



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Vida útil a través de los elementos críticos del dinamómetro de rodillos

Villacís Serrano, Joel Alexander

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Trabajo de Unidad de Integración Curricular, previo a la obtención del Título de

Ingeniero Automotriz

Ing. Beltrán Reyna, Roberto Félix

Latacunga, 04 de febrero del 2022



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA CARRERA DE
INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de Unidad de Integración Curricular, “**Vida útil a través de los elementos críticos del dinamómetro de rodillos**” fue realizado por el señor **Villacís Serrano, Joel Alexander** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto, cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 04 de febrero del 2022



Firmado electrónicamente por:
**ROBERTO FELIX
BELTRAN REYNA**

Ing. Beltrán Reyna, Roberto Félix

C.C.: 1755523923

REPORTE DE VERIFICACIÓN DE CONTENIDO



Joel Villacís_Trabajo UIC.pdf

Scanned on: 00 February 2, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	167
Words with Minor Changes	100
Paraphrased Words	137
Ornited Words	0



Website | Education | Businesses



Firmado electrónicamente por:
**ROBERTO FELIX
BELTRAN REYNA**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA CARRERA DE
INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Villacís Serrano, Joel Alexander** con cedula de ciudadanía N°**1721817201**, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de Unidad de Integración Curricular: “**Vida útil a través de los elementos críticos del dinamómetro de rodillos**” es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 04 de febrero del 2022

Villacís Serrano, Joel Alexander

C.C.: 1721817201



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA CARRERA DE
INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

AUTORIZACIÓN

Yo, **Villacís Serrano, Joel Alexander** con cedula de ciudadanía N° **1721817201**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de Unidad de Integración Curricular: **“Vida útil a través de los elementos críticos del dinamómetro de rodillos”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 04 de febrero del 2022

A handwritten signature in blue ink is positioned above a horizontal line. The signature is cursive and appears to read 'Joel Alexander Villacís Serrano'.

Villacís Serrano, Joel Alexander

C.C.: 1721817201

Dedicatoria

A mis padre César Villacís Hermosa y a mi madre Irma Serrano Quito por apoyarme, amarme y alentarme incondicionalmente en el transcurso de mi desarrollo académico y personal.

VILLACÍS SERRANO, JOEL ALEXANDER

Agradecimiento

Extiendo mi más profundo agradecimiento en primer lugar, a Dios por permitirme gozar de buena salud en estos tiempos de pandemia; agradezco a mis padres Irma Serrano, César Villacís y hermanos Leslie y Andrés Villacís, por brindarme su apoyo y amor a lo largo de mi carrera universitaria, también por guiarme como una persona de bien con principios y valores; debo agradecer a familiares, compañeros y docentes que han formado parte de mi vida universitaria y han aportado a mi desarrollo como estudiante, al ingeniero Félix Beltrán por la exigencia y apoyo brindado durante todas las etapas de este trabajo; para finalizar como agradecimiento especial me permito nombrar a mi amigo Acosta Francisco por aconsejarme, regañarme, y sobretodo apoyarme incondicionalmente durante todo el tiempo compartido antes y durante mi carrera.

VILLACÍS SERRANO, JOEL ALEXANDER

Tabla de contenidos

Carátula.....	1
Certificación	2
Reporte de verificación de contenido	3
Autoría de responsabilidad	4
Autorización	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento.....	7
Tabla de Contenidos.....	8
Índice de tablas	12
Índice de figuras	13
Resumen	15
Abstract	16
Aspectos Generales	17
Introducción	17
Antecedentes	17
Planteamiento del problema	17
<i>Identificación del problema.....</i>	<i>17</i>
<i>Formulación del Problema</i>	<i>18</i>
Objetivos	18
<i>Objetivo general.....</i>	<i>18</i>

<i>Objetivo específico</i>	18
Justificación	19
Hipótesis.....	19
Variables.....	19
<i>Variables independientes</i>	19
<i>Variables Dependientes</i>	19
Metas.....	19
Fundamentación teórica.....	21
Historia del dinamómetro	21
Dinamómetro.....	22
Uso y aplicaciones.....	23
<i>Investigación y desarrollo de motores de combustión interna y</i> <i>vehículos.</i>	23
<i>Mantenimiento y verificación</i>	24
Principios de operación.....	25
<i>Dinamómetro de inercia</i>	25
<i>Dinamómetro de freno</i>	27
<i>Ventajas y desventajas entre el dinamómetro de frenado y el de</i> <i>inercia</i>	28
Tipos de dinamómetros.....	30
<i>Dinamómetros de motor</i>	30
<i>Dinamómetros de chasis</i>	33

Componentes de un dinamómetro	35
<i>Rodillos.....</i>	<i>36</i>
<i>Chasis del dinamómetro.....</i>	<i>37</i>
<i>Freno o carga</i>	<i>37</i>
<i>Ventiladores.....</i>	<i>38</i>
<i>Extractor de gases</i>	<i>40</i>
<i>Sistema de adquisición de datos</i>	<i>40</i>
<i>Computadora.....</i>	<i>45</i>
Resistencia de materiales	46
Vida útil de los elementos críticos del dinamómetro de rodillos.	49
Consideraciones iniciales.	49
Vida útil de los rodillos	49
<i>Cálculo de la soldadura del rodillo</i>	<i>51</i>
<i>Vida finita del rodillo.....</i>	<i>57</i>
Vida útil del eje.....	58
<i>Chavetero y chaveta para el eje del rodillo</i>	<i>59</i>
Vida útil rodamiento y chumacera.	60
Acople flexible del dinamómetro	63
3 Vida útil del acople flexible del dinamómetro	64
Vida útil del chasis del dinamómetro	65
Análisis de resultados	69

Análisis de resultados por elemento crítico	69
<i>Rodillos</i>	69
<i>Eje</i>	70
<i>Chavetero Chaveta</i>	70
<i>Rodamiento chumacera</i>	71
<i>Acople flexible</i>	71
<i>Chasis</i>	72
Conclusiones y Recomendaciones	74
Conclusiones.	74
Recomendaciones.	75
Bibliografía	76
Anexos.....	80

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Propiedades físico químicas del acero SAE 1010</i>	50
Tabla 2 <i>Esfuerzo de concentración según el tipo de soldadura</i>	55
Tabla 3 <i>Propiedades físico químicas del acero SAE 1018</i>	58
Tabla 4 <i>Ecuaciones para la corrosión por zona</i>	68

Índice de figuras

Figura 1 <i>Dinamómetro clásico</i>	21
Figura 2 <i>Prueba de motor con dinamómetro de rodillos</i>	24
Figura 3 <i>Medición de emisiones contaminantes</i>	25
Figura 4 <i>Dinamómetro de inercia</i>	27
Figura 5 <i>Dinamómetro de freno</i>	28
Figura 6 <i>Dinamómetro de motor</i>	31
Figura 7 <i>Diagrama de acoplamiento de motor</i>	32
Figura 8 <i>Medidor de torque</i>	33
Figura 9 <i>Dinamómetro para medición de potencia en rueda</i>	34
Figura 10 <i>Dinamómetro de freno sin rodillos</i>	35
Figura 11 <i>Rodillos</i>	36
Figura 12 <i>Dinamómetro de rodillos</i>	37
Figura 13 <i>Freno de corrientes parásitas</i>	38
Figura 14 <i>Prueba de vehículo en dinamómetro de rodillos</i>	39
Figura 15 <i>Cuarto para dinamómetro</i>	40
Figura 16 <i>Termómetro de dilatación</i>	43
Figura 17 <i>Medidores de presión</i>	44
Figura 18 <i>Higrómetro</i>	45
Figura 19 <i>Computadora e impresora</i>	46
Figura 20 <i>Denominación norteamericana de electrodos</i>	51
Figura 21 <i>Cálculo de áreas de soldadura según perfil</i>	52
Figura 22 <i>Electrodos E6010</i>	56
Figura 23 <i>Dimensiones rodamiento</i>	62
Figura 24 <i>Acoples flexibles</i>	63
Figura 25 <i>Acople flexible</i>	64

Figura 26 <i>Chasis del dinamómetro de rodillos</i>	66
Figura 27 <i>Corrosión (mm) del acero por zona</i>	72

Resumen

El presente trabajo de investigación se enfocó en el cumplimiento del objetivo de determinar la vida útil a través de los elementos críticos del dinamómetro de rodillos, para la determinación de la vida útil se decidió emplear métodos matemáticos enfocados en la condición de cada elemento, este método sigue un procedimiento de despeje y reemplazo de variables en formulas existentes y definidas por otros autores, para cada uno de los elementos seleccionados. El proceso de determinación de la vida útil parte del análisis de los materiales seleccionados para la construcción de los componentes del dinamómetro lográndose corroborar que la selección de estos es la correcta para la aplicación; se continuó con la determinación de la vida útil de cada elemento en forma individual para lo cual, se analizó la construcción del elemento y la operación del mismo en condiciones normales de funcionamiento para de esta manera, finalizar con la vida útil del dinamómetro de rodillos como un solo conjunto de elementos que funcionan de manera simultánea para cumplir con un mismo fin; además, no se consideró variables externas que alteren o aceleren el deterioro y corrosión de los materiales, tales como humedad, aceites, grasa, ácidos, entre otros; utilizados en los elementos críticos del dinamómetro de rodillos.

Palabras claves:

- **VIDA ÚTIL DEL DINAMOMETRO**
- **MÉTODOS MATEMÁTICOS**
- **DINAMÓMETRO DE RODILLOS**
- **ELEMENTOS CRÍTICOS DEL DINAMOMETRO**

Abstract

The present research work focused on the fulfillment of the objective of determining the useful life through the critical elements of the roller dynamometer, for the determination of the useful life it was decided to use mathematical methods focused on the condition of each element, this method follows a procedure of clearing and replacing variables in existing formulas and defined by other authors, for each of the selected elements. The process of determining the useful life starts from the analysis of the materials selected for the construction of the components of the dynamometer, corroborating that their selection is correct for the application; The determination of the useful life of each element was continued individually, for which the construction of the element and its operation under normal operating conditions were analyzed in order to end the useful life of the roller dynamometer as a single set of elements that work simultaneously to fulfill the same purpose; In addition, external variables that alter or accelerate the deterioration and corrosion of materials, such as humidity, oils, grease, acids, among others, were not considered; used in the critical elements of the roller dynamometer.

Keywords:

- **USEFUL LIFE OF THE DYNAMOMETER**
- **MATHEMATICAL METHODS**
- **ROLLER DYNAMOMETER**
- **CRITICAL ELEMENTS OF THE DYNAMOMETER**

Capítulo I.

1. Aspectos Generales

1.1 Introducción

El campo automotriz para diagnóstico, mantenimiento y servicios dentro del Ecuador, está en constante evolución, no solamente en conocimientos sino también en adquisición, mejora de equipos y herramientas, tales como escáneres, osciloscopios, elevadores eléctricos, entre otros.

A pesar de la adquisición de varios de los equipos mencionados anteriormente, es muy difícil encontrar un dinamómetro para verificar potencia y torque que entrega el motor una vez realizado el mantenimiento, dentro de talleres medianos y pequeños en el país; razón por la cual el proyecto se basa en la determinación de la vida útil de los elementos críticos de un dinamómetro de rodillos.

1.2 Antecedentes

El termino vida útil está definido como el periodo de tiempo en el que un elemento, estructura o activo, conserva su seguridad, funcionalidad y estética. Para fines de este proyecto los elementos críticos del dinamómetro permiten mantener la funcionalidad del mismo, bajo actividad eficiente para la cual ha sido creado, durante un periodo de tiempo similar y en lo posible mejor en comparación con otros modelos, marcas de dinamómetro de rodillos existentes.

1.3 Planteamiento del problema

1.3.1 Identificación del problema

El elevado costo de adquisición para un dinamómetros de rodillos es el principal problema por el que los talleres medianos y pequeños no cuentan con este equipo para la verificación de fuerza y torque de motores luego de realizar el mantenimiento

respectivo, sino que los talleres mencionados se ven obligados a realizar las pruebas fuera del taller, perdiendo así tiempo, y corriendo el riesgo de encontrarse con aspectos que pueden evitar realizar el ensayo correcto como pueden ser, irregularidades del camino, embotellamiento por exceso de tráfico, o incluso el cambio climático.

Pero el costo del equipo no es el único inconveniente, también se tiene el hecho de que los dueños de estos talleres buscan herramienta de trabajo que tenga una vida útil que le eviten gastos y costes inesperados de mantenimiento.

1.3.2 Formulación del Problema

De acuerdo a la situación que se describe anteriormente, surge la necesidad de añadir un dinamómetro de rodillos dentro de los equipos de un taller automotriz, cuyo fin es analizar las prestaciones, funciones y comportamiento del motor para obtener un diagnóstico real, asegurando la conservación de seguridad, funcionalidad y estética del dinamómetro en sus elementos críticos durante el periodo de tiempo definido por los materiales y procesos seleccionados en el diseño y simulación del mismo.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Determinar la vida útil a través de los elementos críticos del dinamómetro de rodillos.

1.4.2 Objetivo específico

- Identificar los elementos críticos que componen el dinamómetro de rodillos a través de la relevancia que estos tienen sobre el funcionamiento del mismo
- Estudiar los materiales y construcción de cada elemento crítico para asegurar su correcto funcionamiento.

- Calcular la vida útil de cada elemento finito para definir la vida útil del dinamómetro de rodillos como un conjunto unitario.

1.5 Justificación

El dinamómetro de rodillos nos va a permitir determinar las curvas características de potencia y torque en vehículos livianos; esto facilitará determinar el desempeño de un motor luego de haber realizado las tareas de mantenimiento o reparación que este haya requerido.

Se buscará elementos del dinamómetro de rodillos que tengan tendencia a cumplir con las propiedades físicas y químicas requeridas para su correcto funcionamiento, y su vida útil esperada en comparación con otros modelos y marcas existentes en el mercado, de esta manera se impulsaría la adquisición de dinamómetros de rodillo en talleres automotrices medianos y pequeños que brinden servicios acordes a la reparación del motor.

1.6 Hipótesis

La selección de los materiales para los diferentes elementos que conforman el dinamómetro de rodillos tendrá gran influencia en la vida útil del equipo.

1.7 Variables

1.7.1 Variables independientes

Elementos críticos del dinamómetro de rodillos

1.7.2 Variables Dependientes

Vida útil del dinamómetro de rodillos

1.8 Metas

Determinar los elementos críticos que componen un dinamómetro de rodillos.

Conocer mediante análisis y cálculos la vida útil de cada elemento crítico de un dinamómetro de rodillos.

Capítulo II.

2. Fundamentación Teórica.

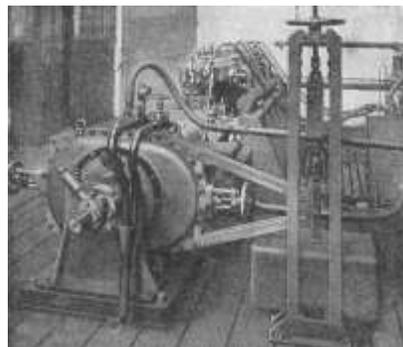
2.1 Historia del dinamómetro

El dinamómetro tradicional fue inventado por Isaac Newton, basando su funcionamiento en un resorte que se rige por la Ley de Hooke, la cual nos dice que las deformaciones de un resorte son proporcionales a la fuerza aplicada. (Culture, 2021)

El dinamómetro al igual que muchas herramientas de medición han venido desarrollándose con el pasar de los años como una herramienta para estudiar las condiciones y prestaciones de motores, siendo el primer diseño el de Prony Brake en el año de 1828; así mismo otras formas del dinamómetro se darían a conocer, como la que mide la potencia de tracción de las locomotoras inventada por Charles Babbage en 1838; y actualmente los dinamómetros inventados por Martin y Antony Winther en 193, lo que se llama la corriente de Foucault. (Hartman, 2004, citado por Santamaria, 2016)

Figura 1

Dinamómetro clásico



Nota. En la figura se aprecia el diseño de uno de los primeros dinamómetros fabricados.

Tomado de (Santamaria, 2016)

2.2 Dinamómetro

El dinamómetro es un instrumento para medir fuerzas, con base en la deformación elástica de un resorte calibrado. Se conoce también como dinamómetro o banco dinamométrico a los dispositivos empleados para absorber o disipar la potencia generada por una máquina basándose en la medición de ciertos parámetros como el par torsional y la velocidad angular. Dependiendo del principio de operación del dinamómetro se realiza la estimación de la potencia mecánica generada por la máquina, bajo diferentes condiciones de funcionamiento. (Metrología, 2019)

Una de sus principales aplicaciones en la actualidad está ligada a los motores de combustión interna (conocido por sus siglas mci) y vehículos automotores, pues al ser un dispositivo capaz de absorber la potencia generada por el motor de combustión interna, se le emplea para realizar diversas pruebas asociadas a su funcionamiento. Sin embargo, el dinamómetro es un dispositivo que puede ser empleado para medir la potencia y realizar pruebas de una gran cantidad de máquinas como motores eléctricos, máquinas de vapor, turbinas, etc. (Poalacín Gustavo, 2021)

Los componentes básicos de un dinamómetro son el marco, montajes de motor, la unidad de la absorción que es generalmente una cierta clase de rodillo o de tambor y el aparato de medición del torque (esfuerzo de torsión). (Hernández, 2007)

Según sea la clasificación de los dinamómetros hay algunos que necesitan de frenos de agua o de aceite, estos son necesarios para ciertos tipos de dinamómetros, ya que proporcionan resistencia y la absorción apropiada para la medición. (Hernández, 2007)

2.3 Uso y aplicaciones

Para definir los usos del dinamómetro aplicados a los motores de combustión interna y vehículos se los divide en dos grupos, los mismos que son:

2.3.1 Investigación y desarrollo de motores de combustión interna y vehículos.

Este grupo puede subdividirse en dos grupos, ensayos de investigación y desarrollo, y ensayos de producción; donde los ensayos de investigación y desarrollo, tienen como objetivo determinar en sus pruebas experimentales distintos parámetros del motor como, el par motor, potencia desarrollada, presión media efectiva en el interior del cilindro, potencia absorbida por rozamiento dentro del motor o elementos motrices del vehículo, consumo específico de combustible, composición de gases de escape y pruebas de largo plazo que verifican la durabilidad del motor y los componentes del vehículo. Para esto el dinamómetro pasará a ser la herramienta fundamental para medir y simular condiciones de operación para las que fueron diseñados y en interacción con otros instrumentos se puede obtener los parámetros mencionados anteriormente.

(Cerecero, 2012)

Ahora por otra parte los ensayos de producción tienen como objetivo realizar pruebas de control de calidad a vehículos y motores fabricados en serie con el propósito de verificar y controlar que las características del motor o del vehículo correspondan a las del diseño original. (Cerecero, 2012)

Figura 2

Prueba de motor con dinamómetro de rodillos



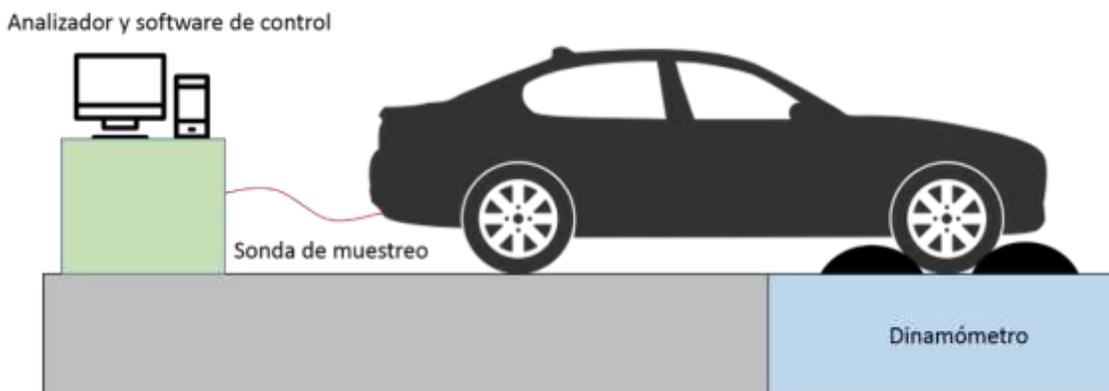
Nota. En la figura se observa un vehículo siendo sometido a pruebas sobre un dinamómetro de rodillos con todas las medidas de seguridad e implementos correspondientes. Tomado de (PWS, 2019)

2.3.2 Mantenimiento y verificación

Para este grupo la aplicación del dinamómetro es como herramienta de diagnóstico para la comprobación del correcto funcionamiento del vehículo, y a su vez verificar prestaciones como entrega de potencia, y niveles de emisiones contaminantes; esto en condiciones simuladas que más se adecuen al medio en que se desarrolla el vehículo.

Figura 3

Medición de emisiones contaminantes



Nota. En la figura se aprecia el uso de un dinamómetro de rodillos para la medición de emisiones contaminantes de un vehículo. Tomado de (Muñiz, 2019)

2.4 Principios de operación

Para describir a un dinamómetro por su principio de operación se divide a este en dos tipos, siendo estos el dinamómetro de inercia y el dinamómetro de freno.

2.4.1 *Dinamómetro de inercia*

Un motor genera la potencia en el volante del motor que se transfiere a la caja de velocidades a través de un clutch y del plato de presión. La caja de velocidades transfiere la potencia a su vez al diferencial que de nuevo impulsa los ejes que se acoplan a las ruedas. Todos estos dispositivos absorben parte de la potencia y como resultado, la potencia que llega a las ruedas es substancialmente menor de la que llega al volante del motor. La potencia en las ruedas es lo que determinara el desempeño del vehículo. (Hernández, 2007)

Este dinamómetro se emplea para la estimación de potencia y del par de torsión de un motor, su funcionamiento está basado en la estimación de energía necesaria para

acelerar una masa inercial conocida en un intervalo de tiempo dando así la potencia requerida, y con este dato obtenido se estima el par motor. (Hernández, 2007)

Esto se logra mediante la medición constante de la velocidad de giro. El motor se encuentra acoplado a un rodillo o varios rodillos o cuerpo balanceado con momento de inercia conocido el cual se acopla a la flecha del motor (puede ser directamente al motor en el caso de los dinamómetros de motor o bien a las ruedas del vehículo en el caso de los dinamómetros de chasis). Durante la prueba se mide la velocidad de giro de forma constante de la masa inercial a acelerar y se incrementa la velocidad del motor, al conocer el momento de inercia de la pieza que se va a acelerar por la acción del motor y la aceleración que es capaz de imprimirle el motor se puede conocer la potencia requerida. (Cerecero, 2012)

Los dinamómetros de inercia tratan sobre la base de que el vehículo se maneja con el acelerador a fondo en cuarta desde una velocidad baja. Entonces se mide que tan rápido el vehículo acelera los rodillos y a partir de allí se determina la potencia. Si se utiliza adecuadamente un dinamómetro de inercia puede utilizarse no solamente como un indicador de potencia con el acelerador a fondo. (Hernández, 2007)

Figura 4*Dinamómetro de inercia*

Nota. En la figura se muestra la disposición de los rodillos dentro del chasis del dinamómetro de inercia. Tomado de (Amarilla, 2016)

2.4.2 Dinamómetro de freno

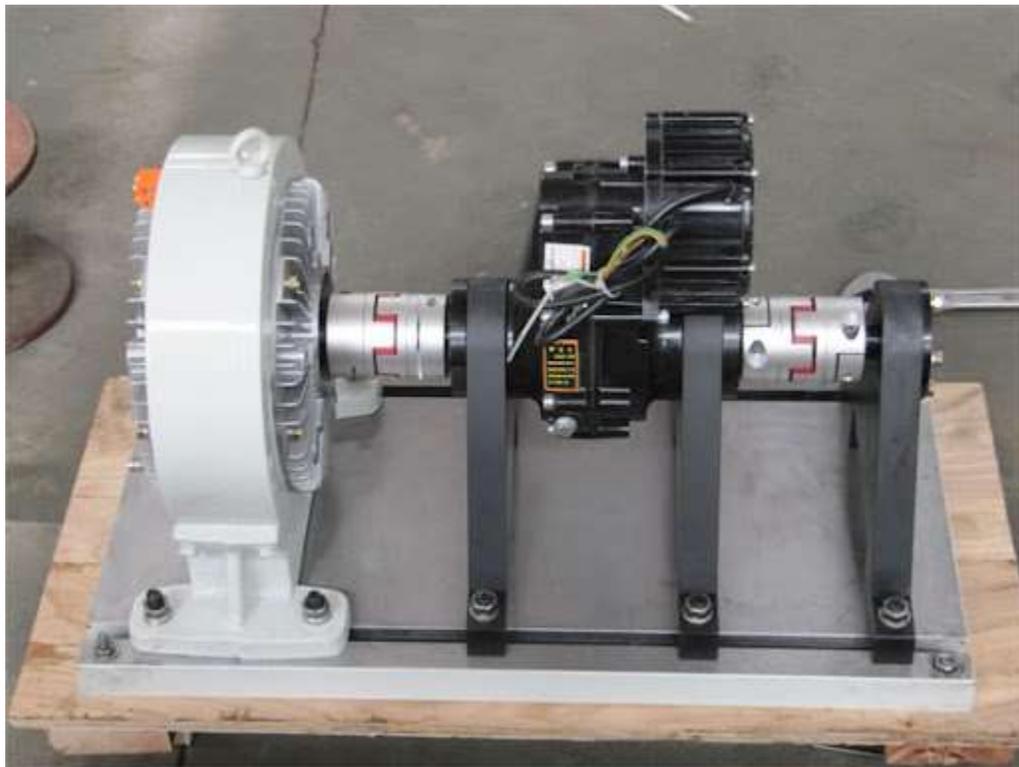
El principio de operación de este dinamómetro se basa en conectar la flecha del motor o las ruedas a un dispositivo capaz de oponerse al movimiento que produce el motor, el cual se conoce como unidad de absorción de potencia, el dispositivo se coloca de manera basculante por lo que al oponerse al giro del motor la reacción se registra mediante un medidor de fuerza convirtiéndolo en una señal eléctrica que será procesada posteriormente. (Cerecero, 2012)

Los dinamómetros que funcionan bajo este principio pueden realizar ensayos tanto en estado transitorio como estacionario (velocidad constante) pues no dependen de la aceleración de los elementos del dinamómetro (rodillos o masas inerciales) para realizar la medición, son sumamente útiles ya que son capaces de regular la carga que se oponen al giro del motor controlando la potencia absorbida por la PAU por lo que son ampliamente usados para generar condiciones de carga simuladas en los motores y de

esta forma llevar a cabo ensayos, pruebas de funcionamiento y verificaciones del comportamiento de los motores o vehículos bajo una amplia gama de condiciones que fácilmente pueden ser estandarizadas. (Cerecero, 2012)

Figura 5

Dinamómetro de freno



Nota. En la figura se observa un freno dinamómetro de corrientes de Foucault de estructura simple. Tomado de (Nantong Industrious, 2019)

2.4.3 Ventajas y desventajas entre el dinamómetro de frenado y el de inercia

La ventajas y desventajas que se presentan a continuación son dadas por (Hernández, 2007)

Ventajas y desventajas de un sistema de dinamómetro moderno de frenado automatizado:

- El operador puede variar la carga para poder sostener el motor a las velocidades constantes mientras que los parámetros tales como la ignición y provisión de combustible se pueden ajustar a los valores óptimos en diversas aberturas de la válvula reguladora del estado constante. (Hernández, 2007)
- Desafortunadamente la mayoría de los dinamómetros frenados o de carga tienden a utilizar los rodillos duales en cada rueda. Estos "atrapan" el neumático, causando deslizamiento, calor, pérdidas de HP o variaciones, y pueden causar problemas al neumático. (Hernández, 2007)
- Pueden ser peligrosos cuando se tiene un rendimiento muy alto en el motor, al haber inyectado en cantidades grandes nitroso, o al haber templado dos motores del tipo del movimiento mientras que están ya en el borde de la detonación y del daño por calor. Esto depende sobre todo de la experiencia del operador. (Hernández, 2007)
- Debido al hecho de que el dinamómetro puede ser calibrado, y en necesidad del hecho de ser calibrado puede que nunca será totalmente exacto. (Hernández, 2007)
- Debido al hecho que los rodillos no son exactos o pueden tener una pequeña variación en el tamaño, y porque generalmente utilizan el freno accionado por medio de una señal de voltaje de c.c., para determinar la potencia del rodillo (el torque x RPM), que en sí mismo esta señal tiene un nivel de Histéresis, adicionalmente este nivel de voltaje puede variar por variaciones en las resistencias debido a las temperaturas, errores la conversión análoga – digital. (Hernández, 2007)

Ventajas y desventajas de un sistema de dinamómetro de inercia automatizado moderno:

- No se requiere de calibración siempre y cuando sea el diseño correcto para el dinamómetro de inercia. Los valores de inercia deben ser calculados matemáticamente, la densidad del acero y las medidas deben ser exactas e integrar estos datos directamente al software para una buena medición. (Hernández, 2007)
- No existen parámetros externos que el usuario pueda modificar para alterar la calibración o medición. (Hernández, 2007)
- En comparación de los sistemas de freno o carga no existen variaciones de Histéresis por el desgaste de los frenos. (Hernández, 2007)

2.5 Tipos de dinamómetros

Dentro de los tipos de dinamómetros automotrices existen dos a conocer: el dinamómetro de motor y el dinamómetro de chasis, y partiendo de estos se definen otros tipos dependiendo la aplicación.

El dinamómetro de motor se acopla directamente al volante del motor (flywheel), por lo que el motor debe ser extraído del vehículo, este método requiere de adaptadores especiales para realizar el acoplamiento, aparte del tiempo que conlleva para realizar la medición. Los dinamómetros de chasis, por otro lado, se diseñaron para medir la potencia en las ruedas. Este tipo de dinamómetro es más sencillo en su medición ya que cuenta con un rodillo donde se montan las ruedas del vehículo o un adaptador que se acopla directamente al tambor de las ruedas del vehículo para realizar la medición según sea su aplicación. (Hernández, 2007)

2.5.1 Dinamómetros de motor

El uso de este tipo de dinamómetros es para motores conectados al equipo de medición, en una máquina que va enganchada de manera directa al motor que se desea medir, en talleres automotrices, departamentos de investigación y desarrollo se

utiliza este tipo sin estar dentro del vehículo, ya que el sistema de prueba simula una carga de motor como si estuviera funcionando instalado en el vehículo. (Hernández, 2007)

Figura 6

Dinamómetro de motor



Nota. La figura representa un motor de combustión interna empotrado sobre un dinamómetro de motor para su posterior prueba. Tomado de (Hernández, 2007)

a. Dinamómetro de motor para propósitos en general

Estos dinamómetros se usan tanto para motores diésel como para motores a gasolina, el dinamómetro de motor para propósitos en general mide la potencia de manera directa en el volante del motor para obtener mayor exactitud: al no existir transmisión no existe pérdidas en la misma que influyan en los resultados, posibilitando así tener un buen control sobre los parámetros y condiciones de prueba. (Hernández, 2007)

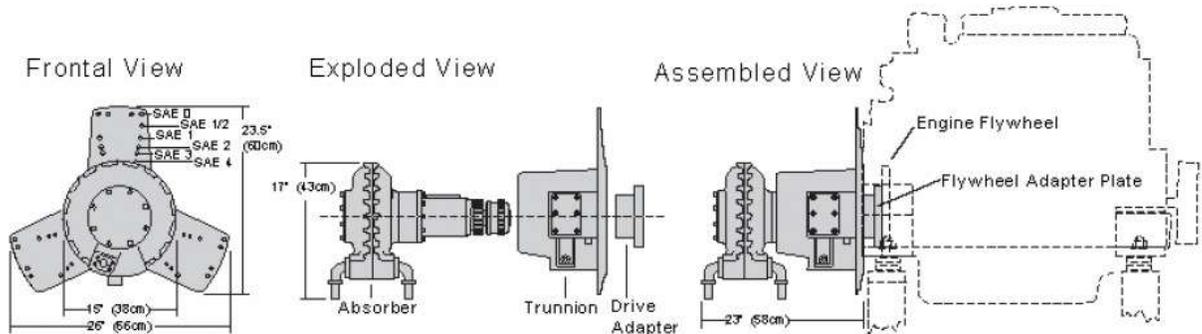
Medir el desempeño del motor en un dinamómetro de motor requiere quitar el motor del vehículo, además de tomar en cuenta que hay que agregar todos los sistemas auxiliares para apoyar el motor al dinamómetro para su funcionamiento, sin embargo: el suministro de combustible, suministro eléctrico, extracto de la descarga, el flujo de aire para el enfriamiento, el flujo de aire para la combustión, control de enfriamiento,

variación de la aceleración, etc., son servicios necesarios para la prueba del motor.

(Hernández, 2007)

Figura 7

Diagrama de acoplamiento de motor



Nota. En la figura se aprecia el diagrama de acoplamiento de un motor al dinamómetro de motor, en su vista frontal, explosionada y ensamblada. Tomado de (Hernández, 2007)

b. Medidor de Torque

Su funcionamiento es el mismo que los dinamómetros de motor para propósitos en general, pero con la diferencia que estos se diseñan para hacer pruebas de torque en dispositivos mecánicos más pequeños con la excepción de motores de ignición.

(Hernández, 2007)

Figura 8

Medidor de torque



Nota. En la figura se observa un dinamómetro de motor aplicado como un medidor de torque. Tomado de (Hernández, 2007)

2.5.2 Dinamómetros de chasis

Este tipo de dinamómetro es uno de los principales existentes en el mercado, y son las más comunes para realizar las pruebas de afinación de motor y medición de potencia.

a. Dinamómetros de freno o carga con rodillos

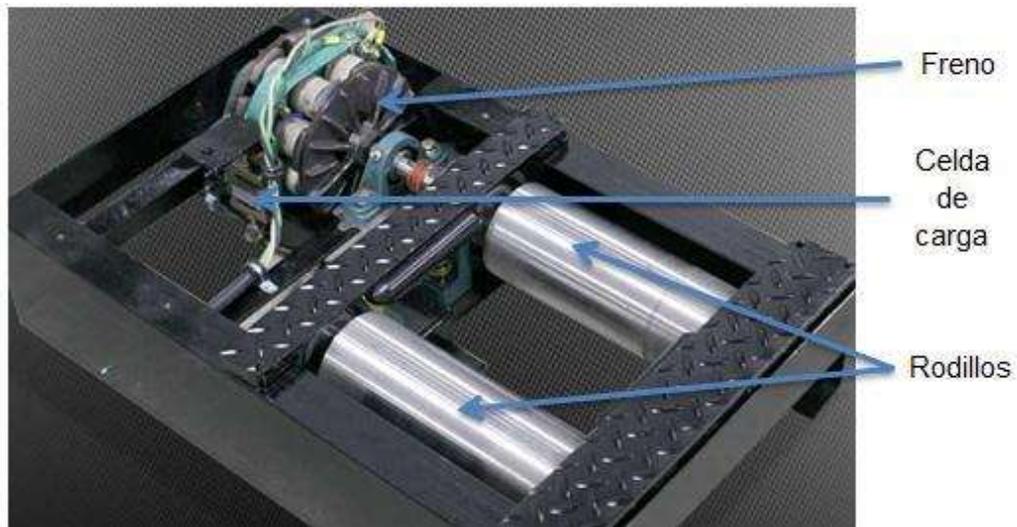
El dinamómetro de carga tiene un freno ligado a un rodillo o un sistema de freno de disco adaptado mecánicamente a los rodillos, para así lograr mantener al vehículo a una velocidad específica, con este estilo de dinamómetro el vehículo puede manejarse y puede afinarse a velocidades constantes bajo varias condiciones de carga. Esta es la única forma de afinar un vehículo adecuadamente, sobre todo para condiciones de carga parcial normales. (Hernández, 2007)

Los frenos utilizados en este tipo de dinamómetros tienden a calentarse durante la medición, razón por la cual se usa un sistema de bombeo de aceite o agua para la refrigeración, haciendo a este dinamómetro un poco más sofisticado por el tipo de freno, además que se debe recalibrar el freno de manera frecuente, ya que los frenos tienden

a tener desgaste variando la carga que se le aplica a los rodillos, la calibración puede realizarse una vez por mes, esto dependiendo del uso que se le dé al dinamómetro, incluyendo que es necesario verificar el funcionamiento mínimo dos veces por semana. (Hernández, 2007)

Figura 9

Dinamómetro para medición de potencia en rueda



Nota. En la figura se aprecia las partes de un dinamómetro de freno con rodillos.

Tomado de (Hormiga, 2013)

La verificación del funcionamiento consiste en conducir desde una desaceleración del dinamómetro en unos o más ajustes de los parámetros inercia-caballos de fuerza y el hacer la comparación del tiempo de la desaceleración y el tiempo registrado durante la calibración pasada. Si los tiempos de la desaceleración diferencian por más de un segundo, se requiere una nueva calibración. (Hernández, 2007)

b. Dinamómetros de freno o carga sin rodillo

Este sistema se lo debe adaptar de manera directa a tambores y discos del vehículo, para lo mismo se necesita retirar las ruedas del vehículo, sus diseños son

excluidos de los diferentes fabricantes para así poder realizar la medición de torque a base de engranajes. (Hernández, 2007)

Figura 10

Dinamómetro de freno sin rodillos



Nota. En la figura se aprecia un dinamómetro de freno o carga sin rodillos, donde su acoplamiento es directo al tambor o disco del vehículo. Tomado de (Hernández, 2007)

2.6 Componentes de un dinamómetro

Los componentes de un dinamómetro son diferentes según su aplicación, pero generalmente los elementos a resaltar son:

- Rodillos
- Chasis de dinamómetro
- Freno
- Ventiladores
- Extracto de gases
- Sistema de adquisición de datos
- Computadora

2.6.1 Rodillos

Estos son los elementos sobre los cuales van ubicadas los neumáticos del vehículo para que estos puedan girar, se encargan de transmitir la energía del freno en la caja de dinamómetro de frenado, es un componente muy importante de los dinamómetros por lo que se debe tener mayor cuidado y exactitud al fabricarlos, debido a que en base a sus medidas se calcula la inercia y estas deben ser constantes para no afectar las mediciones. (Hernández, 2007)

Estos pueden variar sus medidas dependiendo del diseño del dinamómetro como también del tipo y la capacidad que tenga en medir los HP, generalmente son sólidos pesados de acero inoxidable. (Hernández, 2007)

Figura 11

Rodillos



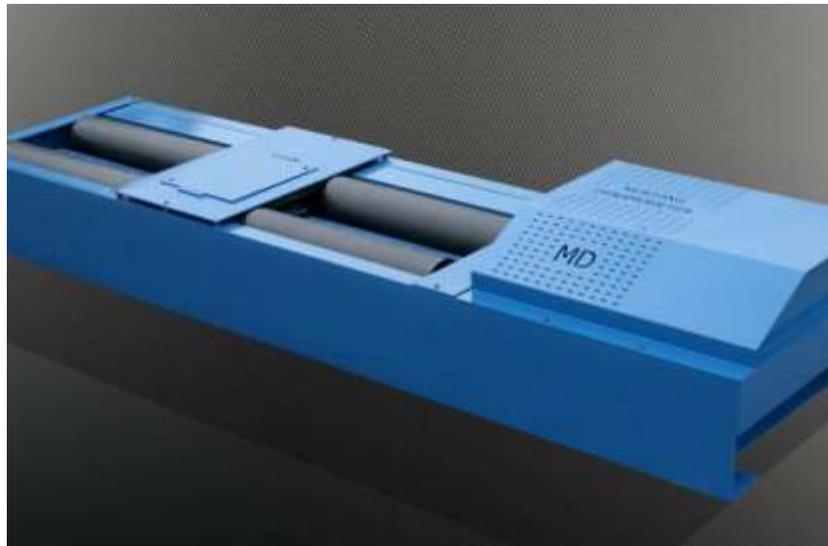
Nota. La figura muestra un par de rodillos que se utilizan en un dinamómetro. Tomado de (Hernández, 2007)

2.6.2 Chasis del dinamómetro

Este elemento apoya los montajes del tambor o rodillo, y forma el lazo entre el vehículo y el resto de accesorios como; extractores, ventiladores, entre otros. En resumen, es un marco de metal que cubre los rodillos y conecta al vehículo con el resto de componentes. (Hernández, 2007)

Figura 12

Dinamómetro de rodillos



Nota. En la figura se observa el chasis de un dinamómetro de rodillos cumpliendo su función de apoyo para los elementos del mismo. Tomado de (Auto Tools, 2021)

2.6.3 Freno o carga

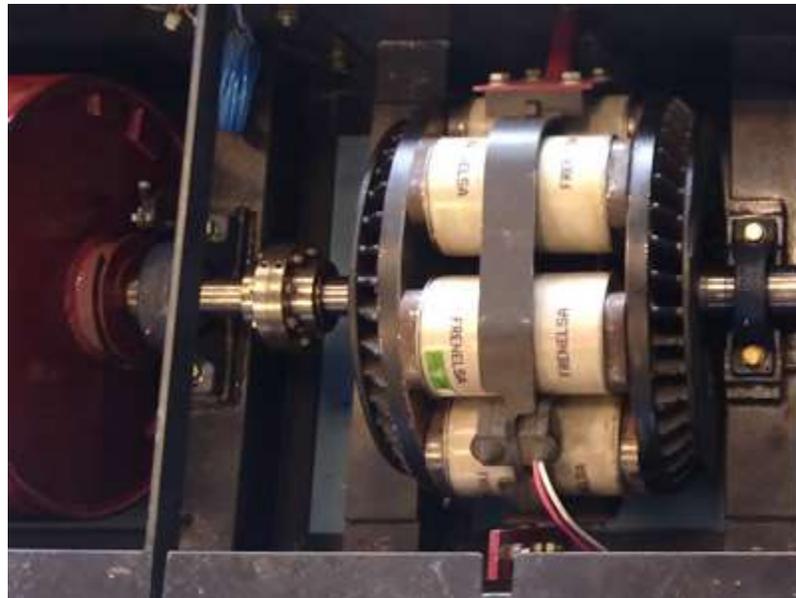
Es el encargado de simular todas las condiciones posibles de caminos por las que se puede conducir un vehículo y de esta manera conocer que potencia debería estar entregando o el desempeño que debería tener el vehículo. (Hernández, 2007)

El sistema de freno debe tener la capacidad de variar su carga en una amplia gama de posibilidades, así poder simular desde una carretera sin pendiente hasta una carretera con la pendiente deseada para el análisis del vehículo. (Hernández, 2007)

Actualmente la mayoría de los sistemas de freno son eléctricos y están situados junto a los rodillos que giran los neumáticos del vehículo, los frenos eléctricos generan electricidad que es empleada para generar la carga. En el caso de los sistemas de freno con disco, es necesario el uso de un sistema de enfriamiento ya sea a base de agua o aceite, estos se encuentran adaptados al rodillo por fajas o poleas. (Hernández, 2007)

Figura 13

Freno de corrientes parásitas



Nota. En la figura se aprecia un freno de corrientes parasitas utilizado en dinamómetro de rodillos. Tomado de (Montez, 2016)

2.6.4 Ventiladores

Elemento necesario para evitar un recalentamiento del vehículo, además tiene la función de proporcionar suficiente aire para simular el que recibe el vehículo cuando se maneja en carretera, y también para permitir el funcionamiento correcto de extractores de gases y calor. (Hernández, 2007)

En caso de no constar con un buen sistema de ventilación cuando el dinamómetro se encuentra instalado en una habitación, es probable que las mediciones obtenidas varíen como también elevaría la temperatura del motor drásticamente pudiendo dañar el mismo. (Hernández, 2007)

Si el dinamómetro se encuentra instalado en un cuarto cerrado es necesario emplear ventiladores extra, para mejorar la ventilación del espacio, o se puede hacer uso de algunas ventanas que proporcionen aire extra, ya que el motor y el extractor de gases pueden variar los niveles de aire y oxígeno dentro del cuarto, también son necesarios debido a que la presión dentro de los cuartos puede variar y así variar la medición que estemos realizando. (Hernández, 2007)

Figura 14

Prueba de vehículo en dinamómetro de rodillos



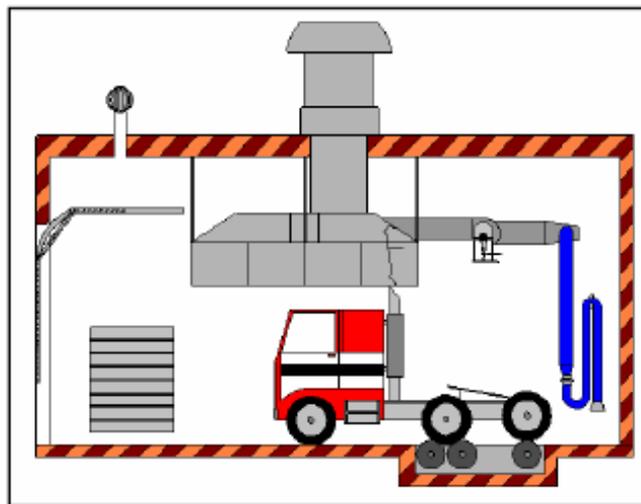
Nota. La figura demuestra la funcionalidad de los ventiladores durante el uso del dinamómetro. Tomado de (Yang, 2019)

2.6.5 Extractor de gases

Es otro de los equipos esenciales cuando el dinamómetro se encuentra instalado en un cuarto de pruebas, ya que los gases que genera el vehículo cuando se encuentra en plena prueba pueden provocar a las personas que se encuentren dentro del cuarto de pruebas intoxicaciones, además el aumento de estos gases dentro del cuarto de pruebas o tener demasiada contaminación de otro tipo de gas llega a reducir la potencia de los motores y así alterar las pruebas. (Hernández, 2007)

Figura 15

Cuarto para dinamómetro



Nota. En la figura se observa el sistema de extracción de gases para un dinamómetro de rodillos durante la prueba de un cabezal. Tomado de (Hernández, 2007)

2.6.6 Sistema de adquisición de datos

Sistema formado por partes tanto electrónicas como mecánicas encargadas de transferir la información hacia la computadora, entre los principales elementos que lo componen tenemos:

- Medidor de velocidad angular. – medidor basado en un tacómetro óptico, va acoplado a uno de los rodillos, consta con la capacidad de medir los cambios instantáneos de RPM en los rodillos siendo esta rapidez un determinante de la capacidad de medición que tiene el rodillo (Hernández, 2007)
- Medidor RPM motor. – este medidor puede ser del tipo gancho inductivo el cual al estar en presencia de un flujo de corriente eléctrica y siendo este un circuito magnético entrega una fuerza electromotriz inducida (fem). este medidor va conectado a uno de los cables de bujía del motor, para que cada vez que la bujía demande corriente que proporcione la energía necesaria para combustión, el medidor detecte el flujo de corriente y arroje un nivel de voltaje como respuesta. (Hernández, 2007)
- Multiplexor de señales. – es un circuito electrónico que se encarga de recibir todas las señales que los sensores o medidores emiten, para a continuación transferir una de ellas al convertidor analógico digital dependiendo de la selección. (Hernández, 2007)
- Convertidor analógico digital. – recibe la señal analógica proveniente del multiplexor de señales para convertirla en señal digital y enviarla por la interfaz de conexión al computador, para procesar los datos recibidos de los diferentes medidores y sensores. (Hernández, 2007)

También se pueden incluir medidores para tener como referencia la presión atmosférica, temperatura ambiente, humedad relativa y temperatura de ciertos elementos del motor.

Según las necesidades y equipamiento de cada dinamómetro es posible incluir un analizador de gases para medir; oxígeno, O₂%; monóxido de carbono, CO%; dióxido

de carbono, CO₂%; hidrocarburos, HC ppm; óxidos nitrosos, NO_x ppm. (Hernández, 2007)

Otro elemento que puede incluir este sistema es el control de la carga aplicada para los dinamómetros de carga o freno, este recibe señales de la PC en la cual se puede determinar la cantidad de carga aplicada para poder simular los carreteras o esquemas sobre el cual se desea conocer el comportamiento del vehículo. (Hernández, 2007)

a. Tacómetro

Dispositivo encargado de medir la velocidad de rotación de un eje, normalmente la velocidad de giro del motor, eje de la caja, entre otros. La medición la hace en (rpm). (Soto, 2017)

Un imán permanente que gira muy próximo a un disco de aluminio. La rotación produce un campo magnético rotacional que induce corriente eléctrica en el disco de aluminio, dirigen las corrientes inducidas de forma tal que se forman diminutas bobinas virtuales dentro de la masa del disco, la intensidad de las corrientes generadas crece cuando aumenta la velocidad. (Soto, 2017)

b. Medidor de temperatura

El calor medible mediante un termómetro es la noción referida que se le da a la magnitud conocida como temperatura. Se la define como una magnitud escalar que está relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico. (Soto, 2017)

La temperatura ambiente se mide con uso de un termómetro de dilatación térmica basado en la variación de la resistencia del platino, este sensor de temperatura por su principio físico de funcionamiento se basa en la resistividad haciendo variar la resistencia del conductor con la temperatura. Esto se debe a que al incrementar la

temperatura los iones vibran con mayor amplitud y así dificulta el paso de los electrones a través del conductor. Su unidad de medida es Celsius. (Soto, 2017)

Figura 16

Termómetro de dilatación



Nota. En la imagen se muestra un termómetro de dilatación de gas. Tomado de (Cartie, 2014)

La temperatura del ambiente es la que nos sirve como referencia para el ensayo con el dinamómetro de rodillos.

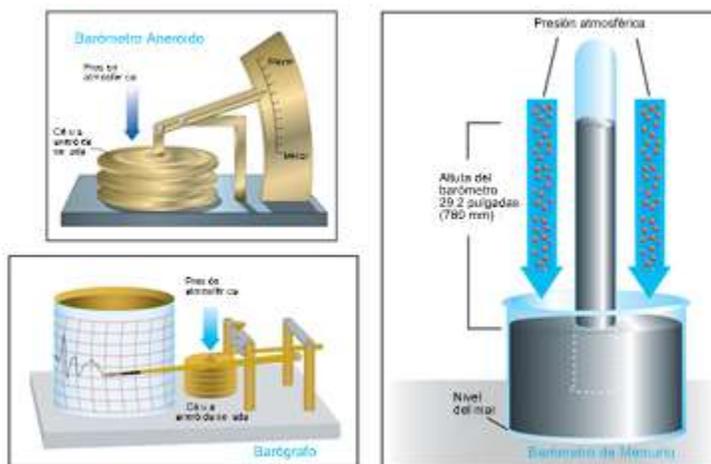
c. Medidor de presión atmosférica

Presión atmosférica es la fuerza por unidad de área que ejerce el aire sobre la superficie terrestre. (Soto, 2017)

Existen aparatos empleados para la medida de presión, utilizan la presión atmosférica como nivel de referencia y miden la diferencia entre la presión real o absoluta y la presión atmosférica, Los aparatos utilizados para medir la presión manométrica reciben el nombre de manómetros. (Soto, 2017)

Figura 17

Medidores de presión



Nota. En la figura se aprecian tres tipos de medidores de presión de izquierda a derecha se tiene barómetro aneróide, barógrafo y barómetro de mercurio. Tomado de (Hatheway, 2010)

La presión atmosférica disminuye con respecto aumenta la altitud a nivel del mar se tiene una medición como referencia de 760 mmHg. La presión baja su valor al aumentar la altitud sobre el nivel del mar (msnm). (Soto, 2017)

d. Medidor de humedad relativa

La humedad relativa (RH), mide la cantidad de agua presente en el aire en forma de vapor conformado por dos electrodos enrollados en espiral entre ellos se ubica un tejido impregnado de cloruro de litio acuoso. Se aplica a los electrodos una tensión alterna, el tejido se calienta y se evapora una parte del contenido de agua a una determinada temperatura, se consigue un equilibrio entre la evaporación por calentamiento del tejido y la absorción de agua de la humedad del ambiente por el cloruro de litio, es un material específicamente higroscópico, así se puede saber con precisión el grado de humedad. (Soto, 2017)

La herramienta de medición utilizada para la humedad relativa es el higrómetro.

Figura 18

Higrómetro



Nota. En la figura se muestra un higrómetro de la marca Alemana TFA. Tomado de (Airlia, 2021)

2.6.7 Computadora

A pesar de que los dinamómetros pueden funcionar de manera correcta sin una de estas, es necesaria para poder procesar la gran cantidad de datos que se generan en tiempos tan cortos, además que facilita la visualización de lo que está sucediendo en tiempo real como el desempeño del motor o la potencia que está entregando a las ruedas del vehículo. (Hernández, 2007)

Además que con la gran versatilidad que nos brindan las computadoras podemos sacarle mayor provecho al dinamómetro, ya que podemos guardar las mediciones registradas de cierto vehículo y luego compararlas con el mismo al momento de realizar reparaciones o modificaciones. (Hernández, 2007)

Figura 19

Computadora e impresora



Nota. Gabinete con computadora e impresora para dinamómetros. Tomado de (Hernández, 2007)

2.7 Resistencia de materiales

Actualmente las maneras de cuantificar la resistencia de los materiales son varias, las mismas dependen mucho del tipo de elemento a utilizar para la realización de una estructura en especial. (Santamaria, 2016)

Actualmente en la vida practica la determinación de resistencia de materiales se ha facilitado gracias a la utilización de softwares de diseño computarizado, donde es posible realizar la medición de las cargas admisibles de un dispositivo, ahorrando así miles de dólares en el desarrollo de elementos. (Santamaria, 2016)

El cálculo de resistencia de un material debe seguir los siguientes pasos.

- Calcular esfuerzos

- Analizar resistencias
- Analizar rigidez

A su vez se aplica la siguiente fórmula.

$$\delta = D_{\varepsilon} = \rho$$

Donde:

$D_{\varepsilon} = \text{Deformación tangencial}$

$\delta = \text{Ángulo desplazado}$

$\rho = \text{distancia}$

En la actualidad como ya se mencionó anteriormente los programas computarizados permiten reducir el tiempo de análisis de resistencia de un material. (Santamaria, 2016)

Para esto se han definido distintas pruebas de resistencia que se aplican en programas, la resistencia en base al cálculo de Von Misses, el mismo que determina el factor de seguridad. (Santamaría, 2016)

La teoría del fallo de Von Misses, lleva el nombre de su creador, este valor es una magnitud física, la misma que es proporcional a la energía de distorsión, para esto se debe de interpretar que, en diseño de materiales, este valor es determinado como un indicador de un correcto diseño. (Santamaría, 2016)

Este valor es proporcional a la energía de deformación elástica, determina que el material en base a las especificaciones de fabricación, resistiría o no la carga aplicada, para esto se debe de determinar la resistencia del material y la carga a aplicar, este valor al dividirlo debe de dar paso a la respuesta. (Santamaria, 2016), hay que analizar dicho calculo a continuación:

$$\epsilon_{dist} \geq \frac{\sigma_y}{E}$$

Donde:

ϵ_{dist} = *Factor de seguridad*

σ_y = *Carga resultante*

E = *Carga máxima aplicable*

Capítulo III.

3. Vida útil de los elementos críticos del dinamómetro de rodillos.

3.1 Consideraciones iniciales.

El presente proyecto tomo como primera consideración la selección de materiales para lo cual se debe considerar que los materiales seleccionados sean tipo dúctil y maleable, por lo cual el factor de seguridad a utilizar se obtiene de la siguiente expresión.

$$N_{ductil} \cong MAX (F1, F2, F3)$$

Donde:

N_{ductil} . Factor de seguridad

F1, F2, F3. Criterios de calidad de información de los materiales a emplear

Tomando en cuenta la ecuación presentada, tenemos que

- F1=3. Se cuenta con datos suficientes representativos del material
- F2=1. Condiciones del entorno, principalmente habitación
- F3=3. Los modelos analíticos a emplear representan al sistema de forma aproximada

A esto el factor de seguridad adecuado para utilizar es de $N_{ductil} = 3$.

3.2 Vida útil de los rodillos

Es el primer elemento crítico a analizar, sobre estos descansa el peso del vehículo además de ser el componente que recibe y transmite la potencia al resto de componentes involucrados en la absorción de potencia del dinamómetro.

Debido a manufacturas y complejidad de producción de tubos a partir de aceros es necesario seleccionar una tubería existente en el mercado con las dimensiones requeridas para la construcción de rodillos, consultando en catálogos se obtuvo y se seleccionó tubería fabricada bajo la norma ASTM-ISO 1010, la misma especifica características tanto químicas como mecánicas y tolerancias de fabricación adecuadas al fin de este proyecto. Las propiedades químicas y mecánicas del material se muestran en la tabla 1.

Tabla 1

Propiedades físico químicas del acero SAE 1010

ACERO SAE 1010	
Composición Química	
Carbono (C)	0.08/0.13%
Manganeso (Mn)	0.3/0.6%
Fosforo (P)	0.04 % máx.
Azufre (S)	0.05% máx.
Silicio (Si)	0.1% máx.
Propiedades Mecánicas	
Límite elástico kg/mm^2	45/60
Resistencia a la tracción kg/mm^2	40
% de alargamiento	20
% de reducción de área	40
Dureza Brinell	58-60 HRC

Nota. En la tabla se muestra la composición química y las propiedades mecánicas del acero SAE 1010. Tomado de (aceroscol, 2021)

3.2.1 Cálculo de la soldadura del rodillo

Es necesario realizar los cálculos de los esfuerzos que va a soportar el cordón de soldadura, ya que los rodillos no se pueden maquinar en su totalidad razón por la cual es necesario soldar las puntas del eje con el cilindro de la sección hueca.

Algunos de los criterios a elegir para la soldadura del rodillo serán; el patrón del cordón de soldadura, el electrodo a utilizar, tipo de soldadura, longitud de la soldadura y posición de la soldadura.

a. Electrodo

Al hacer uso de un electrodo sobre aleación de aceros es necesario aprovechar las ventajas que la aleación otorga propiamente, es necesario realizar un revenido a 620°C aproximadamente para así eliminar esfuerzos. Para el caso de electrodos de acero su denominación norteamericana especifica entre cuatro o cinco dígitos con la letra E. el valor de la resistencia mínima a la tracción se aprecia en los dos primeros dígitos, y para el caso del recubrimiento es indicado por los dos últimos dígitos, también especifican suministro de corriente, posición de soldadura, entre otros.

Figura 20

Denominación norteamericana de electrodos



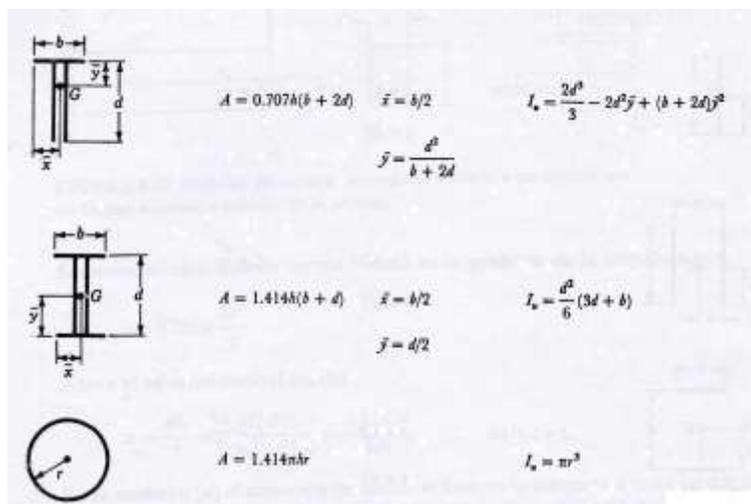
Nota. Se observa un electrodo cuya denominación es E-308L-16. Tomado de (Soldadura, 2017)

b. Determinación del área de soldadura

Usando la tabla 2, indicamos el área de la garganta de la soldadura.

Figura 21

Cálculo de áreas de soldadura según perfil



Nota. En la gráfica se aprecia que la tercera fila pertenece a la soldadura en un perfil redondo como es el rodillo. Tomado de (Shigley, 19899)

La tabla completa de las áreas de soldadura según su perfil se la encuentra en el anexo 1.

$$A = 1.414\pi hr$$

Ecuación 1

Área de soldadura

Nota. Tomado de (Shigley, 19899)

Dónde: A = área de la garganta de soldadura

h = cateto del cordón de la soldadura

r = radio de la soldadura

Tomando para el cateto del rodillo un valor de $h = 8$ (mm) y para el centroide al grupo de la soldadura un valor de $r = 0.16195$ (m) tenemos la siguiente área de soldadura calculada.

$$A = 1.414\pi hr$$

$$A = 1.414 * \pi * 0.008(m) * 0.16195(m)$$

$$A = 5.75 E^{-3} (m)$$

c. Esfuerzo primario de la soldadura para flexión

$$\sigma_{primario} = \frac{f_r}{A}$$

Ecuación 2

Esfuerzo primario para flexión.

Nota. Tomado de (Soto, 2017)

Donde: $\sigma_{primario}$ = esfuerzo primario

f_r = fuerza cortante (valor utilizado 15794.1 N)

A = área de la soldadura

$$\sigma_{primario} = \frac{15794.1 (N)}{5.75 E^{-3} (m^2)}$$

$$\sigma_{primario} = 2.75 (MPa)$$

d. Esfuerzo secundario de la soldadura para torsión

$$\sigma_{secundario} = \frac{M_r}{J}$$

Ecuación 3.*Esfuerzo secundario para la torsión.**Nota. Tomado de (Soto, 2017)*Donde: $\sigma_{secundario}$ = esfuerzo secundario

M = momento cortante

J = momento polar de inercia (valor utilizado $3.44 E^{-4}(m)^4$)

$$\sigma_{secundario} = \frac{2766.80 (N.m) * 0.16195(m)}{3.44 E^{-4}(m)^4}$$

$$\sigma_{secundario} = 1.3 (MPa)$$

e. Esfuerzo máximo de la soldadura

Debido a que el esfuerzo máximo se produce en las esquinas el esfuerzo debe combinarse.

$$\sigma_{max} = \sqrt{\sigma_{primario}^2 + \sigma_{secundario}^2}$$

Ecuación 4.*Esfuerzo máximo de soldadura**Nota. Tomado de (Soto, 2017)*Donde: σ_{max} = esfuerzo máximo de la soldadura $\sigma_{primario}$ = esfuerzo primario $\sigma_{secundario}$ = esfuerzo secundario

$$\sigma_{max} = \sqrt{(2.75(MPa))^2 + (1.3(Mpa))^2}$$

$$\sigma_{max} = 3.04 \text{ (MPa)}$$

f. Resistencia del cordón de soldadura

$$\sigma_{cordón} = K_{fs} * \sigma_{max}$$

Ecuación 5.

Resistencia del cordón de soldadura.

Nota. Tomado de (Soto, 2017)

Donde: $\sigma_{cordón}$ = esfuerzo del cordón

σ_{max} = esfuerzo máximo de torsión

K_{fs} = esfuerzo de concentración de esfuerzo para torsión

De la tabla 3 que se muestra a continuación se selecciona el valor del esfuerzo de concentración de esfuerzo para torsión (K_{fs}) el mismo cuyo valor es de 1.5 correspondiente a soldadura de filete transversal, en la punta.

Tabla 2

Esfuerzo de concentración según el tipo de soldadura

TIPO DE SOLDADURA	K_f
A tope, con refuerzo	1.2
De filete transversal, en la punta	1.5
De filetes longitudinales paralelos, en el extremo	2.7
A tope en T, con esquinas agudas	2.0

Nota. En la gráfica se aprecia en la fila 3 el tipo de soldadura de filete transversal, en la punta, mismo que se utiliza en el rodillo. Tomado de (Shigley, 19899)

Reemplazando en la ecuación tenemos.

$$\sigma_{cordón} = 1.5 * 3.04 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_{cordón} = 4.56 \text{ (MPa)}$$

Con todos los cálculos realizados previamente se puede continuar con la selección del electrodo con basamento en las características del material y la resistencia del cordón de soldadura, debemos optar por un electrodo de propiedades similares al acero AISI 1010.

Con todo esto en mente el electrodo adecuado para esta aplicación es el E6010, al tener una resistencia a la tracción de 430 (MPa) el mismo que comparado con el valor de $\sigma_{cordón} = 4.56 \text{ (MPa)}$ nos indica que es favorable para la soldadura del rodillo.

Figura 22

Electrodos E6010



Nota. El electrodo mostrado es el que se utilizara para soldar el eje al rodillo. Tomado de (Soldadura, 2017)

3.2.2 Vida finita del rodillo

Para hallar la vida finita de los rodillos se debe tomar como referencia mínima de numero de ciclos $N_e = 10^6$, y los valores de $S_e = 84.302 \text{ MPa}$ y $S_{ut} = 320 \text{ MPa}$

Tenemos así la siguiente ecuación:

$$\frac{0.9 * S_{ut} - S_e}{10^3 - 10^6} = \frac{\sigma_p - S_e}{N - 10^6}$$

Ecuación 6.

Vida finita del rodillo

Nota. Tomado de (Soto, 2017)

$$\frac{0.9 * 320 \text{ MPa} - 84.302 \text{ MPa}}{10^3 - 10^6} = \frac{0.459 \text{ MPa} - 84.302 \text{ MPa}}{N - 10^6}$$

$$\frac{203.698 \text{ MPa}}{-999000} = \frac{-83.843 \text{ MPa}}{N - 10^6}$$

$$N - 10^6 = \frac{-83.843 \text{ MPa} * -999000}{203.698 \text{ MPa}}$$

$$N - 10^6 = \frac{-83.843 \text{ MPa} * -0.99 \times 10^6}{203.698 \text{ MPa}}$$

$$N - 10^6 = 407488.3897$$

$$N = 407488.3897 + 10^6$$

$$N = 1407488.39 \text{ ciclos}$$

El número de ciclos calculado corresponde al máximo de ciclos que puede girar el rodillo en un periodo continuo de operación. Aplicando regla de 3 se obtiene que diariamente el rodillo va a operar durante 469.163 min que equivale a 7.82 horas.

3.3 Vida útil del eje

Se conoce que los ejes vinculan a los rodillos con el resto del dinamómetro, y estos también permiten transmitir las sollicitaciones a los rodillos y a la unidad de absorción de potencia.

Las fabricaciones de los ejes sugieren que estos sean soldados a los rodillos, para lo cual ya se realizó el cálculo previo de soldadura, ahora es necesario que el material del eje sea bajo en carbono con un módulo de elasticidad elevado, para evitar la necesidad de realizar tratamientos térmicos a todo el rodillo aumentando costos.

Con esto en mente el material adecuado y seleccionado para el eje del dinamómetro es el acero SAE 1018 por su módulo de elasticidad similar al resto de aceros, presentando la ventaja de tener bajo contenido de carbono, las propiedades del material mencionado se encuentran en la tabla 3 que se muestra a continuación.

Tabla 3

Propiedades físico químicas del acero SAE 1018

ACERO SAE 1018	
Composición Química	
Carbono (C)	0 - 0.20%
Manganeso (Mn)	0 - 0.7%
Fosforo (P)	0 - 0.4%
Azufre (S)	0 - 0.05%
Silicio (Si)	0 - 0.25%
Propiedades Mecánicas	
Resistencia mecánica N/mm^2	410 - 520
Punto de fluencia N/mm^2	235

ACERO SAE 1018	
% de alargamiento	20
Dureza Rockwell B	143

Nota. En la tabla se aprecia la composición química y las propiedades mecánicas del acero SAE 1018. Tomado de (DIPAC, 2021)

El eje y los rodillos se modelan como elementos paralelos y el equilibrio de los mismos está en serie, razón por la cual la vida útil del eje va a ser igual a la vida útil de los rodillos, sin embargo, es necesario analizar el chavetero y chaveta del eje ya que es un elemento que puede presentar fallas en caso de seleccionar o dimensionar de manera errónea.

3.3.1 Chavetero y chaveta para el eje del rodillo

Para el caso de la chaveta se recomienda que su ancho sea $\frac{1}{4}$ de diámetro del eje que para este caso es de $w = 0.02$ (m), por lo tanto, si la chaveta es cuadrada la altura será de $h = 0.02$ (m). Con lo mencionado anteriormente que la chaveta tiene que ser un cuarto del diámetro del eje 0.08 (m) entre 4 se tiene 0.02 (m), quedando normalizado la chaveta y como incógnita la longitud de la chaveta por corte.

a. Teoría de falla de la chaveta

La chaveta será de acero AISI-1045, el mismo que es recomendado para la fabricación de chavetas este acero tiene un esfuerzo de fluencia $S_y = 310.05$ (MPa) tomando $n_s = 3$ como factor de seguridad recomendado para aplicaciones industriales adecuado para condiciones de seguridad apropiadas. El esfuerzo cortante de la chaveta es de $t_d = 29.86$ (MPa) y el esfuerzo de aplastamiento del diseño de la chaveta es $S_d = 59.74$ (MPa)

El esfuerzo con la teoría de falla debe cumplir las siguientes condiciones.

$$t_{diseño} \leq \frac{0.40 * S_y}{n_s}$$

Ecuación 7.

Teoría de falla de chaveta.

Nota. Tomado de (Soto, 2017)

$$t_{diseño} \leq \frac{0.40 * 310.05 (MPa)}{3}$$

$$29.86 (MPa) \leq 41.34(MPa)$$

$$S_{diseño} \leq \frac{0.90 * S_y}{n_s}$$

$$S_{diseño} \leq \frac{0.90 * 310.05 (MPa)}{3}$$

$$59.74 (MPa) \leq 93.015(MPa)$$

Teniendo como resultado que el acero seleccionado para la chaveta cumple con las condiciones planteadas en la teoría de fallas de la chaveta.

3.4 Vida útil rodamiento y chumacera.

Se sabe que la chumacera tiene la función de alojar al rodamiento y también es el encargado de ensamblar el rodillo con el chasis del dinamómetro, mismo que soporta el peso del vehículo durante los ensayos.

El rodamiento debe tener en su diámetro interior un valor igual al diámetro exterior del eje del rodillo que en este caso es de 0.08 (m), para lo cual el rodamiento seleccionado es FYJ 80 TF Cuyas dimensiones cumplen las características mencionadas.

Para determinar la vida útil del diseño del rodamiento vamos hacer uso de la siguiente formula.

$$\frac{L_2}{L_1} = \frac{P_1^a}{P_2}$$

Ecuación 8.

Vida útil del rodamiento.

Nota. Tomado de (Soto, 2017)

Donde: L_1 = vida nominal

L_2 = vida útil del diseño

P_1 = fuerza del catálogo

P_2 = fuerza radial equivalente (14825.39 N)

$a = 3.33$ para rodamientos de rodillo

En el catálogo del rodamiento podemos recuperar la fuerza del catálogo, cuyo valor debe ser el más cercano a $P_2 = 14825.39$ (N) teniendo así un valor para $P_1 = 173$ (KN), y un valor de $L_1 = 10^6$ revoluciones y reemplazando los valores se tiene.

$$L_2 = L_{diseño} = L_1 * \frac{P_1^a}{P_2}$$

$$L_{diseño} = 10^6 * \frac{173 (KN)^{3.33}}{14.825 (KN)}$$

$$L_{diseño} = 3575042143 \text{ rev}$$

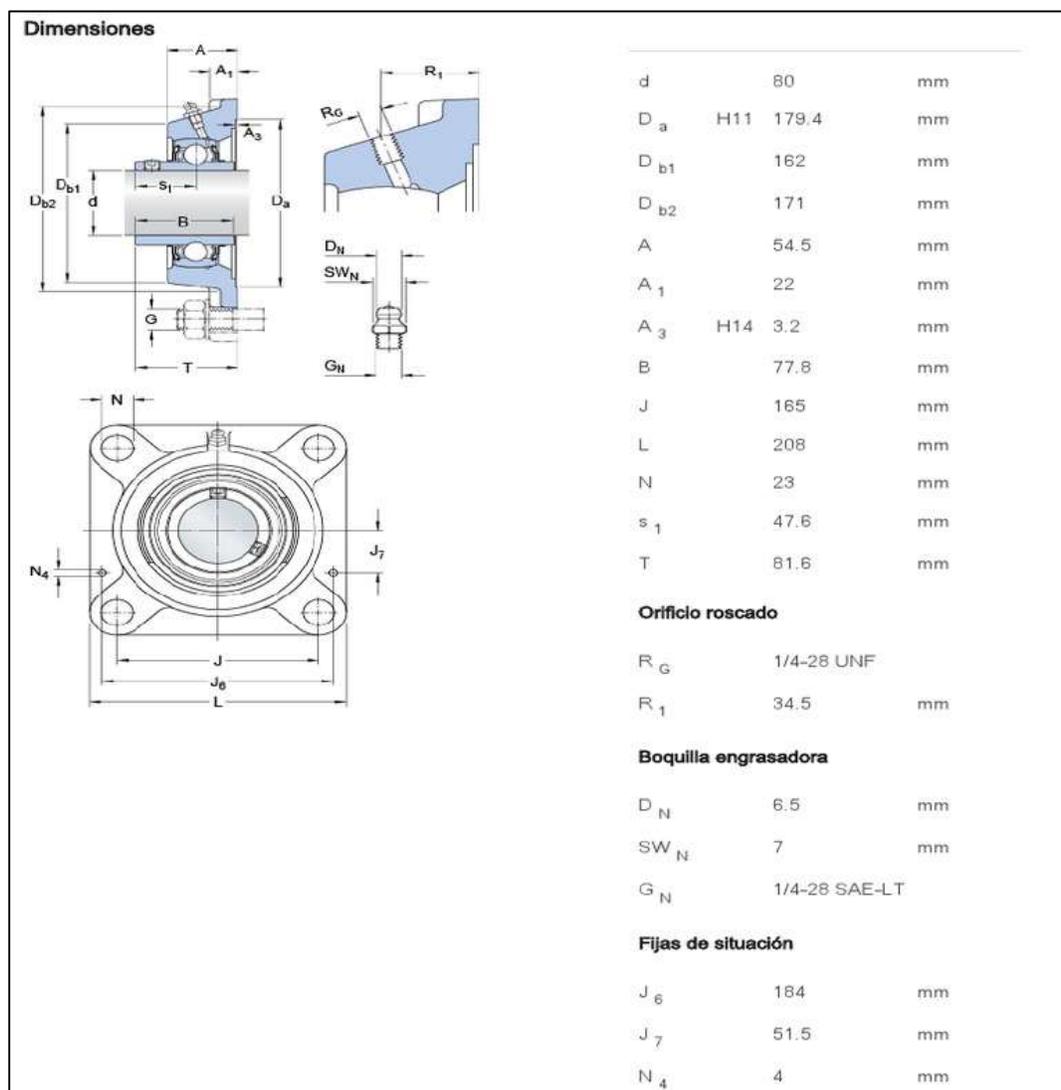
La vida útil del rodamiento expresado en horas es.

$$L_{diseño} = 3575042143 \text{ rev} * \frac{1 \text{ (minutos)}}{980.57 \text{ (rev)}} * \frac{1 \text{ (h)}}{60 \text{ (minutos)}}$$

$$L_{diseño} = 60764.69 \text{ (horas)}$$

Figura 23

Dimensiones rodamiento



Nota. En la figura se aprecia las dimensiones del rodamiento FYJ 80 TF utilizado en el dinamómetro de rodillos. Tomado de (SKF, 2021)

3.5 Acople flexible del dinamómetro

Como ya es sabido un acople flexible para esta aplicación cumple la función de transmitir el momento torsor del rodillo al freno hidráulico del dinamómetro, el mismo consta de una chaveta que impide el movimiento axial de ambos componentes ensamblados.

Para el caso el acople flexible este hecho de un acero sólido AISI 1018 cuyas características se detallan en la tabla 4. Para la selección correcta del acople flexible se toman en cuenta el momento torsor del rodillo maestro cuyo valor es de $T = 683.39$ (Nm), en función del diámetro del eje. El momento torsor que puede transmitir un acople flexible tipo T es de $T = 6046.09$ (Lb.in), comparando ambos valores de momento torsor mostrados anteriormente con la tabla 4 mostrada a continuación, se seleccionará el acople flexible 1070-T para el dinamómetro de rodillos.

Figura 24

Acoples flexibles

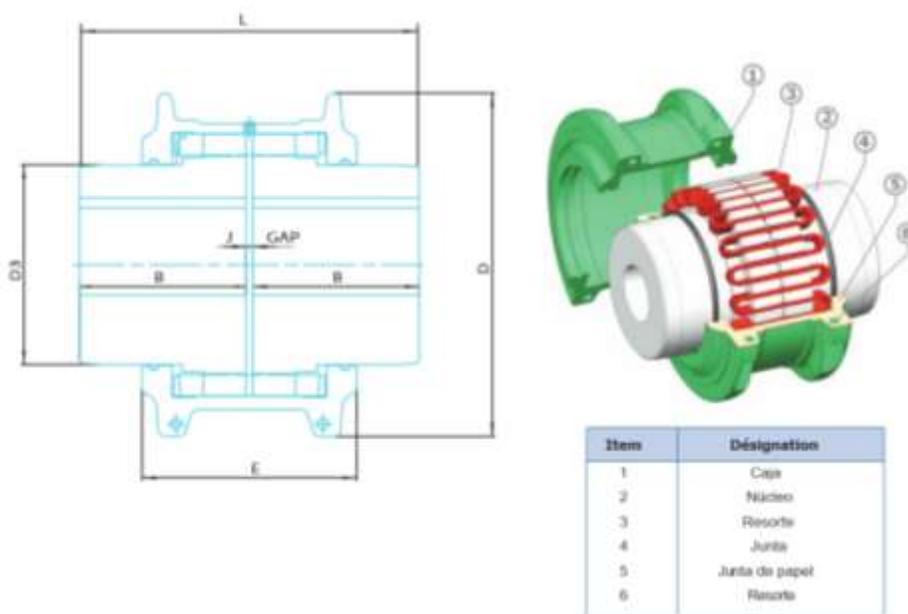
SIZE	Torque Rating (lb-in) †	Max Bore (Flanged Hub)	Min Bore †	Pilot Hub Bore	Wt Per Cplg No Bore-lb	Wt Added Per Inch of Length of SD Dia Between Hubs	Lube Wt Per Cplg-lb	DIMENSIONS											
								A	BE Min	C	D	DD	F	J	M	P	SB	SD	Gap
1030T	1,320	1.375	.500	1.06	8.6	0.279	.09	4.56	6.38	1.88	1.94	3.30	3.18	1.98	3.06	1.06	1.06	1.12	.125
1050T	3,850	1.875	.500	1.44	19.5	0.500	.15	6.20	7.66	2.38	2.62	4.14	4.12	2.33	3.70	1.42	1.44	1.50	.125
1070T	8,800	2.500	.750	1.94	34.4	0.889	.25	7.20	8.38	3.00	3.44	4.98	5.08	2.56	4.06	1.96	1.94	2.00	.125
1080T	18,150	3.000	1.062	2.44	58.2	1.390	.38	8.60	10.82	3.50	4.12	6.10	6.15	3.38	5.28	2.05	2.44	2.50	.125
1090T	33,000	3.500	1.062	2.94	82	2.000	.56	9.64	11.56	3.88	4.88	7.10	6.92	3.63	5.66	2.30	2.94	3.00	.125
1100T	55,550	4.000	1.625	3.62	139	3.130	.94	11.26	14.65	4.75	5.59	8.32	8.20	4.62	7.14	2.73	3.62	3.75	.188
1110T	82,500	4.500	1.625	4.00	184	3.770	1.12	12.76	15.38	5.00	6.31	9.66	9.00	4.81	7.50	2.91	4.00	4.12	.188
1120T	121,000	5.000	2.375	4.62	216	5.010	1.62	12.88	17.82	5.88	7.06	7.06	10.12	5.76	8.66	3.29	4.62	4.75	.250
1130T	176,000	6.000	2.625	5.25	309	6.430	2.0	14.38	18.22	6.38	8.56	8.56	11.62	5.88	8.86	3.73	5.25	5.38	.250
1140T	253,000	7.250	2.625	5.62	462	7.350	2.5	16.50	18.98	7.25	10.00	10.00	13.22	6.14	9.24	4.48	5.62	5.75	.250
1150T	352,000	8.000	4.250	6.38	610	9.390	4.3	18.80	21.62	7.20	10.68	10.60	15.40	6.98	10.56	4.00	6.38	6.50	.250
1160T	495,000	9.000	4.750	7.88	840	14.200	6.2	21.60	23.10	7.80	12.00	12.00	17.40	7.46	11.30	4.40	7.88	8.00	.250
1170T	660,000	10.000	5.250	7.88	1144	14.200	7.7	23.80	24.50	8.50	14.00	14.00	19.46	7.92	12.00	4.90	7.88	8.00	.250
1180T	915,200	11.000	6.000	8.88	1583	18.000	8.3	26.20	26.50	9.40	15.50	15.50	21.90	8.94	13.00	5.56	8.88	9.00	.250
1190T	1,210,000	12.000	6.000	9.88	1979	22.200	9.7	27.90	28.00	10.20	17.20	17.20	23.60	9.52	13.76	6.20	9.88	10.00	.250
1200T	1,650,000	13.000	7.000	10.88	2657	26.900	12.4	30.80	29.30	11.00	19.60	19.60	26.10	9.92	14.40	6.80	10.88	11.00	.250

Nota. En la tabla se aprecia la talla, propiedades mecánicas y dimensiones de los acoples flexible. Tomado de (elvatron, 2018)

El acople 1070-T cumple con un momento torsor $T = 8800 \text{ (Lb. in)}$ cumpliendo con los requerimientos mencionados.

Figura 25

Acople flexible



Nota. El acople flexible mostrado en la figura es el 1070-T mismo que se utilizará en el dinamómetro de rodillos. Tomado de (Winflex DG, 2021)

3.5.1 Vida útil del acople flexible del dinamómetro

La vida útil de un acople flexible va a depender del mantenimiento y correcta lubricación de los mismos, ya que estos se deslizan y pivotan entre sí con altas cargas inducidas, sobre áreas de contacto pequeñas, necesitan lubricación para prevenir el desgaste.

Para proteger y evitar el desgaste de los acoples es necesario seguir con las siguientes indicaciones dadas a los operadores.

1. Seleccionar el lubricante de grasa adecuado diseñado para el tipo, la velocidad y el tamaño del acople. (Mobil TM, 2016)
2. Instalar el acople seleccionado correctamente dentro de las tolerancias permitidas de desalineación, par de torsión máximo y condiciones de par de torsión continuo. (Mobil TM, 2016)
3. Inspeccionar con frecuencia la maquinaria en busca de signos de sellos y ranuras de chavetas de lubricante con pérdidas, tapones de relleno y bridas; pernos faltantes o sueltos y vibración, realineando el equipo periódicamente. (Mobil TM, 2016)
4. Determinar la cantidad correcta de lubricante y la frecuencia de inspección de la máquina. (Mobil TM, 2016)

Por último, al relubricar un acople, los operadores deberían retirar periódicamente el acople para una mejor inspección visual y para limpiarlo profundamente. (Mobil TM, 2016)

Para volver a ensamblar los acoples de rejilla:

- Coloque grasa en los bujes a mano forzando la grasa entre todos los canales de la rejilla (acoples de rejilla) y los eslabones de cadena (acoples de cadenas). (Mobil TM, 2016)
- En el caso de acoples de rejilla, instale la rejilla dentro de los canales de grasa. (Mobil TM, 2016)
- Instale todos los sellos y cubiertas. (Mobil TM, 2016)

3.6 Vida útil del chasis del dinamómetro

Es la estructura encargada de sostener y soportar los componentes del dinamómetro de rodillos, tal función resulta en que a este se transmitan todas las

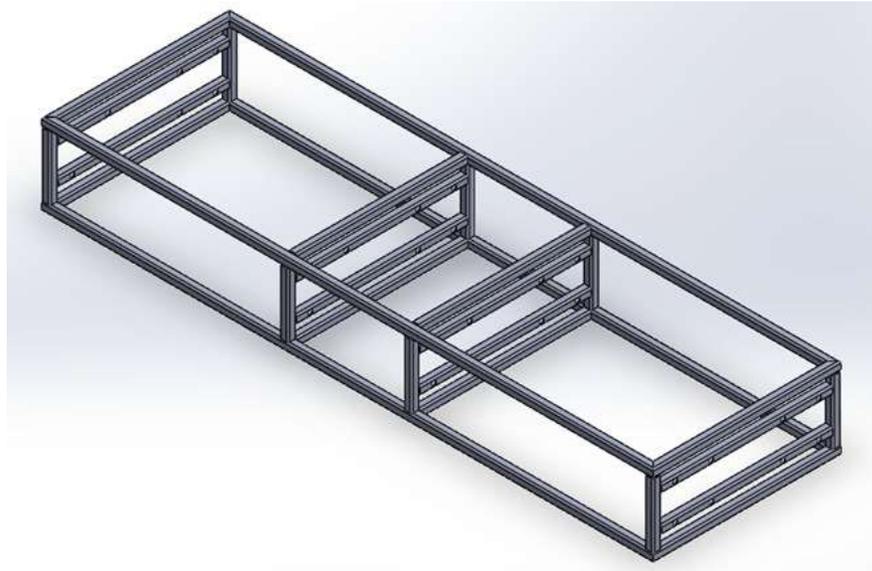
solicitaciones aplicadas como peso del vehículo, peso de los componentes del dinamómetro, vibraciones, entre otros. Razón por la cual debe ser resistente y soportar las solicitaciones sin presentar deformaciones.

Una estructura que cumpla con las solicitaciones mencionadas anteriormente y además que sea de bajo peso y de dimensiones reducidas será construida de acero AISI SAE 1018 mismo que será conformada para dar forma y resistencia necesaria al dinamómetro. Las propiedades del acero seleccionado se encuentran descritas en la tabla 4.

El diseño se lo realiza con el material mencionado anteriormente doblado y cortado a las dimensiones requeridas de tal manera que una vez ensamblado se obtenga como resultado el mostrado en la figura 25.

Figura 26

Chasis del dinamómetro de rodillos.



Nota. En la figura se aprecia el ensamblado del chasis a utilizar en el dinamómetro de rodillos.

Para el cálculo del modelo de vida útil del acero para la estructura es necesario plantear variables atmosféricas del territorio nacional, tales como, temperatura, humedad relativa y altitud, para establecer las funciones de degradación se agrupan las zonas a analizar en función de datos contaminantes obtenidos en el periodo de un año se obtuvieron las siguientes zonas (Z).

Zona 1; de altos cloruros y sulfatos medios

Zona 2; de altos contenidos de sulfatos

Zona 3; de sulfatos moderados a bajos

Zona 4; de bajo contenido de cloruros y sulfatos

La función de corrosión (T_c) del acero para predicciones menores a 10 años se rige en la siguiente expresión.

$$T_{C_{Acero}} = \frac{PMZ_n}{0.2358 * t}$$

Los parámetros y consideraciones que se utilizaron en las funciones se describen de la siguiente manera; t , es el tiempo en años, P , es el tiempo en bimeses, T_dH , aumenta en la misma cantidad para todo el periodo de evaluación en 203.58 días. El área superficial es de 0.03m², densidad, 7.85 g/cm³. En la tabla 6 se observa los valores para factores de pérdida de masa PM y las funciones de corrosión para predicciones igual o mayor a 10 años.

Tabla 4*Ecuaciones para la corrosión por zona*

	PM para t < 10 años	Tc para t ≥ 10 años
Z1	$\frac{26.1698}{1 + 12.6337 * e^{-0.804555*(0.9095*P-0.6381)}}$	$8.556 * t^{0.63}$
Z2	$\frac{23.2509}{1 + 3.6444 * e^{-0.185294*(0.903*P+0.3881)}}$	$44.536 * t^{0.4}$
Z3	$0.801176 + 0.433684 * \left(0.9185 * P - 0.6739\frac{1}{2}\right)^2$	$12.956 * t^{0.58}$
Z4	$\frac{3.83184}{1 + 4.98507 * e^{-0.0117863*\frac{TdH+t}{2}}}$	$13.623 * t^{0.3}$

Nota. En la tabla se muestra las funciones que van a permitir calcular la pérdida de masa en bimeses y la corrosión en años. Tomado de (Villada, 2009)

Con base en las funciones de corrosión obtenidas de las expresiones mostradas en la tabla 6 se establece la vida útil del acero para cada una de las zonas descritas. Considerando que los tubos utilizados para la estructura son de perfilaría cuadrada 40x40.

Capítulo IV.

4. Análisis de resultados

En el capítulo que se expone a continuación se presentan los resultados obtenidos de la vida útil de cada uno de los elementos críticos analizados del dinamómetro de rodillos y su relación entre ellos.

4.1 Análisis de resultados por elemento crítico

4.1.1 Rodillos

Para el análisis de este elemento se va a tomar en cuenta dos factores importantes del mismo, primero se debe analizar la construcción del elemento partiendo por la soldadura de las láminas de metal que forman el rodillo, y segundo se analiza la vida útil del elemento ensamblado en el dinamómetro de rodillos.

Las soldaduras utilizadas tienen un área de 5.7 mm^2 , siendo esta adecuada para el rodillo cuyo diámetro es de 323.9 mm; el esfuerzo máximo de la soldadura cuyo valor dado es de 3.04 (MPa) permitió analizar la resistencia de la soldadura utilizada, que para el caso, es de filete transversal en la punta con un valor de 4.56 (MPa) , siendo esta una resistencia adecuada para emplearla en la construcción y buen uso del rodillo, para finalizar con el análisis de la construcción del rodillo el electrodo seleccionado es el E6010 cuya resistencia a la tracción es de 430 (MPa) siendo favorable y compatible con la resistencia del tipo de soldadura seleccionada.

Para finalizar con el análisis de los rodillos se calculó la vida finita de los mismos dándonos un valor de 1407488.39 ciclos; estos ciclos corresponden al valor máximo que un rodillo puede girar durante un periodo continuo de operación, el valor de ciclos equivale a 7.82 horas de trabajo constante de los rodillos, este valor cubre sin

problemas las jornadas laborales de los talleres en el Ecuador que son de 8 horas diarias.

4.1.2 Eje

A diferencia de los rodillos analizados anteriormente el eje seleccionado es de acero SAE 1018 cuyo contenido de carbono es menor y su módulo de elasticidad es mayor en comparación al del rodillo haciéndolo a este el material adecuado para abaratar costos en tratamientos que esta pueda recibir.

Ahora para el análisis de la vida útil del eje, esta va a ser similar a la obtenida en el rodillo, la razón de esto viene dado por la manera de ensamblar ambos en el dinamómetro de rodillos, el rodillo va a estar soldado al eje con el mismo método utilizado para soldar las láminas metálicas, teniendo de esta manera entre ambos un equilibrio en serie, cumpliendo con los valores mencionados en el análisis de los rodillos.

4.1.3 Chavetero Chaveta

La chaveta seleccionada es del tipo cuadrada con un ancho y alto de 0.02 m cumpliendo con la recomendación de que las chavetas deben tener $\frac{1}{4}$ del diámetro del eje siendo este de 0.08m.

La chaveta está sujeta a una teoría de falla del diseño en el que se compara el esfuerzo cortante del diseño con el esfuerzo cortante calculado, y de la misma manera el esfuerzo de aplastamiento del diseño y el esfuerzo de aplastamiento calculado.

Donde los esfuerzos calculados en ambos análisis deben ser mayores a los esfuerzos del diseño, esto se puede apreciar que se cumple en su totalidad al comparar los 41.34 (MPa) del esfuerzo cortante calculado con los 29.86 (MPa) del esfuerzo

cortante del diseño; así también con los 93.015 (MPa) del esfuerzo de aplastamiento calculado con los 59.74 (MPa) del esfuerzo de aplastamiento del diseño.

4.1.4 Rodamiento chumacera

El rodamiento seleccionado fue el FYJ 80 TF cuyo diámetro interior es de 0.08m cumpliendo con la condición de que este diámetro debe ser igual al diámetro exterior del eje, el resto de dimensiones y características del rodamiento son propias del fabricante, y estas satisfacen en su totalidad el funcionamiento del dinamómetro de rodillos.

La vida útil del diseño del rodamiento tuvo un valor de 3575042143 revoluciones cuyo valor transformado a horas da un total 60764.69 horas, siendo este el número total de horas que el rodamiento va a trabajar en óptimas condiciones durante el periodo de operación del dinamómetro de rodillos.

Asumiendo que el dinamómetro de rodillos trabaje las horas límites mencionadas en el análisis de los rodillos se aproxima que el rodamiento tenga una vida útil de 21.28 años con un uso diario de 7.82 horas los 365 días del año, siendo así una vida útil satisfactoria para el usuario del dinamómetro.

4.1.5 Acople flexible

El acople flexible seleccionado es de tipo T, específicamente el 1070 T cuyo torque máximo es de 8800 lb.in, este si lo comparamos con el momento torsor del rodillo 6046.09 lb.in, se observa una diferencia de 2753.91 lb.in dando un enorme rango entre ambos asegurando que el acople flexible no sufrirá daños por exceso de torque.

Ahora bien, la vida útil del acople flexible como se menciona en el capítulo anterior va a estar ligada totalmente al mantenimiento que se le dé, teniendo como el punto más importante la lubricación adecuada del acople; los pasos a seguir para el correcto mantenimiento se detallan en el capítulo III, asegurando que si se siguen estos

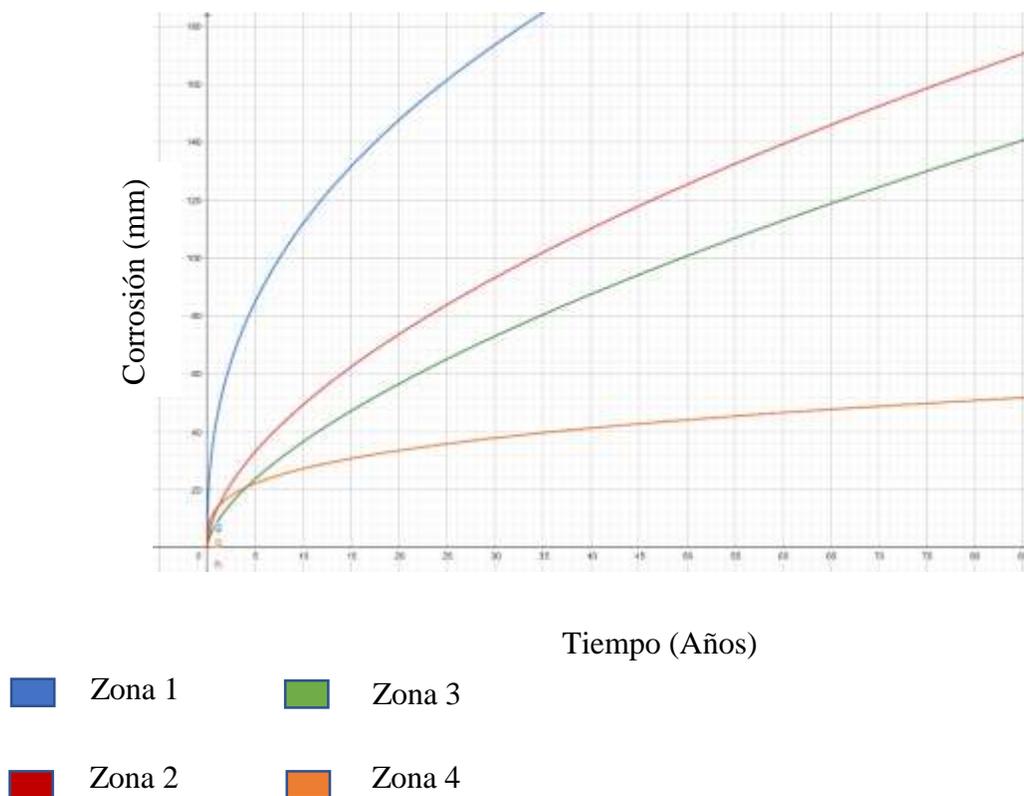
pasos la vida útil del acople cumple con el resto de elementos críticos analizados en el capítulo presente.

4.1.6 Chasis

Para este elemento se realiza el análisis en cuatro zonas con condiciones atmosféricas diferentes, las zonas seleccionadas se detallan en el capítulo III, en el mismo capítulo se aprecia la tabla 6 donde se muestra las funciones de corrosión definidas por zona, dichas funciones al ingresar en el programa geogebra arrojan una gráfica en la que se detalla la corrosión en mm del acero del chasis en función del tiempo, la figura 25 muestra el resultado.

Figura 27

Corrosión (mm) del acero por zona



Nota. La gráfica muestra las curvas por zona de la pérdida de material de la estructura en función del tiempo en años.

Como se aprecia en la gráfica la vida útil de la estructura va a depender mucho de las condiciones atmosféricas del lugar en el que se encuentre, teniendo como la mayor corrosión existente en la zona 1 de altos cloruros y sulfatos medios donde nos muestra que se corroe 1.84 mm de material en un total de 35 años aproximadamente.

Para la zona 2 de altos contenidos de sulfatos se tiene que en 35 años el acero va a sufrir una corrosión de 1.04 mm de material.

Para la zona 3 de sulfatos moderados a bajos en 35 años el acero sufrirá una corrosión de 0.8mm de material.

Para la zona 4 de bajo contenido de cloruros y sulfatos se tiene que a los 35 años el acero se va a corroer 0.4mm de material.

Para observar la gráfica completa con rangos mayores a los mostrados dirijase a anexo 2.

Cabe recalcar que en el estudio de la vida útil del chasis no se toma en cuenta valores que pueden afectar a la integridad del elemento tales como, humedad, agentes externos que aceleran la corrosión del metal como, aceites, grasas, ácidos, entre otros. Teniendo esto en mente se sabe que el valor analizado por la obtención de la gráfica presentada no es un valor fijo ni constante.

Lo mismo sucede con el resto de elementos analizados en este capítulo su vida útil puede alargarse o acortarse dependiendo del mantenimiento que se le dé, y de los factores externos que a estos afecten.

Capítulo V.

5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones.

- Se identificó los elementos críticos a partir del análisis de funciones y consideraciones operativas que rigen el propósito de uso del dinamómetro de rodillos, considerando fuentes bibliográficas certificadas por instituciones educativas, de la misma manera con basamento en videos demostrativos del funcionamiento del dinamómetro.
- Mediante el estudio de los materiales empleados para la construcción de los diferentes elementos críticos analizados, se determinó la relevancia en cuanto a la vida útil de los mismos en condiciones de críticas de funcionamiento.
- Se usaron métodos matemáticos para determinar la vida útil de los elementos críticos del dinamómetro de rodillos, cumpliendo condiciones ideales de funcionamiento.
- Los resultados de la vida útil son satisfactorios en concordancia con los periodos de trabajo diario en el Ecuador tomando en cuenta, las condiciones de uso y las condiciones atmosféricas de la Región.

5.2 Recomendaciones.

Para realizar el análisis de la vida útil se recomienda corroborar que la selección del material para cada elemento, sea la adecuada de acuerdo a la función que este va a cumplir dentro del dinamómetro de rodillos, para de esta manera poder descartar fallos por fatiga de los materiales.

Para profundizar este estudio se recomienda, investigar métodos de mantenimiento preventivo a los componentes del dinamómetro de rodillos, para de esta manera extender la vida útil de los mismos.

Bibliografía

- aceroscol. (2021). *aceroscol.com*. Obtenido de <https://www.aceroscol.com/wp-content/uploads/2018/03/SAE-1010.pdf>
- Airalia. (2021). *airalia.es*. Obtenido de <https://www.airalia.es/climatizacion/higrometros/el-mejor-higrometro-guia-de-compra/>
- Amarilla, G. (18 de mayo de 2016). *Accudyno*. Obtenido de <https://www.accudyno.com/es/ventajas-y-desventajas-de-cada-tipo-de-dinamometro/>
- Auto Tools. (2021). *autotools*. Obtenido de <https://www.autotools.co/node/200>
- Cartie, S. (19 de febrero de 2014). *WKA*. Obtenido de <https://www.bloginstrumentacion.com/instrumentacion/termmetros-de-dilatacin-de-liquido-como-alternativa-economica-al-termmetro-de-dilatacin-de-gas/>
- Cerecero, M. A. (2012). *Repositorio unam*. Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/1784/Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Culture, G. A. (2021). *Google*. Obtenido de <https://artsandculture.google.com/entity/m03nylh?hl=es>
- DIPAC. (2021). *dipacmanta*. Obtenido de <http://www.dipacmanta.com/aisi-1018-transmision>
- elvatron. (05 de Noviembre de 2018). *elvatron.com*. Obtenido de <https://www1.elvatron.com/transmicion-potencia/c%C3%B3mo-seleccionar-el-acople-ideal-para-su-aplicaci%C3%B3n>

- Hatheway, B. (11 de junio de 2010). *Ventanas al Universo*. Obtenido de https://www.windows2universe.org/earth/Atmosphere/measuring_press.html&lang=sp
- Hernández, V. (febrero de 2007). *biblioteca usac*. Obtenido de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0191_EO.pdf
- Hormiga, E. (2013). *docplayer*. Obtenido de <https://docplayer.es/58405997-Diseno-y-construccion-de-un-dinamometro-de-motos-para-la-empresa-jb-soluciones-practicas-de-ingenieria-edinson-omar-hormiga-barrera.html>
- Metrología, C. N. (13 de marzo de 2019). *Gobierno de Mexico*. Obtenido de <https://www.gob.mx/cenam/articulos/que-es-un-dinamometro-vehicular-y-como-se-usa-para-la-medicion-de-emisiones-contaminantes-de-los-vehiculos?idiom=es>
- Mobil TM. (14 de 03 de 2016). *Mobil.com*. Obtenido de <https://www.mobil.com.mx/es-mx/lubricantes/industrial/lubricant-expertise/resources/introduction-flexible-couplings>
- Montez, V. (2016). *Saenzdynos*. Obtenido de <https://www.saenzdynos.com.ar/bco-rodillos-in-comp.php?lang=es>
- Muñiz, L. (13 de marzo de 2019). *Gobierno de Mexico*. Obtenido de <https://www.gob.mx/cenam/articulos/que-es-un-dinamometro-vehicular-y-como-se-usa-para-la-medicion-de-emisiones-contaminantes-de-los-vehiculos?idiom=es>
- Nantong Industrious. (2019). *qy-machines*. Obtenido de <http://qy-machine.es/12-eddy-current-brake.html/164261/>

- Poalacín Gustavo, V. B. (19 de marzo de 2021). *Repositorio Espe*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/24389/1/T-ESPEL-MAI-0707.pdf>
- PWS. (23 de Septiembre de 2019). *motorpy*. Obtenido de <https://www.motorpy.com/index.php/novedades/8370-gandini-group-abre-el-centro-de-tecnologia-para-pruebas-de-emisiones-de-vehiculos>
- Santamaria, J. (mayo de 2016). *Repositorio UTE*. Obtenido de http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/14103/1/65700_1.pdf
- Santamaría, J. (mayo de 2016). *Repositorio UTE*. Obtenido de http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/14103/1/65700_1.pdf
- Shigley, J. E. (19899). *Manual de diseño mecánico*. México: McGraw-Hill.
- SKF. (02 de 11 de 2021). *skf.com*. Obtenido de <https://www.skf.com/co/products/mounted-bearings/ball-bearing-units/flanged-ball-bearing-units/productid-FYJ%2080%20TF>
- Soldadura, E. R. (31 de octubre de 2017). *YouTube*. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=VnUyxCKNNOQ&ab_channel=ELRAYMAKE
RSOLDADURA
- Soto, A. (2017). *Repositorio umsa*. Obtenido de <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/12119>
- Villada, F. (2009). *conicyt*. Obtenido de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-07642009000600008&script=sci_arttext&tlng=e#tb1
- Winflex DG. (13 de 09 de 2021). *cmd-couplings*. Obtenido de <http://cmd-couplings.com/wp-content/uploads/Winflex-DG-Cat%C3%A1logo.pdf>

Yang, N. (2019). *Made-in-China*. Obtenido de https://es.made-in-china.com/co_lanlingjidian/product_Car-and-Motorcycle-Chassis-Dynamometer-Eddy-Current-Retarder-Dyno-Testing-Machine-with-Ce-Qualification_eghsyhyhy.html

Anexos.