de longitud a se usa la ecuación (2- 36).

$$L_c = \frac{a}{4} \quad (2-36)$$

Tiempo de calentamiento

Para determinar el tiempo que va a tomar llegar a la temperatura establecida es necesario obtener el calor que genera el sistema se usa la ecuación (2- 37).

$$Q = m * T_f * C_p \quad [\text{Wh}] \quad (2-37)$$

Y despejando de la ecuación de potencia se obtiene la ecuación (2- 38).

$$t = \frac{Q}{E_g} \quad [\text{h}] \quad (2-38)$$

Transferencia de calor por conducción

Debido al contacto generado entre las dos superficies una caliente y otra fría el calor se transfiere por medio de conducción la cual es proporcional a la conductividad térmica del mismo y el área de la sección por la cual atraviesa tanto para el flujo de calor por unidad de área expresada en la ecuación (2- 39) y el flujo de calor transferido expresado en la ecuación (2- 40).

$$q_x = q''_x * A \quad (2-39)$$

$$q''_x = k * \frac{\Delta T}{L} \quad (2-40)$$

Capítulo 3

Especificaciones generales del equipo

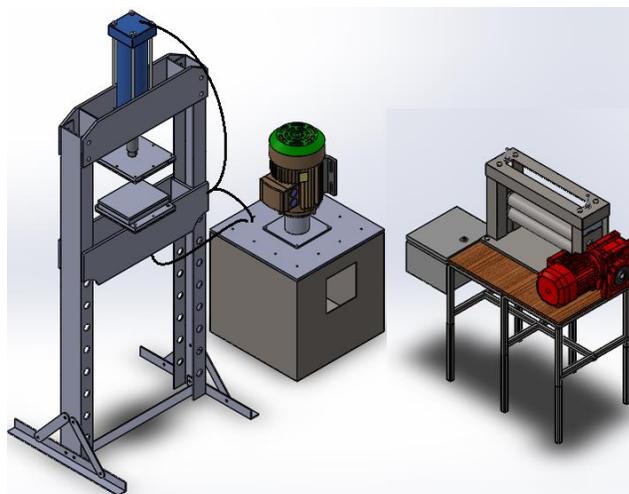
La máquina en general consta de una zona de mezclado con una capacidad máxima de 1 Kg conformado por dos rodillos impulsados por un motor reductor donde se colocará la materia prima para la obtención de la mezcla previa para vulcanización, una zona de vulcanizado conformado por una prensa hidráulica de 10 [Mpa] la cual compactará la mezcla para las probetas dentro de una matriz, que a su vez será calentado por resistencias eléctricas a temperaturas entre 25 [°C] hasta 300 [°C] siendo regulado su magnitud y tiempo por un microcontrolador obteniendo así la geometría deseada para la producción de las probetas de ensayo y un bushing.

Diseño del equipo

En la Figura 19 se esquematiza la constitución de la máquina de vulcanizado teniendo el sector de vulcanizado, mezclado y control del equipo.

Figura 19

Esquema General del Equipo de Vulcanizado



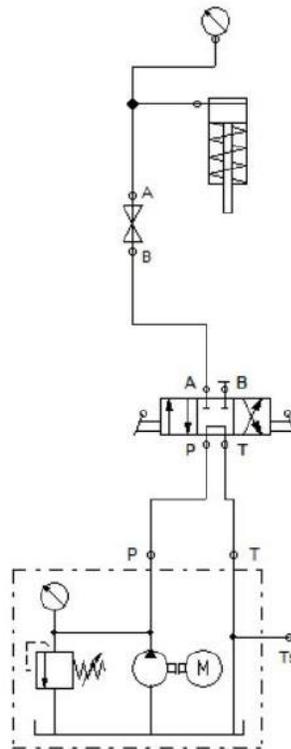
Nota: La figura muestra una esquematización general del equipo de vulcanizado.

Diseño hidráulico

En la Figura 20 se representa de forma esquemática el circuito del sistema hidráulico planteado para el diseño.

Figura 20

Esquema del circuito hidráulico prensa de vulcanizado



Nota: La figura muestra una esquematización del circuito hidráulico para el diseño del proceso de vulcanizado.

El diseño hidráulico se tendrá en cuenta los criterios indicados a continuación:

- Presión de trabajo, Presión Máxima = 10 [Mpa]
- Carga ejercida por el cilindro hidráulico, $F_{\text{pistón}} = 5000$ [Kg]
- Velocidad de descenso del pistón hidráulico, $v = 0.03$ [m/s]
- Revoluciones del motor eléctrico para la selección de la bomba rpm=3450 [rpm]

- **Bomba hidráulica**

El componente seleccionado se basa en la presión requerida y la revolución ejercida por el motor para lo cual se seleccionó la bomba marca CHYDROMAX EG2G04S20-P60-NN4 ya que este cumple con las especificaciones planteadas a continuación, en la Figura 21 se muestra un extracto de las especificaciones de la bomba obtenida del catálogo del fabricante.

Figura 21

Especificaciones técnicas bomba hidráulica HYDROMAX EG2G04S20-P60-NN4

Model 產品型號	Displacement Capacity 吐出量 cc/rev	Working Pressure 工作壓力 kg/cm ² (psi)	Max. Pressure 最高壓力 kg/cm ² (psi)	Speed (rpm) 轉速		
				Rate	Max.	Min.
HGP-2A-*2*	2	210(3000)	250(3500)	1800	5000	900
HGP-2A-*2.5*	2.5	210(3000)	250(3500)	1800	5000	850
HGP-2A-*3*	3	210(3000)	250(3500)	1800	5000	850
HGP-2A-*4*	4	210(3000)	250(3500)	1800	4500	800
HGP-2A-*5*	5	210(3000)	250(3500)	1800	3500	700
HGP-2A-*6*	6	210(3000)	250(3500)	1800	3500	700
HGP-2A-*8*	7.5	210(3000)	250(3500)	1800	3000	600
HGP-2A-*9*	9	210(3000)	250(3500)	1800	2500	550
HGP-2A-*11*	10.5	210(3000)	250(3500)	1800	2000	500
HGP-1A-*12*	12	175(2500)	210(3000)	1800	2000	500

Nota: En la presente figura se muestra las especificaciones para la selección del tipo bomba hidráulica en función de los requerimientos iniciales. Tabla original tomado de (YIHE HYDRAULIC, n.d.)

- **Cilindro Hidráulico**

Para la obtención del cilindro hidráulico es necesario tener en cuenta los valores de fuerza por generar, presión máxima ejercida por la bomba y por último el rendimiento debido a fricciones generadas en el interior del cilindro. Tomando la ecuación (3- 1) obtenemos la información requerida para la adquisición del cilindro calculado.

$$\text{Fuerza} \rightarrow F_{\text{pistón}} = 5000 \text{ [Kg]} * 9.8[\text{m/s}^2] = 49000 \text{ [N]}$$

$$\varnothing_{\text{pistón}} = \sqrt{\frac{4 * F_{\text{pistón}}}{\pi * (P_{\text{max}} - 10) * 10^5 * n}} = 0.065 \text{ [m]} = 65 \text{ [mm]} \quad (3-1)$$

Para seleccionar el diámetro del vástago entre las dos opciones del catálogo se realiza el análisis del pandeo verificando cual es la carga axial máxima que resiste el pistón sin pandear tomando una disposición de fija/libre con la ecuación (3- 2).

$$F_{\text{pandeo}} = \frac{\pi^2 * E * J}{S_k^2 * C} = 10720 \text{ [kg]} \quad (3-2)$$

Tenemos un valor máximo de 10720 [Kg] el cual es 200% mayor al requerido por ende se selecciona el menor valor del vástago. En la Tabla 7 se muestra las especificaciones del cilindro seleccionado.

$$\varnothing_{\text{menor vástago}} = 50 \text{ [mm]}$$

Tabla 7

Especificaciones técnicas del cilindro hidráulico

Diámetro pistón calculado	65 [mm]
Diámetro pistón comercial	80 [mm]
Diámetro del vástago seleccionado	50 [mm]
Norma	ISO 6022
Tipo de construcción	Con brida
Presión nominal	250 [Bar]
Fluido hidráulico	Hidráulico ISO 68

Nota: Tomado de catálogo (LARZEP HYDRAULIC, n.d.)

- **Elemento motriz**

Para la correcta selección del motor eléctrico se debe calcular tanto el caudal requerido Q , como el desplazamiento capaz de satisfacer las condiciones iniciales de diseño D_{nec} , con el dato del área interna del pistón tomando del catálogo S_1 y la velocidad de descenso determinamos el caudal requerido en base a la ecuación (3- 3).

$$S_1 = 50.26 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$Q = S_1 * v * 100 * \frac{60}{1000} = 9.047 \left[\frac{\text{litro}}{\text{min}} \right] \quad (3- 3)$$

Se calcula el desplazamiento, considerando un rendimiento volumétrico de la bomba de 95% por resbalamientos internos por la ecuación (3- 4).

$$D_{nec} = \frac{Q * 1000}{\text{rpm}} * 0.95 = 2.491 \left[\frac{\text{cm}^3}{\text{rev}} \right] \quad (3- 4)$$

Con los datos obtenidos y tomando en cuenta las eficiencias volumétricas como mecánicas se calcula la potencia necesaria P , que debe suministrar el motor eléctrico a nuestra bomba mediante la ecuación (3- 5).

$$P = \frac{\text{Presion máxima} * \text{Caudal requerido}}{n_t} = 2.105 \text{ [HP]} \quad (3- 5)$$

- **Mangueras**

Para el cálculo de la manguera se debe establecer a velocidad máxima V_{max} a la que puede fluir el aceite.

$$V_{max} = 4 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

Se calcula el diámetro interno \emptyset_i en base a la ecuación (3- 6).

$$\phi_i = \sqrt{\frac{4 * \text{Caudal requerido}}{\pi * V_{\max}}} = 6.928 * 10^{-3} \text{ [m]} \quad (3-6)$$

En base al catálogo de mangueras se verifica si con el espesor de pared del diámetro comercial cumple con la condición del diámetro interno calculado con la ecuación (3- 7).

$$\phi_{i \text{ comercial}} = 10 - 2 * e = 8 \text{ [mm]} \quad (3-7)$$

Siendo el diámetro seleccionado mayor al calculado si satisface las condiciones de diseño.

- **Válvula direccional de flujo**

El cilindro es de simple efecto por lo que en la Tabla 8 se indica la selección de la válvula 4/3 centro tándem con accionamiento mecánico tipo palanca que cumple con la función deseada para lo cual seleccionamos el elemento.

Tabla 8

Especificaciones técnicas mando hidráulico

Marca	BXHS
Producción	Válvula hidráulica 4/3
Modelo	P40-1
País	Japón
Presión nominal	5000 [Psi]

Nota: Tomado de catálogo (HYDROMECHANICA del Ecaudor S.A, n.d.)

- **Válvula de bloqueo de flujo**

En el sistema hidráulico es necesario tener un bloqueo para tener un mejor control en la presión generada por lo cual en la Tabla 9 se muestra las especificaciones de un control de bloqueo mediante una válvula de 2 direcciones instalada en el equipo.

Tabla 9

Especificaciones técnicas válvula AST KHB-NPT 1/2

Presión nominal	500 bar
Diámetro nominal	13
Denominación	AST KHB – NPT 1/2

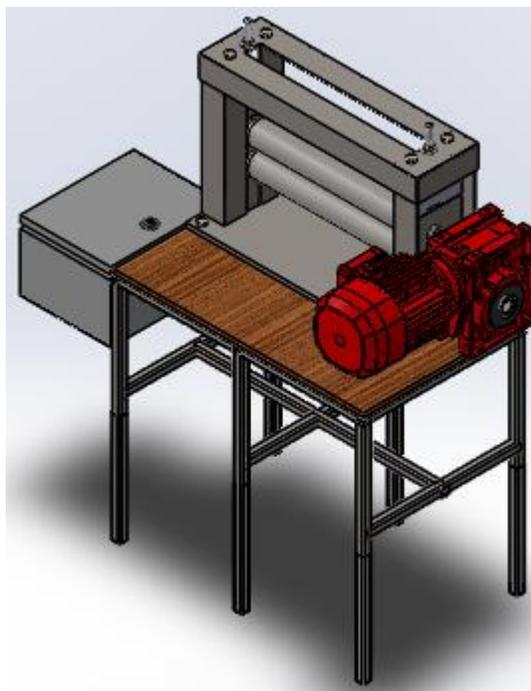
Nota: Tomado de catálogo (HYDROMECHANICA del Ecaudor S.A, n.d.)

Diseño del sistema de mezclado de caucho

En la Figura 22 se visualiza una esquematización del sistema de mezclado de caucho previo al proceso de vulcanización.

Figura 22

Esquema del proceso de mezclado de caucho



Nota: La figura muestra una esquematización del proceso de mezclado de caucho previo al vulcanizado.

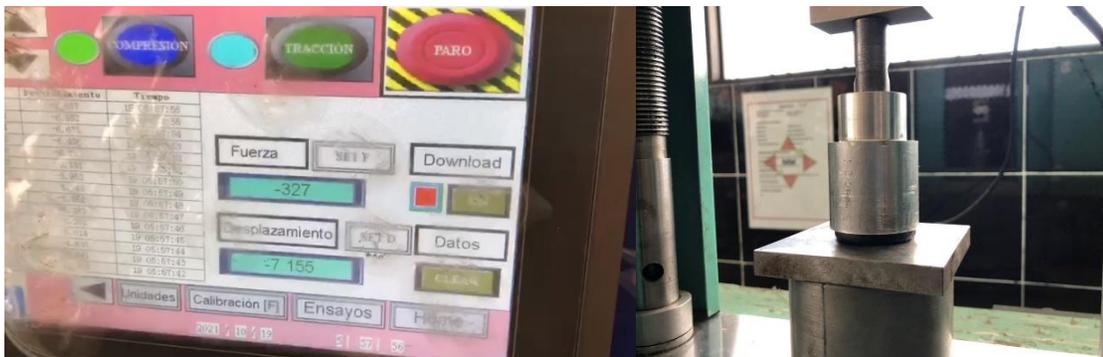
Los criterios en el mezclado de caucho se basan en el laminado plano ya que es un método muy utilizado en la industria para la incorporación de la formulación del caucho, para lo cual en el diseño se tomarán en cuenta dicho proceso que permitirá el cálculo de las variables que ayudaran en el diseño de los otros elementos de la máquina.

- **Datos iniciales de mezclado**

Es necesario conocer el límite de fluencia del caucho que se va a mezclar por lo que en la Figura 23 se muestra la realización de un ensayo experimental de compresión realizado con la Máquina Universal localizada en el Laboratorio de Mecánica de Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, para conocer el esfuerzo necesario para deformar el caucho a 7 mm de espesor, adicional en la Tabla 10 se enlista los resultados obtenidos posterior al ensayo.

Figura 23

Ensayo de compresión realizado en el Lab. de Mecánica de Materiales UFA ESPE



Nota: La figura muestra el equipo y procedimiento realizado para determinar el esfuerzo de deformación de la mezcla de caucho y aditivos.

Tabla 10

Resultados de los datos del ensayo de compresión experimentales

Área de Probeta mm^2	Fuerza generada Kg	Esfuerzo de deformación $\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	Límite de fluencia Mpa
346.361	327	0.096	0.943

Nota: Datos obtenidos son usados como valores aproximados a la realidad del diseño.

Adicional, por parte de los requerimientos de diseño se establecieron los siguientes parámetros:

- $\omega_{\text{rodillo mezclado}} = 45$ [rpm]
- $\phi_{\text{rodillo mezclado}} = 50$ [mm]
- $L_{\text{rodillo mezclado}} = 500$ [mm]
- $w_{\text{inicial mezclado}} = 200$ [mm]

Para el proceso de mezclado es necesario realizar el cálculo de la longitud de contacto L_c , el cual tomando como referencia la (2- 4), obtenido el dato en mm.

$$L_c = 21.213 \text{ [mm]}$$

Mediante el uso de la longitud de contacto y el ancho inicial de mezclado tomando como referencia la ecuación (2- 3) obtenemos la fuerza de mezclado necesario para comprimir a un espesor de 7 mm.

$$F_{\text{mezclado}} = 4000 \text{ [N]}$$

Al obtener el dato de la Fuerza de Mezclado se calcula directamente la potencia de mezclado necesaria para realizar el proceso teniendo en cuenta que son dos rodillos que están involucrados, el dato obtenido necesario en la selección del elemento motriz tomando como referencia la (2- 6) obteniendo el valor en Watts y Hp.

$$P_{\text{mezclado}} = 400 \text{ W} \rightarrow 0.5 \text{ Hp}$$

- **Selección de caja reductora**

En la adquisición de la caja reductora es necesario verificar la velocidad angular planteada y la relación de transmisión lo cual se lo determinará mediante la ecuación (3- 8).

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad (3- 8)$$

ω_1 : Velocidad angular de ingreso

ω_2 : Velocidad angular de salida

i: Relación de velocidades

Teniendo en cuenta que la velocidad de ingreso a la caja reductora es de 1360 [RPM] obtenida del motor y la velocidad deseada por el usuario es de 45 [RPM], reemplazando en la ecuación (3- 8) se obtendrá lo siguiente:

$$i = \frac{1360}{45} = 30.2 \approx 30$$

En la Tabla 11 se muestra las características de la caja reductora seleccionada tomando en consideración que el acople entre motor y caja reductora deben ser de la misma estructura y en complemento.

Tabla 11

Características de la caja reductora de mezcladora

Marca	STM
ORIGEN	ITALIA BOLONIA
MODELO	RMI 50 S

RELACION DE TRANSMISIÓN	30
DIAMETRO EJE	25 [mm]
POTENCIA	0.5 [Hp]
SERIE	2100811836

Nota: Tomado de (STM Team, n.d.)

- **Engranajes**

En cuanto al diseño de los engranajes del sistema de mezclado, se llevará a cabo el procedimiento de diseño del libro de Shigley (Budynas & Keith, 2008).

- Dimensionamiento Geométrico
- Análisis de cargas y esfuerzo
- Selección de material

En el dimensionamiento geométrico se establece las dimensiones de cada parte del engrane que van a ser útiles para su construcción teniendo a continuación las principales:

- d_p : 58 [mm]
- m : 2
- z : 29 [dientes]
- d_{ext} : 62 [mm]
- B : 18 [mm]
- \emptyset : 20 [grados]

Las cargas aplicadas en los engranes se las obtiene mediante las ecuaciones (2- 7), (2- 8) y (2- 9) .

$$T_{\text{engrane}} = \frac{P_L}{\omega_{\text{rodillos}}} = 8.889 \text{ [N - m]}$$

$$F_t = \frac{2 * T_{\text{engrane}}}{\frac{dp}{1000}} = 306.513 \text{ [N]}$$

$$F_r = F_t * \tan(\phi) = 111.562 \text{ [N]}$$

En el diseño de los engranes se emplea la metodología AGMA en el cual es necesario hallar los factores fundamentales para estimar tanto los esfuerzos admisibles de flexión S_{ba} como de picadura S_{cr} mostrados a continuación.

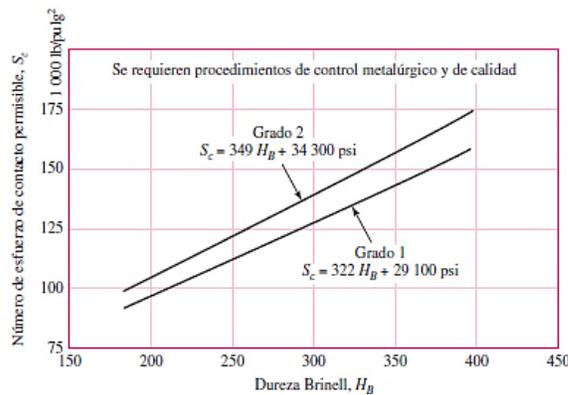
$$S_{ba} = 89.327 \text{ [Mpa]}$$

$$S_{cr} = 786.20 \text{ [Mpa]}$$

Una vez conocidos los esfuerzos conocemos la dureza Brinell del material ingresando en la Figura 24 despejando H_B , seleccionamos el material de grado 2 debido a que el material seleccionado paso por procedimientos de control químico, metalúrgico y de calidad.

Figura 24

Resistencia a la fatiga por contacto S_c a 10^7 ciclos



Nota: La figura nos muestra un gráfico y ecuación para determinar la dureza Brinell en función del número de esfuerzo necesario de contacto permisible. Tomado de (Budynas & Keith, 2008)

$$H_B = 227.86$$

En la Tabla 12 se plantea el material seleccionado en base a la dureza Brinell obtenido de la Figura 24 para posterior realizar un proceso de cementado y obtener la dureza calculada.

Tabla 12

Propiedades mecánicas del Acero AISI 8620

Material	Resistencia a la tracción Mpa	Límite de fluencia Mpa	Porcentaje de alargamiento %	Dureza Brinell HB comercial	Dureza Brinell HB Cementado
Acero AISI 8620	590	416	30	217	300

Nota: Tomado de catálogo (Proveedores de rulimanes, 2015)

Ejes de mezclado y rodamientos

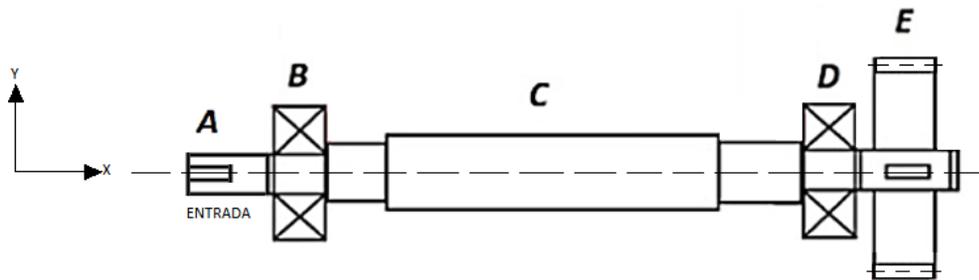
El diseño de ejes, se sigue el procedimiento del libro de Shigley (Budynas & Keith, 2008)

- Esquemático y dimensionamiento
- Análisis de cargas y esfuerzos
- Selección de material
- Selección de rodamientos

En la Figura 25 se muestra una ilustración representativa de los elementos constituyentes en el rodillo inferior y la Figura 26 se muestra el diagrama de cuerpo libre del rodillo inferior tomando en consideración las cargas aplicadas sobre el elemento mediante el cual se identifican todas las reacciones ejercidas lo largo del eje.

Figura 25

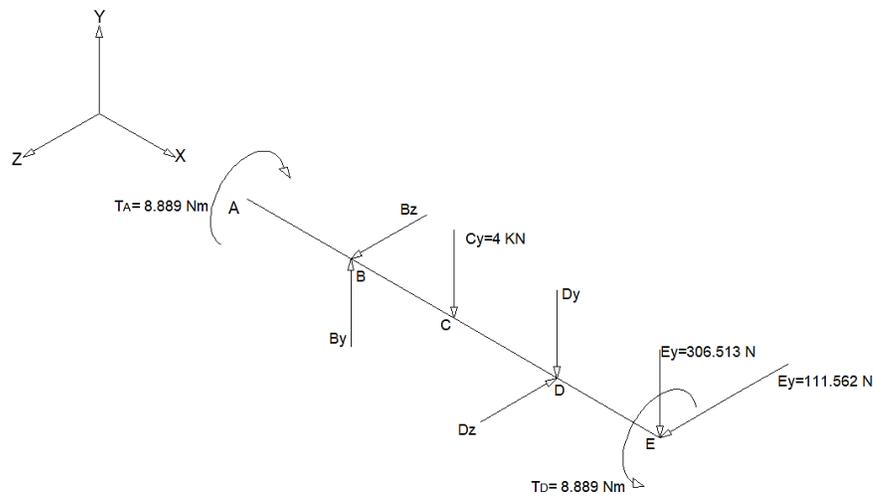
Esquema representativo del rodillo inferior mezcladora



Nota: La presente figura muestra un esquema representativo de los elementos anclados al rodillo de laminación.

Figura 26

Diagrama de cuerpo libre del rodillo inferior de laminado



Nota: La presente figura muestra el diagrama de cuerpo libre y fuerzas en función de los elementos anclados al rodillo de laminación.

Debido a que la zona más crítica es la sección C el análisis se lo realiza con el valor del momento flector en ese sector.

$$M_c = 390.464 \text{ [N - m]}$$

En la Tabla 13 se plantea el material seleccionado que es el acero de transmisión AISI 1018, el cual cumple con los requerimientos calculados y se muestran las propiedades mecánicas del material seleccionado.

Tabla 13

Propiedades mecánicas del acero de transición AISI 1018

Material	Resistencia a la tracción Mpa	Límite de fluencia Mpa	Porcentaje de alargamiento %	Dureza Brinell HB
Acero AISI 1018	410	235	20	143

Nota: Tomado de catálogo (DIPAC, 2016a)

Despejando el diámetro de la ecuación (2- 24) usando el límite de fluencia y esfuerzo a la rotura del material, se ingresan los esfuerzos alternantes y medios. En la Tabla 14 se procede a plantear el diámetro del rodillo teniendo en cuenta que debe ser un elemento comercial para su adquisición y que cumpla con los requerimientos dimensionales.

$$d = 0.046668 \text{ m} \approx 50 \text{ mm}$$

Tabla 14

Especificaciones dimensionales del rodillo

Material	Diámetro comercial mm	Longitud mm
Acero AISI 1018	50	500

Nota: Tomado de catálogo (DIPAC, 2016a)

Por otro lado, en la Tabla 15 se muestra la selección de los rodamientos se base en a las cargas en los puntos de apoyo teniendo en cuenta que se usan rodamientos de bola que poseen cargas tangenciales y radiales además del diámetro obtenido para el ingreso de los rodamientos, tomando como referencia el catálogo del fabricante NTN.

Tabla 15*Denominación de rodamientos seleccionados*

Fabricante	NTN
Denominación	BOLA NTN 6005 LLUC3 (25X47X12)

Nota: Tomado de catálogo (SKF, 2019)

Adicional, en la Tabla 16 se muestra el detalle de los anillos de retención de apoyo para los rodamientos, lo cual se los selecciona mediante el catálogo de fabricante en este caso se toma en cuenta el diámetro obtenido luego de la reducción de escalonamiento para el ingreso de los rodamientos a continuación se indica el anillo seleccionado.

Tabla 16*Denominación de anillos de retención*

Fabricante	Rotor Clip
Norma	DIN 471
Denominación	Anillo DSH - 23

Nota: Tomado de catálogo (Rotor Clip, 2005)

Diseño estructural de la prensa de vulcanizado y mezcladora

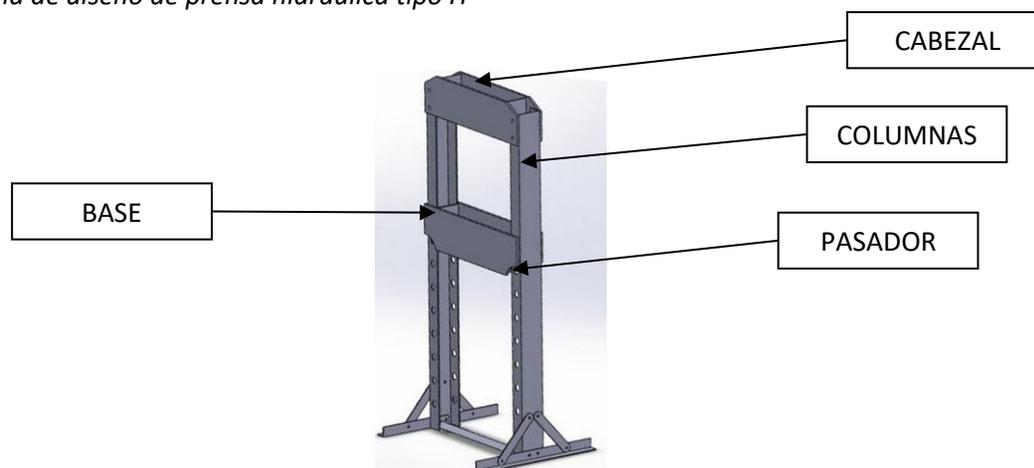
- **Prensa Hidráulica**

Para el diseño estructural de la prensa y mezcladora se llevará a cabo un Análisis de Elasticidad y tensiones empleando al elemento finito tetraédrico de deformación constante, claro que si se requiere incrementar la precisión en el análisis de tensiones se recomienda usar elementos de orden superior de 10 o 20 nodos. En base a un diseño conceptual se desarrolla el ensamble de la prensa y la mezcladora en el programa Solid Works 2019, en la Figura 27 se

muestra la forma tipo H y las partes de la prensa además de la consideración el espacio disponible en el laboratorio.

Figura 27

Esquema de diseño de prensa hidráulica tipo H



Nota: En la presente figura se muestra el diseño general de la prensa hidráulica basada en esquemas comerciales Tipo H.

La prensa hidráulica fue diseñada con respecto a los criterios y requerimientos dimensionales que se verificará la deformación y tensiones mediante simulación numérica con el uso del software ANSYS. Las columnas, cabezal y base son los elementos que deben resistir las cargas más críticas ejercidas por el cilindro hidráulico de que son 5 [Ton] aproximadamente, puesto que se tiene planteado construir en acero estructural ASTM A36, en la Tabla 17 se muestra la información se ingresará en el software para su simulación.

Tabla 17

Propiedades mecánicas Acero ASTM A36

Material	ASTM A36
Módulo elástico	2e+011

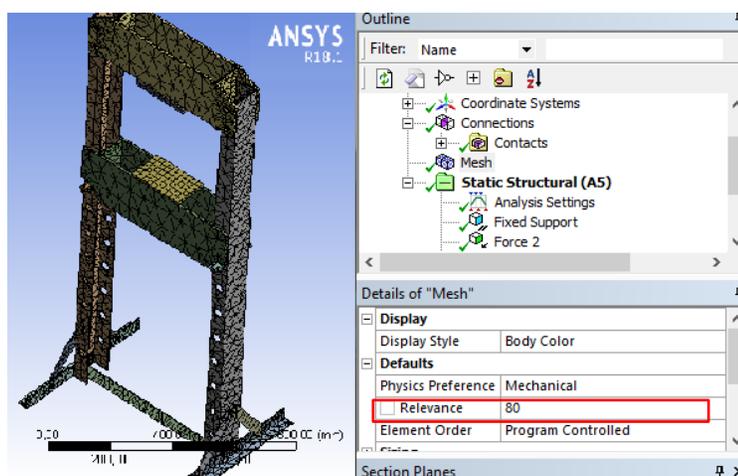
Coefficiente de Poisson	0.26
Densidad	7850
Límite de fluencia	250 [Mpa]
Resistencia a rotura	400 [Mpa]

Nota: Obtenido de Catalogo (DIPAC, 2016b)

En la Figura 28 se visualiza el mallado realizado con una relevancia de 80% el cual representa una alta sensibilidad de mallado generando una gran aproximación en la simulación, el elemento finito es tetraédrico generado por defecto del ANSYS e ingresando los valores de frontera sobre el elemento mallado.

Figura 28

Mallado de la prensa hidráulica

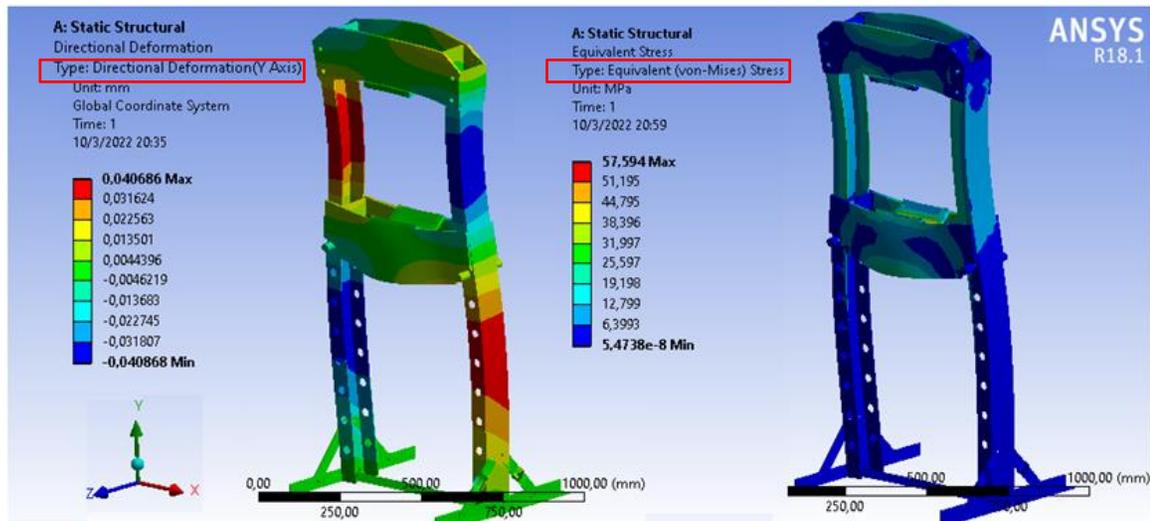


Nota: En la presente figura se muestra el mallado realizado con una relevancia de un 80% de la prensa hidráulica.

En la Figura 29 se muestra la deformación direccional y esfuerzo de Von-Mises de la prensa al aplicar una carga de 5 [Ton] generada por el cilindro hidráulico sobre la mesa móvil.

Figura 29

Análisis de deformación direccional prensa hidráulica



Nota: En la presente figura se muestra los resultados obtenidos de deformación y esfuerzo de Von-Mises que causa en la prensa a una carga de 5 [Ton].

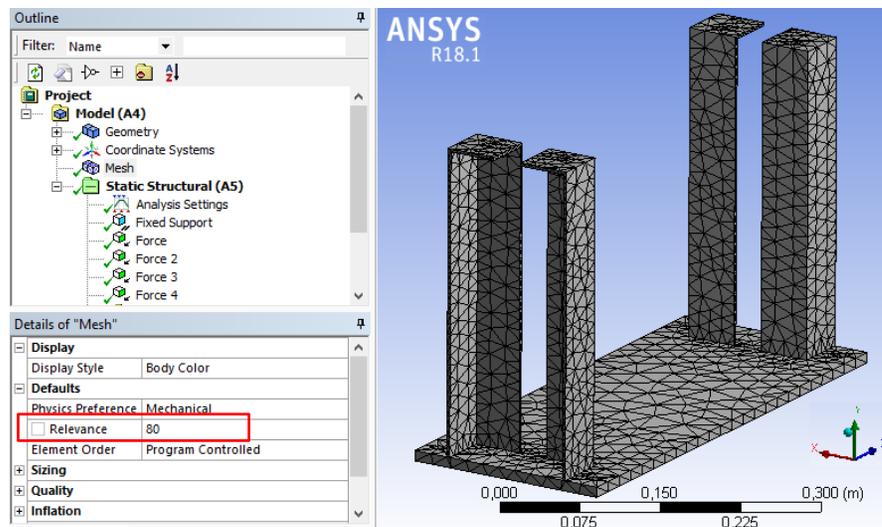
Una vez realizada la simulación evaluamos y analizamos el modelo desarrollado teniendo una deformación máxima de 0.0406 [mm] y un esfuerzo de Von-Mises máximo de 57.594 [Mpa] a la carga máxima aplicada, lo que permite evidenciar la rigidez del diseño y resiste a las cargas aplicadas sobre el mismo.

- **Mezcladora de caucho**

De igual manera para la mezcladora de caucho se realiza el mismo procedimiento realizado en la prensa hidráulica para lo cual se desarrolla el diseño conceptual mediante en el SolidWorks para su posterior simulación. En la Figura 30 se muestra el mallado se lo realizado con la misma relevancia de 80% con elemento finito tetraédrico generado por defecto del ANSYS e ingresando los valores de frontera sobre el elemento mallado.

Figura 30

Mallado de la prensa hidráulica

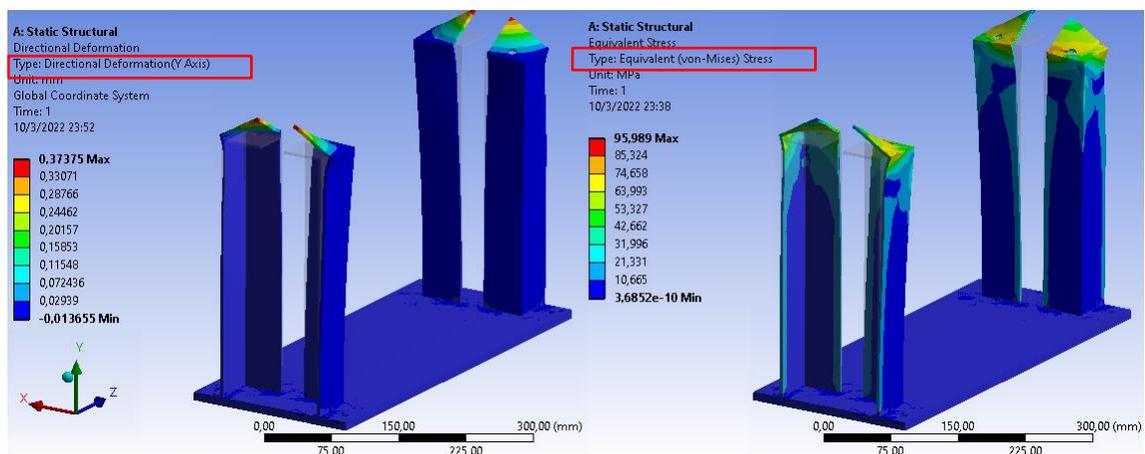


Nota: En la presente figura se muestra el mallado realizado con una relevancia de un 80% de la estructura de la mezcladora de caucho.

En la Figura 31 se visualiza el elemento deformado y esfuerzo de Von-Mises teniendo en cuenta que la carga ejercida es la del caucho directamente sobre los rodillos para lo cual se toma en cuenta el valor obtenido en la ecuación (2- 3).

Figura 31

Deformación de la estructura de mezclado



Nota: En la presente figura se muestra los resultados de deformación obtenidos al aplicar la carga del caucho sobre los rodillos.

Una vez realizado la simulación evaluamos y analizamos el modelo desarrollado teniendo una deformación de 0.3737 [mm] y un esfuerzo de Von-Mises máximo de 95.989 [Mpa] a la carga máxima aplicada, lo que permite evidenciar la rigidez del diseño y resiste a las cargas aplicadas sobre el mismo.

Diseño y selección térmica

Para la correcta selección de potencia en las niquelinas que generen el calor a lo largo de la placa calefactora se realiza el siguiente estudio de transferencia de calor. Las condiciones iniciales para el desarrollo son las siguientes.

$$T_s = 573 \text{ [K]}$$

$$T_\alpha = 293 \text{ [K]}$$

En base a la ecuación (2- 28) obtenemos el siguiente valor de temperatura.

$$T_f = 433 \text{ [K]}$$

Tomando la tabla de propiedades del aire a 1 atm de presión de (Cengel & Ghajar Afshin, 2011), obtenemos los valores en función de la temperatura media. Los datos extraídos se muestran en la Tabla 18 correspondientes a las propiedades termofísicas del aire.

Tabla 18

Propiedades termofísicas del aire

Densidad	$\rho = 0.6158 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]$
Calor Específico	$C_p = 1.044 \left[\frac{\text{KJ}}{\text{KgK}} \right]$

Viscosidad Cinemática	$\nu = 47.65 * 10^{-6} \left[\frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right]$
Conductividad Térmica	$k = 44.18 * 10^{-3} \left[\frac{\text{W}}{\text{mK}} \right]$
Difusividad Térmica	$\alpha = 68.71 * 10^{-6} \left[\frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right]$
Prandtl	$Pr = 0.6935$
Viscosidad Dinámica	$\mu = 29.34 * 10^{-6} \left[\frac{\text{kg}}{\text{ms}} \right]$

Nota: Tomado de: (Incropera & DeWitt, 1999)

Número de Rayleigh

En base a la ecuación (2- 33) se calcula:

$$Ra_L = 1.55 * 10^7$$

Longitud característica

A partir de la ecuación (2- 35) se obtiene:

$$L_c = 0.05 \text{ [m]}$$

Número de Nusselt

Usando la correlación empírica del número promedio de Nusselt para la convección natural sobre superficies utilizamos para régimen de Rayleigh tomando en cuenta la diferencia entre la placa superior e inferior usando las ecuaciones (2- 32) y (2- 33):

- Placa superior e inferior

$$Ra_L \rightarrow 10^7 - 10^{11}$$

$$Nu_{\text{superior}} = 37.4$$

$$Ra_L \rightarrow 10^5 - 10^{11}$$

$$Nu_{\text{inferior}} = 16.94$$

Determinamos el coeficiente de convección de la ecuación (2- 34) de la palca superior e inferior.

- Placa superior e inferior

$$h_{\text{superior}} = 33.047 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right]$$

$$h_{\text{inferior}} = 14.969 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right]$$

Tomando la ecuación (2- 30) determinamos la generación de calor volumétrica:

- Placa superior e inferior

$$q_{\text{superior}} = 1.851 * 10^5 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^3} \right]$$

$$q_{\text{inferior}} = 8.383 * 10^4 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^3} \right]$$

Multiplicando la generación volumétrica por el volumen de la placa calentadora obtenemos:

- Placa super e inferior

$$E_{g_{\text{superior}}} = 148.05 \text{ [W]}$$

$$E_{g_{\text{inferior}}} = 67.063 \text{ [W]}$$

Para determinar el tiempo que tardara en calentarse tomamos los valores del calor específico del acero el cual pertenece al material en el que está fabricado la placa y la masa de la placa de acero. En base a la ecuación (2- 37) y la ecuación (2- 38).

$$Q = 356.77 \text{ [Wh]}$$

$$t = 2.41 \text{ [h]}$$

Debido a que el tiempo de calentamiento un muy alto se incrementa la energía generada a 500 [W] para reducir el tiempo y acelerar el proceso brindando los mismos resultados.

$$t = 42 \text{ [min]}$$

Siendo este tiempo más adecuado para el proceso de vulcanización además de que este tiempo será para el tope máximo de temperatura el cual pocas veces se tomará ya que el valor común en vulcanización rodea lo 120 °C.

Transferencia de calor de las placas al molde

Tomando en cuenta el flujo de calor siendo este la energía generada en las placas y la conductividad térmica del acero el cual esta echo el molde.

En base a la ecuación (2- 39) obtenemos el flujo de calor por unidad de área.

$$q''_x = 15.5 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$

Despejando T2 de la ecuación (2- 40) podemos determinar la temperatura en el molde.

$$T_2 = 299.9 \text{ °C}$$

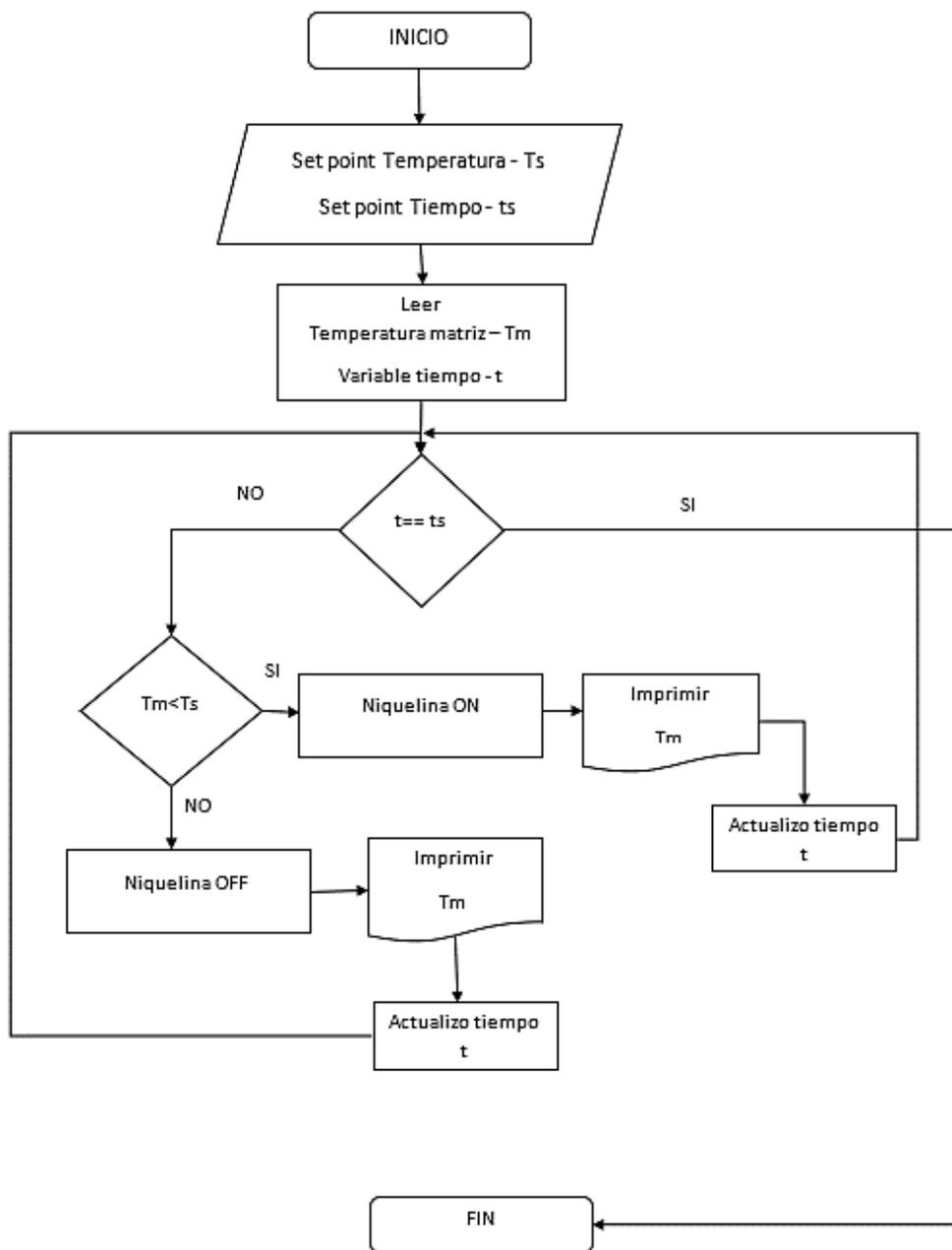
Debido a la gran conductividad térmica entre la placa y el molde el gradiente generado es menor a 1 °C por lo cual el tiempo de calentamiento final es el mismo.

Diseño y selección electrónica

Las variables que necesitan control electrónico son la temperatura y tiempo de calentamiento de las placas calefactoras, en la Figura 32 se esquematiza mediante un diagrama de flujo el algoritmo de programación desarrollado.

Figura 32

Diagrama de flujo del sistema de control



Nota: En la presente figura se presenta el diagrama de flujo que esquematiza la secuencia lógica para el control de temperatura por parte del microcontrolador.

Sistema de control de temperatura

- **Sensor**

Para poder medir la temperatura a lo largo de cara plana de la placa calefactora que transmitirá esta temperatura a la matriz de vulcanizado por conducción se utilizará como sensor de temperatura un termopar tipo K sus características del sensor se muestran en la Tabla 19.

Tabla 19

Características termopar tipo k

Temperatura mínima	-200 [°C]
Temperatura máxima	1200 [°C]
Diámetro	8 AWG
Sensibilidad	41 [μ V/°C]

Nota: Tomado de catálogo (JM Industrial, n.d.)

La conexión del sensor es directa teniendo en cuenta la polaridad positiva y negativa que tienen los terminales del termopar y se conectan en el transductor para modificar su señal.

- **Transductor**

Para modificar la señal proveniente del termopar tipo k se utilizará el módulo MAX6675. Este módulo realiza una compensación de unión fría y digitaliza la señal proveniente del sensor, los datos se emiten en una resolución de 12 bits compatible con SPI en formato solo de lectura. Las características del módulo MAX6675 se muestra en la Tabla 20.

Tabla 20*Características módulo MAX6675*

Voltaje de suministro (Vcc a GND)	-0.3 a 6 [V]
SO, SCK, CS, T (T+ a GND)	-0.3 [V] a Vcc + 0.3v
Rango de temperatura	0 a 700 [°C]
Resolución	0.25 [°C]
Corriente SO	50 [mA]
Protección ESD	±2000 [V]

Nota: Tomado de catálogo digital (Maxim Integrated, 2021)

La conexión del módulo MAX6675 necesita 3 pines digitales de la placa Arduino conectados a las salidas SCK, CS y SO del módulo además de alimentación [5V] y GND de Arduino. Para su programación es necesaria la librería max6675.h para controlar de manera directa la información suministrada por el sensor.

- **Módulo Relé 2 canales**

Para controlar las niquelinas tanto superior como inferior que generaran la energía térmica necesaria para la vulcanización es necesario manejar 110 voltios para ello se utilizará un módulo Relé de 2 canales especial para Arduino capaz de manejar cargas de hasta 250V/10A. Las especificaciones del microcontrolador se muestran en la Tabla 21.

Tabla 21*Características microcontrolador Arduino MEGA 2560*

Voltaje de Operación DC	5 [V]
Señal de Control	TTL 3.3 o 5 [V]

Corriente Máxima	10 [A] NO, 5 [A] NC
Tiempo de Acción	10 ms / 5ms
Capacidad Máxima	10[A] / 250 [VAC], 10[A] / 30[VDC]

Nota: Tomado de (SONGLE RELAY, n.d.)

La conexión del módulo relé de 2 canales emplea 2 pines digitales de la placa Arduino los cuales enviarán la información necesaria para que la bobina se excite y abra los contactos NC permitiendo el paso de la corriente 110 capaz de encender las niquelinas de las placas calentadoras. Además, se necesita conexión 5[V] y GND de la placa Arduino.

- **Presentador de señal**

Para mostrar la información de temperatura y tiempo se utilizará un LCD 16X2 el que mostrará información en tiempo real del estado de las placas calefactoras en el proceso de vulcanizado y para fines de minimizar el cableado en el circuito se utilizará el módulo I2C que necesita únicamente señal SDA y SCL. Las especificaciones tanto como del LCD y el módulo I2C se muestran en la Tabla 22 y Tabla 23 respectivamente.

Tabla 22

Especificaciones técnicas LCD 16x2

Voltaje de Operación DC	4.7 A 5.3 [V]
Corriente de Operación	1 [mA]
Modos	4 – 8 [bit]
Dimensiones	40 x 26 x 32 [mm]

Nota: Tomado de (Xiamen Amotec Display, 2008)

Tabla 23*Especificaciones técnicas módulo I2C*

Voltaje de Operación DC	5 [V]
Compatibilidad	LCD 16X2 – 20X4
Dirección I2C	0x38-0x3F
Contraste y Brillo	Ajustable por potenciómetro
Dimensiones	80x36 [mm]

Nota: Tomado de (Handson Technology, n.d.)

El LCD 16X2 y el módulo I2C necesita únicamente alimentación 5[V] y GND del Arduino además de 2 pines digitales SDA y SCL los cuales son el pin 20 y 21 establecidos en la placa Arduino Mega. Para la programación es necesario incluir la librería LiquidCrystal_I2C.h especial para programar el conjunto LCD y módulo I2, de esta manera se presentarán los valores en tiempo real de temperatura y tiempo además de generar un menú para la interfaz del usuario.

- **Teclado matricial**

Para la interacción con el usuario y poder setear los valores de temperatura y tiempo necesarios se empleará un teclado matricial 4x4 tipo membrana cuyas especificaciones se muestran en la Tabla 24.

Tabla 24*Especificaciones técnicas teclado matricial*

Voltaje Operativo DC	3.3 A 5 [V]
Corriente Máxima	30 [mA]
Tiempo de rebote	≤5 [ms]

Dimensiones	69 x 77 [mm]
Botones	16 (4 filas x 4 columnas)

Nota: Tomado de(NAYLAMP MECHATRONICS, n.d.)

La conexión del teclado matricial necesita 8 pines de la placa Arduino para realizar la comunicación cuando una de sus teclas es oprimida ya que este sistema funciona como un contacto NC enviando señal a nuestro Arduino el cual interpreta y realiza acciones en función de la programación.

- **Microcontrolador**

El acondicionador a emplear será un Arduino Mega placa basada en el microcontrolador ATmega2560, el cual cuenta con 54 pines de entradas/salidas digitales (de las cuales 15 pueden usar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 puertos UART (hardware serial ports), conexión USB, jack de alimentación y botón de reseteo. Las especificaciones del microcontrolador se muestran en la Tabla 25.

Tabla 25

Características microcontrolador Arduino MEGA 2560

Voltaje de Operación DC	5 [V]
Voltaje de entrada	6-20 [V]
Corriente de entrada DC	20 [mA]
SRAM	8[KB]
CLOCK SPEED	16[MHz]

Nota: Tomado de (ARDUINO.cl, 2020)

El Arduino recibirá información digital por parte del sensor y módulo MAX6675 conectado a su termopar, este emitirá señal de salida al módulo Relé de dos canales para activar las níquelinas calentadoras, la interfaz será por medio de un LCD 16X2 empleando el módulo I2C y un teclado matricial de membrana necesarios para la comunicación total.

Diseño del circuito eléctrico

- **Mezclado**

Para ejercer la fuerza necesaria de mover los rodillos y mezclar el caucho natural con los demás aditivos previos a la vulcanización se utilizará un motor trifásico acoplado directamente al eje inferior por una junta love-joy L-070.

Circuito de Potencia

- **Motor**

En base al valor de potencia obtenida en la ecuación (2- 6) se escogió un motor trifásico de ½ HP cuyas características se muestran en la Tabla 26.

Tabla 26

Motor trifásico del sistema de mezclado

Marca	Electro Adda
Modelo	FC71-4
Potencia	0.37 [kw] – ½ [HP]
$\Delta - \lambda$	220 – 380
$\text{Cos}\varphi$	0.68
RPM	1360

Nota. Tomado de (Electro ADDA, 2021)

- **Interruptor termomagnético**

Actúa para interrumpir la corriente eléctrica cuando esta sobrepasa ciertos límites que podría causar daños en los equipos y actuadores, en este caso protege de sobrecargas y cortocircuitos al motor trifásico. Las especificaciones del interruptor termomagnético se muestran en la Tabla 27.

Tabla 27

Interruptor termomagnético – Circuito de Potencia (Mezcladora)

Marca	CHINT
Modelo	NB1-63H
Número de Polos	3
Corriente Nominal	10 [A]
Tensión nominal ac	110/125 [V], 240/415[V], 277/480[V]
Capacidad de Ruptura a Vr Max	10 [kA]

Nota: Tomado de (CHINT, 2019a)

- **Contactador**

Dispositivo electromecánico que habilita o corta el flujo de corriente accionado a distancia por medio de pulsadores haciendo uso de sus contactos auxiliares. Las especificaciones del elemento contactador utilizado se muestran en la Tabla 28.

Tabla 28

Contactador – Circuito de Potencia (Mezcladora)

Marca	CHINT
Modelo	NC1-1210

Número de Polos	3
Tensión de la Bobina	230 [V] ac
Corriente Nominal de los Contactos	12 [A]
Potencia Nominal	5.5 [kW]
Función	Inversión

Nota: Tomado de (CHINT, 2019b)

- **Relé Térmico**

Dispositivo electromecánico utilizado para proteger motores contra sobrecargas impidiendo que este continúe funcionando bajo calentamiento anómalas.

Las especificaciones del relé térmico del circuito de potencia se muestran en la Tabla 29.

Tabla 29

Relé Térmico – Circuito de Potencia (Mezcladora)

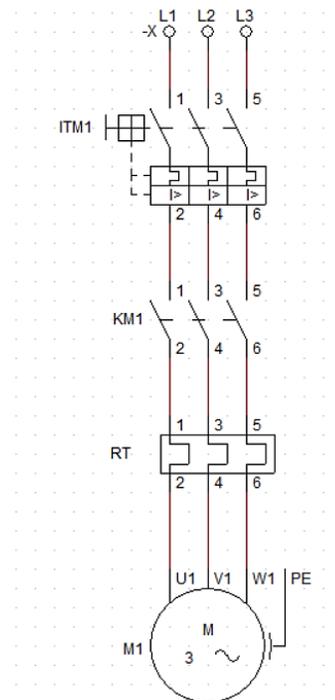
Marca	CHINT
Modelo	NR2-25
Número de Polos	3
Corriente Nominal de los Contactos	25 [A]
Corriente del Motor a Plena Carga	1 [A]
Tensión de Control	690 [V] ac

Nota: Tomado de (CHINT, 2019c)

En base a los elementos eléctricos seleccionados, el esquema del circuito de potencia de la mezcladora se muestra en la Figura 33.

Figura 33

Diagrama Unifilar de Potencia (Mezcladora)



Nota: En la presente figura se muestra el diagrama referente al circuito de potencia.

Circuito de Control

Para accionar de manera remota al encendido y apagado del motor se implementó un selector de 2 estados (ON/OFF) conectados a los contactos auxiliares NC del contactor y NA del relé térmico permitiendo encenderlo y que se detenga de manera automática al ocurrir sobrecargas o calentamiento

- **Interruptor termomagnético**

Al igual que en el circuito de potencia este elemento limita la corriente y protege de cortocircuitos el sistema, para este caso se empleó un interruptor de menor capacidad y sus especificaciones se muestran en la Tabla 30.

Tabla 30

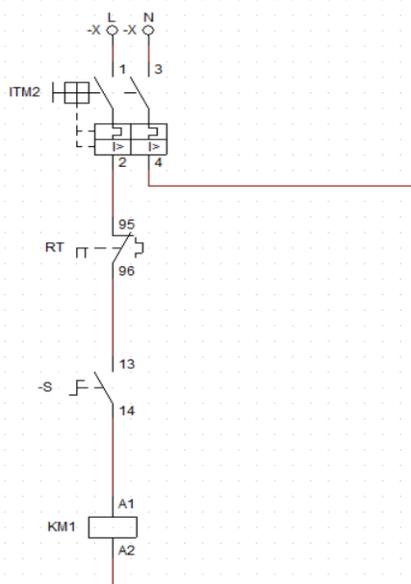
Interruptor Termomagnético – Circuito de Control (Mezcladora)

Marca	CHINT
Modelo	NB1-2-3C
Número de Polos	2
Corriente Nominal	3 [A]
Características de Disparo	Tipo C
Capacidad de Ruptura a Vr Max	6 [kA]

Nota: Tomado de (CHINT, 2019a)

Teniendo en cuenta los elementos eléctricos seleccionados, el esquema del circuito de potencia de la mezcladora se muestra en la Figura 34.

Figura 34

Diagrama unifilar circuito de control (Mezcladora)

Nota: En la presente figura se muestra el diagrama referente al circuito de control.

Prensa Hidráulica

Para transformar la energía eléctrica en energía hidráulica se acoplará el motor a la bomba de paletas capaz de alimentar todo el circuito y accionar el mismo en base a los requerimientos necesarios de presión.

Circuito de Potencia

- **Motor**

En base al valor de potencia obtenida en la (3- 5) se escogió un motor monofásico de 3 HP cuyas características se muestran en la Tabla 31.

Tabla 31

Motor monofásico (Prensa Hidráulica)

Marca	AO SMITH
Origen	Estados Unidos
Potencia	3 HP
Frecuencia	60 [Hz]
Revoluciones	3450 [rpm]
Voltaje	208-230 [V]
Modelo	Y56J

Nota: Tomado de (Grainer, n.d.)

- **Interruptor termomagnético**

De igual manera que en el sistema de mezclado se utiliza como protección principal este elemento con la diferencia del número de polos debido a que el sistema ya no es trifásico. Las características del interruptor termomagnético de 2 polos se muestran en la Tabla 32.

Tabla 32

Interruptor termomagnético – Circuito de Potencia (Prensa Hidráulica)

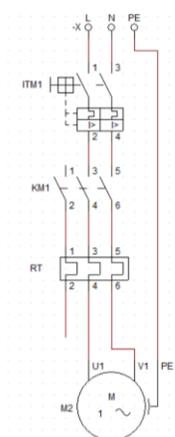
Marca	CNC
Modelo	YCL 7-63
Número de Polos	2
Corriente Nominal	10 [A]
Tensión nominal ac	110/125 [V], 240/415[V], 277/480[V]
Capacidad de Ruptura a Vr Max	2 [kA]

Nota: Tomado de (CNC, n.d.)

Los elementos electromecánicos como contactor y relé térmico son de iguales características al sistema de mezclado y las características correspondientes se encuentran en la Tabla 28 y Tabla 29 que en conjunto accionan y protegen al motor una vez este entra en funcionamiento. El circuito de potencia del sistema hidráulico se muestra en la Figura 35.

Figura 35

Diagrama unifilar circuito de potencia (Prensa Hidráulica)



Nota: En la figura se presenta el diagrama relacionado con el circuito de potencia de la prensa hidráulica.

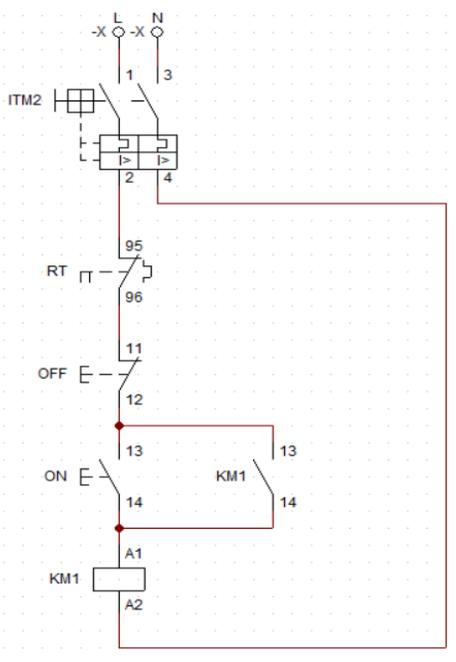
Circuito de Control

De manera similar el encendido de manera remota el motor de la prensa hidráulica se realizará por medio de 2 pulsadores uno verde NA (ON) y el otro rojo NC (OFF) conectados a los contactos del contactor y relé térmico permite el enclavamiento de la bobina y el encendido continuo del motor hasta detenerlo con el pulsador rojo o por efectos de sobrecargas o calentamientos no deseados.

En la Figura 36 se muestra el uso de un interruptor termomagnético de 2 polos similar al utilizado en el diagrama unifilar del sistema de mezclado que servirá como protección.

Figura 36

Diagrama unifilar circuito de control (Prensa Hidráulica)



Nota: En la presente figura se muestra el diagrama del circuito de prensa hidráulica.

Capítulo 4

Construcción del equipo

A continuación, en la Tabla 33 se enlista las diferentes herramientas y equipos utilizados para la construcción.

Tabla 33

Listado general de materiales

Materiales para la construcción del equipo de vulcanizado
Perfil de acero estructural ASTM A36 L 50x50x3
Plancha de acero estructural ASTM A36 200x474x12
Plancha de acero estructural ASTM A36 126x251x20
Eje de Acero SAE 1018 de transmisión 1000x50Ø
Eje de Acero AISI 8620 40x63Ø
Varilla de acero SAE 1010 cuadrada de 9x9x12
Canal U de Acero ASTM A36 100X60X4
Ángulo de Acero ASTM A36 40X40X4
Placa de Acero ASTM A36 1250X350X10
Placa de Acero ASTM A36 1250X350X10
Placa de Acero ASTM A36 1000X200X10
Plancha de acero estructural ASTM A36 1200X1600X2
Plancha de aluminio 460X460X10
Tubo de acero estructural ASTM A36 88X73 Ø
Plancha de acero estructural ASTM A36 250x235x7
Placa de Acero SAE 1045 200x500x15
Placa de Acero SAE 1045 200x500x10
Placa de Acero AISI H11 200x350x20 (matriz)

Nota: Dimensiones en milímetros.

Construcción del sistema de mezclado

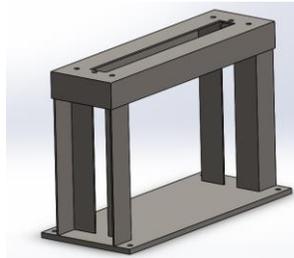
Las partes constituyentes de la mezcladora se dividen en: base, marco estructural, rodillos, chumaceras, engranes de transmisión y chavetas los cuales para su manufactura se empleó un formato de procedimientos (hoja de procesos) adjuntos en el Anexo B y planos adjuntos en el Anexo C.

Placa base de mezcladora y marco estructural

En la Figura 37 se muestra el esquema entre la placa base y el marco estructural que conforman la bancada de la mezcladora para lo cual se realizó el proceso de soldadura SMAW para la unión del perfil L de acero estructural ASTM A36 50x50x3 y la plancha de acero estructural ASTM A36 200x474x12, además de perforaciones para el acople de la bancada a la mesa de trabajo. Se indica el diagrama de flujo del proceso en el Anexo D-2.

Figura 37

Esquema de placa base de mezcladora y marco estructural



Nota: En la presente figura se muestra el diseño en Solid Works del esquema de placa base de mezcladora y marco estructural.

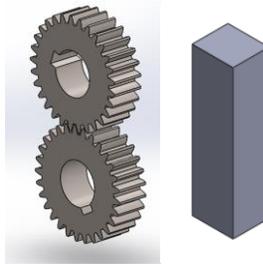
Engranes y Chavetas

En la Figura 38 se muestra una representación de los engranes fueron manufacturados mediante el proceso de fresado en un eje de Acero AISI 8620 40x63Ø, posteriormente se realizó

un proceso de cementado para el incremento de su dureza al valor mostrado en el diseño de engranes. Para las chavetas se usó la varilla cuadrada de acero SAE 1010 de 9x9x12 y se manufacturó de igual manera por fresado. El diagrama de flujo del proceso en el Anexo D-3.

Figura 38

Esquema de engranes y chavetas



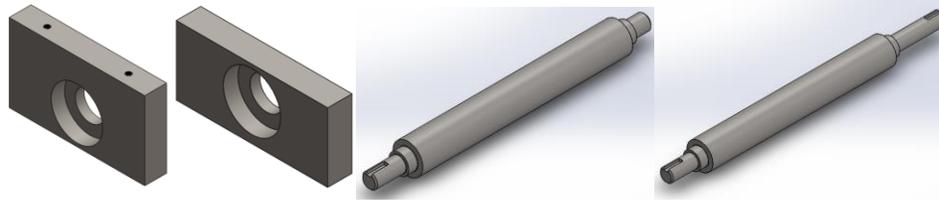
Nota: En la presente figura se muestra el esquema en Solidworks referente a los engranes y chavetas.

Rodillos y chumaceras

En la Figura 39 se muestra un esquema tanto de las chumaceras como de los rodillos con respecto a los rodillos de Acero SAE 1018 de transmisión 1000x50 \emptyset , se realizaron un cilindrado escalonado en el eje hasta un diámetro de 25mm para el acople de rodamientos, engranes y anillos de retención además de un fresado para la cavidad de la chaveta en cada extremo de los rodillos. Por otra parte, los cubos de soporte fueron manufacturadas en la plancha de acero estructural ASTM A36 126x251x20, constan de un orificio circular tipo grada para el alojamiento del rodamiento. Se indica el diagrama de flujo del proceso en el Anexo D-4.

Figura 39

Esquema de rodillos y chumaceras



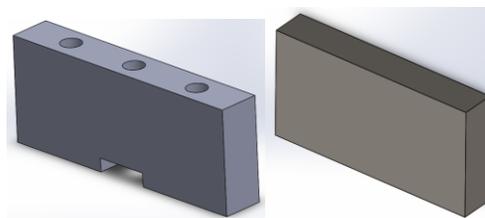
Nota: En la presente figura se muestra el esquema en SolidWorks referente a rodillos y chumaceras.

Pieza de Elevación y Alza de chumacera

En la Figura 40 se visualiza la esquematización de la pieza de elevación de los rodillos así como también el alza de los mismos los cuales son manufacturados usando la plancha de acero estructural ASTM A36 126x251x20, los cuales fueron cortados por plasma para el posterior aplanado de todas sus caras mediante fresado, así como también 3 perforaciones pasantes en una de las caras. Se indica el diagrama de flujo del proceso en el Anexo D-5.

Figura 40

Esquema pieza de elevación y alza de chumacera



Nota: En la presente figura se muestra el esquema en SolidWorks referente a la pieza de elevación y alza de chumacera.

Construcción de la estructura de la prensa hidráulica

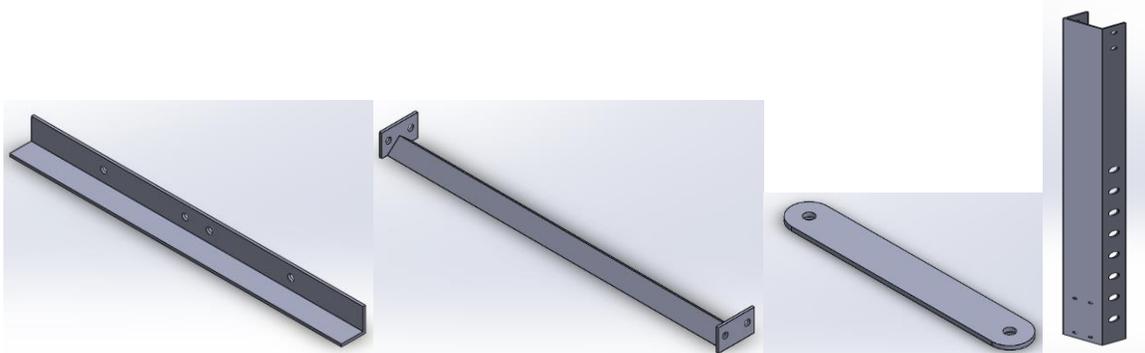
Para la construcción de la prensa se tomó una disposición tipo H dividiendo la construcción en dos partes:

Bases y Parantes

La Figura 41 muestra una representación de las bases y parantes de la prensa hidráulica, las bases constan de dos ángulos de acero ASTM A36 40X40X4 empernado a los canales U acero ASTM A36 100x60x4 formando los parantes laterales de la prensa, además de un larguero en el base formado por un ángulo de iguales dimensiones soldado dos placas de acero ASTM A36 65X40 en los extremos empernado entre los parantes y por último 4 tensores formado por placas de acero ASTM A36 220x26 que brindan rigidez y estabilidad al equipo en conjunto. Se indica el diagrama de flujo del proceso en el Anexo D-6.

Figura 41

Esquema de bases y parantes de la prensa hidráulica



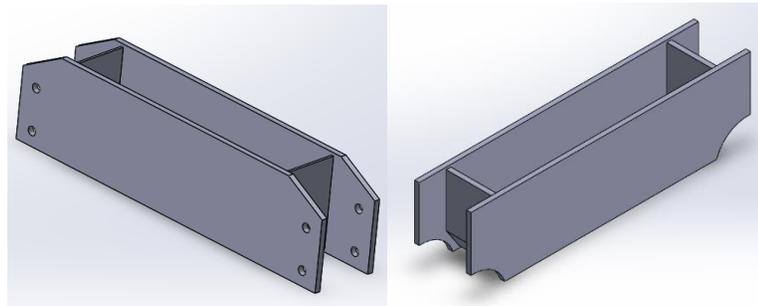
Nota: En la presente figura que se muestra el esquema en SolidWorks referente a bases y parantes.

Mesa de trabajo y Viga superior

La Mesa de Trabajo y la viga superior se encuentran esquematizadas en la Figura 42, la mesa de trabajo consta en base al corte y soldado de una placa de acero ASTM A36 1250X350X10 con una geometría capaz de soportar la carga aplicada al igual que acomodarse y cualquier punto de altura que se requiera por otro lado la viga superior de una placa de acero ASTM A36 de 1000x200x10 con geometría y construcción similar tomando como extra perforaciones que por pernos se acoplará al parante y será el soporte principal del pistón hidráulico. Se indica el diagrama de flujo del proceso en el Anexo D-7.

Figura 42

Esquema mesa de trabajo y viga superior



Nota: En la figura se presenta el esquema en SolidWorks respecto a la mesa de trabajo y viga superior.

Construcción del sistema hidráulico

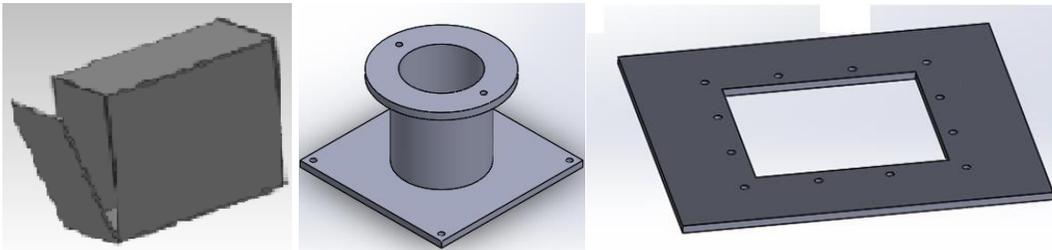
Reservorio de Aceite Hidráulico, Acople y Base Soporte

El tanque de almacenamiento de aceite es construido mediante el uso de la plancha de acero estructural ASTM A36 1200x1600x2, a través de doblado y soldadura SMAW. Por otra parte, el acople entre motor y bomba hidráulica se construyó mediante el uso de la plancha de

acero estructural ASTM A36 250x235x7 y el tubo de acero estructural ASTM A36 88X73Ø teniendo como base soporte de esta unión la plancha de aluminio 460x460x10. Un esquematizado del reservorio, acople y base soporte se muestra en la Figura 43. Se indica el diagrama de flujo del proceso en el Anexo D-8.

Figura 43

Reservorio de Aceite Hidráulico, Acople y Base Soporte



Nota: En la presente figura se presenta el reservorio de aceite hidráulico, acople y base soporte

Construcción del sistema térmico

La construcción del sistema térmico se divide en dos placas calefactoras y matriz de vulcanización:

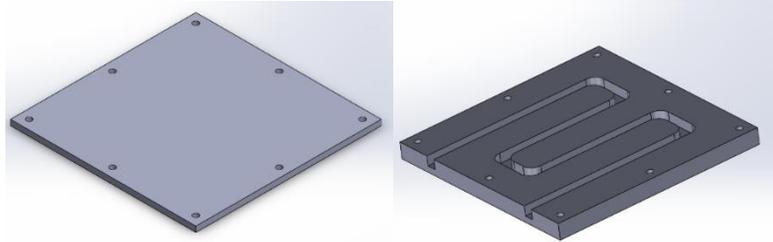
Placas calefactoras

En base al diseño térmico se decidió maquinar una placa de acero AISI H11 con cavidad tipo M tal como se muestra en la Figura 44 de 9mm que aloja una resistencia eléctrica la misma que cierra y presiona a otra placa plana de acero formando un sándwich entre ellas siendo aseguradas por 6 pernos hexagonales número 6.

El proceso de construcción se detalla en las hojas de proceso Anexo B-19 y B-20 al igual que los planos detallados. Se indica el diagrama de flujo del proceso en el Anexo D-9.

Figura 44

Esquema placas calefactoras



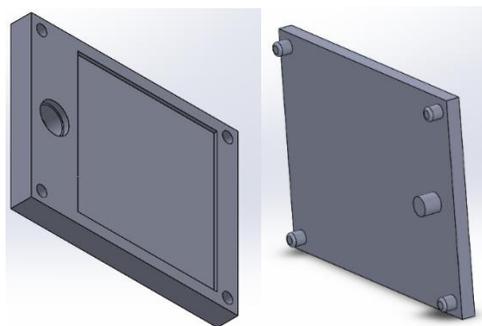
Nota: En la presente figura se muestra el esquema en SolidWorks referente al esquema de placas calefactoras.

Matriz de Vulcanización

El molde de acero AISI H11 visualizado en la Figura 45 con dimensiones 200X150X20 consta de 2 cavidades con el propósito de generar un cuadrado de caucho vulcanizado de 135X135X3 brindando la posibilidad de obtener cuatro probetas para su prueba de tracción y otra cavidad cilíndrica tipo bushing que es el objetivo principal del trabajo. Se indica el diagrama de flujo del proceso en el Anexo D-10.

Figura 45

Esquema matriz de vulcanización



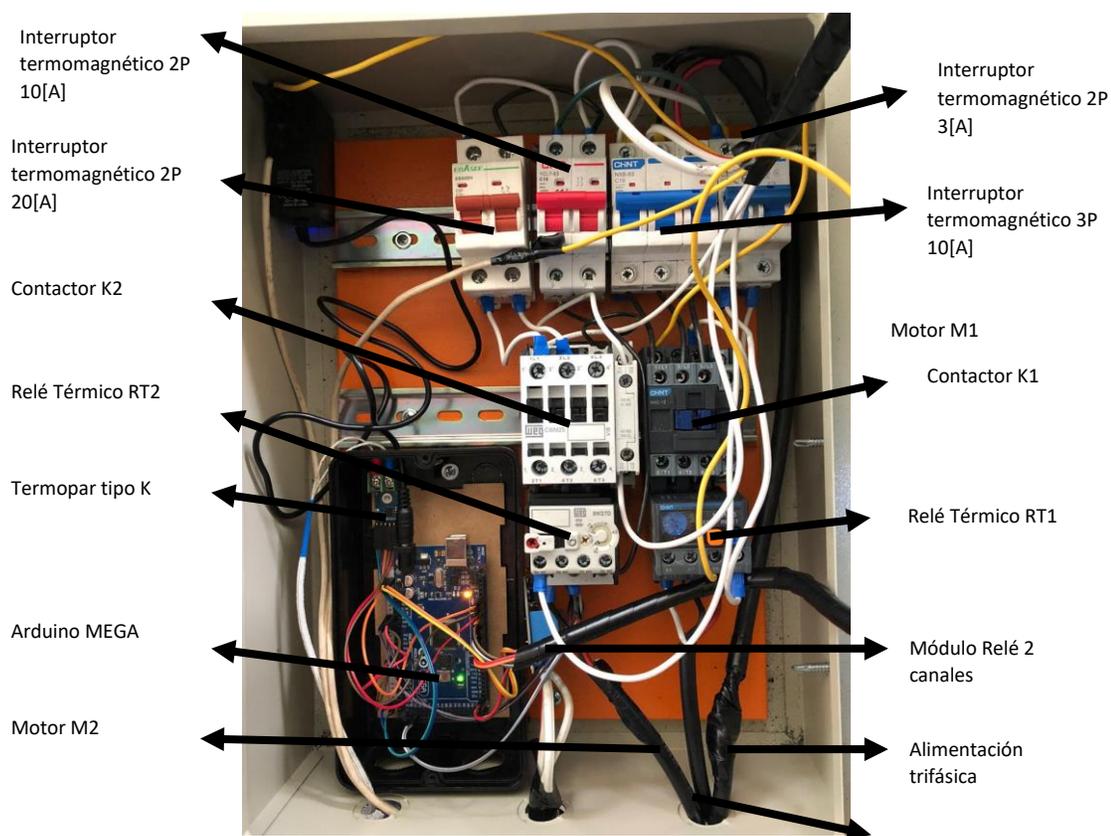
Nota: En la presente figura se muestra el esquema en SolidWorks referente a la matriz de vulcanización.

Montaje del sistema eléctrico y de control general del equipo

En la Figura 46 se muestra un esquematizado de la distribución de los elementos eléctricos y electrónicos dentro del gabinete, la Figura 47 de igual manera muestra la distribución de los elementos de control situados en la tapa del gabinete y finalmente en la Figura 48 se indica la distribución de los pulsadores, selectores y HMI del tablero de control.

Figura 46

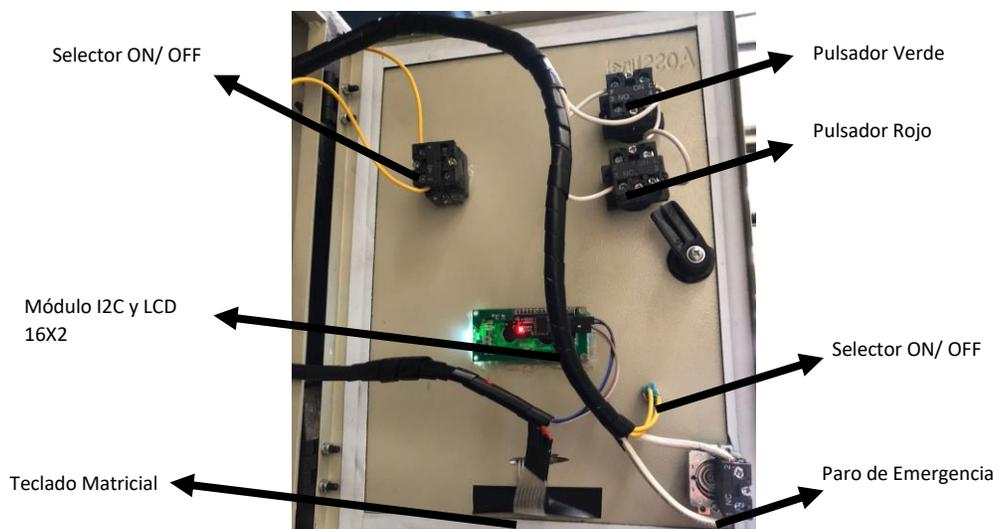
Esquema y distribución de elementos en el tablero de control



Nota: En la presente figura se muestra el esquema y distribución de los elementos que conforman el Sistema de Control y Potencia.

Figura 47

Esquema y distribución de elementos en la tapa del tablero



Nota: En la presente figura se muestra el esquema y distribución de los elementos que conforman el Sistema de Control.

Figura 48

Distribución de pulsadores, selectores y HMI del tablero de control



Nota: En la presente figura se muestra cómo se montó y distribuyó los componentes de protección como control en el gabinete.

Análisis Financiero

- **Costos directos**

Para obtener el costo directo implicado en la construcción y montaje del equipo la Tabla 34 muestra los gastos de la materia prima como componentes individuales que conforman el equipo de vulcanización.

Tabla 34

Costos directos en la construcción del equipo

Denominación	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Materia prima y componentes mezcladora			
Perfil de acero estructural ASTM A36 (50x50x3) [mm], longitud 3[m]	1	10	10
Placa de acero estructural ASTM A36 (200x474x12) [mm]	1	10	10
Placa de acero estructural ASTM A36 (126x251x20) [mm]	1	12	12
Eje de acero 1018 de transmisión (1000x50Ø) [mm]	1	33.04	33.04
Eje de acero 7210 (40x63Ø) [mm]	1	15	15
Varilla de acero 1010 cuadrada de (9x9x12) [mm]	1	0.6	0.6
Rodamientos NTN (28X47X12) [mm]	4	7.17	30.68
Anillos de retención	4	0.25	1
Pernos 5/16 [in], longitud 1 ½ [in]	12	0.32	3.84
Pernos 10 [mm], longitud 25[mm]	4	0.18	0.72
Rodajas 5/16 [in]	12	0.04	0.48
Rodajas 10 [mm]	4	0.04	0.16
Tuercas 5/16 [in]	12	0.02	0.24
Tuercas 10 [mm]	4	0.02	0.08

Denominación	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Materia prima y componentes mezcladora			
Lovejoy L075	1	40	40
Varilla roscada (300x11Ø) [mm]	2	0.5	1
Tubo rectangular (40X20X3) [mm], longitud 1[m]	1	5	5
Materia prima y componentes prensa de vulcanizado			
Canal U de acero estructural A36 (100X60X4) [mm], longitud 3[m]	1	56	112
Ángulo de acero estructural A36 (40X40X4) [mm], longitud 3[m]	1	10	10
Placa de acero estructural A36 (1250X350X10) [mm]	2	48	96
Placa de acero estructural A36 (1000X200X10) [mm]	2	41	82
Plancha de acero estructural A36 (1200X1600X2) [mm]	1	75	75
Plancha de aluminio (460X460X10) [mm]	1	20	20
Tubo de acero estructural ASTM A36 (88X73 Ø) [mm]	1	7	7
Placa de acero estructural ASTM A36 (250x235x7) [mm]	1	12	12
Placa de acero W300 (200x500x15) [mm]	2	27.5	55
Placa de acero W300 (200x500x10) [mm]	2	27.5	55
Placa de Acero W300 (200x350x20) [mm]	2	35	70
Cilindro Acero 1018 (150X27 Ø) [mm]	1	12	12
Cilindro de simple efecto retorno muelle	1	250	250
Bomba hidráulica 2G	1	210	210
Válvula manual 3/4	1	133	133
Manómetro de glicerina	1	18	18
Válvula de 2 vías	1	52	52

Denominación	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Materia prima y componentes prensa de vulcanizado			
Válvula check	1	20	20
Neplos	18	4	72
Mangueras ½ [in], longitud 7[m]	1	9	63
Aceite hidráulico ISO 68 4 [Galones]	1	12.5	50
Resortes	2	10	20
Componentes eléctricos y electrónicos			
Motor reductor trifásico ½ HP	1	120	120
Motor monofásico 3 HP	1	240	240
Interruptor termomagnético 3P-10[A]	1	7.65	7.65
Interruptor termomagnético 2P-10[A]	3	6.50	19.5
Contactador 220[V] 12[A]	2	14	28
Relé térmico 4[A]	2	13.4	26.8
Pulsador Verde NA	1	2.80	2.80
Pulsador Rojo NC	1	2.80	2.80
Selector dos estados	1	2.50	2.50
Pulsador mecánico NC	1	2.70	2.70
Cable flexible 18	1	0.25	0.75
Cable flexible 14	1	0.50	1.50
Cable concéntrico 3X16	1	1.35	9.45
Interruptor trifásico	1	8.50	8.50
Terminales	30	0.05	1.50

Denominación	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Componentes eléctricos y electrónicos			
Arduino Mega	1	20	20
Módulo Max6675	1	7	7
Termopar tipo K 2[m]	1	5.50	5.50
Teclado matricial membrana 4X4	1	2.77	2.77
Módulo Relé 2 canales	1	4.91	4.91
LCD 16X2	1	3.75	3.75
Módulo I2C	1	4.02	4.02
Fuente 12[V]	1	5	5
Cables de conexión Arduino	30	0.15	4.50
Gabinete	1	34.60	34.60
Resistencias eléctricas 110[V] / 500[W]	2	18	36
Total			2260.34

Nota: Precios cotizados directo en almacén.

- **Costos Indirectos**

En esta sección se detallan los costos relacionados con la mano de obra en función al tiempo de trabajo, servicios externos, trabajo realizado en los laboratorios de la Universidad. Para determinar el costo de uso de laboratorio nos vamos a basar en el costo consumo de energía eléctrica de laboratorios utilizados en el desarrollo, construcción, ensamblaje y pruebas finales de proyecto en general, la Tabla 35 indica el costo hora en función a los Watts y Kw/H totales en un mes de desarrollo y trabajo en condiciones normales.

Tabla 35

Costo consumo de energía eléctrica de los laboratorios de Ciencias de la Energía y Mecánica

Ubicación	Total Watts	Kw/H	Total, Mes Kw/H	Costo Mensual	Costo semestral	Costo Hora
Laboratorio de Procesos de Manufactura	6528	6.528	783.36	\$113.87	\$683.21	\$0.95
Laboratorio de Ciencia de Materiales	2816	2.816	337.92	\$49.12	\$294.72	\$0.41
Laboratorio de Mecánica de Materiales	2720	2.72	326.40	\$47.45	\$284.67	\$0.40

Nota: Tomado de (Acosta & Llerena, 2021)

La Tabla 36 muestra de manera separada los costos indirectos que intervienen en el área de mezclado como vulcanizado incluyendo la mano de obra de dos trabajadores invirtiendo un total de 56 y 64 horas respectivamente con un pago de 10 [USD] la hora, al igual que el costo del asesoramiento semanal por parte del tutor de tesis con un pago de 16[USD] la hora.

Tabla 36

Costos indirectos en la construcción del equipo

Área de mezclado			
Descripción	Número de días	Costo por día	Total
Mano de obra	7	80	560
Asesor	5	32	160
Cementado engranes	1	6.50	6.50
Cilindrado interno love-joy	1	15	15
Mecanizado cavidad rodamientos	1	30	30
Laboratorio de Procesos de Manufactura	7	7.60	53.2

Área prensa de vulcanizado

Descripción	Número de días	Costo por día	Total
Mano de obra	8	80	640
Asesor	5	32	160
Mecanizado estructura	4	25	100
Fabricación reservorio de aceite	1	20	20
Mecanizado palcas calefactoras	3	20	60
Mecanizado matriz de vulcanización	3	20	60
Laboratorio de Ciencia de Materiales	10	3.28	32.80
OTROS			
Descripción	Número de días	Costo por día	Total
Laboratorio de Mecánica de Materiales	2	3.20	6.40
TOTAL			1897.40

Nota: La presente tabla muestra los valores de costos indirectos del equipo.

Costo total

Para determinar el costo total se suman tanto los costos directos como indirectos presentes en el desarrollo del proyecto.

$$C_T = C_D + C_I = 2260.34 + 1897.40$$

$$C_T = 4157.74 \text{ [USD]}$$

Capítulo 5

Caracterización y ensayo de tracción

Caracterización para la mezcla de caucho

Para la composición química del caucho natural y los dos tipos de caucho se tomaron en cuenta mezclas estándar en base a 1 kg de preparación donde los compuestos se dividen en acelerantes y vulcanizantes. Las siguientes tablas muestra la composición unitaria para los tres tipos de cauchos a estudiar

Natural

La formulación para la mezcla de caucho natural mostrada a continuación en la Tabla 37 es la más utilizada en repuestos automotrices tales como cojinetes, mangueras de radiadores, etc.

Tabla 37

Formulación para la obtención de la mezcla de Caucho Natural

Compuesto	PHR	Cantidad [Kg]
Caucho natural	100	0.3
Caolín	150	0.4
Negro Humo	20	0.1
Aceite Parafínico	50	0.1
Oxido de Zinc	5	0.015
Ácido Esteárico	1	0.003
6PPD	1	0.003
WB-16	1	0.003
Parafina	2	0.006

Compuesto	PHR	Cantidad [Kg]
Colofonia	2	0.006
Azufre	1.5	0.004
MBTS	1	0.003
TMTD	0.5	0.001
TOTAL	335	1

Nota: La presente tabla muestra valores de los componentes de partes por cien de resina y kg.

SBR + NITRILO

La formulación de Caucho estireno-butadieno + Nitrilo mostrada a continuación en la Tabla 38 viene a ser la mezcla más utilizada en la industrial para la fabricación de elementos a exposición de exteriores y transporte de combustible.

Tabla 38

Formulación para la obtención de la mezcla de caucho entre SBR + NITRILO

Compuesto	PHR	Cantidad [Kg]
Caucho SBR	70	0.3
Caucho Nitrilo	30	0.1
Caolín	90	0.3
Negro Humo	30	0.1
Aceite DOP	30	0.1
Oxido de Zinc	3.5	0.013
Ácido Esteárico	1.2	0.005
6PPD	1	0.004

Compuesto	PHR	Cantidad [Kg]
Colofonia	2	0.008
WB-16	2	0.008
Azufre	2.5	0.009
MBTS	1	0.004
TMTD	0.6	0.002
TOTAL	263.8	1

Nota: La presente tabla muestra valores de los componentes de partes por cien de resina y kg.

EPMD

La formulación de caucho de etileno-propileno-dieno indicada a continuación en la Tabla 39 se caracteriza por su resistencia a las altas temperaturas en el transporte de aire caliente.

Tabla 39

Formulación para la obtención de la mezcla de Caucho EPMD

Compuesto	PHR	Cantidad [Kg]
Caucho EPMD	100	0.3
Caolín	80	0.3
Negro Humo	50	0.2
Aceite Parafínico	50	0.2
Oxido de Zinc	5	0.017
Ácido Esteárico	1	0.003
6PPD	1	0.003
Parafina	3	0.010

Compuesto	PHR	Cantidad [Kg]
Colofonia	2	0.007
Azufre	1.5	0.005
MBTS	2	0.007
TMTD	0.8	0.003
TMTM	0.8	0.003
TOTAL	297.1	1

Nota: La presente tabla muestra valores de los componentes de partes por cien de resina y kg.

Con las mezclas listas, en la Tabla 40 se muestran los parámetros que serán sujetos a cambios aquellos que son los manipulables en el equipo construido el cual nos brindará diferentes características mecánicas en el caucho vulcanizado obtenido.

Tabla 40

Parámetros de vulcanización

TIPO	Tiempo [min]	Temperatura [°C]	Presión [psi]
Natural A	15	90	1500
Natural B	20	120	2000
Natural C	22	160	2000
Natural D	25	200	2500
Natural Comercial	20	120	2000
EPDM	22	160	2500
SDR + NITRILO	22	160	2500

Nota: Natural A, B, C, D, corresponden a la misma mezcla, pero a parámetros diferentes.

Preparación del ensayo

La norma ASTM D412 “Método estándar de prueba a tensión para caucho vulcanizado”, establece parámetros necesarios previos a realizar el ensayo que se muestran a continuación

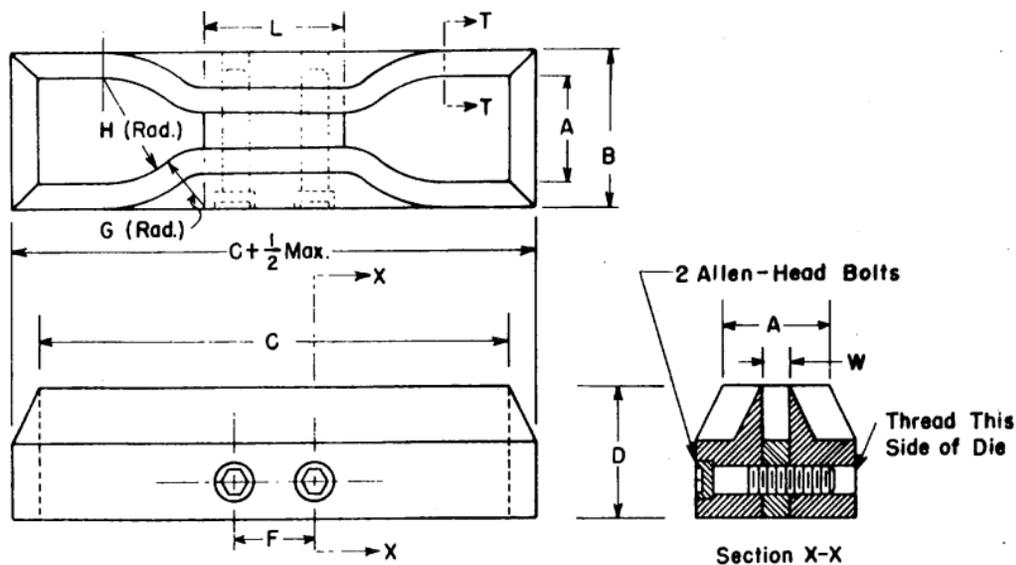
Probetas

Dimensiones

En la sección 4.1 de la norma ASTM D412 se establecen las dimensiones geométricas y tolerancias que debe contar la probeta de caucho vulcanizado siendo parámetro fundamental el espesor que debe estar entre 1.5 ± 0.08 a 3 ± 0.08 mm, las longitudes se obtienen en base al esquema del troquel y tipo del mismo el cual se selecciona a partir el tamaño de la muestra de caucho vulcanizado como se observa en la Figura 49.

Figura 49

Dimensiones generales troquel



Nota: En la presente figura se muestra el esquema general del troquel para obtener la probeta a ensayar. Tomado de (Society for Testing, n.d.)

En función de las dimensiones de la cavidad de la matriz de vulcanización se obtuvo una lámina de 135X135X3 con la observación de presentar mucha porosidad en los extremos por ello se obtuvieron 3 probetas finales tomando las dimensiones del troquel tipo A como muestra la Figura 50.

Figura 50

Dimensiones de diferentes tipos de troqueles

Dimensions of Standard Dumbbell Dies ^a								
Dimension	Units	Tolerance	Die A	Die B	Die C	Die D	Die E	Die F
A	mm	±1	25	25	25	16	16	16
	in.	±0.04	1	1	1	0.62	0.62	0.62
B	mm	max	40	40	40	30	30	30
	in.	max	1.6	1.6	1.6	1.2	1.2	1.2
C	mm	min	140	140	115	100	125	125
	in.	min	5.5	5.5	4.5	4	5	5
D	mm	±6 ^b	32	32	32	32	32	32
	in.	±0.25 ^b	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
D-E	mm	±1	13	13	13	13	13	13
	in.	±0.04	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
F	mm	±2	38	38	19	38	38	38
	in.	±0.08	1.5	1.5	0.75	0.75	1.5	1.5
G	mm	±1	14	14	14	14	14	14
	in.	±0.04	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56
H	mm	±2	25	25	25	16	16	16
	in.	±0.08	1	1	1	0.63	0.63	0.63
L	mm	±2	59	59	33	59	59	59
	in.	±0.08	2.32	2.32	1.31	1.31	2.32	2.32
W	mm	+0.05, -0.00	12	6	6	3	3	6
	in.	+0.002, -0.000	0.500	0.250	0.250	0.125	0.125	0.250

^a Dies whose dimensions are expressed in metric units are not exactly the same as dies whose dimensions are expressed in U.S. customary units. However, equivalent results may be expected from either die. Dies dimensioned in metric units are intended for use with apparatus calibrated in metric units.

^b For dies used in clicking machines it is preferable that this tolerance be ±0.5 mm or ±0.02 in.

Nota: En la presente figura se muestra las dimensiones correspondientes a cada tipo de troquel en función del tamaño del material a cortar. Tomado de (Society for Testing, n.d.)

Marcas

Las probetas se deben marcar en la zona con reducción de área de manera paralela a la superficie plana donde se observará el ensayo de tracción, la distancia entre el centro de la probeta y marca puede ir desde 20.00±0.08 mm a 25.00±0.08 mm tomando en cuenta la selección del troquel. La información de marcas se muestra en la sección 3.2 de la norma.

En la Tabla 41 se plantea que los parámetros establecidos en la Tabla 40 para el caucho Natural A no produjo vulcanización cuyo estado final se muestra en la Figura 51.

Tabla 41

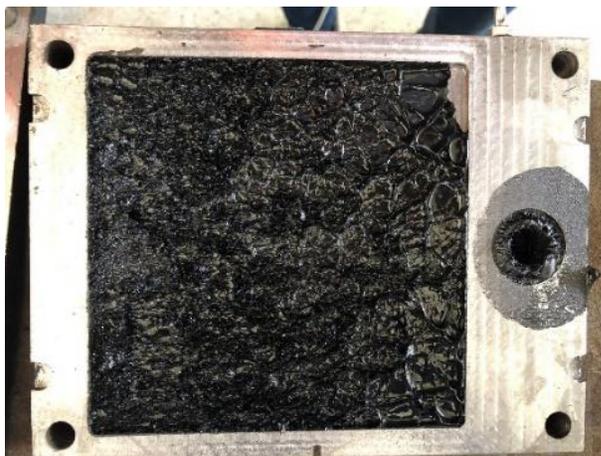
Marcas en las probetas de parámetros de vulcanización Caucho Natural A

MARCAS EN LAS PROBETAS DE PARÁMETROS DE VULCANIZACIÓN CAUCHO NATURAL A
Las condiciones ingresadas no produjeron que la mezcla se vulcanice

Nota: La presente tabla muestra el resultado de falta de vulcanización.

Figura 51

Vulcanización de caucho natural A



Nota: En la presente figura se puede apreciar que bajo los parámetros de vulcanización Tipo A (bajos) el caucho no llegó a vulcanizarse.

Tras realizar el proceso de vulcanizado utilizando todos los parámetros planteados se realizaron las marcas en cada probeta para el tabulado de sus dimensiones en la Tabla 42 y las probetas previo al ensayo de tracción mostradas en la Figura 52.

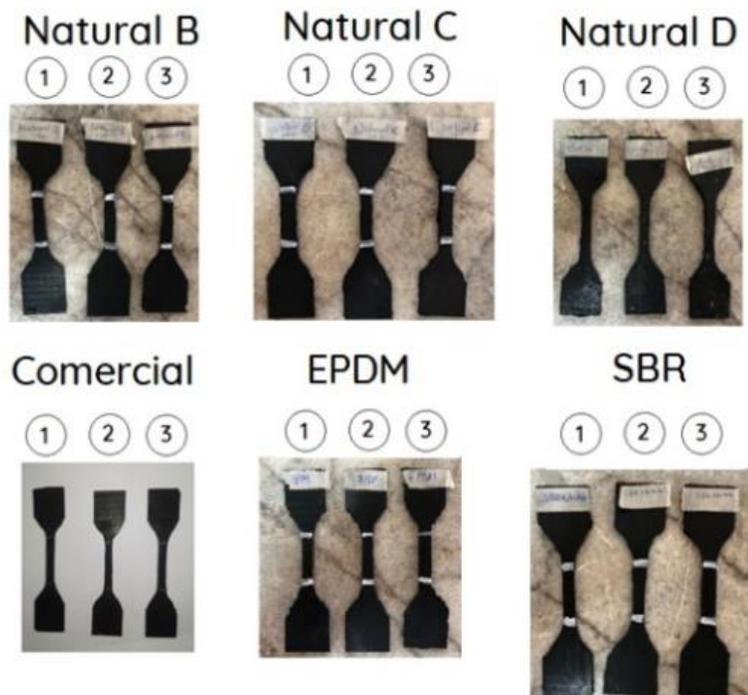
Tabla 42*Marcas en las probetas de cauchos vulcanizados*

Tipo de caucho	Número de Probeta	Distancia entre marcas [mm]	Ancho ST [mm]	Espesor [mm]
Natural B	1	33	6.45	2.96
Natural B	2	33	6.50	2.98
Natural B	3	33	6.35	3
Natural C	1	33	6.15	3.05
Natural C	2	33	6.12	3.02
Natural C	3	33	6.35	3.03
Natural D	1	33	6.10	3.05
Natural D	2	33	6.10	3.01
Natural D	3	33	6	3.03
Natural Comercial	1	33	6.52	3.03
Natural Comercial	2	34	6.04	3.01
Natural Comercial	3	33.80	6.69	3.03
Caucho EPDM	1	33	6.25	3.02
Caucho EPDM	2	33	6.60	3.02
Caucho EPDM	3	33	6.30	3.02
Caucho SBR+Nitrilo	1	33	6.10	3.01
Caucho SBR+Nitrilo	2	33	6.15	3.01
Caucho SBR+Nitrilo	3	33	6.55	3.01

Nota: La presente tabla muestra las marcas realizadas en las probetas y sus dimensiones.

Figura 52

Marcas de probetas de los cauchos vulcanizados



Nota: En la presente figura se muestran las tres probetas de cada tipo de material con sus marcas iniciales previo al ensayo de tracción.

Ensayo de tracción

Empleando la máquina de tracción horizontal del Laboratorio de Mecánica de los Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE se procedió a sujetar de manera individual cada una de las probetas a las mordazas de sujeción de la máquina, se calibra la velocidad de desplazamiento y se da inicio al ensayo. Se observa en tiempo real la fuerza que se está aplicando [Kg] y el desplazamiento que está sufriendo la probeta [mm].

La Tabla 43 muestra datos de la probeta antes del ensayo como también la longitud final máxima de elongación con su respectiva fuerza antes de fallar.

Tabla 43*Datos de longitudes y fuerzas obtenidos después del ensayo de tracción*

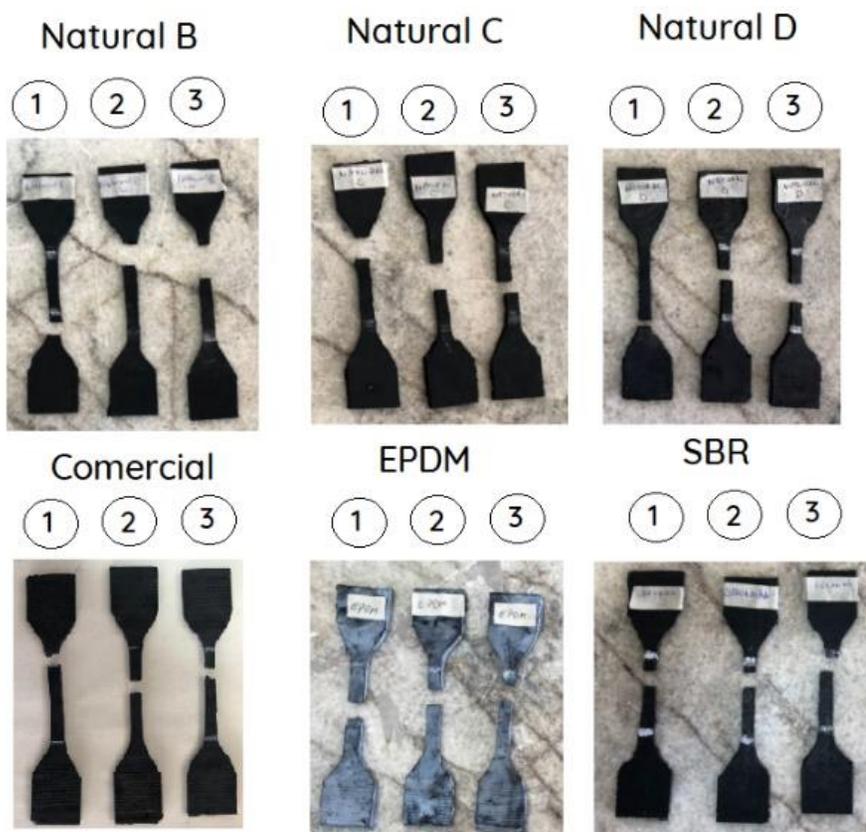
Tipo de caucho	Número de probeta	Long in [mm]	Long fin [mm]	Fuerza [N]
Natural B	1	33	210	198.25
Natural B	2	33	205	200.99
Natural B	3	33	202	155.23
Natural C	1	33	240	119.46
Natural C	2	33	235	131.12
Natural C	3	33	232	125.14
Natural D	1	33	145	10.78
Natural D	2	33	175	18.03
Natural D	3	33	165	14.99
Natural Comercial	1	33	188	244.61
Natural Comercial	2	34	180	217.66
Natural Comercial	3	33.80	170	232.84
Caucho EPDM	1	33	105	27.44
Caucho EPDM	2	33	130	35.67
Caucho EPDM	3	33	100	29.4
Caucho SBR+Nitrilo	1	33	100	21.46
Caucho SBR+Nitrilo	2	33	85	18.03
Caucho SBR+Nitrilo	3	33	95	22.74

Nota: La presente tabla muestra longitudes y fuerza al realizar el ensayo de tracción.

En la Figura 53 se muestra las probetas ensayadas correspondientes al ensayo de tracción realizado.

Figura 53

Probetas posterior al ensayo de tracción



Nota: En la presente figura se muestran las tres probetas de cada tipo de material posterior al ensayo de tracción.

Cálculo y Análisis de Resultados

Según el apartado 6 de la norma ASTM D412 establece que en base a los resultados obtenidos se debe determinar la resistencia a la tracción y el porcentaje de elongación de cada probeta ensayada.

Resistencia a la tracción

$$\sigma = \frac{F}{A} \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right] \quad (5- 1)$$

Donde:

- F=Fuerza observada para la ruptura
- A=Área de la sección transversal

Con los datos obtenidos del ensayo se ingresa en la ecuación (5- 1) y obteniendo los valores de resistencia a la tracción enlistadas en la Tabla 44 de los diferentes tipos de caucho.

Tabla 44

Tabulación del cálculo del esfuerzo máximo ($\sigma_{\text{máx}}$)

Tipo de caucho	Número de probeta	Fuerza[N]	Área[mm²]	$\sigma_{\text{máx}}$ [N/mm²]
Natural B	1	198.25	19.09	10.38
Natural B	2	200.99	19.37	10.38
Natural B	3	155.23	19.05	8.15
Natural C	1	119.46	18.76	6.37
Natural C	2	131.12	18.48	7.09
Natural C	3	125.14	19.24	6.50
Natural D	1	10.78	18.61	0.58
Natural D	2	18.03	18.36	0.98
Natural D	3	14.99	18.18	0.82
Natural Comercial	1	244.61	19.76	12.38
Natural Comercial	2	217.66	18.18	11.97
Natural Comercial	3	232.84	20.27	11.49

Tipo de caucho	Número de probeta	Fuerza[N]	Área[mm ²]	σ _{máx} [N/mm ²]
Caucho EPDM	1	27.44	18.88	1.45
Caucho EPDM	2	35.67	19.93	1.79
Caucho EPDM	3	29.4	19.03	1.55
Caucho SBR+Nitrilo	1	21.46	18.36	1.17
Caucho SBR+Nitrilo	2	18.03	18.51	0.97
Caucho SBR+Nitrilo	3	22.74	19.72	1.15

Nota: La presente tabla muestra el esfuerzo al realizar el ensayo de tracción.

Porcentaje de elongación

De igual manera usando los datos obtenidos del ensayo ingresamos las longitudes en la ecuación (5- 2) y obtenemos los valores de porcentaje de elongación enlistados en la Tabla 45.

$$\text{Porcentaje Elongación} = \left[\frac{L - L_0}{L_0} \right] * 100 \quad (5- 2)$$

Donde:

- L=Longitud final de elongación entre marcas
- L₀=Longitud inicial entre marcas

Tabla 45

Tabulación del cálculo del porcentaje de elongación de las probetas ensayadas

Tipo de caucho	Número de probeta	Long in [mm]	Long fin [mm]	Deformación ε	Porcentaje de Elongación %
Natural B	1	33	210	5.36	536
Natural B	2	33	205	5.21	521
Natural B	3	33	202	5.12	512

Tipo de caucho	Número de probeta	Long in [mm]	Long fin [mm]	Deformación ϵ	Porcentaje de Elongación %
Natural C	1	33	240	6.27	627
Natural C	2	33	235	6.12	612
Natural C	3	33	232	6.03	603
Natural D	1	33	145	3.39	339
Natural D	2	33	175	4.30	430
Natural D	3	33	165	4	400
Natural Comercial	1	33	188	4.70	470
Natural Comercial	2	34	180	4.29	429
Natural Comercial	3	33.80	170	4.03	403
Caucho EPDM	1	33	105	2.18	218
Caucho EPDM	2	33	130	2.94	294
Caucho EPDM	3	33	100	2.03	203
Caucho SBR+Nitrilo	1	33	100	2.03	203
Caucho SBR+Nitrilo	2	33	85	1.58	158
Caucho SBR+Nitrilo	3	33	95	1.88	188

Nota: La presente tabla muestra el porcentaje de elongación al realizar el ensayo de tracción.

Módulo de Young

A continuación, en la Tabla 46 se muestra los valores del módulo de Young correspondientes de los cauchos ensayados.

Tabla 46

Tabulación del cálculo del Módulo de Young de los cauchos ensayados

Tipo de caucho	Número de probeta	Deformación ϵ	σfluencia [N/mm²]	E [N/mm²]
Natural B	1	5.36	10.38	1.94
Natural B	2	5.21	10.38	1.99
Natural B	3	5.12	8.15	1.59
Natural C	1	6.27	6.37	1.01
Natural C	2	6.12	7.09	1.16
Natural C	3	6.03	6.50	1.07
Natural D	1	3.39	0.58	0.17
Natural D	2	4.30	0.98	0.23
Natural D	3	4	0.82	0.21
Natural Comercial	1	4.70	12.38	2.63
Natural Comercial	2	4.29	11.97	2.79
Natural Comercial	3	4.03	11.49	2.85
Caucho EPDM	1	2.18	1.45	0.66
Caucho EPDM	2	2.94	1.79	0.61
Caucho EPDM	3	2.03	1.55	0.76
Caucho SBR+Nitrilo	1	2.03	1.17	0.58
Caucho SBR+Nitrilo	2	1.58	0.97	0.61
Caucho SBR+Nitrilo	3	1.88	1.15	0.61

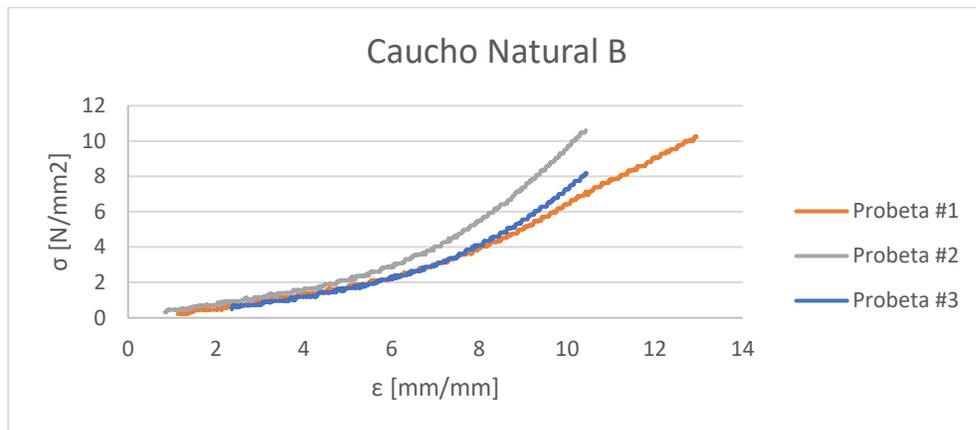
Nota: La presente tabla muestra el módulo de Young al realizar el ensayo de tracción.

Gráfica Esfuerzo vs Deformación

En base a los datos obtenidos de los diferentes parámetros de vulcanización se obtiene las gráficas Esfuerzo vs Deformación Unitaria para cada una de las probetas ensayadas mostradas en la Figura 54, Figura 55, Figura 56, Figura 57, Figura 58 y la Figura 59.

Figura 54

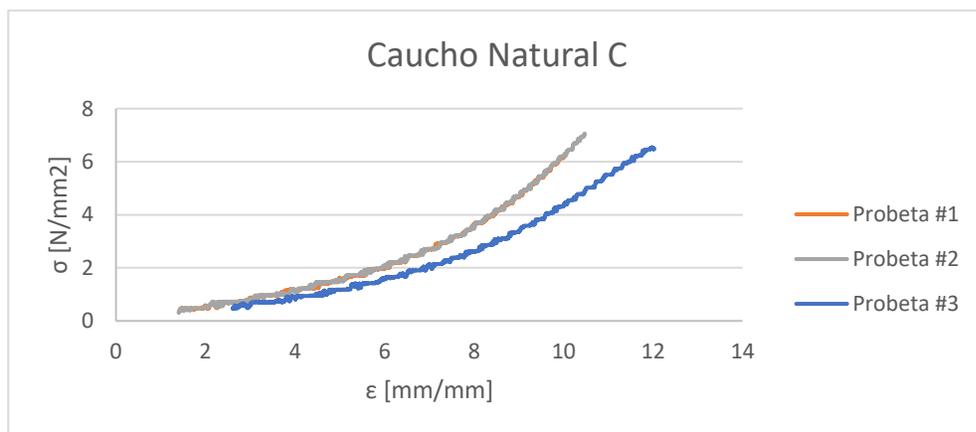
Gráfica esfuerzo vs deformación caucho natural B



Nota: La presente figura muestra el comportamiento del caucho B al realizar el ensayo.

Figura 55

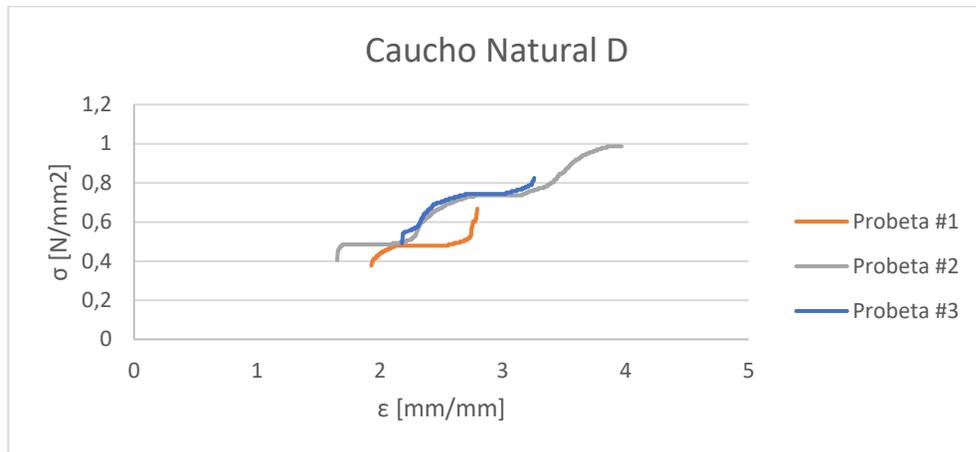
Gráfica esfuerzo vs deformación caucho natural C



Nota: La presente figura muestra el comportamiento del caucho C al realizar el ensayo.

Figura 56

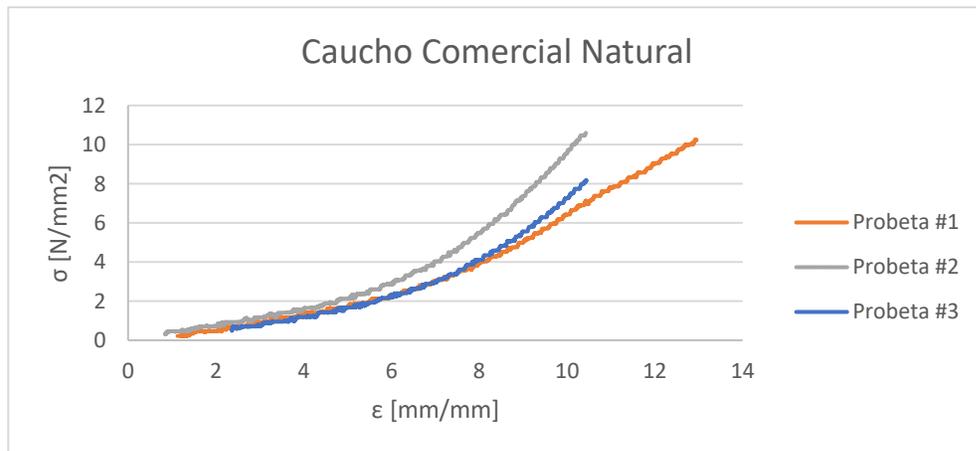
Gráfica esfuerzo vs deformación caucho natural D



Nota: La presente figura muestra el comportamiento del caucho D al realizar el ensayo.

Figura 57

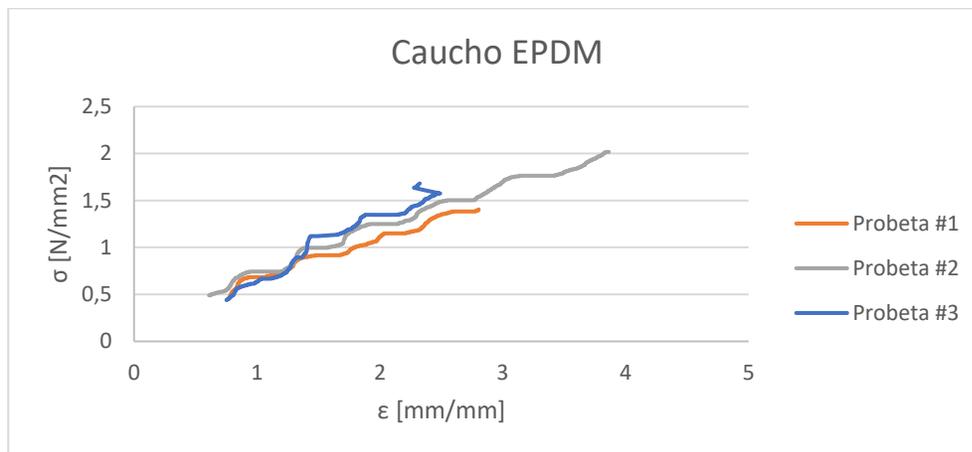
Gráfica esfuerzo vs deformación caucho comercial



Nota: La presente figura muestra el comportamiento del caucho comercial al realizar el ensayo.

Figura 58

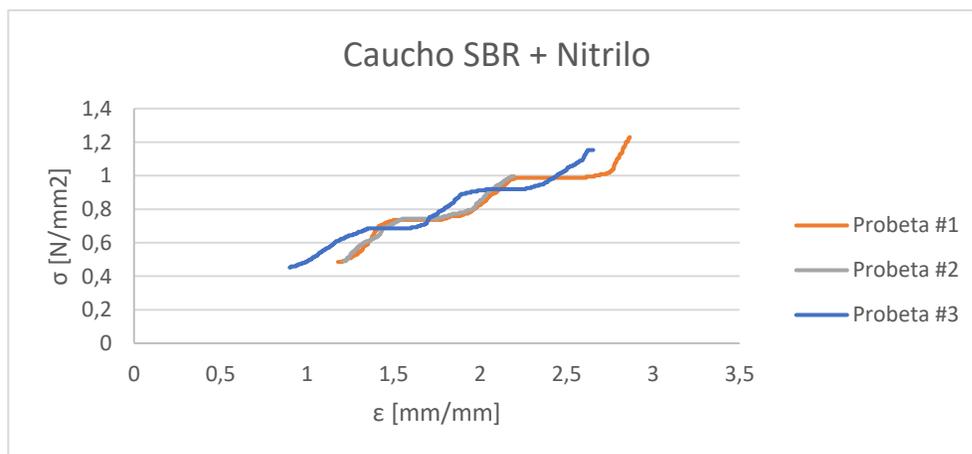
Gráfica esfuerzo vs deformación caucho EPDM



Nota: La presente figura muestra el comportamiento del caucho EPDM al realizar el ensayo.

Figura 59

Gráfica esfuerzo vs deformación caucho SBR+Nitrilo



Nota: La presente figura muestra el comportamiento del caucho SBR + Nitrilo al realizar el ensayo.

Capítulo 6

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- Se diseñó el equipo para la generación de muestras vulcanizadas tipo bushing seccionado en un área de mezclado y vulcanizado que cuenta con un actuador y regulador de presión además de un sistema de calentamiento programado capaz de variar los parámetros de trabajo obteniendo así muestras de caucho vulcanizado de diferentes propiedades mecánicas.
- En base al diseño hidráulico se estableció el sistema que consiste en una válvula manual centro tándem de palanca que acciona un cilindro de simple efecto retorno por muelle que produce una presión máxima de 3000 [PSI] regulable por medio de una válvula de dos vías, todo alimentado por un motor y bomba hidráulica además de los elementos mecánicos constituyentes de la estructura de la prensa basados en un modelo tipo H y la sección de mezclado de caucho que trabaja usando criterios de laminación que mediante este dimensionamiento se obtuvo un listado de materiales y presupuestos para su posterior construcción.
- Para satisfacer las condiciones de calentamiento el sistema térmico consta de una resistencia tubular de 500W que transforma energía eléctrica en térmica y por conducción se transfiere la temperatura al molde de vulcanización el cual es controlado por un circuito conectado a la fuente de calor y medido por un sensor permitiendo regular y mantener la temperatura dentro del rango establecido en base al microcontrolador Arduino MEGA.
- Se construyó la máquina de vulcanizado para la elaboración de muestras tipo bushing y una lámina para probetas de ensayo de tracción según la Norma D412 en base al dimensionamiento obtenido en los diseños previamente realizados.

- En base a los resultados del ensayo de tracción bajo el procedimiento de la Norma ASTM D412 fueron realizadas 3 probetas de caucho natural con diferentes parámetros de vulcanizado se determinó que los más adecuados para la vulcanización fueron los del Tipo Natural B de tiempo: 20 [min], Temperatura: 120 [°C] y Presión: 2000 [Psi], puesto que presentan mayor resistencia a la tracción de 10.38 [N/mm²] similares a la muestra comercial que obtuvo una resistencia a la tracción de 12.8 [N/mm²].
- Para tomar un margen más amplio en las propiedades mecánicas del caucho vulcanizado se obtuvieron 3 probetas de SBR + Nitrilo, EPDM y Natural bajo los mismos parámetros se obtuvo que el caucho de SBR + Nitrilo y EPDM adquirieron menor resistencia y elasticidad a diferencia del caucho Natural B que duplica los valores obtenidos en ensayos.

Recomendaciones

- Al realizar el proceso de vulcanización evitar usar parámetros de trabajo muy bajos debido a que no se produce el vulcanizado del caucho y se generaría únicamente desperdicio de materia prima.
- Al manipular tanto el sistema de mezclado como prensa de vulcanización utilizar el EPP adecuado tomando en cuenta guantes de cuero para manipular objetos de altas temperaturas como lo es la matriz durante el precalentado y posteriormente a la vulcanización.
- Evitar el uso de guantes en el proceso de mezclado puesto que puede provocar un accidente de atrapamiento.
- Instalar un sistema puesto a tierra completo en el circuito de potencia tanto para el motor trifásico 220[V] como para el motor monofásico 110[V] brindando seguridad al limitar las tensiones de paso.

Bibliografía

- Acosta, E., & Llerena, K. (2021). Elaboración de costos de las carreras del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- ARDUINO.cl. (2020). Arduino Mega 2560. <https://arduino.cl/arduino-mega-2560/>
- Budynas, R., & Keith, J. (2008). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (8th ed.). McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A.
- Castaño, N. (2011). TECNOLOGÍA DEL CAUCHO.
- Cengel, Y., & Ghajar Afshin. (2011). Transferencia de calor y masa FUNDAMENTOS Y APLICACIONES (4ta ed.). McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A.
- CHINT. (2019a). DATAHEET NB1 Miniature Circuit Breaker. <https://docs.rs-online.com/f225/A700000006950699.pdf>
- CHINT. (2019b). DATASHEET Contactor NC1 AC, 9~95A. https://www.chint.eu/content/download/5481/file/Ficha_Chint_Serie%20NC1.pdf
- CHINT. (2019c). DATASHEET Reles Térmicos . <http://www.chint.net/uploads/product/books/20110601133151627.pdf>
- Ciesielski, A. (1999). An Introduction to Rubber Technology. Smithers Rapra Technology.
- CNC. (n.d.). DATASHEET YCL7-63&YCL7N-63 Miniature Circuit Breaker. Retrieved February 18, 2022, from <https://www.cncele.com/upload/file/2018-10/b8yl5pla.pdf>
- Colona, P. (2010). La química verde. ACRIBIA.
- Creus, A. (2010). INSTRUMENTACION INDUSTRIAL (8th ed.). Alfaomega Grupo Editor, S.A.
- DIPAC. (2016a). CATALOGO EJES ACERO DE TRANSMISION.
- DIPAC. (2016b). CATALOGO PERFIL ESTRUCTURAL CANAL U.
- Dixit, S., Yadav, A., Dwivedi, P. D., & Das, M. (2015). Toxic hazards of leather industry and technologies to combat threat: A review. In Journal of Cleaner Production (Vol. 87, Issue C, pp. 39–49). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.017>
- Electro ADDA. (2021). CATALOGO SERIE C.
- Fang, Y., Zhan, M., & Wang, Y. (2001). The status of recycling of waste rubber. In Materials and Design (Vol. 22).
- Fierros clásicos. (2013, June 10). Los bujes de un auto.
- Geissman T.A. (1974). Principio de Química Orgánica (Tercera). Reverte. <https://books.google.com.ec/books?id=msYg6lgMFU8C&printsec=frontcover&dq=principios+de+qu%C3%ADmica+org%C3%A1nica+geissman+pdf&hl=es&sa=X&ved=2ahUKewjiw6iSrij2AhWjQTABHeQMDbsQ6AF6BAgKEAl#v=onepage&q&f=false>

- Grainer. (n.d.). CATALOGO Belt Drive Motor, 3 HP, 3-Phase, Nameplate RPM 1725, No. of Speeds 1, Voltage 200-230/460. Retrieved February 18, 2022, from <https://www.grainger.com/product/A-O-SMITH-Belt-Drive-Motor-4MA49>
- Groover, M. (2007). FUNDAMENTOS DE MANUFACTURA MODERNA (3rd ed.). McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES.
- H. Blucher, A.Ernst, & Dr. L.Neuman. (1958). ENCICLOPEDIA DE QUÍMICA INDUSTRIAL (18th ed.). Tecnos, S.A.
- Handson Technology. (n.d.). DATASHEET I2C SERIAL INTERFACE . Retrieved February 18, 2022, from http://www.handsontec.com/dataspecs/module/I2C_1602_LCD.pdf
- Hong, I. K., & Lee, S. (2013). Cure kinetics and modeling the reaction of silicone rubber. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 19(1), 42–47. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2012.05.006>
- HYDROMECHANICA del Ecaudor S.A. (n.d.). CATALOGO VALVULAS DIRECCIONALES MANUALES. Retrieved February 18, 2022, from <https://www.hydromecanica.com/images/pdf/4.VALVULAS/4.2VALVULAS-DIRECCIONALES/2.VALVULAS-DIRECCIONALES-MANUALES.pdf>
- Incropera, F., & DeWitt, D. (1999). *Fundamentos de Transferencia de Calor* (4ta ed.). Prentice Hall Hispanoamericana S.A. .
- JM Industrial. (n.d.). CATALOGO TERMOPAR Y PT100.
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. (2008). *MANUFACTURA, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA* (Cuarta). Pearson Education.
- Khan, Q. S. (2008). *DESIGN AND MANUFACTURING OF HYDRAULIC CYLINDERS* (Vol. 2). Tanveer.
- Kogyo, Y. (2006). *Basic_Hydraulic_And_Components*. 3–70.
- Krista, S. (2015). Determinación del comportamiento de las variables críticas de control numero de KOH.
- LARZEP HYDRAULIC. (n.d.). CATALOGO CILINDROS HIDRAULICOS. Retrieved February 18, 2022, from <https://www.larzep.com/es/info/catalogos/cilindros>
- Mark, J., Erman, B., & Roland, M. (2013). *The Science and Technology of Rubber* (4th ed.). Elsevier Inc.
- Maxim Integrated. (2021). DATASHEET MAX6675.
- McCleary, D. (1997). *The Car Builder's Handbook* (1st ed.). The Berkley.
- Morrison, N., & Porter, M. (1984). *Rubber Chem. Technol.* 57–63.
- Mott, R. (2006). *DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS* (Cuarta). PEARSON Educacion.

- NAYLAMP MECHATRONICS. (n.d.). TECLADO MATRICIAL 4X4-TIPO MEMBRANA. Retrieved February 18, 2022, from <https://naylampmechatronics.com/interfaz-de-usuario/19-teclado-matricial-4x4-tipo-membrana.html>
- Pantani, R. (2005). Validation of a model to predict birefringence in injection molding. *European Polymer Journal*, 41(7), 1484–1492. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2005.02.006>
- Proveedores de rulimanes. (2015). CATALOGO ACERO PARA TRABAJO EN FRIO.
- Quiroz, G. (2019). FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELECTRICA Diseño de prensa hidráulica para ensamblaje de camisas a bloque de cilindros en el maqui-centro del instituto de Educación Superior Tecnológico.
- Rincón, O. (1996). *El Cultivo del Caucho (Hevea brasiliensis)* (1st ed., Vol. 1). Federación Nacional de Cafeteros de Colombia.
- Rivas-Torres, J., Tudon-Martinez, J. C., Lozoya-Santos, J. D. J., Ramirez-Mendoza, R. A., & Spaggiari, A. (2019). Analytical design and optimization of an automotive rubber bushing. *Shock and Vibration*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/1873958>
- Rotor Clip. (2005). CATALOGO DE PRODUCTOS.
- Santi, F. (2014). UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA. <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/245/1/T-UTEQ-0002.pdf>
- Sarabia, A. (2014). Comparación de dos métodos de coagulación del látex (*Hevea brasiliensis*) en el Magdalena Medio Colombiano.
- Schey, J. (2002). *Procesos de manufactura* (Tercera). McGraw Hill.
- SKF. (2019). CATALOGO RODAMIENTOS.
- Society for Testing, A. (n.d.). ASTM D412: Standard Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers-Tension.
- SONGLE RELAY. (n.d.). DATASHEET RELAY ISO9002. Retrieved February 18, 2022, from https://www.filipeflop.com/img/files/download/Datasheet_Rele_5V.pdf
- STM Team. (n.d.). CATALOGO REDUCTORES CON TORNILLO SIN FIN. In 2014.
- Valera, J. (2005). *Apuntes de Física General* (1st ed.). Universidad Nacional Autónoma de México. <https://books.google.cl/books?id=1ShJLuv8IHIC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
- Xiamen Amotec Display. (2008). DATASHEET LCD 16x2. https://components101.com/sites/default/files/component_ddatasheet/16x2%20LCD%20atasheet.pdf
- YIHE HYDRAULIC. (n.d.). CATALOGO Bomba de aceite hidráulica Hydromax, HGP Series HGP-3A, Mini bomba de engranajes hidráulicos con precio de venta directa de fábrica. Retrieved

February 18, 2022, from https://spanish.alibaba.com/product-detail/taiwan-hydromax-hydraulic-oil-pump-hgp-series-hgp-3a-hydraulic-mini-gear-pump-with-factory-direct-sales-price-1600407064203.html?spm=a2700.7724857.normal_offer.d_title.2e667515esR13l

ANEXOS