



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica

**DISEÑO DE VEHÍCULO DE MANTENIMIENTO PARA  
ESTRUCTURA DE JUEGO ELECTROMECAÁNICO**

**Josué David Gálvez Miranda**

Asesorado por el Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco

Guatemala, abril de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE VEHÍCULO DE MANTENIMIENTO PARA  
ESTRUCTURA DE JUEGO ELECTROMECAÁNICO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**JOSUÉ DAVID GÁLVEZ MIRANDA**

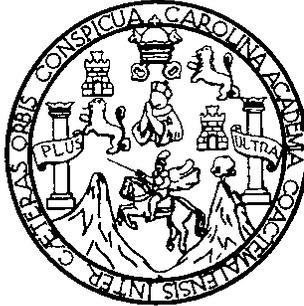
ASESORADO POR EL ING. ESDRAS FELICIANO MIRANDA OROZCO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, ABRIL DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

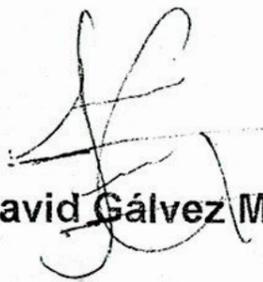
DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortiz
EXAMINADOR	Ing. Luis Eduardo Coronado Noj
EXAMINADOR	Ing. Byron Giovanni Palacios Colindres
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### DISEÑO DE VEHÍCULO DE MANTENIMIENTO PARA ESTRUCTURA DE JUEGO ELECTROMECAÁNICO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 8 de noviembre de 2013.

  
**Josué David Gálvez Miranda**



**USAC**

TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.El.Mecánica 59.2014  
Guatemala 21 de Marzo de 2014

Ingeniero  
Julio Cesar Campos Paiz  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Campos:

Por este medio le informo que he procedido con la revisión final del trabajo de graduación titulado **DISEÑO DE VEHÍCULO DE MANTENIMIENTO PARA ESTRUCTURA DE JUEGO ELECTROMECAÁNICO**, realizado por el estudiante de Ingeniería Mecánica **Josué David Gálvez Miranda**, con número de carnet **200914979**.

Dicho proyecto cuenta con mi total aprobación, por lo que le solicito darle el trámite correspondiente.

Sin otro particular.

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco  
Colegiado No. 4,637  
Asesor

Ing. Esdras Miranda Orozco  
COLEGIADO 4637



**USAC**

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.Mecanica.61.2014

El Coordinador del Área de Diseño, de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado **DISEÑO DE VEHÍCULO DE MANTENIMIENTO PARA ESTRUCTURA DE JUEGO ELECTROMECAÁNICO**, del estudiante **Josué David Gálvez Miranda**, carnet No. **200914979**, recomienda su aprobación.

**"Id y Enseñad a Todos"**

  
Ing. Alvaro Antonio Avila Pinzón  
Coordinador del Área de Diseño  
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, marzo de 2014.



**USAC**

TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniera  
Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.Mecanica.84.2014

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, con la aprobación del Coordinador del Área de Diseño, del trabajo de graduación titulado **DISEÑO DE VEHÍCULO DE MANTENIMIENTO PARA ESTRUCTURA DE JUEGO ELECTROMECAÁNICO**, del estudiante **Josué David Gálvez Miranda**, procede a la autorización del mismo.

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Ing. Julio Cesar Campos Paiz  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica

MA Ing. Julio César Campos Paiz  
DIRECTOR  
Esc. Ingeniería Mecánica

Guatemala, abril de 2014.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE VEHICULO DE MANTENIMIENTO PARA ESTRUCTURA DE JUEGO ELECTROMECHANICO**, presentado por el estudiante universitario: **Josué David Gálvez Miranda** autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, abril de 2014



/cc

## **AGRADECIMIENTOS A:**

- Dios** Por ser quien nos da la vida y la sabiduría para alcanzar todos nuestros propósitos.
- Mis padres** Juan Gálvez e Irma de Gálvez, por todo el amor y el apoyo sin condiciones que me han brindado para obtener este gran logro.
- Mi novia** Raquel Pimentel, por la paciencia, la comprensión y el amor que me ha demostrado todo este tiempo.
- Mis hermanos** Patricia Gálvez, Isaí Gálvez, Mariela Gálvez y Cristhian Gálvez, por ser quienes me inspiraron para durante mi carrera.
- Ing. Esdras Miranda** Por todo el apoyo moral y el conocimiento profesional que aportó en esta investigación y en mi preparación académica.
- Daniel Méndez** Por el conocimiento técnico que aportó para el desarrollo de esta investigación.
- Carlos Coronado** Compañero y amigo que me acompañó durante el desarrollo de esta investigación.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
LISTA DE SÍMBOLOS .....	V
GLOSARIO .....	VII
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. GENERALIDADES DEL DISEÑO Y ELEMENTOS DE MÁQUINAS.....	1
1.1. Importancia del diseño de máquinas .....	2
1.2. Materiales utilizados para el diseño de máquinas .....	3
1.2.1. Metales .....	3
1.2.1.1. Ferrosos .....	3
1.2.1.2. No ferrosos .....	4
1.2.2. Polímeros.....	4
1.3. Soldadura por arco eléctrico.....	5
1.4. Lubricación .....	7
1.4.1. Aceites lubricantes.....	8
1.4.2. Grasas lubricantes.....	9
1.5. Elementos de máquinas .....	10
1.5.1. Elementos simples.....	11
1.5.1.1. Cadenas de transmisión .....	11
1.5.1.2. Ruedas dentadas.....	12
1.5.1.3. Cojinetes deslizantes.....	13
1.5.1.4. Cojinetes de rodamientos .....	15
1.5.1.5. Ejes.....	18

1.5.1.6.	Tornillos y tuercas .....	18
1.5.1.7.	Arandelas .....	21
1.5.1.8.	Chavetas partidas .....	22
1.5.2.	Elementos compuestos .....	23
1.5.2.1.	Motor eléctrico.....	24
1.5.2.2.	Reductor de velocidad.....	24
1.5.2.3.	Elementos soldados .....	25
2.	SISTEMA DE TRACCIÓN, TREN TRASERO Y CHASIS .....	27
2.1.	Descripción del sistema de tracción .....	27
2.2.	Descripción del tren trasero .....	34
2.3.	Descripción del chasis.....	38
2.4.	Selección de materiales .....	42
2.5.	Ensamble de los elementos .....	46
3.	PLATAFORMA DE SEGURIDAD Y SISTEMA DE AVANCE.....	49
3.1.	Descripción de la plataforma de seguridad .....	49
3.1.1.	Medidas de seguridad del vehículo .....	49
3.1.2.	Elementos de la plataforma de seguridad .....	50
3.2.	Descripción y elementos del sistema de avance.....	54
4.	MONTAJE Y MANTENIMIENTO DEL VEHÍCULO .....	65
4.1.	Montaje del vehículo .....	65
4.2.	Mantenimiento del vehículo.....	66
	CONCLUSIONES.....	71
	RECOMENDACIONES .....	73
	BIBLIOGRAFÍA.....	75

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Soldadura al arco con electrodo revestido .....	6
2.	Construcción de una cadena de rodillos .....	12
3.	Ruedas dentadas tipo B .....	13
4.	Cojinete deslizante .....	14
5.	Cojinete de bolas y de rodillos cónicos .....	16
6.	Terminología de roscas de tornillo .....	20
7.	Arandela plana circular.....	22
8.	Chavetas partidas .....	23
9.	Eje excéntrico.....	29
10.	Estructura de <i>buggie</i> delantero .....	33
11.	<i>Buggie</i> delantero sin ruedas.....	33
12.	Sistema de tracción.....	34
13.	Estructura de <i>buggie</i> trasero .....	37
14.	<i>Buggie</i> trasero sin ruedas .....	37
15.	Tren trasero.....	38
16.	Estructura del eje central.....	41
17.	Chasis.....	41
18.	Sistema de tracción, tren trasero y chasis.....	42
19.	Rueda superior con revestimiento de poliuretano .....	45
20.	Ensamble de chasis, sistema de tracción y tren trasero .....	46
21.	Vista frontal proyectada del ensamble del <i>buggie</i> delantero .....	47
22.	Vista trasera proyectada del ensamble del <i>buggie</i> delantero.....	47
23.	Plataforma de seguridad .....	51

24.	Ensamble de la plataforma de seguridad y el chasis .....	53
25.	Plataforma de giro del sistema de avance .....	55
26.	Vehículo de mantenimiento con plataformas .....	56
27.	Tipo del reductor de velocidad .....	58
28.	Tipo de motor eléctrico .....	59
29.	Mecanismo de avance propuesto .....	59
30.	Sistema de avance y sistema de tracción .....	60
31.	Vehículo de mantenimiento .....	63
32.	El vehículo de mantenimiento sobre la estructura .....	66
33.	Lubricación manual tipo A.....	68

## TABLAS

I.	Correlación entre el valor de penetración y la consistencia NLGI.....	10
II.	Elementos del <i>buggie</i> delantero .....	31
III.	Elementos de estructura de <i>buggie</i> delantero .....	32
IV.	Elementos del <i>buggie</i> trasero .....	35
V.	Elementos de estructura de <i>buggie</i> trasero .....	36
VI.	Elementos del chasis .....	40
VII.	Elementos para la estructura del eje central.....	40
VIII.	Elementos de la plataforma de seguridad.....	50
IX.	Elementos del sistema de avance .....	54
X.	Carga total aproximada del vehículo.....	61
XI.	Especificaciones del reductor de velocidad .....	62
XII.	Lubricante para transmisiones .....	68

## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
<b>M</b>	Designación métrica para roscas de tornillos
<b>W</b>	Designación para aceites multigrado
<b>E</b>	Electrodo
<b>°C</b>	Grado Celsius
<b>°F</b>	Grado Fahrenheit
<b>HP</b>	<i>Horsepower</i>
<b>lb.</b>	Libras
<b>lb.-in.</b>	Libras - pulgada
<b>mm</b>	Milímetro
<b>N</b>	Newton
<b>N-m</b>	Newton – metro
<b>rpm</b>	Revolución por minuto



## **GLOSARIO**

<b>ACA</b>	American Chain Association.
<b>AISI</b>	American Iron and Steel Institute.
<b>Aleación</b>	Combinación compuesta de dos o más elementos de los cuales, al menos uno es un metal.
<b>ANSI</b>	American National Standards Institute.
<b>ASTM</b>	American Society for Testing Materials.
<b>AWS</b>	American Welding Society.
<b>Bastidor</b>	Estructura principal de un vehículo compuesta por elementos metálicos que unidos forman su chasis.
<b>BMQ-D</b>	Tipo de montaje de reductor de velocidad.
<b>Bonificado</b>	Estado de un acero tratado térmicamente por un proceso de temple y revenido para aliviar las tensiones residuales existentes en su estructura.

<b>Buggie</b>	Grupo de elementos mecánicos simples y compuestos que en conjunto proporcionan el soporte del vehículo de mantenimiento en cuatro puntos sobre la estructura.
<b>Cementación</b>	Tratamiento termoquímico que consiste en adherir carbono en piezas que necesitan mucha tenacidad en su núcleo y alta dureza y resistencia al desgaste en su superficie.
<b>Cohesión</b>	Unión de varias piezas del mismo material que se provoca a través de un proceso de soldadura.
<b>Conformado</b>	En los materiales plásticos son todos aquellos procesos donde se generan las formas necesarias en piezas a través de la extrusión, soplado, moldeo por inyección, moldeo por compresión, vaciado en caliente, termoformado y otros no menos importantes.
<b>Desgaste</b>	Está relacionado con las interacciones entre dos superficies y más específicamente con la eliminación de material en una de estas como resultado de una acción mecánica de la otra.
<b>DIN</b>	Instituto Alemán de Normalización.

<b>Elastómero</b>	Polímero que posee como principal característica su excelente elasticidad, la cual le permite recuperar su forma luego de ser deformado.
<b>Esfuerzo</b>	Resistencia que puede ofrecer un material sobre el área donde actúa una carga externa.
<b>IRAM</b>	Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
<b>ISO</b>	International Organization for Standardization.
<b>Maquinabilidad</b>	Propiedad que posee un material al ser mecanizado con facilidad por medio del arranque de viruta.
<b>Mecanismo</b>	Conjunto de elementos mecánicos diseñados para interactuar entre sí y realizar funciones específicas dentro de una máquina.
<b>Motorreductor</b>	Mecanismo conformado por un motor eléctrico y un reductor de velocidad cuya función principal es la de transmitir la potencia del motor disminuyendo su velocidad para incrementar el par de torsión.
<b>NLGI</b>	National Lubricating Grease Institute.
<b>Perfil</b>	Productos metálicos fabricados en su mayoría por medio de procesos de extrusión directa o indirecta y que son utilizados para la elaboración de estructuras.

<b>Plasticidad</b>	Una de las características físicas más importantes de las grasas lubricantes y se define como la capacidad de deformarse sin agrietarse ante un esfuerzo mecánico conservando la deformación al retirarse la carga.
<b>Platina</b>	Placas planas de metal ferroso de dimensiones rectangulares o cuadradas que se utilizan para acoplar dos elementos entre sí por medio de tornillos.
<b>Revenido</b>	Tratamiento térmico que se realiza en piezas donde se requiere variar la dureza y en consecuencia la resistencia mecánica, mejorando los efectos de extrema dureza producidos por el temple y llevando al acero a un punto de mínima dureza.
<b>SAE</b>	Society of Automotive Engineers.
<b>Sistema</b>	Conjunto de mecanismos propuestos diseñados para cubrir los requerimientos físicos y mecánicos del funcionamiento del vehículo de mantenimiento.
<b>SMAW</b>	Shielded Metal Arc Welding.
<b>Soldabilidad</b>	Capacidad que poseen ciertos materiales metálicos para cohesionarse fácilmente a través de un procedimiento de soldadura sin afectar grandemente sus propiedades metalográficas.

**SS-BMQ-GR**

Estilo de reductor de velocidad.

**Temple**

Tratamiento térmico que se utiliza en piezas metálicas para incrementar su dureza, el cual consiste en calentar el material a una temperatura considerable por un tiempo determinado para luego ser enfriado rápidamente. En casos donde se obtiene una dureza relativamente alta, es necesario realizar el revenido.

**Tenacidad**

Energía total que puede absorber un material antes de alcanzar la rotura debida a condiciones de impacto o por acumulación de dislocaciones.

**Tracción**

Fuerza requerida en las ruedas de un vehículo para movilizarse sobre una superficie la cual está definida mediante la fuerza de fricción estática en condiciones de rodadura pura.

**Viscosidad**

Propiedad física más importante de un aceite o una grasa lubricante, además es la medida esencial de la capacidad de mantener una película lubricante entre superficies deslizantes y de esta forma reducir la fricción y el desgaste.



## RESUMEN

El mantenimiento de cualquier máquina industrial constituida por mecanismos móviles o estructuras fijas es una rama de la Ingeniería Mecánica que requiere un alto grado de interés al momento de su realización. Para cumplir con algunas de las actividades de mantenimiento requeridas en cualquier industria, es común emplear otras áreas de gran importancia como el área de diseño de máquinas, ya que se pueden diseñar mecanismos en conjunto que faciliten la realización de cualquier tarea de mantenimiento programada.

Para el caso del mantenimiento preventivo o predictivo requerido en estructuras de juegos electromecánicos por los fabricantes, se encuentra la necesidad de proporcionar un medio de transporte que agilice y facilite dichos mantenimientos.

El medio de transporte requerido para esa necesidad se describe en esta investigación con la propuesta del diseño de un vehículo de mantenimiento, el cual consta de varios elementos mecánicos que conforman cuatro sistemas principales del vehículo, los que se describirán detalladamente en el desarrollo de esta investigación. Estos sistemas son los siguientes:

- Sistema de tracción
- Chasis
- Plataforma de seguridad
- Sistema de avance



# OBJETIVOS

## General

Proponer el diseño de un vehículo de mantenimiento para estructuras específicas de juegos electromecánicos, utilizando un programa de diseño asistido por computadora.

## Específicos

1. Definir el diseño de un sistema de tracción para el vehículo.
2. Definir el diseño del chasis del vehículo.
3. Definir el diseño de la plataforma del vehículo.
4. Definir el diseño del sistema de avance del vehículo.



## INTRODUCCIÓN

El presente estudio se realiza bajo las líneas de investigación de la Escuela de Ingeniería Mecánica, específicamente en la propuesta del diseño de un vehículo que agilice y facilite las tareas de mantenimiento en estructuras de juegos electromecánicos, ya que los que se encuentran en muchos parques de diversiones están contruidos con elementos de máquinas que funcionan con tecnologías avanzadas que deben ser monitoreadas, las cuales pueden activar por medio de sensores o señales neumáticas o hidráulicas, los mecanismos que controlan el movimiento del juego y sus sistemas de seguridad.

Los juegos electromecánicos deben funcionar correctamente, para que las personas disfruten de manera segura del que han decidido recrearse, por lo que la seguridad es un factor muy importante en el funcionamiento de cualquier máquina y este tipo de juegos no son ninguna excepción, pues del correcto funcionamiento de sus elementos mecánicos dependerá la seguridad de muchas personas.

Para lograr el buen funcionamiento de los mecanismos que componen cualquier juego electromecánico, se deben realizar una serie de programas recomendados por el fabricante en el manual de mantenimiento de dicho juego, ya que garantizarán la seguridad y eficiencia del mismo cuando esté en funcionamiento.

La realización de estos programas de mantenimiento determinará la confiabilidad del funcionamiento de los juegos electromecánicos, por lo que se ve necesaria la implementación de métodos que ayuden a reducir el tiempo que toma la realización de ciertos programas preventivos.

Debido a esto, en el desarrollo de la siguiente investigación se hace uso de un programa de diseño asistido por computadora en donde se definen los diseños propuestos de los sistemas que necesita el vehículo de mantenimiento, que agilizará y facilitará las tareas de mantenimiento en estructuras específicas de algunos juegos electromecánicos.

# **1. GENERALIDADES DEL DISEÑO Y ELEMENTOS DE MÁQUINAS**

El diseño de máquinas en la rama de la Ingeniería Mecánica es un campo que requiere de un análisis minucioso de todos los mecanismos que pueden pertenecer a cualquier conjunto de elementos mecánicos, ya que de los análisis realizados se deben concretar los diseños más apropiados para lograr que los mecanismos sobrepasen las exigencias físicas a las que estarán sometidos, pues en conjunto conformarán una máquina.

Una máquina está constituida, generalmente de una gran cantidad de piezas que unidas, acopladas o soldadas, forman una serie de elementos mecánicos compuestos que deben realizar las funciones consideradas al momento de diseñarse. Para que cada pieza cumpla con las exigencias de diseño, se deben conocer los materiales más adecuados para su fabricación, pues este es un factor de suma importancia que se reflejará en la eficiencia de los mecanismos concretados.

En el diseño de máquinas, no solo se aplican las habilidades de diseño que puede poseer el ingeniero, sino que se necesita poner en práctica muchas técnicas, habilidades, conocimientos y procedimientos de Ingeniería Mecánica, que se complementan para definir los mecanismos necesarios en una máquina. Tal y como puede ser la selección del proceso de soldadura más adecuado, el conocimiento de ciertos materiales de ingeniería, la lubricación de las piezas móviles de la máquina, los acoplamientos más eficientes, los mantenimientos preventivos que se deben realizar a la máquina y otras áreas de relevancia.

## **1.1. Importancia del diseño de máquinas**

La importancia del diseño de máquinas radica en que se recurre a este campo cuando se identifica la necesidad de agilizar o automatizar cualquier procedimiento implementado en una industria. Puede que sea una necesidad que se cubra con la implementación del diseño de una máquina sencilla o ser una necesidad que requiera el diseño de máquinas sumamente complejas.

Para conocer las principales necesidades que se deben solventar con la implementación del diseño de cualquier máquina, hay que estudiar todos los factores que impiden realizar de forma rápida y eficiente las tareas programadas. Para comprender estos factores en los juegos electromecánicos, es importante conocer los mantenimientos, según el manual de mantenimiento, por lo que se deben estudiar ampliamente todos los documentos proporcionados por el fabricante, para determinar los programas de mantenimiento que requieran un medio de transporte que agilice y facilite las tareas a realizarse en las estructuras de ciertos juegos.

Otro aspecto muy importante es estudiar los planos de los juegos para determinar las secciones críticas de las estructuras que podrán ser monitoreadas con el vehículo de mantenimiento. Estas se pueden definir como los tramos en las estructuras donde se tienen posiciones complicadas para realizar las actividades recomendadas por el fabricante. Es importante mencionar que el diseño del vehículo de mantenimiento está estrictamente propuesto para ciertos diseños de estructuras de juegos electromecánicos, ya que como se sabe, existe una gran cantidad de diseños de estructuras por todo el mundo.

## **1.2. Materiales utilizados para el diseño de máquinas**

La clasificación de los materiales de ingeniería utilizados para el diseño de máquinas es muy extensa, pero no por eso se debe dejar de mencionar los materiales que, por sus propiedades físicas, mecánicas y químicas brindan las características requeridas al momento de implementarse. Para el vehículo de mantenimiento se mencionarán los metales y los polímeros.

### **1.2.1. Metales**

Los metales y sus aleaciones poseen como principales características una excelente conductividad eléctrica y térmica, una resistencia relativamente alta a la tensión o a la compresión, alta rigidez, ductilidad o conformabilidad y resistencia al impacto. Estas características permiten que sean empleados particularmente en aplicaciones estructurales o de carga.

En muchas ocasiones se utilizan metales puros, pero las combinaciones de metales conocidas como aleaciones proporcionan mejores características en alguna propiedad deseable o también pueden permitir una mejor combinación de propiedades. Dentro de la clasificación más común de los metales están los ferrosos y los no ferrosos.

#### **1.2.1.1. Ferrosos**

El principal componente de los metales ferrosos es el hierro, sus características más sobresalientes son su gran resistencia a la tensión y dureza. Las principales aleaciones se obtienen con el carbono, estaño, plata, manganeso, molibdeno, vanadio y titanio.

### **1.2.1.2. No ferrosos**

Tienen menor resistencia a la tensión y dureza que los metales ferrosos, pero como principal característica se puede mencionar que su resistencia a la corrosión es superior y su costo es alto en comparación a los materiales ferrosos. Como complemento de los metales ferrosos son utilizados los no ferrosos, también son de mucha utilidad como materiales puros o aleados los que por sus propiedades físicas, mecánicas y químicas cubren determinadas exigencias o condiciones de trabajo. Dentro de los principales metales no ferrosos se pueden mencionar los siguientes: el aluminio, cobre, magnesio, plomo y titanio.

Una de las aplicaciones más conocidas del uso de materiales no ferrosos es para construir elementos mecánicos que sean resistentes al desgaste, a la corrosión y que sean capaces de minimizar la vibración en puntos de unión de dos elementos, como por ejemplo: la aleación metálica entre el cobre y estaño utilizada para fabricar cojinetes deslizantes.

### **1.2.2. Polímeros**

“Producidos mediante un proceso conocido como polimerización, es decir, creando grandes estructuras moleculares a partir de moléculas orgánicas, los polímeros incluyen el hule, los plásticos y muchos tipos de adhesivos. Los polímeros tienen baja conductividad eléctrica y térmica, reducida resistencia y no son adecuados para utilizarse a temperaturas elevadas.”<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> ASKELAND, Donald R. Ciencia e ingeniería de los materiales. p. 6.

Los polímeros juegan un papel muy importante en el diseño de máquinas, ya que se utilizan diferentes tipos con funciones específicas. En el caso de las ruedas del vehículo de mantenimiento se necesitará un polímero que posea las características necesarias para obtener una buena tracción.

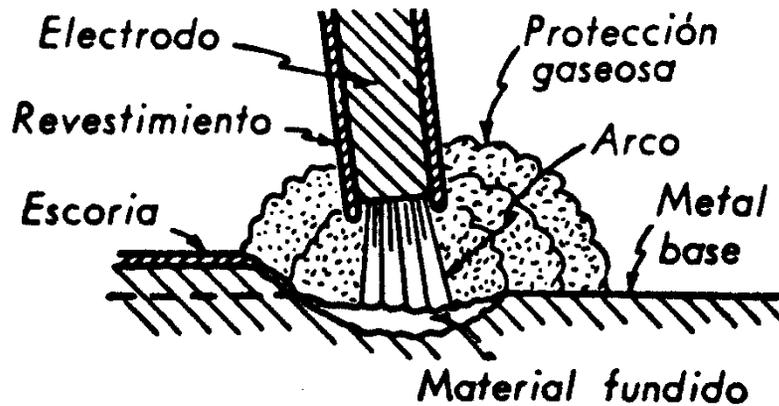
### **1.3. Soldadura por arco eléctrico**

Es el procedimiento más utilizado en la fabricación de elementos mecánicos compuestos debido a la facilidad de obtención en cualquier mercado y al gran desempeño en el aumento de velocidad para la fabricación de piezas estructurales compuestas. A su vez, se le llama soldadura al proceso de unión entre superficies metálicas lograda mediante la aplicación localizada de calor.

Los metales de aporte que se utilizan en este proceso son en forma de varillas denominadas electrodos, con el material de la varilla recubierto de una capa sólida que se evapora cuando el núcleo metálico se calienta a su punto de fusión. El proceso SMAW se basa en la utilización de un electrodo recubierto por el que se hace circular un tipo de corriente eléctrica que debe establecer un corto circuito o arco eléctrico entre el electrodo y el material que se desea soldar denominado base, depositándose el núcleo fundido del electrodo al material que se está soldando. A la vez se genera una atmósfera protectora de gas inerte alrededor de la sección en que el núcleo fundido se deposita a lo largo de la junta, esto para impedir la formación de óxidos. En el proceso, también se produce una escoria que recubre el cordón de soldadura para evitar el enfriamiento brusco o el choque térmico con el ambiente.

Con las conexiones de piezas por soldadura se proporciona la unión más resistente entre los diferentes procesos superficiales utilizados para conectar metales, pero requieren un alto control en su fabricación.

Figura 1. Soldadura al arco con electrodo revestido



Fuente: SPOTTS, M. F. *Proyecto de elementos de máquinas*. p. 311.

Es importante hacer una descripción más detallada un electrodo y sus aplicaciones, por lo que para empezar se puede mencionar que en la selección del electrodo adecuado se deben analizar ciertas condiciones de trabajo sencillas como: la naturaleza del metal base, la posición o posiciones en que se soldará, el tipo de corriente que debe entregar la máquina, entre otras condiciones. Con el análisis de estas condiciones básicas, es mucho más fácil seleccionar el electrodo apropiado para el tipo de unión que se realizará, todo esto para evitar inconvenientes como salpicaduras excesivas o socavaciones inesperadas, imperfecciones que también pueden ser controladas por otras variables.

La AWS clasifica los electrodos según normas que los especifican con tipos de revestimiento para aceros al carbono, aceros de baja aleación, aceros al cromo y cromo-níquel, entre otros.

La clasificación de los electrodos está compuesta por una letra E que significa electrodo seguida de cuatro dígitos, de los cuales, los primeros dos indican la resistencia mínima a la tracción del metal aportado en miles de libras por pulgadas cuadradas y los últimos dos detallan las características del electrodo. El tercer dígito indica la posición para soldar el electrodo y el último muestra el tipo de revestimiento del electrodo. Es importante resaltar que existe un gran número de revestimientos para los electrodos, los cuales se utilizan en procesos donde se desean protecciones gaseosas específicas que se pueden consultar en catálogos.

Por ejemplo, si se tiene un electrodo con una clasificación E-6012, significa que posee una resistencia mínima a la tracción de 60 000 libras por pulgada cuadrada, es apto para soldar en toda posición y posee un revestimiento tipo rutilico sódico.

#### **1.4. Lubricación**

“Implica el empleo de un lubricante entre las superficies de roce de ciertos elementos de máquinas, con el fin de eliminar o reducir la superficie real de contacto, lo cual conduce a un menor desgaste y a un coeficiente de rozamiento más bajo. Los lubricantes más utilizados son los aceites y las grasas, aunque se puede utilizar cualquier sustancia que tenga las propiedades de viscosidad requeridas. Generalmente, el lubricante es líquido. Sin embargo, se pueden utilizar algunos sólidos, tales como el grafito, saponita y algunos otros sólidos grasientos no abrasivos. Aun los gases, en determinadas circunstancias, resultan buenos lubricantes.”<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> HALL, Allen S.; HOLOWENKO, Alfred R.; LAUGHLIN, Herman G. Diseño de máquinas. p. 276.

### **1.4.1. Aceites lubricantes**

Son lubricantes fluidos que se obtienen a partir de la destilación del petróleo y se clasifican como aceites minerales, semisintéticos y sintéticos. Poseen como principales características la viscosidad, la fluidez, la densidad, así como la resistencia a la oxidación, a la corrosión y a la extrema presión.

También deben fluir a bajas temperaturas, ser buenos detergentes y conservar su viscosidad a temperaturas altas como bajas, así como evitar la formación de espuma. Para que un aceite lubricante posea estas características se le introducen ciertos aditivos durante el proceso de su fabricación. Dentro de los aditivos más comunes para los aceites lubricantes se pueden mencionar los siguientes:

- Mejoradores del índice de viscosidad
- Antioxidantes
- Detergentes
- Dispersantes
- Anticorrosivos
- Anticongelantes
- Antiespumantes

La SAE describe los aceites de acuerdo a su viscosidad a través de una clasificación SAE 10W, SAE 40, SAE 10W50, entre otras, para indicar los límites de los grados de viscosidad del aceite a ciertas temperaturas. Cuando la clasificación del aceite se identifica con la letra W, la viscosidad del mismo se define a 100 grados centígrados garantizando la fluidez a temperaturas más bajas, lo cual indica que es un aceite adecuado para utilizar en invierno.

Por el contrario, para las clasificaciones SAE que carezcan de la letra W, la viscosidad del aceite solamente se especifica a 100 grados centígrados. Es importante mencionar que se hace referencia de los aceites lubricantes en esta investigación, ya que se recomendará un tipo específico para la lubricación de las cadenas del Sistema de Avance, procedimiento descrito en el capítulo 4.

#### **1.4.2. Grasas lubricantes**

Forman parte de la clasificación de lubricantes semifluidos elaborados a partir de aceites minerales y agentes espesantes, como el jabón metálico o algún otro agente que les brinde plasticidad y cierta adhesividad que permita retener el lubricante en los sitios donde se aplica. Dentro de los jabones que se utilizan como agentes espesantes se pueden mencionar: de calcio, de sodio, de litio y de bario que aumentan la temperatura de servicio. Por su parte, los jabones de aluminio brindan resistencia al agua y los jabones de plomo un buen desempeño a presiones extremas como en aplicaciones de engranes.

Uno de los trabajos específicos de las grasas es proteger efectivamente las superficies de la contaminación externa, pero poseen la desventaja de que no fluyen como los aceites, por lo que son menos refrigerantes y más difíciles de aplicar a una máquina cuando está en funcionamiento. Debido a la plasticidad, el NLGI clasifica las grasas más pesadas según su penetración más que por su viscosidad, dicha clasificación se describe en la tabla I. La penetración se refiere a la profundidad de penetración de un cono de forma y peso establecidos que gotea desde una altura especificada dentro de la grasa.

Tabla I. **Correlación entre el valor de penetración y la consistencia NLGI**

<b>Grado de consistencia NLGI</b>	<b>ASTM - Penetración trabajada - 60 golpes dobles (10-1 mm)</b>	<b>Aspecto a temperatura ambiente</b>
000	445-475	muy fluida
00	400-430	fluida
0	355-385	semifluida
1	310-340	muy blanda
2	265-295	blanda
3	220-250	dureza media
4	175-205	dura
5	130-160	muy dura
6	85-115	extra dura

Fuente: SKF. Lubricación. <http://www.skflam.com/LAM/enews/sept09/es/lubricacion.html>.  
 Consulta: febrero de 2014.

Las grasas cuentan con una serie de aditivos que aumentan su manejo, capacidad de limpieza y resistencia de la película, dentro de los cuales se pueden mencionar los inhibidores de la oxidación, antiespumantes, detergentes, inhibidores de la corrosión, entre otros.

### **1.5. Elementos de máquinas**

Estos se conocen como la serie de piezas que pueden conformar una máquina. Pueden ser desde una simple arandela, hasta un complicado tren de engranajes. En esta investigación se clasificarán los componentes del vehículo de mantenimiento como elementos simples y compuestos según la cantidad de piezas que los conformen o lo complejo que sean.

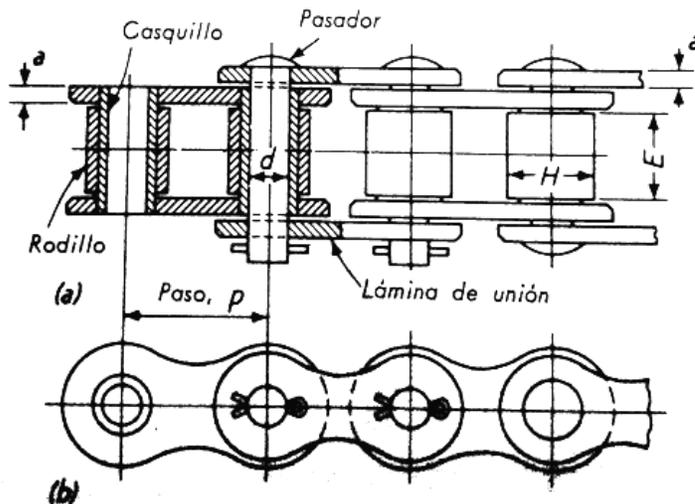
### **1.5.1. Elementos simples**

Existe una extensa clasificación de este tipo de elementos, muchos de los cuales pueden ser requeridos en distintas máquinas para que realicen procedimientos específicos. Estos elementos son fabricados generalmente con materiales metálicos y se utilizan comúnmente para crear uniones fijas o desmontables, para transmitir movimientos, para proporcionar seguridad entre los mismos elementos y otra serie de aplicaciones de gran importancia. A continuación, se hace referencia a los elementos simples requeridos en el diseño del vehículo de mantenimiento.

#### **1.5.1.1. Cadenas de transmisión**

Son elementos que se utilizan para la transmisión de potencia y que se fabrican como una serie de eslabones que se unen mediante pasadores. El diseño de las cadenas proporciona flexibilidad, a la vez que se permite la transmisión de fuerzas de tracción cuyas magnitudes son relativamente altas. Las cadenas de rodillos son las más utilizadas para la transferencia de potencia, ya que los rodillos proporcionan una fricción particularmente baja respecto a las ruedas dentadas, a su vez constan de dos rodillos que ruedan sobre dos casquillos ajustados en dos placas del eslabón. En el vehículo de mantenimiento deberán transmitir la potencia de un motor eléctrico a través de un reductor de velocidad hacia las ruedas dentadas del sistema de tracción.

Figura 2. **Construcción de una cadena de rodillos**



Fuente: SPOTTS, M. F. *Proyecto de elementos de máquinas*. p. 292.

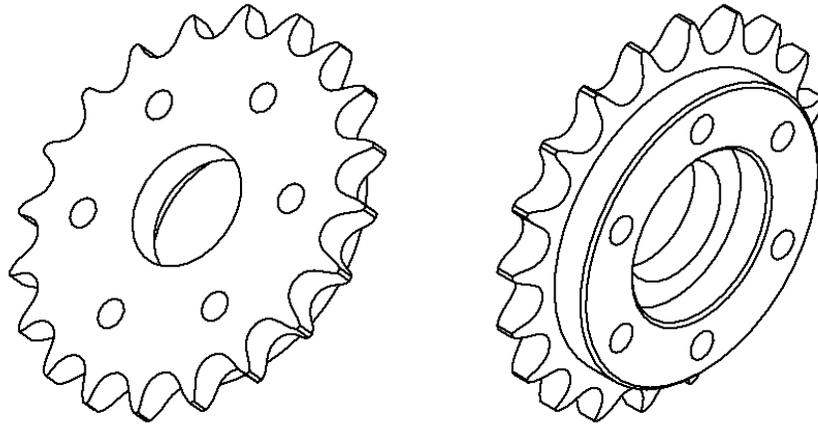
Las cadenas para las transmisiones de potencia son más fáciles de instalar y sustituir que las bandas, no se deslizan ni se resbalan, no presentan riesgo de incendio, las configuraciones son más compactas y no se deterioran rápidamente. Sin embargo, las cadenas son más ruidosas que las bandas.

### 1.5.1.2. Ruedas dentadas

“Las cadenas de rodillos conducen y son conducidas por ruedas dentadas, las cuales son ruedas dentadas maquinadas que se ajustan a los rodillos de las cadenas. Se consideran estándares cuatro tipos de ruedas dentadas. El tipo A no tiene cubo, el tipo B tiene un cubo de un lado, el tipo C tiene un cubo en ambos lados, y el tipo D tiene un cubo desmontable.”<sup>3</sup>

<sup>3</sup> ORTHWEIN, William C. *Diseño de componentes de máquinas*. p. 746.

Figura 3. **Ruedas dentadas tipo B**



Fuente: elaboración propia, con programa Autodesk Inventor Professional.

### **1.5.1.3. Cojinetes deslizantes**

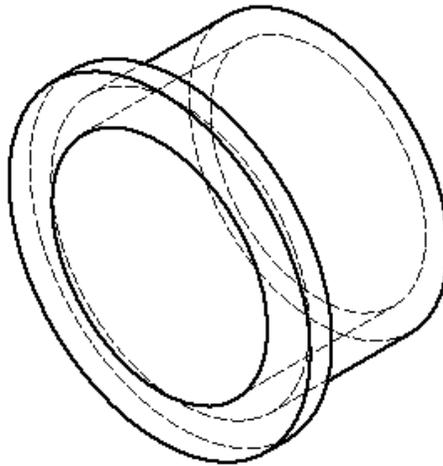
Es una pieza o conjunto de piezas donde el eje de una máquina se apoya y gira. Los cojinetes deslizantes son elementos fácilmente desmontables que se adaptan entre un soporte y un eje. Este tipo de cojinetes se emplean, porque si una pieza tiene movimiento relativo respecto a otra, se producirá rozamiento y en consecuencia el desgaste entre las mismas.

Los cojinetes deslizantes deben permanecer fijos a un soporte de la máquina, ya que durante el giro de un eje, ambos rozarán. Se caracterizan por ser elementos de revolución, de manera que el diámetro interior donde se aloja el eje es superior al del propio eje, esto con la finalidad de facilitar su giro. Este tipo de cojinetes se pueden fabricar de diferentes materiales, principalmente más blandos que el material del que estará fabricado el eje para que de este modo el rozamiento provoque el desgaste en el cojinete y no en el eje.

El diseño de un cojinete deslizante puede ser tan simple como un agujero maquinado en una pieza cilíndrica, pero la simplicidad de estos elementos requiere procedimientos y criterios muy exigentes para poder fabricar el elemento adecuado para ciertas aplicaciones. Por otra parte, el diseño puede ser tan complejo según las necesidades de la aplicación, por ejemplo, cojinetes que necesiten ser enfriados por agua o por depósitos de lubricante integrados.

El diseño básico de los cojinetes deslizantes utilizados en el vehículo de mantenimiento se describe en la figura 4, que consiste en un diseño sencillo de cojinetes deslizantes.

Figura 4. **Cojinete deslizante**



Fuente: elaboración propia, con programa Autodesk Inventor Professional.

#### **1.5.1.4. Cojinetes de rodamientos**

Son elementos antifricción conformados por dos anillos concéntricos, de los cuales uno debe estar fijo a un soporte de la máquina y el otro fijo a un eje, entre los anillos se intercala una corona o jaula que mantiene en lugares específicos del cojinete los elementos rodantes que pueden ser de bolas o de rodillos para que puedan girar adecuadamente, esto con la finalidad de proporcionar una menor pérdida de energía en el cojinete. Estos elementos según su tipo se fabrican para soportar cargas radiales puras, así también, cargas de empuje puras o una combinación de las dos.

“Los cojinetes de elementos de rodamiento se clasifican como cojinetes de bolas o de rodillos; los cojinetes de rodillos se subdividen en cojinetes radiales y de empuje, dependiendo de si la carga está principalmente perpendicular o paralela al eje del cojinete. Los cojinetes de bolas se subdividen en radiales, de empuje y de contacto angular, con las definiciones de cojinetes de bolas radiales y de empuje idénticas a las que se utilizan para los cojinetes de rodillos; a su vez los cojinetes de bolas de contacto angular tienen rectificadas sus anillos interior y exterior, de tal modo que permiten soportar una combinación de cargas radiales y de empuje sin daño para el cojinete.”<sup>4</sup>

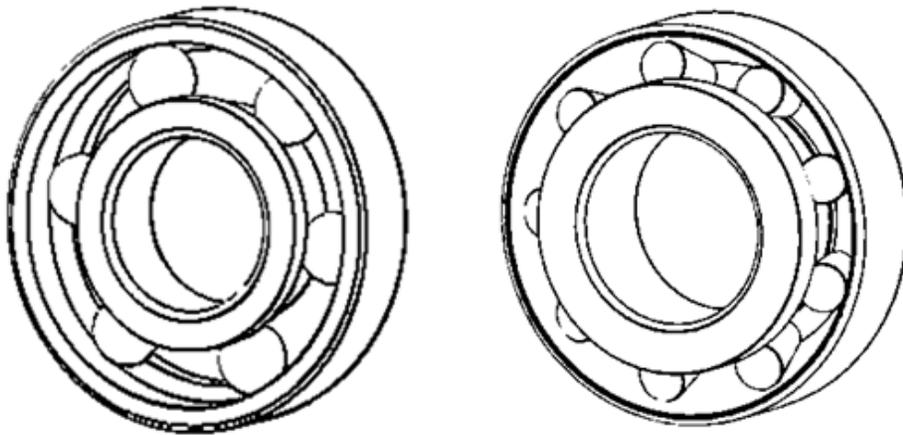
Uno de los grandes grupos de los cojinetes de rodillos es donde sus rodillos están dispuestos en una configuración de tipo cónica, también llamados comúnmente cojinetes de rodillos cónicos que ensamblados están diseñados específicamente para soportar cargas radiales, de empuje o axiales, o cualquier combinación de ambas.

---

<sup>4</sup> ORTHWEIN, William C. Diseño de componentes de máquinas. p. 572.

Aun cuando no exista una carga axial externa, la carga radial conducirá a una reacción de empuje dentro del cojinete debido a su conicidad, problema que se solucionaría al utilizar al menos dos cojinetes de rodillos cónicos en el eje que se instalen.

Figura 5. **Cojinete de bolas y de rodillos cónicos**



Fuente: librería del programa Autodesk Inventor Professional.

Es importante describir las partes de cada tipo de cojinetes de rodamientos mencionados hasta ahora, los de bolas y los de rodillos cónicos. A continuación se describen las partes de los cojinetes de bolas.

- Anillo exterior
- Anillo interior
- Separador o jaula de bolas
- Rodamientos de bolas

A continuación se describen las partes que constituyen el ensamble de un cojinete de rodillos cónicos.

- Cono (anillo interior)
- Copa (anillo exterior)
- Separador o jaula de rodillos
- Rodamientos de rodillos

Para un cojinete de rodamientos se puede decir que, mientras mayor sea la cantidad de elementos rodantes, mayor será la capacidad de carga, siempre y cuando lo permita la geometría de los anillos de los cojinetes. Los cojinetes se pueden fabricar ensamblados en una fila, en doble fila o cuatro filas.

En los cojinetes, también se deben utilizar elementos auxiliares como espaciadores y sellos. Los sellos se pueden emplear en uno o en ambos lados del cojinete para que estos permitan una medida de protección contra el polvo y la suciedad a la que pueden estar expuestas las partes del cojinete. Cuando los sellos se presentan en ambos lados los cojinetes están lubricados desde la fábrica y su lubricación es de por vida, por lo que no es conveniente proporcionar un medio de relubricación.

Por su parte, los espaciadores como elementos auxiliares de los cojinetes de elementos rodantes, se utilizan para mantener fijo uno de los anillos del cojinete, debido a que el otro debe girar libremente respecto al eje o al alojamiento donde se instala. A su vez, los espaciadores deben brindar un espacio adecuado para que no exista rozamiento entre las partes móviles y fijas de los mecanismos donde se requieran. La mayoría de los espaciadores utilizados en el vehículo de mantenimiento mantienen fijos los anillos interiores de los cojinetes que se alojan en las ruedas del vehículo.

### **1.5.1.5. Ejes**

Son componentes de mecanismos encargados de transmitir movimiento rotatorio y potencia, alojados principalmente en cojinetes o bujes con ciertos tipos de ajustes. En casos muy comunes los ejes son fijos y no giran, porque sistemas de rodamientos insertados en su centro permiten que este gire alrededor de un eje de menores dimensiones. Sus aplicaciones son diversas, ya que son elementos empleados en una gran cantidad de máquinas y dispositivos mecánicos.

Dentro de los tipos de ejes que existen se pueden mencionar los lisos que tienen una forma exterior cilíndrica y que poseen como principal característica la variación de apoyos y alojamientos para cojinetes. Los escalonados son los que presentan variaciones de diámetros a lo largo con la finalidad de bloquear axialmente los elementos que se fijan a los mismos. Los huecos que presentan menores inercias, los ranurados que se emplean para transmitir momentos torsores elevados y los acodados que se utilizan para transformar movimientos alternativos en giratorios o viceversa. El diseño de los ejes empleados en el vehículo de mantenimiento corresponde en su mayoría al de los ejes escalonados.

### **1.5.1.6. Tornillos y tuercas**

Son los elementos mecánicos que se utilizan para sujetar y fijar uniones de elementos que se pueden desmontar. Para estos elementos se puede decir que, si la hélice de rosca es exterior, es un tornillo y si es interior es una tuerca, por lo que la parte más importante de los tornillos y las tuercas es la rosca.

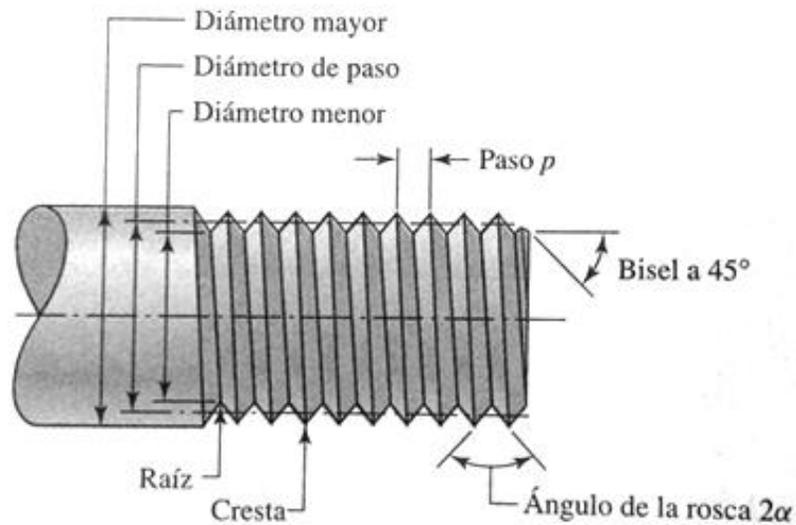
A continuación, la terminología de la rosca de un tornillo.

- “El paso es la distancia entre dos cuerdas adyacentes, medida en forma paralela al eje de la rosca. El paso en unidades inglesas es el recíproco del número de cuerdas por pulgada  $N$ .
- El diámetro mayor  $d$  es el diámetro más grande de una rosca de tornillo.
- El diámetro menor (o raíz)  $d_r$  es el diámetro más pequeño de una rosca de tornillo.
- El diámetro de paso  $d_p$  es un diámetro teórico entre los diámetros mayor y menor.
- El avance  $l$  es la distancia que se desplaza una tuerca en forma paralela al eje del tornillo cuando a esta se le da una vuelta. En el caso de una rosca simple, el avance es igual al paso.”<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> BUDYNAS, Richard G.; NISBETT J. Keith. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. p. 396.

Figura 6. Terminología de roscas de tornillo



Fuente: BUDYNAS, Richard G.; NISBETT J. Keith. *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. p. 397.

Las partes básicas de las que se puede componer un tornillo son: la cabeza, el cuello y la rosca. La cabeza del tornillo es la parte más ancha del elemento que permite sujetarlo cuando se le proporciona un movimiento giratorio a la tuerca con las herramientas adecuadas. El tipo de cabeza más común en los tornillos es la hexagonal, aunque el diseño de la cabeza de algunos tornillos utilizados en el vehículo de mantenimiento posea geometrías que se adaptan a las necesidades de los mismos. El cuello del tornillo es la pieza que no posee rosca entre la cabeza y la rosca, y por último, la rosca es la parte del tornillo que tiene un surco helicoidal. No es regla que todos los tornillos deban tener cuello, por lo que es usual encontrar tornillos de rosca corrida. Es muy importante también, comprender que las tuercas deben tener las mismas características geométricas del tornillo con el que se deben acoplar.

La designación de las roscas utilizadas para el diseño de los tornillos y tuercas del vehículo de mantenimiento se especifica mediante la Norma ANSI de perfil métrico M, que describe el diámetro y el paso en milímetros. Por ejemplo, la designación de la rosca de los tornillos sujetadores de las ruedas laterales del sistema de tracción se describe como M20x2,5, lo cual indica que es una rosca que tiene 20 milímetros de diámetro mayor y un paso de 2,5 milímetros. La letra M que antecede al diámetro del tornillo, es la clave para identificar la designación métrica.

Dentro de las ventajas obtenidas al usar este tipo de elementos para crear conexiones o uniones entre piezas se puede mencionar que los tornillos y las tuercas se pueden desmontar con facilidad para propósitos de inspección de la máquina, se pueden crear uniones de diferentes materiales, este tipo de conexión no cambia el tratamiento térmico de las partes ensambladas y el equipo que se requiere es económico y de manejo extremadamente simple como las llaves de cola y corona.

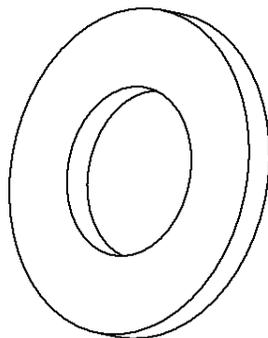
Las desventajas más importantes del uso de estos elementos para la unión de piezas se derivan en que, la junta es más débil que las partes que se conectarán; las juntas se pueden aflojar porque son sensibles a las vibraciones y en las conexiones se puede notar la presencia de corrosión en la cabeza del tornillo y el borde de la tuerca.

#### **1.5.1.7. Arandelas**

Son elementos mecánicos simples ampliamente utilizados en el armado de piezas desmontables, cuya finalidad es proporcionar una mayor superficie de contacto uniforme para el asentamiento de una tuerca y así ayudar a dispersar la carga aplicada en un tornillo.

Estos elementos pueden estar hechos de una variedad de materiales tales como: acero, aleaciones de aluminio o metal; por lo cual las arandelas se fabrican mediante especificaciones establecidas por normas internacionales. Existen arandelas planas y curvas que se fabrican de acero según la Norma ASTM F 844 y otros tipos como las arandelas de presión que se fabrican de acero al carbón endurecido, las de tipo resorte helicoidal y las de sección trapezoidal. La fabricación de otras arandelas se ajusta a las Normas ANSI. Las arandelas utilizadas en el vehículo de mantenimiento se muestran en la figura 7.

Figura 7. **Arandela plana circular**



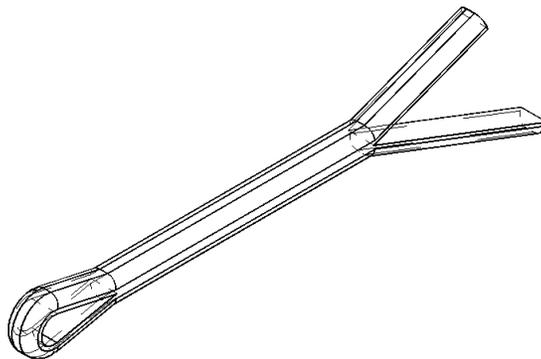
Fuente: librería del programa Autodesk Inventor Professional.

#### **1.5.1.8. Chavetas partidas**

Son elementos de fijación desmontables de fácil aplicación que se utilizan, principalmente, para la retención de arandelas y tuercas que podrían desplazarse inesperadamente por malas técnicas de instalación o vibraciones en la máquina. Su diseño básico está conformado por un alambre de sección de media caña doblado sobre sí mismo para formar las partes de la chaveta.

La fabricación de estos elementos puede ser con materiales de acero, latón, acero inoxidable y cobres de aleación. Muchas de las chavetas partidas son fabricadas mediante controles estrictos en sus medidas y tolerancias indicadas en las Normas IRAM 5146 y DIN 94. Su montaje es muy simple y su utilización se emplea en una gran cantidad de máquinas.

Figura 8. **Chavetas partidas**



Fuente: librería del programa Autodesk Inventor Professional.

### **1.5.2. Elementos compuestos**

Son todos aquellos elementos que están conformados por varias piezas unidas o acopladas, y que a su vez pueden provocar el funcionamiento de un mecanismo o ser parte importante de una máquina. A continuación, se hace referencia a los elementos compuestos requeridos en el diseño del vehículo de mantenimiento.

### **1.5.2.1. Motor eléctrico**

La definición más común de un motor eléctrico describe que es un dispositivo que transforma la energía eléctrica en energía mecánica y que sus principales componentes son el rotor y el estator. Son utilizados en una gran cantidad de aplicaciones de máquinas, herramientas, electrodomésticos y muchas otras aplicaciones comerciales. A su vez, son fabricados de diferentes tamaños dependiendo de la necesidad de la instalación o de la potencia requerida por la máquina donde trabajarán.

“Los motores eléctricos se pueden dividir en dos categorías: los que operan con corriente alterna (CA), en los cuales el voltaje varía sinusoidalmente, y los que trabajan con corriente directa (CD), donde el voltaje es constante para una condición de operación dada.”<sup>6</sup>

### **1.5.2.2. Reductor de velocidad**

Es un dispositivo empleado para reducir la velocidad de un motor eléctrico, pues en la mayoría de procesos industriales donde se emplean los motores, sus velocidades son muy altas. La característica primordial de los reductores de velocidad se establece en que se disminuyen las revoluciones por minuto del motor sin sacrificar de manera significativa la potencia, efecto que permite el aumento del torque de forma segura y eficiente. Los reductores de velocidad brindan beneficios, dentro de los que sobresalen la mayor seguridad y eficiencia de la transmisión, la disminución del espacio ocupado en la máquina y un menor tiempo de instalación y mantenimiento.

---

<sup>6</sup> ORTHWEIN, William C. Diseño de componentes de máquinas. p. 899.

### **1.5.2.3. Elementos soldados**

Son todas aquellas estructuras, generalmente metálicas, que están conformadas por la unión de varios elementos simples, por lo que dicha unión se realiza por cualquier procedimiento de soldadura. El procedimiento utilizado para unir los elementos soldados propuestos en el vehículo de mantenimiento deberá ser por medio del proceso SMAW.

Las ventajas más sobresalientes en la fabricación de los elementos soldados es que el proceso de soldadura establece que se puede utilizar para construir elementos mecánicos complejos difíciles de elaborar por algún otro proceso, la resistencia y la dureza no son afectados por cambios de temperatura considerados dentro del intervalo de servicio de los elementos conectados, las conexiones soldadas tienen igual resistencia que los materiales unidos cuando están bien hechas y sobre todo las uniones soldadas son herméticas a fluidos cuando están bien elaboradas.

Dentro de las desventajas que se pueden mencionar en la elaboración de elementos soldados, es que el procedimiento de soldadura puede cambiar el tratamiento térmico de los metales unidos, se pueden crear esfuerzos residuales, las piezas son difíciles o imposibles de desmontar y volver a ensamblar sin que se note el procedimiento, pueden producirse defectos en la soldadura como poros o inclusiones de escoria y este procedimiento requiere de operadores calificados y equipos especiales que son relativamente caros.



## **2. SISTEMA DE TRACCIÓN, TREN TRASERO Y CHASIS**

### **2.1. Descripción del sistema de tracción**

Como en un vehículo de combustión interna, el sistema de tracción juega un papel importante en el movimiento del vehículo de mantenimiento, es por eso que este sistema es el principal encargado proporcionar la tracción necesaria sobre la estructura que debe ser monitoreada, por lo que de este depende el correcto desplazamiento del vehículo de mantenimiento sobre las secciones críticas de la estructura.

El diseño propuesto del sistema consiste de un conjunto de elementos mecánicos en donde la transmisión de la potencia producida por un motor eléctrico se realizará sobre las ruedas de tracción del vehículo por medio de cadenas que son parte fundamental del sistema de avance.

Existen muchos diseños de estructuras de juegos electromecánicos por todo el mundo, en los cuales el carro del juego puede desarrollar giros bruscos, fuerzas y velocidades con aceleraciones muy elevadas que pueden hacer del juego una atracción no apta para todas las personas. Esto provoca que mientras más complejo sea el diseño de la estructura del juego más, compleja será la realización del mantenimiento a la misma, pues debido a las velocidades difíciles de controlar puede ser más complicado pensar en la realización de un plan de mantenimiento que incluya un medio de transporte adecuado que sirva para cumplir con las tareas programadas en las estructuras de los juegos.

Por esta razón es que la velocidad del vehículo de mantenimiento debe estar estrictamente regulada por algún mecanismo que permita mantenerla controlada. Es muy importante considerar que el diseño del vehículo de propuesto en esta investigación es específicamente para estructuras que posean secciones consideradas como críticas, las que están inclinadas hasta 45 grados respecto de la horizontal y sin inclinación hacia los lados.

El mecanismo definido para controlar la velocidad del vehículo de mantenimiento consiste en el diseño de ejes excéntricos acoplados en la parte inferior de los *buggies* del sistema de tracción y del tren trasero, sistema que se describirá más adelante. Estos ejes sostienen las ruedas inferiores en su parte excéntrica con la finalidad de permitir un desplazamiento angular en las mismas.

La operación de estos ejes es muy simple, con la ayuda de un maneral articulado de 12,7 milímetros se logrará el desplazamiento angular de las ruedas inferiores, las cuales al girar el eje excéntrico en sentido horario o antihorario, tocarán la estructura del juego provocando una tracción mayor en las ruedas superiores y un control más estricto de la velocidad del vehículo en las secciones críticas de la estructura. De esta manera se puede decir que los ejes excéntricos son el mecanismo de frenado del vehículo y entrarán en funcionamiento desde el montaje del vehículo de mantenimiento a la estructura que será monitoreada.

Según sean los grados de inclinación de la sección más crítica de la estructura, así deberá ser la graduación del torque aplicado en los ejes excéntricos de los *buggies* delanteros y traseros. Se debe tomar en cuenta que esta graduación, también estará en función del peso total del vehículo, del peso de las herramientas y del peso de sus dos operarios.

Para el diseño de cualquier elemento mecánico se debe tomar muy en cuenta la forma que este posea, con la finalidad de evitar las concentraciones de esfuerzos en puntos sometidos a grandes cargas de tensión o compresión; estas son las causantes de alargamientos o reducciones longitudinales de las piezas y por consiguiente de fracturas súbitas en los elementos. En casos muy comunes, también se producen fracturas sin alargamientos perceptibles que se asemejan mucho a fracturas de materiales quebradizos, provocándose cuando no se tiene un criterio de diseño que prevenga de cierta manera las concentraciones de esfuerzos en los elementos diseñados.

En los ejes excéntricos del vehículo se puede reducir este problema con el simple hecho de suavizar los cambios de sección transversal con un radio determinado, consideraciones que se han tomado para el diseño de otros ejes utilizados en el vehículo de mantenimiento.

Figura 9. **Eje excéntrico**



Fuente: elaboración propia, con programa Autodesk Inventor Professional.

Una característica muy importante del sistema de tracción del vehículo de mantenimiento es la posición de las ruedas de tracción, ya que pueden estar instaladas en la parte delantera o trasera como en cualquier vehículo de combustión interna. Para el diseño del vehículo de mantenimiento, se consideró que el sistema de avance esté instalado en la parte delantera del vehículo y que las ruedas de tracción, también estén instaladas en la parte delantera del mismo, concretando así que el vehículo es de tracción delantera.

Los diseños de vehículos de tracción trasera proporcionan una mejor distribución del peso en el vehículo, aspecto que es importante cuando se necesita jalar una carga considerada. Sin embargo, este diseño necesita de una flecha propulsora que transfiera la potencia del motor por medio de un mecanismo hacia las ruedas de tracción, particularidad que sacrificaría espacio en la plataforma del vehículo, elevaría costos de fabricación y de mantenimiento.

En el diseño de vehículos que cuentan con tracción delantera, el peso que se agrega sobre las ruedas de propulsión aumenta la tracción del vehículo en superficies mojadas, a su vez estos diseños cuentan con menos elementos mecánicos que deberían ser fabricados y controlados por programas de mantenimientos preventivos.

- Elementos del sistema de tracción

Este sistema está conformado por dos *buggies* delanteros que son el fundamento del sistema de tracción. En su diseño, los *buggies* están dispuestos para acoplar elementos simples como: tornillos y tuercas, ruedas y otros elementos importantes.

Como cualquier sistema del vehículo, este está conformado por una serie de elementos mecánicos simples y compuestos. Los elementos simples que componen cada *buggie* delantero se detallan en la tabla II, estos son el complemento del elemento soldado que se describirá más adelante.

Tabla II. Elementos del *buggie* delantero

Cantidad	Elemento
2	Arandela para eje excéntrico controlador de velocidad
2	Arandela para tornillo de rueda lateral
2	Arandela para tornillo de rueda superior
2	Aro de rueda inferior
2	Aro de rueda lateral
2	Aro de rueda superior
6	Chavetas partidas para tornillos sujetadores de ruedas
2	Cojinete deslizante para eje de giro
2	Eje excéntrico controlador de velocidad
1	Espaciador para eje de giro
1	Espaciador para tuerca de eje de giro
4	Espaciadores para cojinetes de bolas de ruedas inferiores
6	Espaciadores para cojinetes de bolas de ruedas superiores y laterales
2	Espaciadores para rueda dentada de rueda superior
1	Grasera para cilindro de eje de giro
2	Polímero de rueda inferior
2	Polímero de rueda lateral
2	Polímero de rueda superior
4	Cojinete de bolas para ruedas inferiores
8	Cojinete de bolas para ruedas lateral y superior
2	Rueda dentada conducida para rueda superior
2	Tornillo sujetador de rueda lateral
2	Tornillo sujetador de rueda superior
12	Tornillos sujetadores de rueda dentada con rueda superior
4	Tuerca para eje excéntrico controlador de velocidad
2	Tuerca para tornillo de rueda lateral
2	Tuerca para tornillo de rueda superior

Fuente: elaboración propia.

Cada *buggie* delantero cuenta con un elemento soldado que se denominará estructura de *buggie* delantero, el cual forma un elemento compuesto de varias piezas soldadas detalladas en la tabla III.

Tabla III. **Elementos de estructura de *buggie* delantero**

<b>Cantidad</b>	<b>Elemento</b>
1	Cilindro frontal para eje de giro
1	Cilindro medio para eje de giro
2	Cilindro para eje excéntrico
1	Cilindro trasero para eje de giro
1	Platina inferior de <i>buggie</i>
1	Platina principal de <i>buggie</i>
1	Platina trasera de <i>buggie</i>
1	Refuerzo de platina inferior de <i>buggie</i>
1	Soporte de cilindro frontal para eje de giro
2	Tope para cilindro de eje excéntrico
4	Tope para tornillo de rueda lateral
2	Tope para tornillo de rueda superior
1	Unión de platina principal y platina inferior

Fuente: elaboración propia.

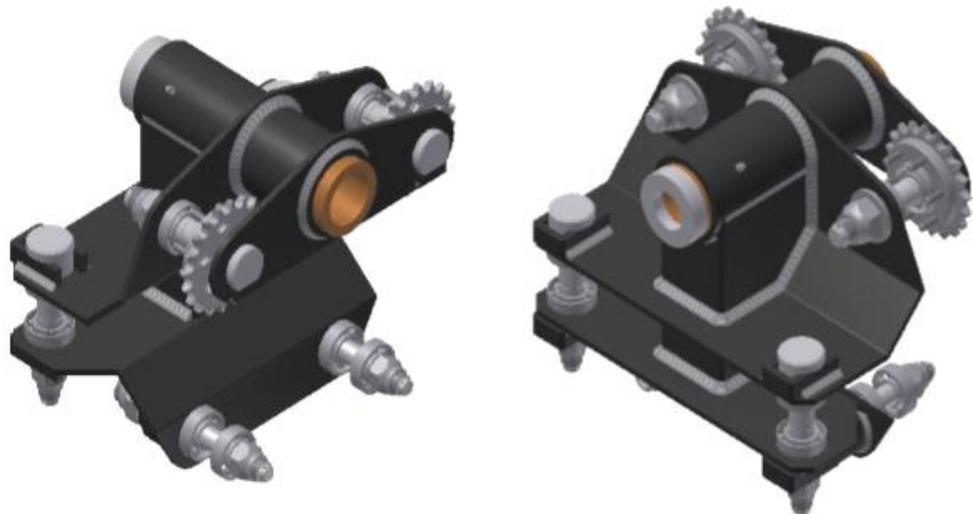
Los elementos del vehículo de mantenimiento que deben ser cohesionados por el proceso SMAW deben poseer características particulares que faciliten la unión para que la eficiencia de trabajo en estas conexiones sea la esperada. Los elementos que se describen en la tabla III y V deben ser principalmente de aceros al carbono de la clasificación de aceros de bajo contenido de carbono, pues se caracterizan por su bajo contenido de carbono que está entre 0,05 a 0,25 por ciento, y a la vez presentan una alta soldabilidad en comparación con otros aceros. Se pueden especificar estos tipos de aceros según las Normas AISI y SAE; por ejemplo, si se tiene un acero 1018, se puede especificar como un acero simple al carbono con un 0,18 por ciento de carbono.

Figura 10. Estructura de *buggie* delantero



Fuente: elaboración propia, con programa Autodesk Inventor Professional.

Figura 11. *Buggie* delantero sin ruedas



Fuente: elaboración propia, con programa Autodesk Inventor Professional.

Figura 12. **Sistema de tracción**



Fuente: elaboración propia, con programa Autodesk Inventor Professional.

## 2.2. Descripción del tren trasero

La función principal de este sistema es guiar y soportar la parte trasera del vehículo de mantenimiento sobre la estructura del juego que deba ser monitoreada. Este sistema consiste en un diseño muy similar al del sistema de tracción descrito anteriormente, pero cuenta con pequeñas modificaciones que se adaptan a las necesidades de la parte trasera del vehículo de mantenimiento. La principal diferencia entre estos dos sistemas radica en que los *buggies* traseros no cuentan con las ruedas dentadas que están acopladas a las ruedas de tracción de los *buggies* delanteros.

- Elementos del tren trasero

Este sistema está conformado por dos *buggies* traseros que son la base principal del tren trasero del vehículo de mantenimiento. Están diseñados para acoplar cierta cantidad de elementos similares a los del sistema de tracción. Los elementos que componen cada *buggie* trasero se detallan en la tabla IV.

Tabla IV. **Elementos del *buggie* trasero**

<b>Cantidad</b>	<b>Elemento</b>
2	Arandela para eje excéntrico controlador de velocidad
2	Arandela para tornillo de rueda lateral
2	Arandela para tornillo de rueda superior
2	Aro de rueda inferior
2	Aro de rueda lateral
2	Aro de rueda superior
6	Chavetas partidas para tornillos sujetadores de ruedas
2	Cojinete deslizante para eje de giro
2	Eje excéntrico controlador de velocidad
1	Espaciador para eje de giro
1	Espaciador para tuerca de eje de giro
4	Espaciadores para cojinetes de bolas de ruedas inferiores
8	Espaciadores para cojinetes de bolas de ruedas superiores y laterales
1	Grasera para eje de giro
2	Polímero de rueda inferior
2	Polímero de rueda lateral
2	Polímero de rueda superior
4	Cojinete de bolas para ruedas inferiores
8	Cojinete de bolas para ruedas lateral y superior
2	Tornillo sujetador de rueda lateral
2	Tornillo sujetador de rueda superior
4	Tuerca para eje excéntrico controlador de velocidad
2	Tuerca para tornillo de rueda lateral
2	Tuerca para tornillo de rueda superior

Fuente: elaboración propia.

Cada *buggie* trasero cuenta con un elemento soldado que se denominará estructura de *buggie* trasero, sus piezas se detallan en la tabla V.

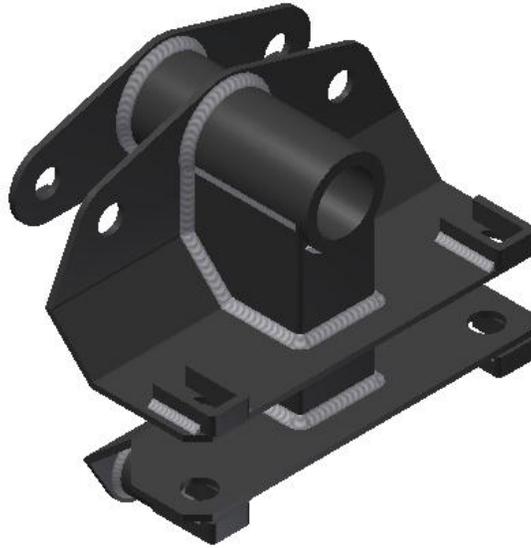
Tabla V. **Elementos de estructura de *buggie* trasero**

<b>Cantidad</b>	<b>Elemento</b>
1	Cilindro frontal para eje de dirección
1	Cilindro medio para eje de dirección
2	Cilindro para eje excéntrico
1	Cilindro trasero para eje de dirección
1	Platina inferior de <i>buggie</i>
1	Platina principal de <i>buggie</i>
1	Platina trasera de <i>buggie</i>
1	Refuerzo de platina inferior de <i>buggie</i>
1	Soporte de cilindro frontal para eje de dirección
2	Tope para cilindro de eje excéntrico
4	Tope para tornillo de rueda lateral
2	Tope para tornillo de rueda superior
1	Unión de platina principal y platina inferior

Fuente: elaboración propia.

Ya se mencionó que para los elementos de la tabla III y V se necesita un material que posea las características de buena soldabilidad. El material que más se adecúa para estos elementos comercialmente se denomina lámina negra, la cual puede tener como valor máximo 0,15 por ciento de carbono, siendo un acero de bajo contenido de carbono especificado como un acero 1015. El electrodo que se recomienda para la cohesión de estos elementos es un electrodo E-7018 que tiene un revestimiento de bajo hidrógeno con polvo de hierro. Este electrodo, también es recomendado para trabajos donde se requiera una alta calidad radiográfica, característica de suma importancia al momento de certificar las soldaduras del vehículo de mantenimiento.

Figura 13. Estructura de *buggie* trasero



Fuente: elaboración propia, con programa Autodesk Inventor Professional.

Figura 14. *Buggie* trasero sin ruedas



Fuente: elaboración propia, con programa Autodesk Inventor Professional.

Figura 15. **Tren trasero**



Fuente: elaboración propia, con programa Autodesk Inventor Professional.

### **2.3. Descripción del chasis**

Este sistema consiste en un bastidor que se conforma con determinados elementos mecánicos y que brinda especialmente los elementos de acople del sistema de tracción y del tren trasero del vehículo de mantenimiento. El chasis del vehículo no es un sistema complejo, pero sus funciones principales son las de aportar rigidez al vehículo, dar forma al mismo en función de su ancho y su largo y sobre todo, soportar las cargas que puedan existir en el vehículo de mantenimiento. Su diseño permite aprovechar los espacios de manera eficiente para poder distribuir de la forma más adecuada las cargas del vehículo sobre la estructura que deba ser monitoreada.

- Elementos del chasis

Dentro de los elementos que componen este sistema se considera el diseño de un eje central, dos ejes de giro y otros elementos mecánicos que se detallan en la tabla VI. El elemento principal de este sistema es el eje central, ya que cada sistema descrito hasta ahora tiene un elemento que representa el fundamento de cada sistema.

Los elementos encargados de acoplar en sus extremos el sistema de tracción y el tren trasero del vehículo de mantenimiento son los ejes de giro. Estos elementos están diseñados para tener una rotación de 20 grados respecto del punto de acople de cada eje, esta característica resalta la importancia de utilizar el vehículo de mantenimiento en estructuras que no hagan sobrepasar el giro antes mencionado en dichos ejes. También es importante hacer referencia al giro de estos ejes, ya que estos girarán cuando el vehículo se desplace sobre una vuelta de la estructura. En otras palabras, su giro no es controlado por los mecánicos, sino que es provocado por las vueltas que pueda tener el diseño de la estructura del juego.

El eje central está diseñado para que la plataforma de seguridad esté anclada a él por medio de tornillos de sujeción en su parte delantera, media y trasera, característica de suma importancia en el eje central del chasis que se encarga de la seguridad de los dos mecánicos que se recomienda transportar en el vehículo.

Tabla VI. **Elementos del chasis**

<b>Cantidad</b>	<b>Elemento</b>
1	Eje de giro delantero
1	Eje de giro trasero
1	Eje para cojinete de rodillos cónicos de sistema de avance
4	Espaciadores para cojinetes de ejes de giro
1	Pin de eje de giro trasero
4	Cojinete de rodillos cónicos de ejes de giro
1	Tope de pin de eje de giro trasero
6	Tornillos de tope de pin de eje de giro trasero
4	Tuercas para ejes de giro

Fuente: elaboración propia.

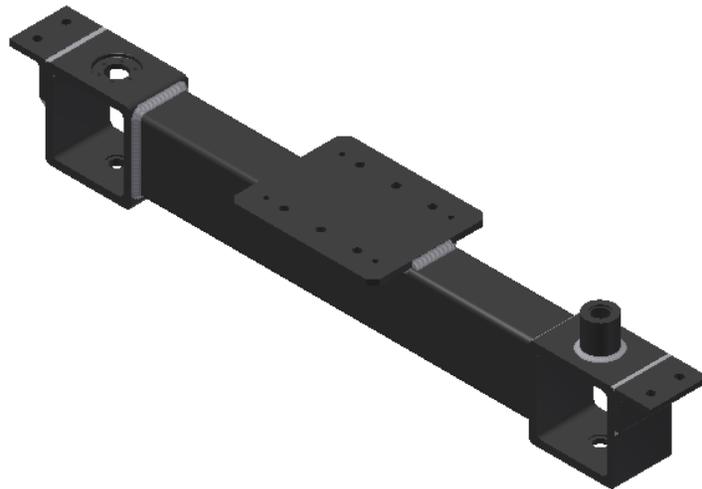
El eje central se considera un elemento compuesto, ya que es un elemento soldado que se compone de varias piezas descritas en la tabla VII. El material de las piezas que componen este eje deberá tener las mismas características al recomendado anteriormente para piezas que deben ser cohesionadas por el proceso SMAW, para poder utilizar el mismo electrodo. Este elemento soldado se denominará estructura del eje central.

Tabla VII. **Elementos para la estructura del eje central**

<b>Cantidad</b>	<b>Elemento</b>
1	Guía para eje de cojinete de rodillos cónicos del sistema de avance
1	Perfil delantero para acoplar el eje de giro
1	Perfil delantero para sujetar la plataforma de seguridad
1	Perfil principal de eje central
1	Perfil trasero para acoplar el eje de giro
1	Perfil trasero para sujetar la plataforma de seguridad
1	Platina media para sujetar la plataforma de seguridad

Fuente: elaboración propia.

Figura 16. **Estructura del eje central**



Fuente: elaboración propia, con programa Autodesk Inventor Professional.

Figura 17. **Chasis**



Fuente: elaboración propia, con programa Autodesk Inventor Professional.

Figura 18. **Sistema de tracción, tren trasero y chasis**



Fuente: elaboración propia, con programa Autodesk Inventor Professional.

#### **2.4. Selección de materiales**

Hasta ahora se ha hecho referencia del material más adecuado para las piezas que deben ser soldadas, pero considerando la cantidad de elementos que componen cada sistema descrito, se mencionarán solamente los materiales recomendados para ciertos elementos que posean funciones específicas.

Para el caso de los tornillos el diseño se debe basar en la resistencia límite a la tracción, debido a que es el máximo esfuerzo que podrán soportar sin que exista una deformación permanente.

Para esto, las resistencias y propiedades del material de los tornillos se especifican de acuerdo a clases o grados que han sido definidos por Normas de la ASTM, la SAE y la ISO. El material para los tornillos del vehículo de mantenimiento que posean un diámetro mayor que esté en el rango de M16 a M36 debe ser de aceros de medio o bajo carbono, templados y revenidos especificados como clase 8,8, ya que estos aceros tienen una resistencia límite mínima a la tracción de 600 mega pascales , una resistencia de fluencia mínima a la tracción de 660 mega pascales y una resistencia última mínima a la tracción de 830 mega pascales, siendo la especificación más adecuada para los tornillos sujetadores de las ruedas laterales y superiores de los *buggies* del vehículo de mantenimiento y otros tornillos que posean los diámetros mayores en los rangos mencionados.

Los tornillos que posean un diámetro mayor en el rango de M1,6 a M16 deben ser de aceros de medio o bajo carbono especificados como clase 4,8, ya que estos aceros tienen una resistencia límite mínima a la tracción de 310 mega pascales, una resistencia de fluencia mínima a la tracción de 340 mega pascales y una resistencia última mínima a la tracción de 420 mega pascales.

Por su parte, los cojinetes deslizantes que deben ser utilizados en los *buggies* del sistema de tracción y del tren trasero deben ser bronce comerciales, los cuales son producto de aleaciones, principalmente de cobre y estaño, aluminio, silicio, plomo, zinc o níquel. Otro de los elementos aleantes de suma importancia para este tipo de bronce debe ser el antimonio, pues aporta mayor dureza a la aleación. Dependiendo de los elementos aleantes, los bronce pueden poseer características de bajo coeficiente de rozamiento, buena resistencia al desgaste, buena resistencia a la fatiga, buenas propiedades contra la corrosión, elevada conductividad térmica, combinaciones entre ellas o muchas otras cualidades.

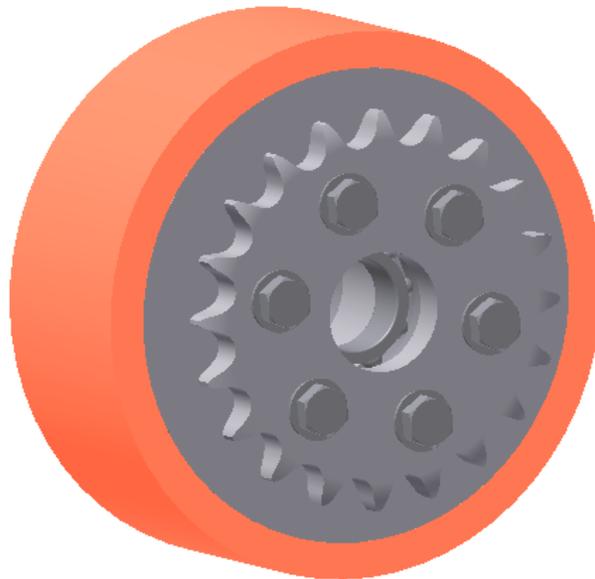
Estas aleaciones se denominan bronce al plomo, bronce al estaño, bronce al aluminio, bronce al silicio, etc. El bronce más adecuado para esta aplicación podrá ser el bronce al estaño SAE 62 debido a que es muy tenaz, posee un bajo coeficiente de fricción y alta resistencia a la corrosión. Es muy común emplear zinc en este tipo de aleación para sustituir parte del estaño, ya que mejora las propiedades mecánicas de los cojinetes deslizantes y plomo para que se aumente su maquinabilidad y la resistencia al desgaste.

Para el caso de los ejes excéntricos utilizados en los *buggies* del vehículo de mantenimiento y los ejes de giro que deben acoplar el sistema de tracción y el tren trasero, se debe emplear un acero que posea excelentes propiedades mecánicas. Uno de los aceros más adecuados para estas aplicaciones puede ser el acero 9840, el cual es un acero de baja aleación en donde el 98 indica que es un acero al níquel-cromo-molibdeno y el 40 que posee un 0,40 por ciento de carbono. A la vez, las características principales de este acero son su buena tenacidad, alcanza durezas elevadas al templarse y sobre todo se caracteriza por su magnífica resistencia a la fatiga en piezas de sección transversal considerable. Este tipo de aceros también se presentan en estado bonificado lo que lo hace estar libre de tensiones residuales.

Otro material que es de suma importancia mencionar es el polímero para el revestimiento de las ruedas del vehículo de mantenimiento, ya que debe proporcionar la tracción necesaria, para que no exista deslizamiento cuando estas rueden sobre la estructura del juego que será monitoreada. El polímero que más se puede adecuar en esta aplicación es el poliuretano termoplástico de alta densidad, el cual es un elastómero que posee como principales características, una alta resistencia al desgarre, a la corrosión, a la abrasión y a su vez, posee memoria elastomérica, asimismo es capaz de soportar altas cargas.

Este polímero puede ser conformado mediante procesos de ingeniería habituales para termoplásticos como lo son la inyección, la extrusión, el soplado y el vaciado en caliente. La vida útil de este polímero en las ruedas del vehículo estará en función de su desgaste; para el caso de las ruedas superiores de los *buggies* se podrá tener en cuenta un desgaste máximo de 5 milímetros del diámetro nominal de las ruedas.

Figura 19. **Rueda superior con revestimiento de poliuretano**



Fuente: elaboración propia, con programa Autodesk Inventor Professional.

El material para las ruedas dentadas del sistema de tracción puede ser un acero 8620, el cual es un acero de baja aleación al níquel-cromo-molibdeno que comúnmente se utiliza para templarse superficialmente por cementación y así mantener una gran tenacidad en el núcleo del elemento y una dureza relativamente alta en su superficie. Este tipo de aceros, también se utiliza para la fabricación de engranes, piñones y coronas.

## 2.5. Ensamble de los elementos

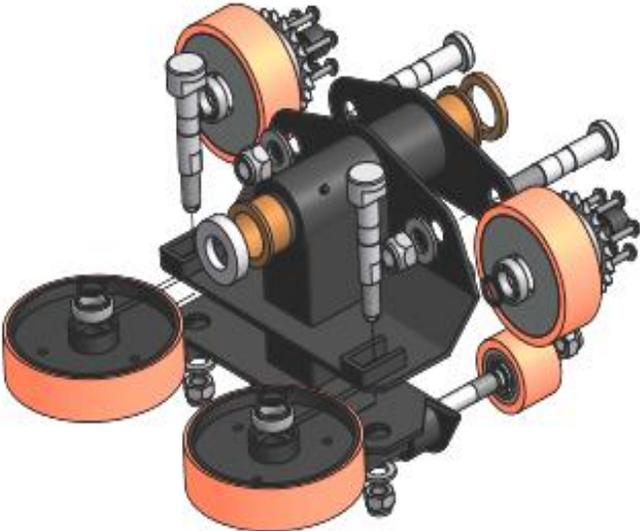
Otro de los asuntos importantes que se considera mencionar en esta investigación es la forma correcta de ensamblar los sistemas del vehículo de mantenimiento y los elementos que los componen. Debido a que la finalidad de la investigación es proponer el diseño de los mecanismos que conforman cada sistema del vehículo de mantenimiento, por ahora, se aduce solamente al ensamble de los sistemas ya descritos en la figura 20, y al ensamble de los elementos que componen uno de los *buggies* delanteros del sistema de tracción en la figura 21 y 22.

Figura 20. **Ensamble de chasis, sistema de tracción y tren trasero**



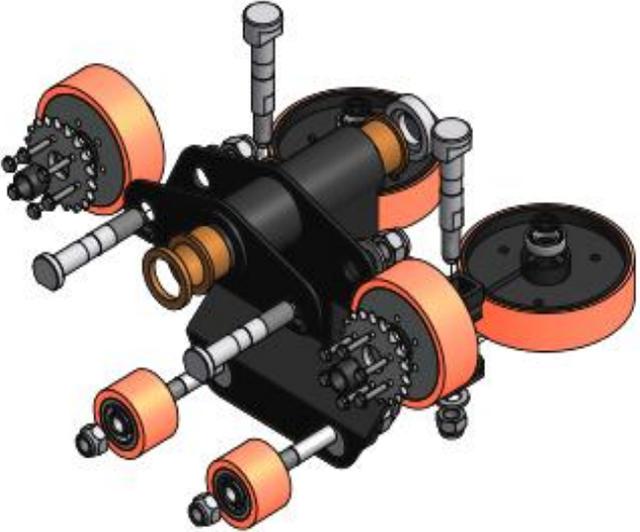
Fuente: elaboración propia, con programa Autodesk Inventor Professional.

Figura 21. **Vista frontal proyectada del ensamble del *buggie* delantero**



Fuente: elaboración propia, con programa Autodesk Inventor Professional.

Figura 22. **Vista trasera proyectada del ensamble del *buggie* delantero**



Fuente: elaboración propia, con programa Autodesk Inventor Professional.



### **3. PLATAFORMA DE SEGURIDAD Y SISTEMA DE AVANCE**

#### **3.1. Descripción de la plataforma de seguridad**

La plataforma de seguridad es un sistema de suma importancia en el diseño del vehículo de mantenimiento, ya que debe brindar la superficie adecuada para los dos mecánicos encargados en realizar los mantenimientos preventivos programados. Esta plataforma consiste en una estructura diseñada para que los mecánicos realicen los mantenimientos en las estructuras de los juegos sin descender del vehículo.

##### **3.1.1. Medidas de seguridad del vehículo**

Es muy importante hablar de la seguridad de los mecánicos encargados de realizar las tareas recomendadas por los fabricantes de cualquier máquina industrial, pues en algunas ocasiones, los medios convencionales que se utilizan para realizar las tareas programadas agregan atribuciones a los mecánicos que hacen que estén más tiempo preocupados por su seguridad que por las tareas que deben realizar.

Para el caso del vehículo de mantenimiento, el diseño de la estructura de la plataforma de seguridad cuenta con una sección donde permitirá a los mecánicos permanecer anclados al vehículo durante todo el recorrido que pueda tener la estructura, norma de seguridad que es de vital importancia tenerla siempre en cuenta para contribuir en la reducción de tareas que deban realizar los mecánicos.

### 3.1.2. Elementos de la plataforma de seguridad

El diseño básico de la plataforma de seguridad está conformado por la estructura de la plataforma, una sección para el anclaje del arnés de los dos mecánicos, un piso de malla de rombos que aporta el área necesaria para que los mecánicos se transporten sentados y elementos simples como tornillos y tuercas que permiten la sujeción de la plataforma de seguridad con la estructura del eje central del chasis del vehículo de mantenimiento. Los elementos que constituyen la plataforma de seguridad se detallan en la tabla VIII.

Tabla VIII. **Elementos de la plataforma de seguridad**

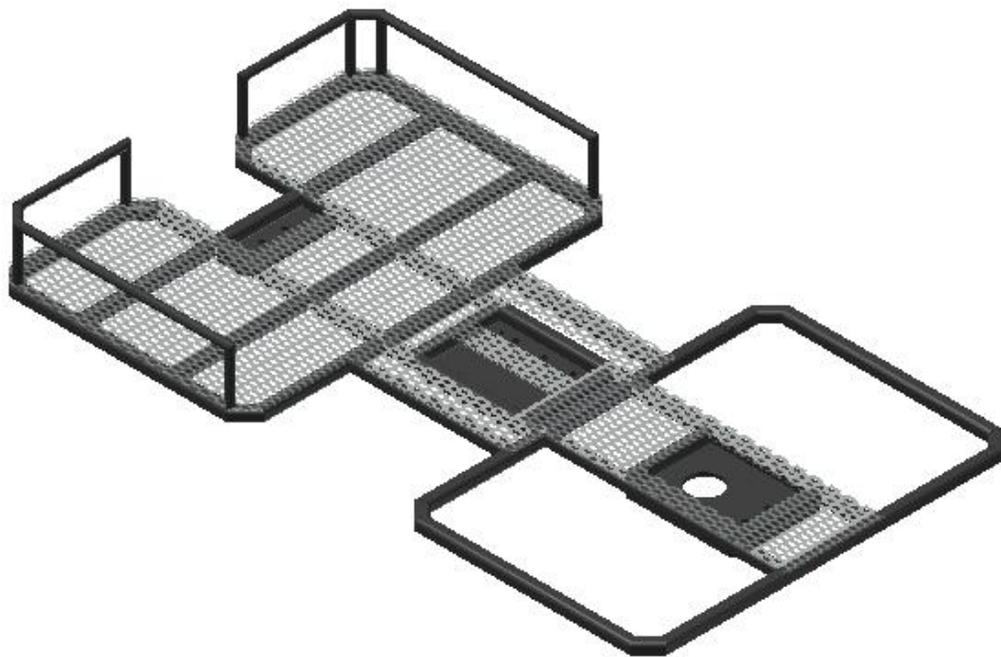
<b>Cantidad</b>	<b>Elemento</b>
20	Arandelas para tornillos y tuercas
1	Estructura de la plataforma de seguridad
1	Malla de rombos para piso del vehículo
1	Platina delantera para acople con el chasis
1	Platina media para acople con el chasis
1	Platina trasera para acople con el chasis
10	Tornillos para platina delantera, media y trasera
10	Tuercas para tornillos

Fuente: elaboración propia.

La estructura de la plataforma de seguridad está constituida por perfiles cuadrados que soldados forman el armazón principal de la plataforma; la sección donde se debe anclar el arnés de cada mecánico que transportará el vehículo de mantenimiento está constituida por perfiles redondos soldados que facilitarán el movimiento del gancho del arnés y por último, las platinas que son las encargadas de acoplar la plataforma de seguridad con la estructura del eje central del chasis.

Los elementos que conforman la estructura de la plataforma de seguridad deben ser de materiales que posean buenas propiedades mecánicas y buena soldabilidad, ya que para unirlos se deberá utilizar el procedimiento de soldadura descrito en esta investigación.

Figura 23. **Plataforma de seguridad**



Fuente: elaboración propia, con programa Autodesk Inventor Professional.

El material que más se adecúa para la selección de los perfiles mencionados se encuentra en el mercado guatemalteco denominado como perfil legítimo o comercial. Los perfiles comerciales poseen un 0,10 por ciento de carbono, siendo así aceros denominados como 1010 y los perfiles legítimos un 0,14 por ciento de carbono, siendo aceros denominados como 1014; considerándose los dos tipos en la clasificación de aceros de bajo contenido de carbono.

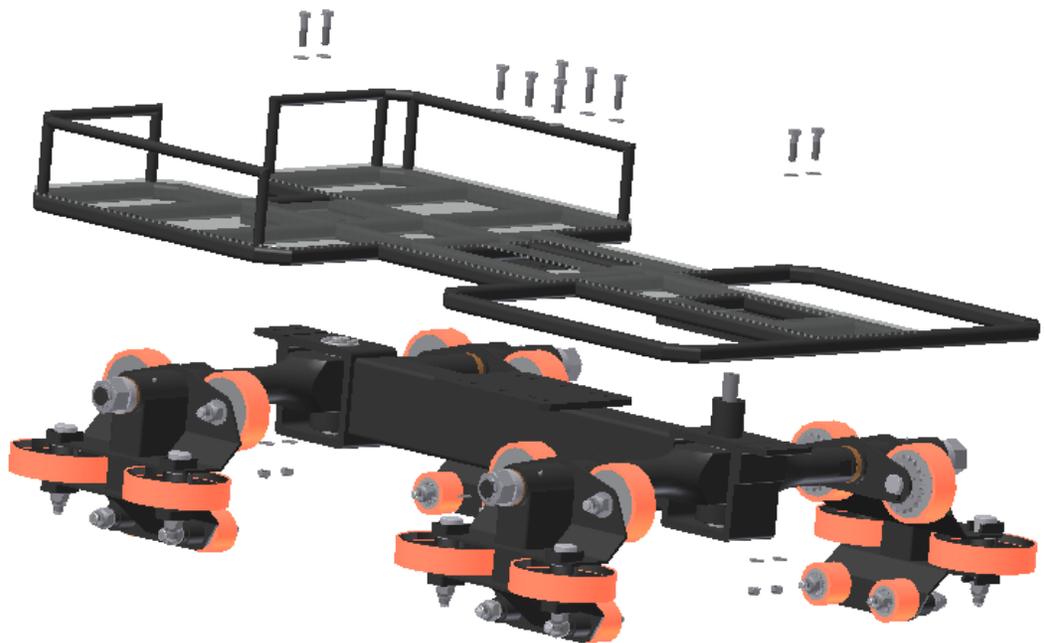
Los perfiles más apropiados para la elaboración de la estructura de la plataforma son los perfiles legítimos, ya que por su mayor contenido de carbono comparado con los perfiles comerciales poseen mejores propiedades mecánicas sin sacrificar la buena soldabilidad que deben tener. Por su parte, las platinas que se utilizarán para acoplar la plataforma de seguridad con el chasis deben ser de lámina negra, material descrito en el capítulo 2, por sus buenas propiedades de soldabilidad, buenas propiedades mecánicas y la buena compatibilidad con el material de aporte del electrodo a recomendar.

La cohesión de los perfiles de la plataforma de seguridad debe ser realizada con un electrodo de clasificación AWS E-6011, ideal para soldar aceros dulces; este electrodo posee un revestimiento celulósico potásico de color blanco utilizado especialmente con corriente alterna. El uso de este se requiere en aplicaciones típicas como: calderería, estructuras metálicas, embarcaciones y estanques debido a sus características más sobresalientes; las cuales son su excelente penetración, su eficiencia en la deposición del metal de aporte superior al 70 por ciento, gran facilidad de encendido y fácil manejo del arco.

También es conveniente resaltar la habilidad que debe poseer el soldador, pues de esta dependerá la calidad de los procesos de soldadura que se requieran en el vehículo de mantenimiento, ya que las soldaduras deben ser certificadas con radiografía industrial. La seguridad es un factor de suma importancia en todo proceso del vehículo en donde no se deben dejar pasar por alto detalles menores, ya que si sucede se afectará la eficiencia mecánica de los elementos que lo componen, no se podrían obtener los resultados esperados del mantenimiento realizado a las estructuras y otra serie de consecuencias que pueden ser muy notorias.

El ensamble de la plataforma de seguridad con el chasis del vehículo de mantenimiento se describe mediante un proceso sumamente sencillo mostrado en la figura 24, pero no se deben descuidar los aspectos simples de cualquier ensamble, ya que si sucede se puede afectar grandemente la seguridad de las personas que se transportarán en el vehículo de mantenimiento.

Figura 24. **Ensamble de la plataforma de seguridad y el chasis**



Fuente: elaboración propia, con programa Autodesk Inventor Professional.

Los tornillos utilizados para sujetar la plataforma de seguridad deberán ser de acero de medio o bajo carbono, templados y revenidos especificados como clase 8,8, para que permitan la aplicación de una torsión adecuada que garantice que no existan aflojamientos inesperados en estos elementos provocados por vibraciones externas.

### 3.2. Descripción y elementos del sistema de avance

Este sistema debe ser el encargado de impulsar controladamente el vehículo de mantenimiento sobre la estructura que deberá ser monitoreada. El boceto realizado para definir este sistema consiste en un motor eléctrico acoplado a un reductor de velocidad que irá ensamblado a una plataforma de giro; a su vez, una serie de elementos mecánicos complementan el sistema en cuestión. La plataforma de giro está diseñada para que gire respecto al eje de giro delantero mencionado en el chasis del vehículo de mantenimiento, mecanismo definido para evitar el uso de elementos articulados para la transmisión de la potencia de un motorreductor, ya que elevarían el costo de fabricación del vehículo y en consecuencia su costo de mantenimiento. Los elementos que conforman este sistema se detallan en la tabla IX.

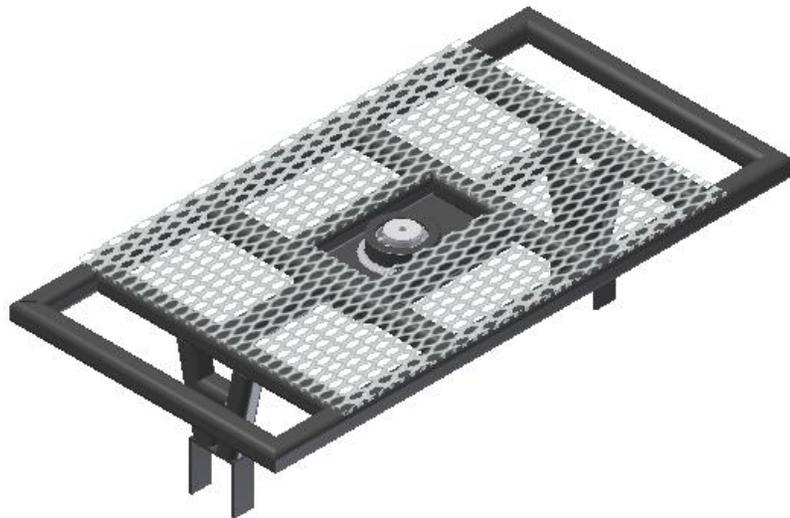
Tabla IX. **Elementos del sistema de avance**

<b>Cantidad</b>	<b>Elemento</b>
20	Arandelas para tornillos y tuercas
2	Cadenas de rodillos
4	Chavetas partidas
1	Cojinete de rodillos cónicos
1	Espaciador para cojinete de rodillos cónicos
1	Estructura de la plataforma de giro del sistema de avance
1	Motor eléctrico
1	Reductor de velocidad
2	Ruedas dentadas conductoras
8	Tornillos para sujetar el motorreductor
4	Tornillos para sujetar la plataforma del sistema de avance
2	Tuercas para ejes del motorreductor
8	Tuercas para los tornillos del motorreductor
4	Tuercas para tornillos de la plataforma de giro

Fuente: elaboración propia.

Para la elaboración de la estructura de la plataforma de giro del sistema de avance se deberán tomar en cuenta todas las consideraciones mencionadas para la elaboración de la estructura de la plataforma de seguridad del vehículo de mantenimiento, tanto en la selección de los perfiles, como en el procedimiento de soldadura y el electrodo utilizado. En la figura 25 se muestra el diseño de la plataforma de giro descrita anteriormente.

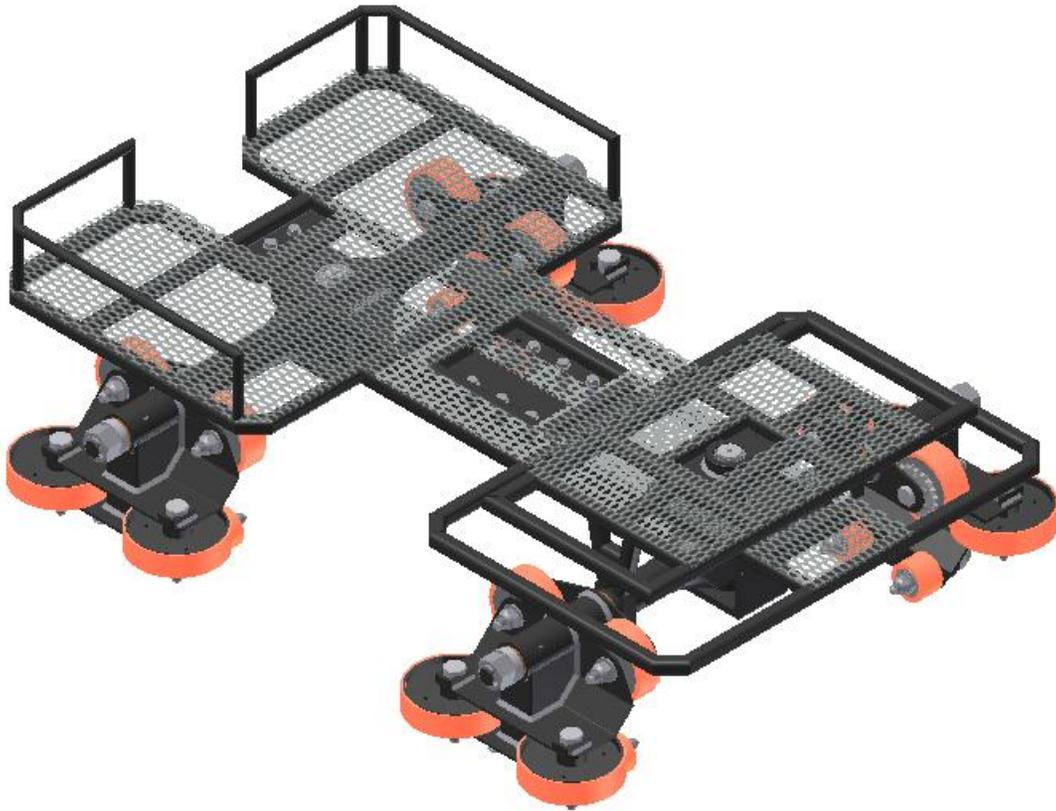
Figura 25. **Plataforma de giro del sistema de avance**



Fuente: elaboración propia, con programa Autodesk Inventor Professional.

Se debe resaltar que el sistema de avance está ampliamente relacionado con el sistema de tracción, pues la transmisión de la potencia del motorreductor deberá ser aplicada directamente a las ruedas dentadas de las ruedas superiores de los *buggies* delanteros. En la figura 26 se muestra el vehículo de mantenimiento con la plataforma de seguridad y la plataforma de giro del sistema de avance.

Figura 26. **Vehículo de mantenimiento con plataformas**



Fuente: elaboración propia, con programa Autodesk Inventor Professional.

- **Transmisión de potencia**

El avance del vehículo de mantenimiento sobre la estructura del juego lo deberá proporcionar el motor eléctrico que conectado al reductor de velocidad serán los encargados de proporcionar la energía mecánica que necesita el vehículo para moverse. La manera más recomendable y práctica para que este mecanismo funcione correctamente puede ser por medio de un banco de baterías que proporcionen la energía eléctrica necesaria para que el motor eléctrico trabaje.

El avance del vehículo de mantenimiento deberá estar gobernado por un control eléctrico conectado al sistema de alimentación eléctrica para poder ser operado por uno de los dos mecánicos, quien conducirá el vehículo a través del control indicándole en qué momento avanzar o detenerse. El retroceso del vehículo lo deberá impedir el reductor de velocidad como medida de seguridad en las secciones críticas de la estructura; esto se producirá con un reductor que indique un solo sentido de rotación en los ejes del reductor.

“Muchas aplicaciones industriales requieren que la maquinaria sea alimentada de potencia mediante máquinas o motores eléctricos. Por lo general, la fuente de potencia corre más eficientemente en un delgado rango de velocidad de rotación. Cuando la aplicación requiere que se entregue potencia a una menor velocidad que la que suministra el motor, se utiliza un reductor de velocidad, el cual debe transmitir la potencia desde el motor a la aplicación con tan poca energía como resulte práctico, mientras se reduce la velocidad y en consecuencia se incrementa el par de torsión.”<sup>7</sup>

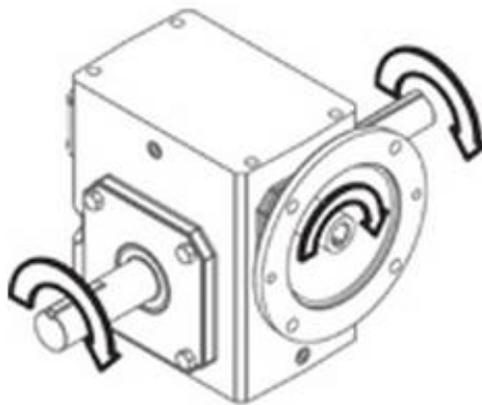
Se ha dado ya una breve descripción del funcionamiento del mecanismo propuesto para la transmisión de la potencia suministrada por el motor eléctrico del sistema de avance, por lo que el mecanismo deberá contar con el motor eléctrico que proporcionará la energía mecánica, el reductor de velocidad que la hará más útil y las cadenas de rodillos que transmitirán el movimiento giratorio a las ruedas de tracción. La particularidad más importante del funcionamiento en conjunto de estos elementos, tal y como se menciona en la cita anterior, debe describir la transmisión de la potencia lo más eficiente posible disminuyendo la velocidad para incrementar el par de torsión.

---

<sup>7</sup> BUDYNAS, Richard G.; NISBETT J. Keith. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. p. 23.

En la figura 27 se muestra un reductor de velocidad cuyos símbolos se especifican como BMQ-D y SS-BMQ-GR, los cuales representan el tipo de montaje y el estilo del reductor respectivamente. Estas especificaciones son requeridas en el sistema de avance, pues proporcionarán el movimiento de avance en ambos *buggies* del sistema de tracción.

Figura 27. **Tipo del reductor de velocidad**



Fuente: GROBE GEAR. *Stainless Steel Worm Gear Reducers*.

<http://ecatalog.grovegear.com/ecatalog/Stainless-Steel-Worm-Series/en#>. Consulta: marzo de 2014.

El montaje de este tipo de reductor de velocidad con el tipo de motor eléctrico que se muestra en la figura 28, permitirá una configuración perpendicular del mecanismo de avance propuesto el cual se describe en la figura 29. La elección mencionada del tipo de reductor de velocidad tiene como principal finalidad contribuir con la reducción del espacio ocupado por el sistema de avance en el vehículo de mantenimiento, por lo que este mecanismo deberá ir montado en la plataforma de giro de este sistema. Este montaje corresponde al que se muestra en la figura 30.

Figura 28. **Tipo de motor eléctrico**



Fuente: elaboración propia, con programa Autodesk Inventor Professional.

Figura 29. **Mecanismo de avance propuesto**



Fuente: elaboración propia, con programa Autodesk Inventor Professional.

Figura 30. **Sistema de avance y sistema de tracción**



Fuente: elaboración propia, con programa Autodesk Inventor Professional.

Es importante definir las variables de las que depende la selección correcta del motor eléctrico y del reductor de velocidad, esto con la finalidad de conocer con detalle las características más sobresalientes de los elementos compuestos que conforman el mecanismo de avance del vehículo.

Una de estas variables es la velocidad a la cual el vehículo de mantenimiento deberá recorrer de forma segura la estructura del juego, ya que si no se considera una velocidad prudente en el vehículo, se puede exponer la integridad física de los dos mecánicos que transportará el mismo. La velocidad más recomendable para esta aplicación del vehículo de mantenimiento podrá estar en un rango de 0 a 5 kilómetros por hora.

La otra variable indispensable en conocer es el peso total del vehículo, el cual se denominará carga total del vehículo de mantenimiento y dependerá del peso de los sistemas del vehículo, el peso máximo de los dos mecánicos, el peso máximo de las herramientas a utilizar y del valor de las fuerzas resultantes producidas por los ejes excéntricos de los *buggies* del vehículo que actuarán perpendicularmente a la estructura; considerando las unidades en Newton.

La tabla X detalla los pesos máximos aproximados que podrá tener cada descripción mencionada anteriormente, para producir una carga total máxima aproximada del vehículo. En el caso del peso producido por los sistemas del vehículo de mantenimiento se hace referencia al valor aproximado obtenido mediante el programa de diseño asistido por computadora.

Tabla X. **Carga total aproximada del vehículo**

<b>Descripción</b>	<b>Peso en N</b>
Sistemas del vehículo de mantenimiento	3 087
Herramientas	441
Mecánicos transportados	1 323
Fuerzas resultantes de los ejes excéntricos	89
<b>Carga total aproximada en N</b>	<b>4 940</b>

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XI se describen las características más sobresalientes del reductor de velocidad recomendado para esta aplicación, esta tabla brinda las especificaciones puntuales del reductor para el acoplamiento con un motor eléctrico de 1 750 revoluciones por minuto. En dicha tabla, también se proporciona la potencia de entrada requerida por el reductor de velocidad, la cual sería la potencia desarrollada por el motor eléctrico a utilizar.

Tabla XI. **Especificaciones del reductor de velocidad**

Radio:1	100
Entrada de rpm	1 750
Salida de rpm	17,5
HP de entrada	0,691
HP de salida	0,435
Torque de salida (lb.-in.)	1 567
Construcción de la carcasa	Acero inoxidable
Fuerza radial (lb.)	2 275
Tipo de reductor	Gusano de ángulo recto
Distancia entre centros	3,25
Estilo de reductor	SBMQ
Estilo de entrada	C
Tamaño del marco	140TC
Montaje	BMQ-D
Montaje de eje de salida	D (Doble salida)
Tamaño de agujero	No aplica

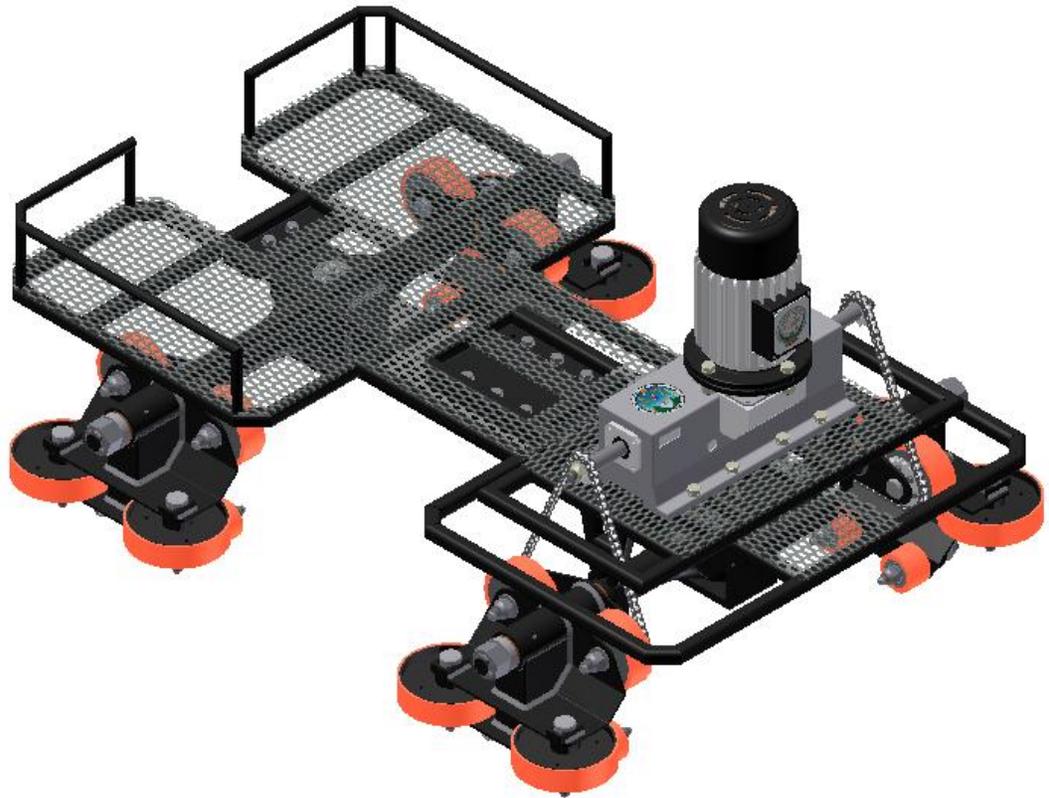
Fuente: GROBE GEAR. *Worm Gear Reducers*.

<http://ecatalog.grovegear.com/ecatalog/Stainless-Steel-Worm-Series/en/GRG-SBMQ832-100-D-140>. Consulta: marzo de 2014.

También es conveniente comprender que las fuerzas resultantes más importantes del vehículo de mantenimiento actuarán siempre en la sección más crítica de la estructura donde el vehículo necesite ascender, pues la fuerza de gravedad actuará en contra del movimiento requerido por el vehículo. Para el caso contrario donde el vehículo necesite descender, se deberá mantener controlada la velocidad de descenso por medio de los ejes excéntricos y del motor eléctrico.

Definidos todos los elementos y mecanismos que componen cada sistema, en la figura 31 se muestra la propuesta de diseño del vehículo de mantenimiento para estructuras de juegos electromecánicos.

Figura 31. Vehículo de mantenimiento



Fuente: elaboración propia, con programa Autodesk Inventor Professional.



## **4. MONTAJE Y MANTENIMIENTO DEL VEHÍCULO**

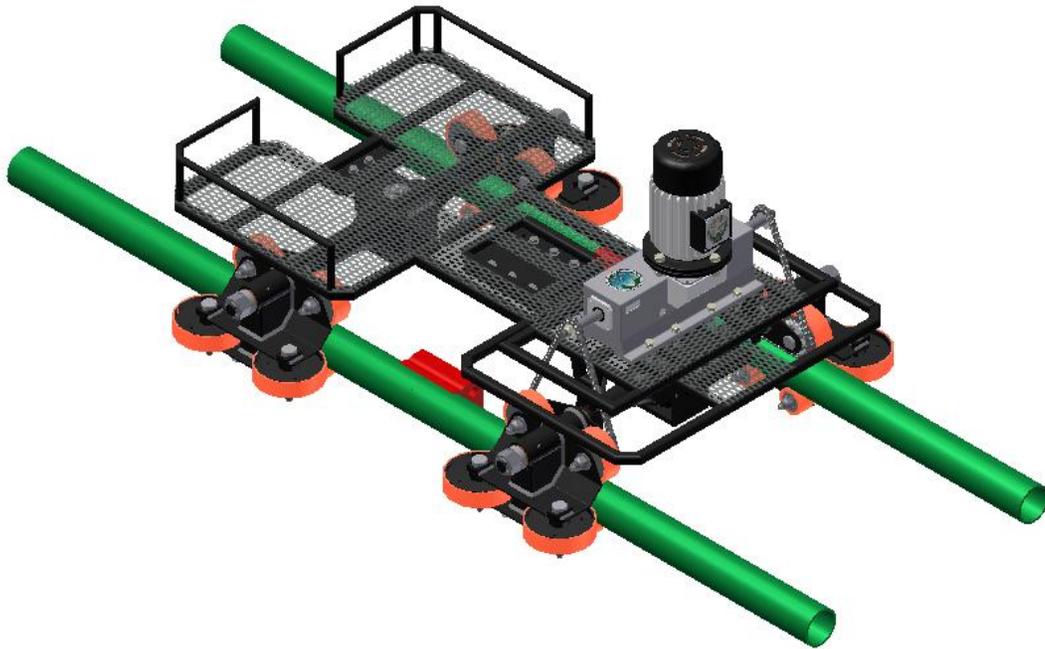
### **4.1. Montaje del vehículo**

Una de las actividades más críticas en la utilización de la propuesta del diseño del vehículo de mantenimiento se presentará al momento del montaje sobre la estructura que deba ser monitoreada, pues de los procedimientos realizados para el montaje dependerá el correcto funcionamiento de cada elemento mecánico, de cada mecanismo y de cada sistema que conforma el vehículo.

El montaje del vehículo de mantenimiento propuesto en esta investigación podrá ser realizado en estructuras fabricadas con perfiles metálicos redondos que posean un diámetro mayor de 114 milímetros y una distancia entre centros de 800 milímetros. Otras características que se pueden mencionar y que deben estar altamente definidas en las estructuras donde pueda operar el vehículo propuesto son: que no se provoque una inclinación en las partes laterales del vehículo, que la sección considerada como crítica no sobrepase un ángulo de 45 grados sobre la horizontal, que el montaje se realice en la sección más baja y plana de la estructura y otras características importantes mencionadas en los capítulos anteriores.

Los sistemas que puedan conservarse ensamblados (el sistema de tracción y el tren trasero) y los que no (el chasis, la plataforma de seguridad y el sistema de avance) deberán estar almacenados en medios que los protejan de la humedad y la suciedad, ya que serán circunstancias negativas que se reflejarán al momento de realizar el montaje.

Figura 32. **El vehículo de mantenimiento sobre la estructura**



Fuente: elaboración propia, con programa Autodesk Inventor Professional.

#### **4.2. Mantenimiento del vehículo**

- Aplicación del aceite lubricante

Es de suma importancia proporcionar la lubricación adecuada a las transmisiones por cadena, ya que en las cadenas existen muchas partes móviles y la inevitable interacción de la misma con los dientes de las ruedas dentadas. Es por eso que es importante definir el lubricante más adecuado y el método de lubricación que se le aplicará a la transmisión por cadena del vehículo de mantenimiento.

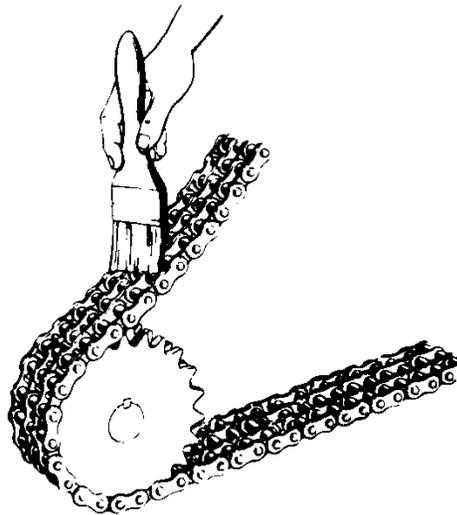
Dentro de las características que debe poseer este aceite lubricante es que sea derivado del petróleo y muy parecido al aceite que utiliza un motor de combustión interna. La viscosidad deberá permitir el fácil flujo del aceite lubricante entre las superficies de la cadena que se mueven entre sí para proporcionar una buena actividad lubricante y sobre todo el aceite se deberá conservar sin polvo o agentes extraños ni humedad.

Existen varios métodos de lubricación que se pueden aplicar a las transmisiones por cadenas, la ACA recomienda tres tipos de lubricación que dependen de la velocidad de operación y la potencia que se transmite. El tipo A hace referencia a la lubricación manual o por goteo, en la lubricación manual, el aceite se aplica en forma abundante con una brocha 8 horas antes de la operación de la transmisión.

Para la lubricación por goteo, el aceite se aplica directamente por medio de un tubo distribuidor empacado hacia las placas del eslabón de las hileras de la cadena. El tipo B describe la lubricación de baño, donde la cubierta de la cadena proporciona un depósito de aceite en el que se sumerge la cadena en forma continua. Por último, el método tipo C describe la lubricación de la transmisión por cadena con un chorro de aceite en el que una bomba de aceite envía un flujo continuo de lubricante en la parte inferior de la cadena.

Conocidos ya los métodos que se pueden utilizar para la lubricación de las cadenas de rodillos utilizadas en el vehículo de mantenimiento, el tipo A es el que se adecúa más a los procedimientos de mantenimiento del vehículo, ya que también se hace referencia a este clase, porque se utiliza en aplicaciones de bajas revoluciones. Su aplicación se describe en la figura 33.

Figura 33. **Lubricación manual tipo A**



Fuente: ORTHWEIN, William C. *Diseño de componentes de máquinas*. p. 761.

Tabla XII. **Lubricante para transmisiones**

Lubricante recomendado para transmisiones por cadenas

Temperatura ambiente		Lubricante recomendado
°F	°C	
20 a 40	-7 a 5	SAE 20
40 a 100	5 a 38	SAE 30
100 a 120	38 a 49	SAE 40
120 a 140	49 a 60	SAE 50

Fuente: MOTT, Robert L. *Diseño de elementos de máquinas*. p. 291.

Según la tabla XII, el lubricante más apropiado a utilizar en las cadenas del sistema de avance deberá ser un SAE 30, cuando las temperaturas ambientales se mantengan en un rango de 5 a 38 grados centígrados.

- Aplicación de la grasa lubricante

La grasa lubricante requerida en el vehículo de mantenimiento deberá ser aplicada específicamente en el cilindro frontal de los *buggies* del sistema de tracción y tren trasero a través de la grasería contemplada en su diseño, ya que se debe proporcionar un lubricante que actúe entre los ajustes de los cojinetes deslizantes de estos sistemas y los ejes de giro del chasis.

La característica primordial en el tipo de grasa industrial que se aplique deberá ser su uso a una extrema presión. Una de las grasas que cumple con este requisito es la grasa Shell Alvania EP 2, ya que está fabricada con una combinación de aceites minerales que poseen un alto índice de viscosidad donde su principal espesante es el litio, a la vez, su contenido de aditivos especiales de extrema presión que están libres de plomo le permiten asimilar cargas altas y de impacto sin que se rompa la película lubricante. Este tipo de grasa posee una fuerte compatibilidad con los metales, lo cual le permite proteger las superficies de los cojinetes contra la corrosión, incluso cuando posea contaminantes con agua; su grado de consistencia NLGI es 2 siendo una grasa blanda a temperatura ambiente.

- Análisis de soldaduras

Este es un método de inspección y prueba no destructiva que se utiliza para detectar los defectos internos en las soldaduras y consiste en colocar películas radiográficas en los elementos a inspeccionar haciendo pasar a través de ellos un tipo de radiación para penetrar el objeto y registrar la imagen interna en la película. Si existiesen defectos como poros o fisuras en las soldaduras a realizar en el vehículo de mantenimiento, estos serán detectados en las películas radiográficas al momento de ser reveladas.



## CONCLUSIONES

1. La propuesta de diseño del vehículo de mantenimiento para estructuras específicas de juegos electromecánicos se realizó con la ayuda de una versión de estudiante del programa Autodesk Inventor Professional.
2. El sistema de tracción está conformado por un conjunto de elementos mecánicos instalados en la parte delantera del vehículo de mantenimiento, los elementos soldados requeridos en este sistema deben ser cohesionados por el proceso SMAW.
3. El diseño propuesto del chasis del vehículo de mantenimiento permite acoplar en los extremos de los ejes de giro el sistema de tracción y el tren trasero mediante tuercas de seguridad, a la vez que brinda rigidez y soporta las cargas del vehículo.
4. La representación fundamental del diseño recomendado para la plataforma de seguridad, está compuesta por perfiles cuadrados que forman la estructura básica de la plataforma y por perfiles redondos que permitirán el anclaje del arnés de seguridad de los mecánicos.
5. El mecanismo diseñado para el sistema de avance del vehículo de mantenimiento se compone de varios elementos mecánicos en los que destaca el motorreductor, el cual será el encargado de proporcionar la energía mecánica necesaria para mover el vehículo.



## RECOMENDACIONES

1. A la Escuela de Ingeniería Mecánica: proporcionar al estudiante los medios para adquirir conocimientos en nuevas herramientas para el diseño de máquinas que le ayuden a desarrollarse con un nivel profesional más competitivo.
2. A los estudiantes en general: utilizar las habilidades, técnicas y conocimientos adquiridos correctamente para proveer las propuestas solicitadas en su momento de diseños de máquinas en un nivel de alta confiabilidad y rentabilidad para el campo ingenieril.
3. Profundizar los estudios analíticos de los elementos propuestos en el diseño de cualquier máquina al momento de implementarse, ya que es de suma importancia comprobar físicamente el funcionamiento de cada mecanismo a través de prototipos que revelarán qué modificaciones realizar.
4. Realizar las consultas pertinentes a los fabricantes de los juegos electromecánicos sobre las propuestas de los medios de transporte requeridos, para agilizar el mantenimiento recomendado en las estructuras de los juegos fabricados.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Aceros Levinson. *Algunos tipos de bronce*. [en línea]. [ref. 8 de junio 2011]. Disponible en web: <http://www.aceroslevinson.com/2011/06/algunos-tipos-de-bronce/>.
2. ACOSTA SÁNCHEZ, Juan Miguel. *Diseño de un reductor de velocidad de engranajes cilíndricos con dientes helicoidales*. [en línea]. <http://www.monografias.com/trabajos-pdf4/disenoreductor-velocidad/disenoreductor-velocidad.pdf>.
3. ASKELAND, Donald R. *Ciencia e ingeniería de los materiales*. 3a ed. México: International Thomson Editores, 1998. 854 p.
4. BROPOSA. *Bronce al estaño SAE 62*. [en línea]. <http://www.broposa.com/documentacion/bronce-estano-sae62.pdf>.
5. BUDYNAS, Richard G.; NISBETT J. Keith. *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. 8a ed. México: McGraw-Hill, 2008. 1059 p.
6. CELADA RÍOS, Estuardo Santiago. *Metodología para el reacondicionamiento de ejes de acero al carbono, AISI 1045, por medio de soldadura*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2012. 82 p.

7. Grobe Gear. *Worm Gear Reducers*. [en línea]. <http://ecatalog.grovegear.com/ecatalog/Stainless-Steel-Worm-Series/en/GRG-SBMQ832-100-D-140>.
8. HALL, Allen S.; HOLOWENKO, Alfred R.; LAUGHLIN, Herman. *Diseño de máquinas*. México: McGraw-Hill, 1971. 344 p.
9. INDURA. *Manual de sistemas y materiales de soldadura*. [en línea]. [http://www.indura.net/\\_file/file\\_2182\\_manual%20de%20soldadura%20indura%202007.pdf](http://www.indura.net/_file/file_2182_manual%20de%20soldadura%20indura%202007.pdf).
10. Industria Skotnica S.A. *Chavetas partidas*. [en línea]. [http://www.industriaskotnicasa.com.ar/pls/skotnicaen/site.ver\\_html?as\\_html\\_number=155](http://www.industriaskotnicasa.com.ar/pls/skotnicaen/site.ver_html?as_html_number=155).
11. LAVISA. *Shell Albania EP*. [en línea]. <http://www.lavisa.pe/pdf/ShellAlbaniaEP.pdf>.
12. Lubricantes ELF. *Aceites base y aditivos*. [en línea]. [http://www.lubricantes.elf.com/es/eself.nsf/V5\\_OPN/E930D9465C9D42BCC1256EE500474ED0?OpenDocument](http://www.lubricantes.elf.com/es/eself.nsf/V5_OPN/E930D9465C9D42BCC1256EE500474ED0?OpenDocument).
13. MOTT, Robert L. *Diseño de elementos de máquinas*. 4a ed. México: Pearson Educación, 2006. 944 p.
14. ORTHWEIN, William C. *Diseño de componentes de máquinas*. México: CECOSA, 1996. 1009 p.

15. PADILLA SILVA, Noel Antonio. *Análisis de aceite para detección temprana de fallas en motores caterpillar*. Trabajo de graduación Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2013. 65 p.
16. PAEKER, Mike. *El tamaño de la arandela plana de norma SAE*. [en línea]. [http://www.ehowenespanol.com/tamano-arandela-plana-norma-sae-info\\_266806/](http://www.ehowenespanol.com/tamano-arandela-plana-norma-sae-info_266806/).
17. QuimiNet. *Conozca los tipos de poliuretano y sus aplicaciones*. [en línea]. <http://www.quiminet.com/articulos/conozca-los-tipos-de-poliuretano-y-sus-aplicaciones-3457524.htm>.
18. SPOTTS, M. F. *Proyecto de elementos de máquinas*. 2a ed. España: Reverté, 1976. 684 p.
19. VILLALBA, Hervás. *Cadenas*. [en línea]. <http://www.aero.ing.unlp.edu.ar/catedras/archivos/Apunte%20Cadenas%202013.pdf>.
20. \_\_\_\_\_. *Diseño de tornillos*. [en línea]. <http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r92248.PDF>.
21. \_\_\_\_\_. *Elementos de máquinas y sistemas*. [en línea]. <http://www.iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2011/03/elementos-de-mc3a1quinas-y-sistemas.pdf>.



