



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE DIRECCIÓN COLAPSABLE PARA UN PROTOTIPO SOLAR DE COMPETENCIA POR MEDIO DEL ESTUDIO Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES QUE CUMPLAN CON LOS REQUISITOS ESTABLECIDOS”

LARA LEDESMA MARIA ABIGAIL

CAYAMBE MAYGUA DENNYS GABRIEL

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROPUESTA TÉCNICA

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

RIOBAMBA – ECUADOR

2019

ESPOCH

Facultad de Mecánica

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

2018-10-23

Yo recomiendo que el trabajo de titulación preparado por:

MARÍA ABIGAIL LARA LEDESMA

Titulado:

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE DIRECCIÓN
COLAPSABLE PARA UN PROTOTIPO SOLAR DE COMPETENCIA POR
MEDIO DEL ESTUDIO Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES QUE
CUMPLAN CON LOS REQUISITOS ESTABLECIDOS”**

Sea aceptada como total complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Bolívar Alejandro Cuaical Angulo
DIRECTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

Ing. Luis Fernando Buenaño Moyano
MIEMBRO

ESPOCH

Facultad de Mecánica

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

2018-10-23

Yo recomiendo que el trabajo de titulación preparado por:

DENNYS GABRIEL CAYAMBE MAYGUA

Titulado:

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE DIRECCIÓN
COLAPSABLE PARA UN PROTOTIPO SOLAR DE COMPETENCIA POR
MEDIO DEL ESTUDIO Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES QUE
CUMPLAN CON LOS REQUISITOS ESTABLECIDOS”**

Sea aceptada como total complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Bolívar Alejandro Cuaical Angulo
DIRECTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

Ing. Luis Fernando Buenaño Moyano
MIEMBRO

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: LARA LEDESMA MARÍA ABIGAIL

TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE DIRECCIÓN COLAPSABLE PARA UN PROTOTIPO SOLAR DE COMPETENCIA POR MEDIO DEL ESTUDIO Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES QUE CUMPLAN CON LOS REQUISITOS ESTABLECIDOS”

Fecha de Examinación: 2019-01-23

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. José Francisco Pérez Fiallos PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Bolívar Alejandro Cuaical Angulo DIRECTOR			
Ing. Luis Fernando Buenaño Moyano MIEMBRO			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. José Francisco Pérez Fiallos
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: CAYAMBE MAYGUA DENNYS GABRIEL

TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE DIRECCIÓN COLAPSABLE PARA UN PROTOTIPO SOLAR DE COMPETENCIA POR MEDIO DEL ESTUDIO Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES”

Fecha de Examinación: 2019-01-23

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. José Francisco Pérez Fiallos PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Bolívar Alejandro Cuaical Angulo DIRECTOR			
Ing. Luis Fernando Buenaño Moyano MIEMBRO			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. José Francisco Pérez Fiallos
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de titulación denominado “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE DIRECCIÓN COLAPSABLE PARA UN PROTOTIPO SOLAR DE COMPETENCIA POR MEDIO DEL ESTUDIO Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES QUE CUMPLAN CON LOS REQUISITOS ESTABLECIDOS**” que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Lara Ledesma María Abigail

Cédula de Identidad: 020198699-9

Cayambe Maygua Dennys Gabriel

Cédula de Identidad: 060437641-8

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Nosotros, María Abigail Lara Ledesma y Dennys Gabriel Cayambe Maygua, declaramos bajo juramento que el presente trabajo es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos usados en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados. En tal virtud, los fundamentos teóricos, científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Lara Ledesma María Abigail

Cédula de Identidad: 020198699-9

Cayambe Maygua Dennys Gabriel

Cédula de Identidad: 060437641-8

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico en primer lugar a mi madre por ser ejemplo de lucha continua y por haberme enseñado que el tiempo de Dios es inmensamente perfecto.

A cada uno de los miembros de mi familia por su apoyo incondicional en los momentos difíciles cuando los obstáculos amenazaban con superar a mi perseverancia, y de manera especial a mi hija Amelia Charlotte por ser el motor que me mueve hacia la superación.

A mis amigos cercanos por sus palabras de aliento durante todo este proceso académico.

LARA LEDESMA MARÍA ABIGAIL

El presente trabajo se lo dedico en primer lugar a Dios por haberme permitido culminar este objetivo que me he planteado, también a mi madre Carmen Cayambe quien con su esfuerzo y apoyo incondicional nunca dejó que me dé por vencido, además mi prima Ximena y a Carlos Santillán que fue como un padre para mí y por el cual también fue posible este logro.

También agradezco a cada uno de mis amigos los cuales me apoyaron de una u otra manera para alcanzar esta meta.

CAYAMBE MAYGUA DENNYS GABRIEL

AGRADECIMIENTOS

Gracias a mis padres y hermanos por acompañarme en todo momento durante el camino hacia mi formación profesional con sus consejos llenos de amor y sabiduría.

A mi esposo y mi hija por ser la inspiración de mi día a día para materializar todos los proyectos planteados en esta etapa de mi vida.

A los docentes de la Carrera de Ingeniería Automotriz encargados del proyecto Solar ESPOCH.

De igual manera a todos mis amigos y compañeros de la Escuela de Ingeniería Automotriz.

LARA LEDESMA MARÍA ABIGAIL

Agradezco primero a Dios por haberme permitido hacer posible este logro, además agradezco a mi madre Carmen Cayambe que de no ser por ella no habría podido hacer alcanzar esta meta.

A mi familia y amigos que me apoyaron en los momentos más difíciles.

Y finalmente a los docentes de mi querida escuela los cuales supieron compartir cada uno de sus conocimientos.

CAYAMBE MAYGUA DENNYS GABRIEL

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

	Pág.
1. MARCO REFERENCIAL	
1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento del problema.....	1
1.3. Justificación	2
1.3.1. Justificación teórica	2
1.3.2. Justificación metodológica	2
1.3.3. Justificación práctica.....	3
1.4. Objetivos	3
1.4.1. Objetivo general.....	3
1.4.2. Objetivos específicos	3
1.5. Planteamiento de la Hipótesis.....	4
1.5.1. Determinación de las variables	4
1.5.2. Operacionalización conceptual	4
1.5.3. Operacionalización Metodológica	4
2. MARCO TEÓRICO	
2.1. Vehículos solares	6
2.2. Bases de la Carrera Solar Atacama para el sistema de Dirección	6
2.3. Sistema de dirección	7

2.4.	Disposición de los elementos de la dirección del vehículo.	8
2.4.1.	Volante de dirección	8
2.4.2.	Columna de dirección	9
2.4.3.	Cajetín o mecanismo de la dirección	10
2.4.4.	Tirantería de dirección	10
2.4.4.1.	Biela o palanca de mando	11
2.4.4.2.	Barra de mando	11
2.4.4.3.	Brazos o palanca de acoplamiento	11
2.4.4.4.	Barra de acoplamiento (bioletas de dirección).....	11
2.4.4.5.	Rótulas	11
2.5.	Tipos de sistemas de dirección.	12
2.5.1.	Direcciones mecánicas.....	12
2.5.1.1.	Dirección de cremallera	12
2.5.1.2.	Dirección de tornillo sinfín	12
2.5.2.	Direcciones asistidas	13
2.5.2.1.	Direcciones de asistencia hidráulica	13
2.5.2.2.	Dirección asistida electrohidráulica.....	14
2.5.2.3.	Direcciones de asistencia eléctrica	14
2.6.	Parámetros del sistema de dirección.....	15
2.6.1.	Círculo de viraje.....	15
2.6.2.	Ángulos de giro.....	16
2.6.3.	Fuerza de fricción	17
2.6.3.2.	Desaceleración	18
2.6.3.3.	Fuerza de fricción de cada rueda del vehículo.....	18
2.6.4.	Fuerza necesaria para el giro de los neumáticos.....	19
2.6.5.	Torque aplicado a la cremallera del sistema de dirección	20
2.6.6.	Esfuerzo sobre el mando de dirección	21

2.6.7.	Convergencia	22
2.6.7.1.	Ángulo de convergencia	23
2.7.	Método de elementos finitos (MEF)	23
2.7.1.	Preprocesador.....	24
2.7.1.1.	Mallado	24
3.	DISEÑO Y ANÁLISIS	
3.1.	Selección de alternativas para el diseño	25
3.1.1.	Sistemas de dirección.....	25
3.1.2.	Criterios de selección del sistema de dirección	26
3.1.3.	Selección del sistema de dirección para el prototipo solar.	27
3.1.3.1.	Alternativa 1	27
3.1.3.2.	Alternativa 2	28
3.1.3.3.	Alternativa 3	29
3.1.3.4.	Alternativa 4	30
3.1.3.5.	Evaluación para la selección del tipo de mecanismo de dirección	31
3.1.4.	Mecanismos a seleccionar del sistema de dirección mecánica.....	38
3.1.4.1.	Alternativa 1	39
3.1.4.2.	Alternativa 2	40
3.1.4.3.	Método de ponderación para la selección adecuada del mecanismo.....	40
3.1.5.	Selección del mecanismo (Piñón-Cremallera).....	46
3.1.6.	Selección del volante de dirección.....	47
3.1.7.	Diseño del adaptador del volante de dirección.	49
3.2.	Cálculos de los parámetros del sistema de dirección.....	49
3.2.1.	Círculo de viraje.....	49
3.2.2.	Ángulos de giro.....	50
3.2.3.	Fuerza de fricción	50
3.2.3.2.	Desaceleración	51

3.2.3.3.	Fuerza de fricción de cada rueda del vehículo.....	51
3.2.4.	Fuerza necesaria para el giro de los neumáticos	53
3.2.5.	Torque aplicado a la cremallera del sistema de dirección	54
3.2.6.	Esfuerzo sobre el mando de dirección	55
3.2.7.	Convergencia	56
3.2.7.2.	Ángulo de convergencia	57
3.3.	Diseño y selección de los componentes de la columna de la dirección.....	57
3.3.1.	Diseño de la columna de dirección	57
3.3.2.	Selección de las juntas universales de la columna de dirección	63
3.3.3.	Selección de chumaceras	64
3.3.3.2.	Diseño de las chumaceras a carga estática.....	65
3.4.	Diseño del sistema de dirección en el vehículo solar	67
3.5.	Análisis de los elementos del sistema de dirección	68
3.5.1.	Análisis en los Mecanismos de accionamiento de la dirección	68
3.5.1.2.	Mecanismo Derecho	69
3.5.1.3.	Mecanismo Izquierdo	71
4.	CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN	
4.1.	Implementación de los elementos del sistema de dirección	74
4.1.1.	Mecanizado de manguetas	74
4.1.2.	Mecanismos de accionamiento de la dirección.....	75
4.1.3.	Implementación de la Cremallera	76
4.1.4.	Brazos de dirección.....	76
4.1.5.	Terminales	77
4.1.6.	Columna de dirección	77
4.1.7.	Volante.....	78
4.2.	Alineación Del Vehículo	79
4.2.1.	Procedimiento	80

4.2.1.1.	Revisar las especificaciones.....	80
4.2.1.2.	Verificación la presión de los neumáticos	80
4.2.1.3.	Verificación los terminales de la dirección.....	80
4.2.1.4.	Verificación el eje direccional y el ángulo de inclinación (Camber)	81
4.2.1.5.	Convergencia y divergencia.....	82
4.2.1.5.2.	Ángulo de convergencia	82
4.3.	Control de Mantenimiento del sistema de dirección	83
4.3.1.	Juego en el volante.....	83
4.3.2.	Dirección demasiado dura al conducir.....	85
4.3.3.	Inestabilidad al conducir	86
4.3.4.	Sacudidas del volante.....	87
4.3.5.	Mantenimiento del mecanismo piñón-cremallera de dirección	88
4.3.6.	Control del mantenimiento de las chumaceras	89
4.3.7.	Mantenimiento del mecanismo del brazo de dirección	90
4.3.8.	Control de mantenimiento de las rótulas de dirección.....	91
4.4.	Costos.....	91
4.4.1.	Costos Directos	92
4.4.2.	Costos Indirectos.....	93
4.4.3.	Costos totales	93
4.5.	Pruebas.....	93
4.5.1.	Inspección visual y auditiva.....	94
	Conclusiones	97
	Recomendaciones	98
	BIBLIOGRAFÍA	1
	ANEXOS.....	¡Error! Marcador no definido.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1-3: Alternativa 1 direcciones mecánicas	27
Tabla 2-3: Alternativa 2 direcciones hidráulicas	28
Tabla 3-3: Alternativa 3 direcciones electrohidráulicas	29
Tabla 4-3: Alternativa 4 Direcciones con Asistencia Eléctrica	30
Tabla 5-3: Criterios de selección del tipo de dirección	32
Tabla 6-3: Criterios de selección del tipo de sistema a bajo costo	33
Tabla 7-3: Selección del tipo de sistema a bajo peso	34
Tabla 8-3: Selección del tipo de sistema a menor tamaño.....	34
Tabla 9-3: Selección del tipo de sistema por fuente de energía	35
Tabla 10-3: Selección del tipo de sistema a mayor estabilidad.....	36
Tabla 11-3: Selección del tipo de sistema a mayor seguridad.....	36
Tabla 12-3: Selección del tipo de sistema de fácil mantenimiento	37
Tabla 13-3: Evaluación de los criterios y alternativas del tipo de dirección.....	38
Tabla 14-3: Alternativa 1 del mecanismo de Dirección Mecánica Piñón y Cremallera	39
Tabla 15-3: Alternativa 2 del mecanismo Dirección Mecánica Tornillo Sin Fin.....	40
Tabla 16-3: Selección del tipo de sistema a bajo costo	41
Tabla 17-3: Selección del tipo de sistema a bajo peso	41
Tabla 18-3: Selección del tipo de sistema a menor tamaño.....	42
Tabla 19-3: Selección del tipo de sistema por fuente de energía	42
Tabla 20-3: Selección del tipo de sistema a mayor estabilidad.	43
Tabla 21-3: Selección del tipo de sistema a mayor seguridad.....	43
Tabla 22-3: Selección del tipo de sistema de fácil mantenimiento.	44
Tabla 23-3: Evaluación de los criterios y alternativas del mecanismo de dirección	44
Tabla 24-3: Condiciones iniciales del Prototipo Solar.	46
Tabla 25-3: Características principales de los mecanismos de dirección.....	47
Tabla 27-3: Características de los tipos de volantes de dirección	48
Tabla 28-3: Datos para calcular las fuerzas de fricción y las reacciones en las ruedas.	52
Tabla 29-3: Datos necesarios para el cálculo de Torque aplicado a la cremallera	55

Tabla 30-3: Datos necesarios para calcular esfuerzo sobre el mando de dirección.....	55
Tabla 31-3: Datos necesarios para calcular la convergencia	56
Tabla 32-3: Datos para calcular el ángulo de convergencia	57
Tabla 33-3: Datos para el diseño de los ejes de la columna de dirección	58
Tabla 34-3: Factor de diseño	59
Tabla 35-3: Datos generales del catálogo Rodavigo de las juntas universales.....	63
Tabla 1-4: Costos Directos	92
Tabla 2-4: Costos Indirectos	93
Tabla 3-4: Costo total	93
Tabla 4-4: Pruebas estáticas en el sistema de dirección	94
Tabla 6-4: Inspección del Sistema de Dirección en la prueba de ruta.....	95

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-2: Vehículo solar.....	6
Figura 2-2: Sistema de dirección.....	7
Figura 3-2: Volante de Dirección.....	9
Figura 4-2: Columna de dirección.....	9
Figura 5-2: Mecanismo de dirección.....	10
Figura 6-2: Tirantería de dirección.....	10
Figura 7-2: Dirección de cremallera.....	12
Figura 8-2: Dirección de tornillo sinfín.....	13
Figura 9-2: Direcciones de asistencia hidráulica.....	14
Figura 10-2: Dirección asistida electrohidráulica.....	14
Figura 11-2: Direcciones de asistencia eléctrica.....	15
Figura 12-2: Geometría de giro de Ackermann.....	16
Figura 13-2: Diagrama de cuerpo libre del vehículo.....	17
Figura 14-2: Fuerza de fricción que ocurre en el neumático.....	19
Figura 15-2: Diagrama de cuerpo libre del neumático.....	20
Figura 16-2: Piñón y cremallera del sistema de dirección.....	21
Figura 17-2: Relación de esfuerzos que se transmiten desde el volante a las ruedas....	21
Figura 18-2: Convergencia $A < B$	22
Figura 19-2: Discretización de elementos finitos.....	23
Figura 20-2: Geometría y mallado del elemento.....	24
Figura 21-2: Mallado.....	24
Figura 1-3: Clasificación de los sistemas de dirección.....	25
Figura 2-3: Partes del sistema de dirección piñón y cremallera.....	45
Figura 3-3: Distancia entre ejes y Ancho de vía.....	49
Figura 4-3: Diagrama de cuerpo libre del Prototipo solar.....	51
Figura 5-3: Diagrama del cuerpo libre del neumático.....	54
Figura 6-3: Relación de esfuerzos que se transmiten desde el volante a las ruedas.....	55
Figura 7-3: componentes de la columna de dirección colapsable.....	58
Figura 8-3: Dimensiones de los ejes de la columna de dirección.....	61
Figura 9-3: Diagrama de cuerpo libre del eje secundario.....	64

Figura 10-3: Distribución de cargas en el eje Y	65
Figura 11-3: Diseño del sistema de dirección en el vehículo solar	67
Figura 12-3: Implementación del sistema de dirección en el vehículo solar	67
Figura 13-3: Calidad de mallado	68
Figura 14-3: Calidad de mallado del Mecanismos de accionamiento de la dirección ..	68
Figura 15-3: Aplicación de fuerzas	69
Figura 16-3: Deformación total	69
Figura 17-3: Factor de Von Mises	70
Figura 18-3: Factor de seguridad.....	70
Figura 19-3: Factor de seguridad.....	71
Figura 20-3: Deformación total	71
Figura 21-3: Factor de Von Mises	72
Figura 22-3: Factor de seguridad.....	72
Figura 23-3: Factor de seguridad.....	73
Figura 1-4: Implementación de manguetas	74
Figura 2-4: Implantación de Mecanismos de accionamiento de la dirección	75
Figura 3-4: Implantación de Mecanismos de accionamiento de la dirección	75
Figura 4-4: Implementación de la Cremallera.....	76
Figura 5-4: Corte del Brazo de dirección	76
Figura 6-4: Terminales seleccionados	77
Figura 7-4: Selección de la Columna de dirección.....	77
Figura 8-4: Implementación de la Columna de dirección	78
Figura 9-4: Implementación de la columna de dirección	78
Figura 10-4: Implementación del soporte para el volante	79
Figura 11-4: Implementación del volante.....	79
Figura 12-4: Terminal de la dirección	80
Figura 13-4: Camber.....	81
Figura 14-4: Tuercas de los terminales	81
Figura 15-4: Ajuste del camber	82
Figura 16-4: Convergencia - Divergencia	82
Figura 17-4: Ajuste del brazo de la dirección	83
Figura 18-4: Diagrama de flujo de averías cuando existe juego excesivo en el volante	84
Figura 19-4: Diagrama de flujo de averías cuando la dirección es demasiada dura	85
Figura 20-4: Diagrama de flujo de averías cuando existe inestabilidad de la dirección	86

Figura 21-4: Diagrama de flujo de averías cuando existe sacudidas en el volante	87
Figura 22-4: Diagrama de flujo del mantenimiento del piñón – cremallera	88
Figura 23-4: Diagrama de flujo del mantenimiento de las chumaceras	89
Figura 24-4: Diagrama de flujo del mantenimiento del brazo de dirección.....	90
Figura 25-4: Diagrama de flujo del mantenimiento de las rótulas de dirección	91

TABLA DE ANEXOS

ANEXO A: Acero AISI-SAE 1018

ANEXO B: Lista de Materiales con sus Propiedades Físicas

ANEXO C: Características de las Juntas Universales

ANEXO D: Características de las Chumaceras

RESUMEN

El proyecto de titulación tiene como objetivo Diseñar e implementar el sistema de dirección para un prototipo solar de competencia por medio del estudio y selección de los componentes que cumplan con requisitos establecidos por la Carrera Solar Atacama. Para lo cual se recopiló y analizó información basada en normas y reglamentos que estén acorde a las necesidades del diseño e implementación del sistema de dirección. Se consideró varias alternativas para la implementación del sistema dirección, pero para su selección se utilizó el método de ponderación, el cual nos mostró que la alternativa más favorable es el sistema mecánico con un mecanismo de piñón – cremallera, la misma que cumplía con los requisitos establecidos por la carrera solar Atacama. Debido a la ubicación del sistema de dirección en el prototipo, se diseñó por medio del software SolidWorks elementos adicionales como son los Mecanismos de accionamiento. En tanto que los Mecanismos de accionamiento del sistema de dirección están sometidos a esfuerzos se realizó los respectivos análisis, para lo cual se utilizó el software Ansys, el mismo que nos mostró un factor de seguridad superior a 3, un esfuerzo máximo menor a la resistencia del material y una deformación mínima, por lo cual se considera que no va sufrir fallas durante su funcionamiento. Luego de la construcción del sistema de dirección, los mecanismos de accionamiento inferior y superior prestan deformaciones de 3 grados y 10 mm en sus extremidades, lo cual no influye en la conducción a bajas velocidades, pero en velocidades altas afecta su estabilidad. Mediante la realización de las respectivas pruebas en funcionamiento, el sistema de dirección incorporado en el Vehículo Solar Atacama no presento vibraciones, ruidos extraños, traqueteos, vibración ni sonidos raros, además existe estabilidad en su conducción, por lo cual se considera que los elementos seleccionados y mecanismos diseñados son los adecuados para el prototipo, pero se deben realizar mejoras al diseño.

PALABRAS CLAVES: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, < SISTEMA DE DIRECCIÓN>, <MECANISMO>, <ESTABILIDAD>, <MANIOBRABILIDAD>, <SOLADURA>, <SEGURIDAD>.

ABSTRACT

The objective of the degree project is to design and implement the steering system of solar competition prototype through the study and selection of components that meet the requirements established by the solar race Atacama. For this purpose, information was collected and analyzed based on rules and regulations that meet the needs of the design and implementation of the steering system, but for its selection the weighting method was used, which showed us that the most favorable alternative is the mechanical system with a sprocket mechanism – rack, which met the requirements established by the Atacama solar race, because of the location of the steering systems in the prototype, Solidworks software was employed for the design of the additional elements such as drive Mechanisms. While the drive mechanisms of the steering system are under stress, the respective analyses were carried out, for which the Ansys software was used, which showed us a safety factor of 3, A maximum stress less than the resistance of the material and a minimum deformation, for which it is considered that it will not suffer failures during its operation. After the construction of the steering system, the lower and upper drive mechanisms provide deformations of 3 degrees and 10 mm at their extremities, which does not influence driving at low speeds, but at high speeds affects their stability. By carrying out the respective operational tests, the steering system incorporated in the solar vehicle Atacama did not present vibrations, strange noises, rattles, vibrations or strange sounds. In addition, there is stability in its driving, for which reason it is considered that the elements selected and mechanisms designed are adequate for the prototype but improvements must be made to the design.

KEY WORDS: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <STEERING SYSTEM>, <MECHANISM>, <STABILITY>, <MANOEUVRABILITY>, < WELDING>, <SECURITY>.

INTRODUCCIÓN

La competencia Solar Atacama es una de las carreras más importantes del mundo, la cual reúne a profesores y estudiantes de Ingeniería Automotriz y otras ingenierías afines para desafiarlos a diseñar y construir vehículos propulsados solamente por energía solar, mediante la selección de materiales que permitan cumplir con lo establecido por los organizadores del evento.

La Ruta Solar es una organización sin fines de lucro que busca promover el uso de las energías limpias amigables con el medio ambiente tomando en cuenta que, si bien el vehículo automotor es el facilitador para la movilidad humana y el transporte de mercancía, también es la principal fuente de contaminación en la actualidad.

Toda esta problemática de contaminación ambiental a la que contribuye el parque automotor se ha convertido en la oportunidad perfecta para despertar la creatividad y el ingenio, para de esta manera poner en práctica todos los conocimientos adquiridos en las aulas durante la etapa académica, razón por la cual se sometió al método de ponderación a 4 tipos de sistemas de dirección, luego se diseñó el sistema de dirección colapsable, y para su validación se empleó el método de elementos finitos, el cual realiza simulaciones del comportamiento del mecanismo al entrar en funcionamiento.

Además, se efectuó una cuidadosa selección de cada uno de los componentes a implementarse, tomando en cuenta que sus dimensiones se acoplen a las del chasis, su disponibilidad en el mercado y que posean el menor peso posible, para ayudar a que todo el prototipo siga siendo liviano.

Las juntas articuladas implementadas en el diseño son las que proveerán al prototipo solar de la seguridad necesaria en caso de una colisión frontal, protegiendo al pecho del piloto de una posible incrustación de la columna de dirección. Todo en conjunto dotará al prototipo solar de las características que cumplan con los reglamentos establecidos en las bases de la competencia solar.

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes

La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo mediante la Facultad de Mecánica, la carrera de ingeniería automotriz participa dentro de eventos nacionales como internacionales, por tal motivo se tiene previsto postular en las carreras solares más importantes del mundo que se llevaran a cabo tanto en Chile como en Australia, de esta manera se busca ayudar al desarrollo de energías limpias que contribuyan al cuidado del medio ambiente, ya que cuyas bases son la elaboración de un vehículo propulsado por energía solar.

La primera competencia de vehículos solares de Latinoamérica es la Carrera Solar Atacama, la cual convoca a equipos de todo el mundo a participar en ella. El objetivo de las primeras versiones de la carrera fue recorrer el desierto de atacama, la cual cuenta con los niveles más altos de radiación del planeta, pero en la nueva versión del 2018 el desafío es aún mayor, debido a que por primera vez la competencia se desarrollará desde la ciudad de Santiago de Chile hasta la ciudad de Arica, recorriendo alrededor de 2 500 Km. (La Ruta Solar, 2018)

La carrera de atacama desafía a los distintos equipos a participar en categorías en donde se debe demostrar la innovación en desarrollo de movilidad eléctrica, eficiencia energética, pero sobre todo en un buen uso de los recursos utilizados. (La Ruta Solar, 2018)

1.2. Planteamiento del problema

El problema radica en Diseñar e implementar eficientemente el sistema de dirección para el prototipo solar de competencia por medio del estudio y selección de los componentes que cumplan con los requisitos establecidos.

Para esto debe considerarse que la carrera de Atacama plantea como un parámetro que la energía que impulsa al vehículo sea solar en tal forma el problema del trabajo implica diseñar e implementar una dirección que sea ligera, a fin de contribuir con el mejor desplazamiento y velocidad del vehículo, adicionalmente el diseño e implementación de la dirección deberá ser del tipo colapsable para poder cumplir con los parámetros establecidos en las bases de la competencia, y que además provea de seguridad y buena maniobrabilidad al piloto contribuyendo al óptimo desempeño del prototipo solar, utilizando para su construcción materiales ligeros que disminuyan el peso del vehículo pero que a su vez posean las propiedades mecánicas necesarias para lograr la eficiencia deseada.

1.3. Justificación

1.3.1. Justificación teórica

La Ruta Solar es la organizadora de la Carrera Solar Atacama, la misma que es una organización sin fines de lucro, propone cambios tecnológicos sustentables en la sociedad mediante iniciativas y proyectos que promuevan el emprendimiento de jóvenes, de la misma forma impulsa la industria de vehículos eléctricos a llegar a un modelo de realidad urbana. (La Ruta Solar, 2018)

La finalidad de la Carrera Solar de Atacama es crear un ambiente de colaboración, y formación de redes entre profesionales y estudiantes, conscientes e impulsores de una sociedad sustentable. (La Ruta Solar, 2018)

1.3.2. Justificación metodológica

Con el diseño e implementación del sistema de dirección se busca contribuir al desarrollo del prototipo solar de competencia, mediante el estudio y selección de componentes que cumplan con las bases de la carrera solar de atacama, de la misma manera se trata de incorporar un mecanismo que brinde confort, suavidad, maniobrabilidad, presión y seguridad al momento de su conducción.

1.3.3. *Justificación práctica*

Con el afán de contribuir con nuevas fuentes de movilidad que no produzcan contaminación ambiental, los estudiantes se encuentran desarrollando varios trabajos de titulación enfocados en asegurar el óptimo desempeño del prototipo solar durante la competencia, todo eso promovido por la responsabilidad de acoger este tipo de carrera solar para desarrollar un alto nivel de competencias en el graduado de la institución.

1.4. *Objetivos*

1.4.1. *Objetivo general*

Diseñar e implementar el sistema de dirección para un prototipo solar de competencia por medio del estudio y selección de los componentes que cumplan con requisitos establecidos por la Carrera Solar Atacama.

1.4.2. *Objetivos específicos*

- Identificar los requerimientos y especificaciones de las competencias solares con respecto al sistema de dirección de los prototipos mediante la revisión de los reglamentos de competición para cumplir con todas las condiciones establecidas por parte de los organizadores.
- Diseñar el sistema de dirección comparando los tipos de accionamiento en direcciones colapsables y que se adapten a la carrocería del prototipo de competencia.
- Seleccionar los elementos que constituyen el sistema de dirección respetando las condiciones de diseño establecidas en el reglamento.
- Implementar el sistema de dirección a través del ensamblaje de los elementos seleccionados para asegurar su eficiencia en las distintas condiciones de competición.
- Desarrollar un procedimiento de alineación del sistema de dirección del vehículo solar de competencia y que contribuya al correcto comportamiento dinámico del vehículo durante la competencia.

1.5. Planteamiento de la Hipótesis

El Diseño e implementación de un sistema de dirección colapsable, dotará de seguridad al piloto del prototipo solar de competencia cumpliendo con los requisitos establecidos.

1.5.1. *Determinación de las variables*

- Diseño e implementación de un sistema de dirección colapsable para un prototipo solar de competencia
- Estudio y selección de los componentes que cumplan con los requisitos establecidos

1.5.2. *Operacionalización conceptual*

Diseño e implementación de un sistema de dirección colapsable para un prototipo solar de competencia: Dentro del trabajo de investigación se diseñará e implementará el sistema de dirección colapsable más apto para el prototipo solar de competencia, debido a que dentro de la carrera se exigen requisitos como es el caso de la seguridad en una colisión frontal, en esta forma será necesario determinar la seguridad del conductor.

Estudio y selección de los componentes que cumplan con los requisitos establecidos: Con la finalidad de cumplir con los requisitos para la competencia, es necesario estudiar y seleccionar los componentes a ser utilizados en la dirección colapsable del prototipo solar, debido a que el vehículo será impulsado netamente por energía solar y requiere de componentes ligeros que se adapten al diseño del chasis y que además sean de fácil montaje y desmontaje en caso de una avería durante la competencia.

1.5.3. *Operacionalización Metodológica*

Diseño e implementación de un sistema de dirección colapsable para un prototipo solar de competencia: Reglamento De La Carrera Solar Atacama, el Reglamento N° 79 de la CEPE, el diseño y la selección de los elementos, por tanto, se procede a la implementación y construcción de los elementos del sistema de dirección del Vehículo Solar Atacama.

Estudio y selección de los componentes que cumplan con los requisitos establecidos:

Productos de acero DIPAC (Desarrollo de Riego Privado y Actividades Relacionadas), recomienda utilizar para ejes de transmisión el material AISI 1018, ya que es un acero de cementación no aleado, utilizado para la fabricación de piezas pequeñas como pernos, tuercas, ejes, bujes pasadores, etc., las que están expuestas al desgaste y donde la dureza del núcleo no es muy importante. (DIPAC, 2016)

Para la selección de las juntas universales de la columna de dirección, se toma a consideración el torque aplicado a la cremallera, ya que este es el que produce el sistema de dirección seleccionado para girar las ruedas. Se selecciona dos juntas universales del catálogo Rodavigo con las siguientes características: (Rodavigo, 2003)

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Vehículos solares

Son vehículos con motor eléctrico que adquieren su energía a partir de paneles solares colocados por toda la superficie de su carrocería. Los vehículos eléctricos en todo lo que se refiere a su funcionamiento y al mecanismo de propulsión en comparación de los vehículos solares solo se diferencian en la procedencia de la energía eléctrica. (VOLVO, 2017)

Las celdas solares instaladas en los vehículos se encargan de transformar la energía solar en electricidad, que puede ser acumulada en baterías o utilizada directamente en el motor. A los vehículos solares se conocen por su escasa autonomía, en parte debido a la dificultad de mejorar la eficiencia de las placas solares y por su diseño enfocado a minimizar la resistencia aerodinámica. (VOLVO, 2017)



Figura 1-2: Vehículo solar

Fuente: (VOLVO, 2017)

2.2. Bases de la Carrera Solar Atacama para el sistema de Dirección

De acuerdo a bases de la carrera solar atacama (La Ruta Solar, 2018)

- El sistema de dirección del vehículo solar debe ser diseñado de modo que no pueda engancharse en la vestimenta cuando el conductor salga del vehículo o durante la conducción. (La Ruta Solar, 2018)

- La columna de dirección del vehículo solar debe ser colapsable, de tal manera que evite su intrusión en el habitáculo en caso de colisión frontal. Se excluye si el vehículo tiene mandos laterales, sin embargo, se debe asegurar que los mandos no puedan dañar al piloto en caso de colisión frontal. (La Ruta Solar, 2018)
- Los materiales utilizados en la construcción del sistema deben ser los adecuados. Para el funcionamiento del sistema de dirección del vehículo se debe considerar sólo componentes mecánicos. (La Ruta Solar, 2018)

2.3. Sistema de dirección

El sistema de dirección permite al conductor girar las ruedas delanteras para controlar la dirección del vehículo, por medio del volante de dirección y una columna de dirección que transmite la rotación del timón a los engranajes de dirección, los mismos que incrementan la fuerza rotacional del volante de dirección que transmite el movimiento hacia las ruedas delanteras. (Toyota Motor Corporation, 2013)

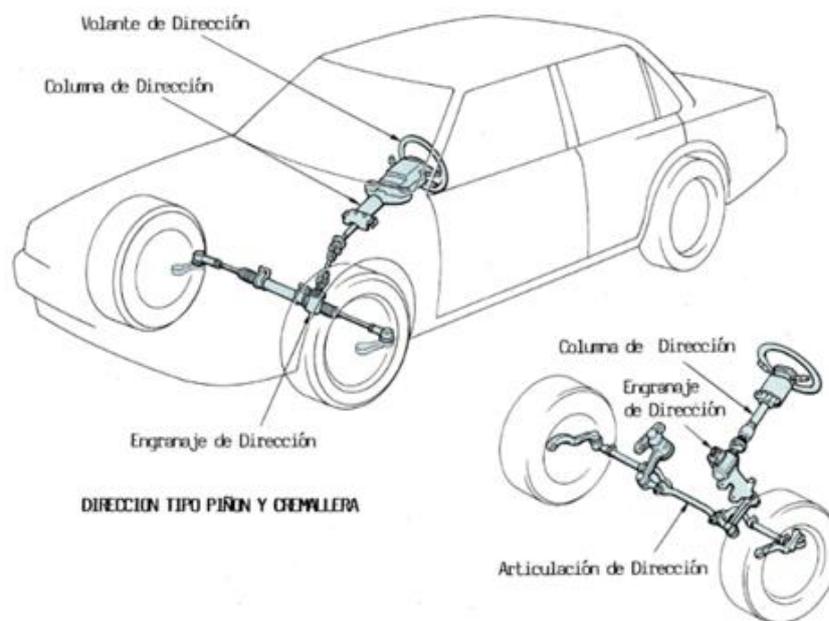


Figura 2-2: Sistema de dirección

Fuente: (Toyota Motor Corporation, 2013)

El sistema de dirección es uno de los elementos vitales del vehículo, que debe reunir una serie de cualidades que proporcionen seguridad y comodidad al momento de la

conducción, debido a que de este elemento depende la seguridad de las personas. Las cualidades que de reunir el sistema de dirección son las siguientes: (Dirección General de Tráfico, 2016)

- Seguridad
- Suavidad
- Precisión
- Comodidad
- Maniobrabilidad
- Estabilidad

2.4. Disposición de los elementos de la dirección del vehículo.

Para transmitir el movimiento a las ruedas a través el giro del volante efectuado por el conductor son necesarios varios componentes, los cuales pueden diferir de acuerdo al diseño del vehículo. Entre los elementos comunes que conforman el sistema de dirección son: (Martínez, 2004)

- Volante de dirección
- Columna de dirección
- Cajetín o mecanismo de la dirección
- Tirantería de dirección

2.4.1. *Volante de dirección*

El volante es un componente el cual está diseñado con una forma ergonómica con dos o más brazos, con el propósito de conseguir mayor facilidad de manejo y comodidad. Su función radica en reducir el esfuerzo que el conductor aplica a las ruedas del vehículo. En la actualidad los volantes de dirección incorporan dispositivos de seguridad pasiva de protección del conductor (airbag) (González Martínez, 2009)

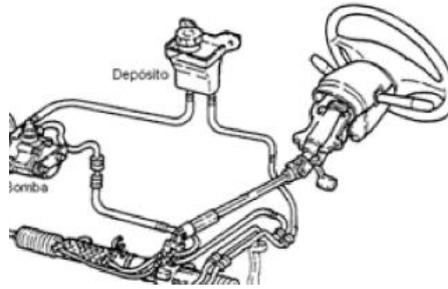


Figura 3-2: Volante de Dirección

Fuente: (Alonso Pérez, 2010)

2.4.2. *Columna de dirección*

La columna de dirección de un vehículo consta de una carcasa plegable que sujeta un eje de rotación plegable, que está destinada a acoplar el volante con todo el mecanismo de dirección mediante el cual el conductor transmite el giro del mecanismo a través del volante de dirección. (Rodríguez, 2014)

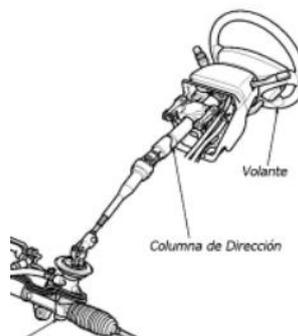


Figura 4-2: Columna de dirección

Fuente: (Rodríguez, 2014)

En la actualidad, es obligatorio por ley que las columnas de dirección de los vehículos sean colapsables, es decir estén diseñados para plegarse o deformarse en caso de accidente y que no cuenten con una sola estructura que pueda poner en riesgo la vida del conductor y sus ocupantes. (Dirección General de Tráfico, 2016)

Los elementos que forman el mecanismo de la columna de dirección tienen que disipar la fuerza cuando esta sea superior a la habitual y no transmitirla al conductor, de esta manera

evitar que el abdomen, pecho o cabeza del conductor termine chocando contra el volante tras una deceleración repentina o un accidente. Para lo cual las columnas de dirección colapsables son diseñadas mediante barras telescópicas que se acortan, con barras articuladas con rótulas que se pliegan, o con estructuras deformables que se desplazan longitudinalmente. (Dirección General de Tráfico, 2016)

2.4.3. *Cajetín o mecanismo de la dirección*

El cajetín de la dirección es el encargado de desmultiplicar la fuerza ejercida por el conductor sobre el volante, transformando el movimiento giratorio del volante de dirección en un movimiento oscilante o vaivén de la cremallera. (Martínez, 2004)

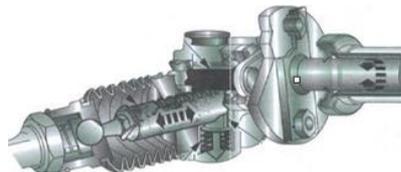


Figura 5-2: Mecanismo de dirección

Fuente: (Martínez, 2004)

2.4.4. *Tirantería de dirección*

Está compuesta por un conjunto de elementos que trasfiere el movimiento desde el cajetín de dirección a las ruedas. (González Martínez, 2009)

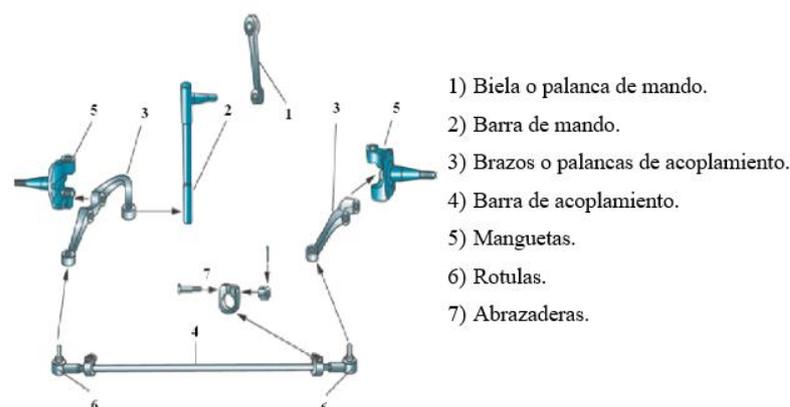


Figura 6-2: Tirantería de dirección

Fuente: (González Martínez, 2009)

2.4.4.1. Biela o palanca de mando

Tiene la misión de recibir el movimiento de rotación de la caja de dirección, para transferirlo en movimiento angular a la barra de mando, el mismo que va unida a la salida de la caja de dirección mediante un estriado fino. (González Martínez, 2009)

2.4.4.2. Barra de mando

Esta acoplada a la palanca de mando encargada de transmitir el movimiento direccional a la barra de acoplamiento de la dirección. En los sistemas de dirección con cremallera el movimiento direccional lo transmite directamente a los brazos de acoplamiento de las ruedas. (González Martínez, 2009)

2.4.4.3. Brazos o palanca de acoplamiento

Transmite el movimiento obtenido de la caja de dirección a las ruedas, la misma que está compuesta por unos brazos de acoplamiento montados sobre las manguetas de forma perpendicular al eje de las ruedas y paralelo al terreno, de esta manera orientar al vehículo. (González Martínez, 2009)

2.4.4.4. Barra de acoplamiento (bioletas de dirección)

Las bieletas de dirección realizan el acoplamiento de dos brazos para que el movimiento de las dos ruedas sea simultáneo, al ocasionar el desplazamiento lateral de una de ellas. Los mismos que están constituidos por un tubo de acero en cuyos extremos van acopladas las rotulas, las cuales ayudan a corregir las variaciones de longitud causadas por las incidencias del terreno, es decir mediante las bieletas de dirección se regula la convergencia de las ruedas, acortando o alargando la longitud de las mismas. (González Martínez, 2009)

2.4.4.5. Rótulas

Las rotulas están compuestos por un muñón cónico en cuyos extremos tienen una unión roscada que permite su desmontaje y en el otro extremo una esfera alojada en una caja esférica que realiza la unión elástica. Su función radica en realizar la unión elástica entre la caja de dirección y los brazos de acoplamiento de las ruedas, las mismas que ayudan cambiar las variaciones de longitud para corregir la convergencia de las ruedas. (González Martínez, 2009)

2.5. Tipos de sistemas de dirección.

A lo largo del tiempo se han producido varios tipos de sistemas de dirección, con el propósito de proporcionar comodidad al conductor. Entre los principales sistemas de dirección se agrupan los siguientes: (Dirección General de Tráfico, 2016)

- Sistemas de dirección mecánicas
- Sistemas de dirección asistida

2.5.1. Direcciones mecánicas

Las direcciones mecánicas son tradicionales en los vehículos, cuyo peso sobre el eje directriz es bajo, ya que de esta manera el par de accionamiento en el volante no es elevado. En la actualidad las configuraciones más usuales de la caja de dirección son: dirección de tornillo sinfín y dirección de cremallera (Sánchez, et al., 2013)

2.5.1.1. Dirección de cremallera

Este tipo de dirección consiste en una barra sobre la que se mecaniza una cremallera en la cual se engrana el piñón que se desplaza lateralmente y recibe el movimiento de la columna de dirección. Los extremos de la cremallera se unen directamente a los brazos de acoplamiento de ambas ruedas. (Alonso Pérez, 2010)

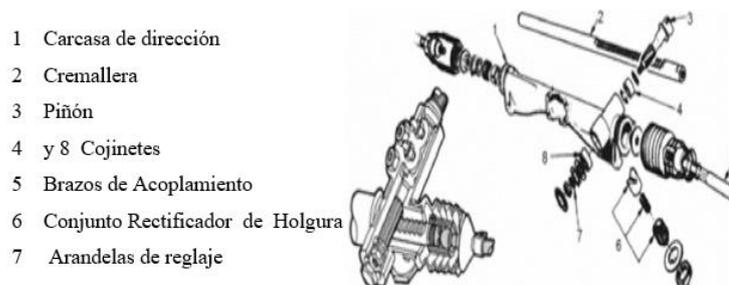


Figura 7-2: Dirección de cremallera

Fuente: (Alonso Pérez, 2010)

2.5.1.2. Dirección de tornillo sinfín

Consiste en un mecanismo basado en un tornillo sin fin, de forma cilíndrica o globoidal, el cual está unida al eje de la columna de dirección para transmitir su movimiento de

rotación a un mecanismo de traslación que se engranan entre sí, de esta manera transmitir el movimiento a la palanca de ataque y su vez a las barras de acoplamiento. (González Martínez, 2009)

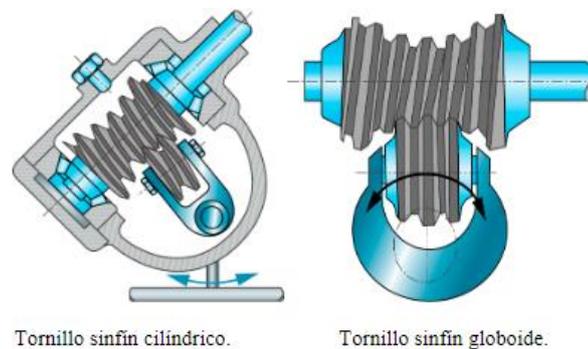


Figura 8-2: Dirección de tornillo sinfín

Fuente: (González Martínez, 2009)

2.5.2. *Direcciones asistidas*

Debido a los esfuerzos que debe realizar el conductor para orientar las ruedas, se recurre a los sistemas de dirección con asistencia que permiten mantener relaciones de desmultiplicación adecuadas que reducen dichos esfuerzos. Los sistemas de dirección con asistencia se clasifican en: Direcciones de asistencia hidráulica, Direcciones de asistencia electrohidráulica, Direcciones de asistencia eléctrica. (Alonso Pérez, 2010)

2.5.2.1. *Direcciones de asistencia hidráulica*

La dirección de asistencia hidráulica es utilizada por la mayoría de los fabricantes durante el siglo pasado y principios de este. Funciona utilizando una bomba hidráulica que va conectada al motor por medio de una correa, utilizando una cremallera como pistón hidráulico para generar la asistencia. Al gira el volante, un sensor admite el paso del fluido hacia uno de los lados del pistón, para aumentar la presión de ese lado y que la cremallera se deslice hacia el lado que deseamos girar, de tal manera que cuando dejamos de girar el volante, la presión se iguala y la cremallera permanece en su posición original. (Dirección General de Tráfico, 2016)



Figura 9-2: Direcciones de asistencia hidráulica

Fuente: (Dirección General de Tráfico, 2016)

2.5.2.2. Dirección asistida electrohidráulica

La dirección asistida electrohidráulica reduce el esfuerzo de giro del volante, con la diferencia de que, el accionamiento de la bomba hidráulica se genera mediante un motor eléctrico, con la posibilidad de accionar la bomba sólo cuando se gira, de esta manera evita un consumo inútil de energía como en el caso tradicional de conexión del mando al motor del vehículo. (González Martínez, 2009)

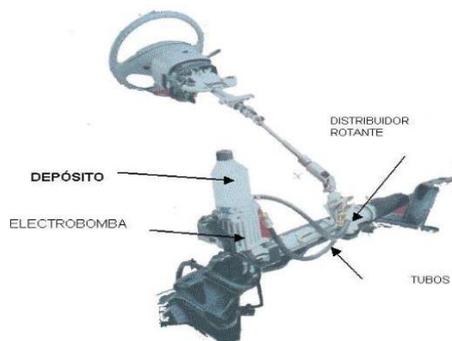


Figura 10-2: Dirección asistida electrohidráulica

Fuente: (González Martínez, 2009)

2.5.2.3. Direcciones de asistencia eléctrica

La dirección asistida EPS (Electrical Power Steering) fabricada por DELPHI es un mecanismo de servoasistencia de la dirección mediante el cual aliviana los esfuerzos para accionar el volante en la fase de giro, sobre todo en las maniobras a baja velocidad.

1. Dirección asistida EPS.
2. Caja de dirección mecánica.
3. Batería.
4. Centralita de derivación en el motor.
5. Centralita de derivación bajo el salpicadero

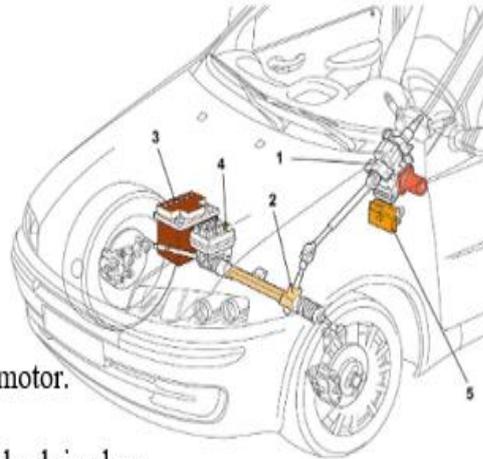


Figura 11-2: Direcciones de asistencia eléctrica

Fuente: (González Martínez, 2009)

La acción de giro se ocasiona mediante el mecanismo piñón-cremallera, en la cual una centralita gobierna el mecanismo de servoasistencia de la dirección, que mide el par de fuerza que se ejerce sobre el volante, la posición angular del mismo y la velocidad del vehículo, para controlar la cantidad de par de fuerza que debe suministrar el motor eléctrico, alimentándolo con una corriente eléctrica proporcional, haciendo girar el eje de la dirección. (González Martínez, 2009)

2.6. Parámetros del sistema de dirección

Los parámetros de la dirección según el reglamento N° 79 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE), permiten que se construya un sistema que reúna una serie de requerimientos y lineamientos, de tal manera que brinde una conducción segura y fiable.

2.6.1. *Círculo de viraje*

Es el círculo dentro del cual están situadas las proyecciones sobre el plano del suelo de todos los puntos del vehículo cuando el vehículo describe una trayectoria circular. (Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE), 2006)

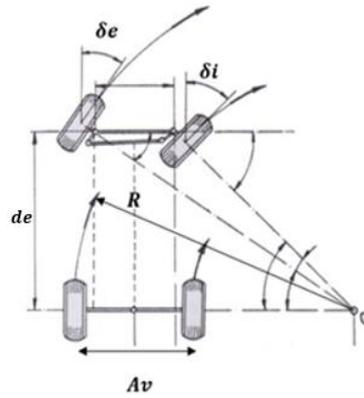


Figura 12-2: Geometría de giro de Ackermann

Fuente: (Dirección General de Tráfico, 2016)

$$R = 2 * de \quad (1)$$

Donde:

R = Radio de giro (m)

de = Distancia entre ejes o batalla (m)

δ_i = Ángulo de giro interno (Grados)

δ_e = Ángulo de giro externo (Grados)

Av = Ancho de vía (m)

2.6.2. Ángulos de giro

Es el ángulo formado por la proyección de un eje longitudinal del vehículo y la línea de intersección del plano de la rueda (plano central de la rueda, perpendicular al eje en torno al que gira) y la superficie de la carretera. (Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE), 2006)

En el cálculo del ángulo de giro se utiliza las siguientes ecuaciones:

Ángulo de giro externo

$$\delta_e = \text{tang}^{-1} \frac{de}{R + \frac{Av}{2}} \quad (2)$$

Ángulo de giro interno

$$\delta_i = \text{tang}^{-1} \frac{de}{R - \frac{Av}{2}} \quad (3)$$

2.6.3. Fuerza de fricción

Es la fuerza actúan entre las superficies de contacto (Asfalto y los neumáticos) cuando el vehículo desacelera, el mayor peso se genera en las ruedas delanteras debido al frenado que realiza. (Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE), 2006)

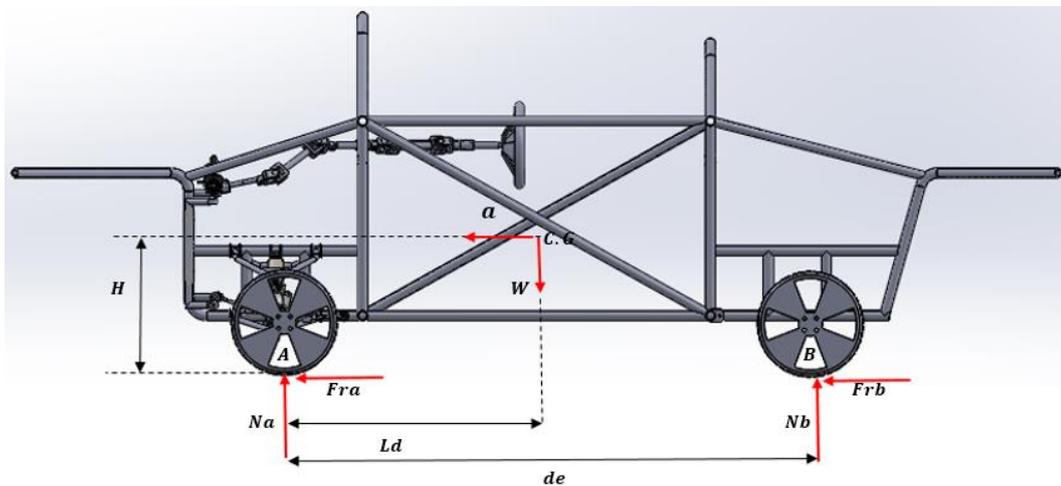


Figura 13-2: Diagrama de cuerpo libre del vehículo

Realizado por: Autores

Donde:

Na = La normal en el punto A (N)

Nb = La normal en el punto B (N)

m = Masa del vehículo

Fra = Fuerza de fricción en el punto A (N)

Fr_b = Fuerza de fricción en el punto B (N)

g = Gravedad (m/s^2)

Ld = Distancia del centro de gravedad al eje delantero (m)

H = Altura del centro de gravedad medido desde el piso (m)

I_r = Inercia de la rueda ($Kg \cdot m^2$)

u = coeficiente de fricción

R_{din} = Radio dinámico (m)

W = Peso (N)

a = desaceleración máxima (m/s^2)

2.6.3.2. Desaceleración

Cuando un cuerpo reduce su velocidad, hasta llegar a detenerse en una cierta distancia se considera como desaceleración.

$$a = \frac{vf^2 - vi^2}{2 * x} \quad (4)$$

Donde

vf = Velocidad final del vehículo (m/s)

vi = Velocidad inicial del vehículo (m/s)

x = Distancia en la que debe detenerse del vehículo (m)

2.6.3.3. Fuerza de fricción de cada rueda del vehículo

Para el cálculo de la fuerza de fricción en cada rueda, se aplica la segunda Ley de Newton.

Sumatoria de fuerzas en el eje X.

$$\sum Fx = m * a$$

$$Fra + Frb = m * (\pm a) \quad (5)$$

Sumatoria de fuerzas en el eje Y.

$$\sum Fy = m * g$$

$$Na + Nb = m * g \quad (6)$$

Sumatoria de momentos en el punto A.

$$\sum M_A = I$$

$$(Nb * de) + (m * a * H) - (m * g * Ld) = \left(\frac{4Ir * a}{Rdin} \right) \quad (7)$$

Fuerza de fricción en el punto A

$$Fra = u * Na \quad (8)$$

Fuerza de fricción en el punto B

$$Frb = u * Nb \quad (9)$$

Peso

$$W = m * g \quad (10)$$

2.6.4. Fuerza necesaria para el giro de los neumáticos

Para el diseño y selección de los componentes adecuados del sistema de dirección es necesario conocer la fuerza necesaria para el giro de los neumáticos, cuyo valor más alto se produce al momento de girar el volante cuando el vehículo está estático. Cuando el neumático empieza a girar se producen fuerzas de fricción, esto se produce por el rozamiento que existe con el piso.

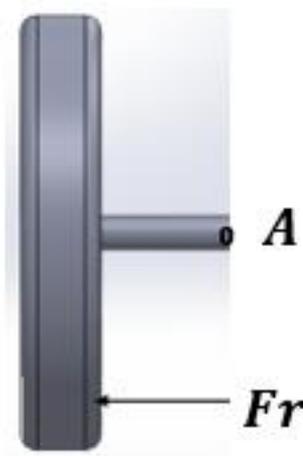


Figura 14-2: Fuerza de fricción que ocurre en el neumático

Realizado por: Autores

La fuerza lateral para girar las ruedas del vehículo se aplica en el acople del brazo del sistema de dirección, la misma que está representado por Punto A.

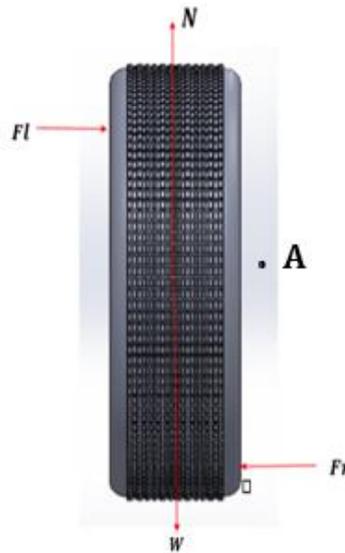


Figura 15-2: Diagrama de cuerpo libre del neumático

Realizado por: Autores

$$\sum Fx = 0$$

$$Fr - Fl = 0 \tag{11}$$

Donde:

Fl = Fuerza lateral (N)

Fr = Fuerza de fricción (N)

P = Peso (N)

N = Normal (N)

2.6.5. *Torque aplicado a la cremallera del sistema de dirección*

El torque aplicado a la cremallera del sistema de dirección, Es directamente proporcional a la fuerza lateral multiplicado por el radio de piñón.



Figura 16-2: Piñón y cremallera del sistema de dirección

Fuente: (Dirección General de Tráfico, 2016)

$$T = Fl * R_{piñ} \quad (12)$$

Donde

T = Torque aplicado a la cremallera ($N.m$)

$R_{piñ}$ =Radio del piñón (m)

2.6.6. Esfuerzo sobre el mando de dirección

Es la fuerza que se aplica al mando de dirección para dirigir el vehículo. (Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE), 2006)

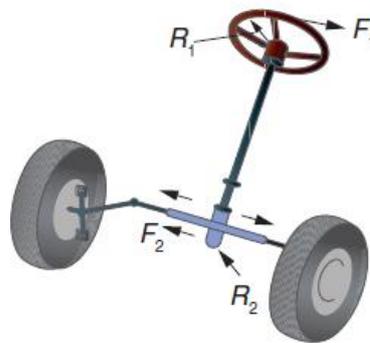


Figura 17-2: Relación de esfuerzos que se transmiten desde el volante a las ruedas

Fuente: (González, et al., 2011)

Según González Tomás y otros. “Las fuerzas aplicadas y obtenidas son inversamente proporcionales a los radios de giro, ya que el momento de esfuerzo del volante es igual al momento resistente en la caja de dirección”. (González, et al., 2011)

$$F_1 * R_1 = F_2 * R_2 \quad (13)$$

Para el cálculo del par de giro se tiene la siguiente ecuación.

$$T = F1 * R1 \quad (14)$$

Despejando de la ecuación, se tiene fuerza necesaria para el giro del volante.

$$F1 = \frac{T}{R1} \quad (15)$$

Donde:

F1= Fuerza necesaria para girar el volante del sistema de dirección (N)

R1= Radio del volante para el sistema de dirección (m)

2.6.7. *Convergencia*

Es la posición que ocupan las ruedas delanteras con respecto al eje longitudinal. La convergencia se mide en milímetros, la misma que está entre 0 a menos 2 mm para vehículos con tracción y 1 a 10 mm para vehículos con propulsión. (Dirección General de Tráfico, 2016)

La convergencia también contrarresta el par de orientación que se forma entre el empuje y el rozamiento de la rueda, siendo por esta razón que los coches con propulsión tienen mayor convergencia que los de tracción. (Dirección General de Tráfico, 2016)

En vehículos con propulsión, la resistencia al empuje es aplicada en el punto de contacto de la rueda del vehículo y la fuerza se transmite a la rueda delantera a través del pivote, esto ocasiona un par de giro la misma que tiende a abrir las ruedas frontales, esto no ocurre en vehículos con tracción debido a que la fuerza se aplica en el punto de contacto. (Dirección General de Tráfico, 2016)

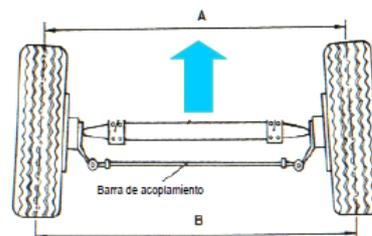


Figura 18-2: Convergencia $A < B$

Fuente: (Dirección General de Tráfico, 2016)

En la figura 18-2, se puede observar la convergencia que se genera en la suspensión

$$Cv = B - A \quad (16)$$

Cv = Convergencia

A = Distancia a media altura en el frente de las ruedas delanteras (mm)

B = Distancia a media altura por detrás las ruedas delanteras (mm)

2.6.7.1. Ángulo de convergencia

En una curva el neumático exterior gira un poco que el interior, entonces el ángulo de convergencia es la diferencia que existe entre el ángulo interno y el ángulo externo. (Dirección General de Tráfico, 2016)

$$\theta = \delta_i - \delta_e \quad (17)$$

Donde:

θ = Ángulo de convergencia

2.7. Método de elementos finitos (MEF)

El método de elementos finitos es una herramienta que facilita la introducción de dominios de cálculos complejos en 2 y 3 dimensiones, ya que nos permite realizar una gran cantidad de análisis en estructuras y componentes complejos, mediante múltiples perspectivas como: interpolación, discretización y métodos numéricos, esto se desarrolla con el fin de detectar posibles fallos previos y obtener productos competitivos a bajo costos de buena de alta calidad. (Vásquez Angulo, 2012)

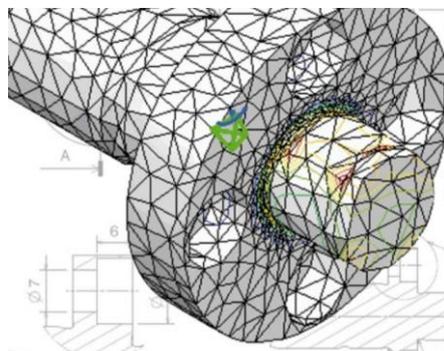


Figura 19-2: Discretización de elementos finitos

Fuente: (Vásquez Angulo, 2012)

2.7.1. *Preprocesador*

MEF es una herramienta de análisis en el cual el preprocesador es la parte del software donde se define la geometría, el material, las cargas que actuarán sobre él, las condiciones de contornos, mallado y el tipo de análisis que se quiere realizar. (Abasolo, et al., 2017)

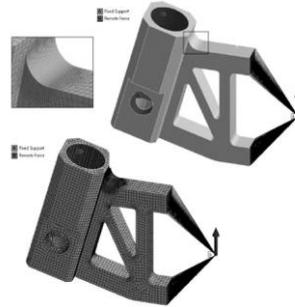


Figura 20-2: Geometría y mallado del elemento

Fuente: (Abasolo, et al., 2017)

2.7.1.1. *Mallado*

El proceso de Mallado o Discretización es uno de los aspectos críticos importantes en la definición del modelo, de manera que cuanto más pequeño sea el tamaño de los elementos, más nodos y grados de libertad tendrá el modelo y por tanto más preciso será el resultado del análisis realizado del modelo. (Abasolo, et al., 2017, pp. 12-13)

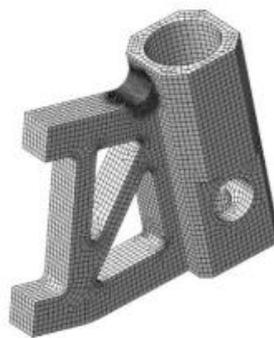


Figura 21-2: Mallado

Fuente: (Abasolo, et al., 2017)

CAPÍTULO III

3. DISEÑO Y ANÁLISIS

3.1. Selección de alternativas para el diseño

3.1.1. *Sistemas de dirección*

Para elegir una alternativa conveniente del sistema de dirección para el prototipo solar, se muestra a continuación una clasificación de varios tipos de sistemas de dirección comunes que se hallan en los vehículos.

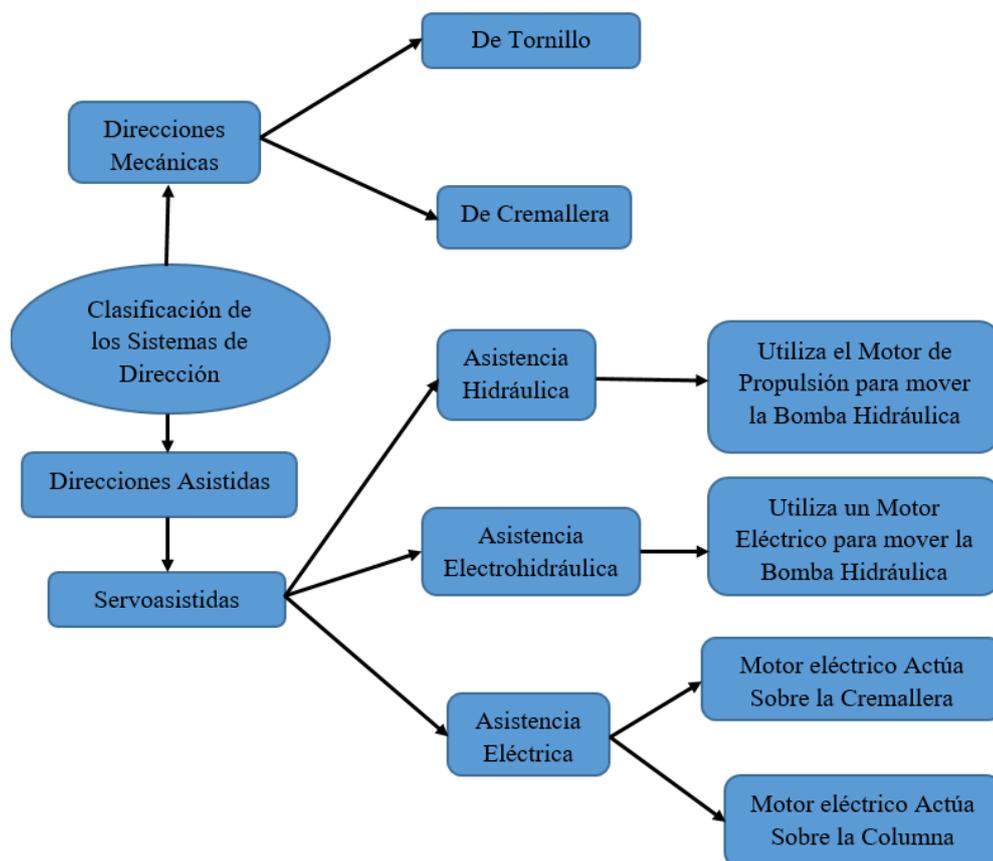


Figura 1-3: Clasificación de los sistemas de dirección.

3.1.2. *Criterios de selección del sistema de dirección*

Para la apropiada selección del sistema de dirección y de sus respectivos elementos del prototipo solar, se toma las consideraciones específicas del reglamento "Bases Carrera Solar Atacama 2018", el cual describe lo siguiente:

- El sistema de dirección del vehículo debe ser controlado mediante un volante, diseñado de manera que no pueda engancharse en la ropa durante la conducción o cuando el conductor salga del vehículo. (La Ruta Solar, 2018)
- El fallo de cualquier elemento no mecánico del sistema de dirección del vehículo no debe comprometer el funcionamiento seguro de la dirección del vehículo (La Ruta Solar, 2018)
- La columna de dirección del vehículo debe ser colapsable, mediante el cual debe evitar la intrusión de ésta en el habitáculo del piloto en caso de colisión frontal. (La Ruta Solar, 2018)

Además, se evalúa varias alternativas que influyen en el diseño y construcción del sistema de dirección, las mismas que se describen a continuación:

- **Costo:** El sistema de dirección debe ser de un costo accesible, de buena calidad y de fácil adquisición.
- **Peso:** Los elementos del sistema de dirección deben ser de materiales apropiados para alcanzar un peso moderado y obtener la autonomía esperada.
- **Tamaño del sistema de dirección:** Debe satisfacer las necesidades con un tamaño restringido por las dimensiones del prototipo solar.
- **Fuente de energía:** Este es un criterio significativo para la sección de un adecuado sistema de dirección, debido a que la mayoría de sistemas requieren de una fuente de energía y reducen la autonomía del vehículo. El prototipo solar está implementado de baterías y paneles solares que incrementan el peso y reducen la autonomía del prototipo, debido a esto se debe eliminar el consumo de energía y reducir el peso del sistema de dirección.

- **Estabilidad:** El sistema de dirección debe ofrecer una buena estabilidad, con una adecuada disposición de los componentes, de manera que el prototipo solar mantenga su trayectoria en línea recta como en las curvas.
- **Seguridad:** El sistema de dirección debe ser colapsable y sobredimensionado, para evitar la fatiga de los componentes en funcionamiento y solventar la seguridad de los ocupantes del prototipo solar.
- **Mantenimiento:** El sistema de dirección debe ser de fácil mantenimiento, que posea componentes que se acoplen y desacoplen fácilmente, para su apropiado mantenimiento.

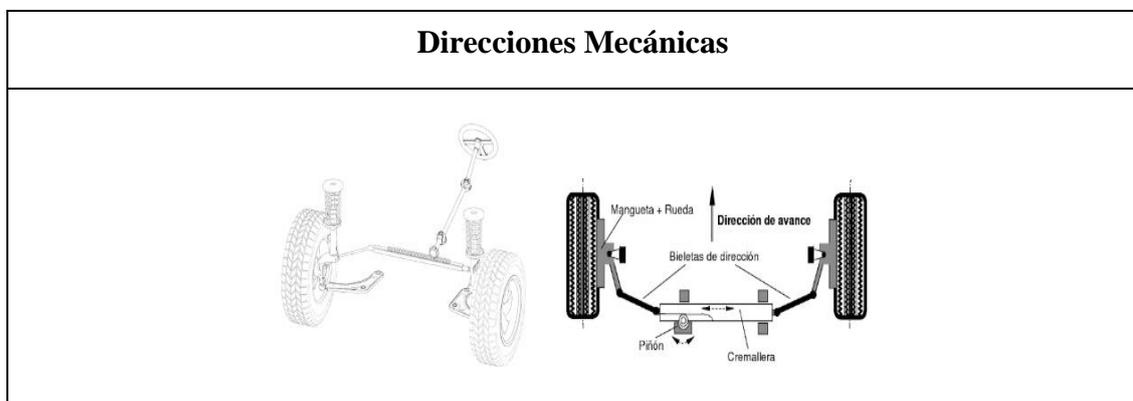
3.1.3. Selección del sistema de dirección para el prototipo solar.

Los principales sistemas de dirección que se encuentran en vehículos son los mecánicos, hidráulicos, electrohidráulicos, eléctricos y electrónicos. Debido a que el prototipo solar es un vehículo que participará en la competencia Solar Atacama, se busca implementar un sistema de dirección que cumpla con los criterios de selección, que no dependa de una fuente de energía y no afecte a la autonomía del mismo.

A continuación, se especifican las alternativas de los diferentes tipos de dirección que se encuentran en los vehículos, con sus respectivas ventajas y desventajas, para seleccionar un adecuado sistema de dirección, que cumpla con los criterios de selección y satisfaga las necesidades del prototipo solar.

3.1.3.1. Alternativa 1

Tabla 1-3: Alternativa 1 direcciones mecánicas



Fuente: (Luque, et al., 2005)

Tabla 1-3 (Continua): Alternativa 1 direcciones mecánicas

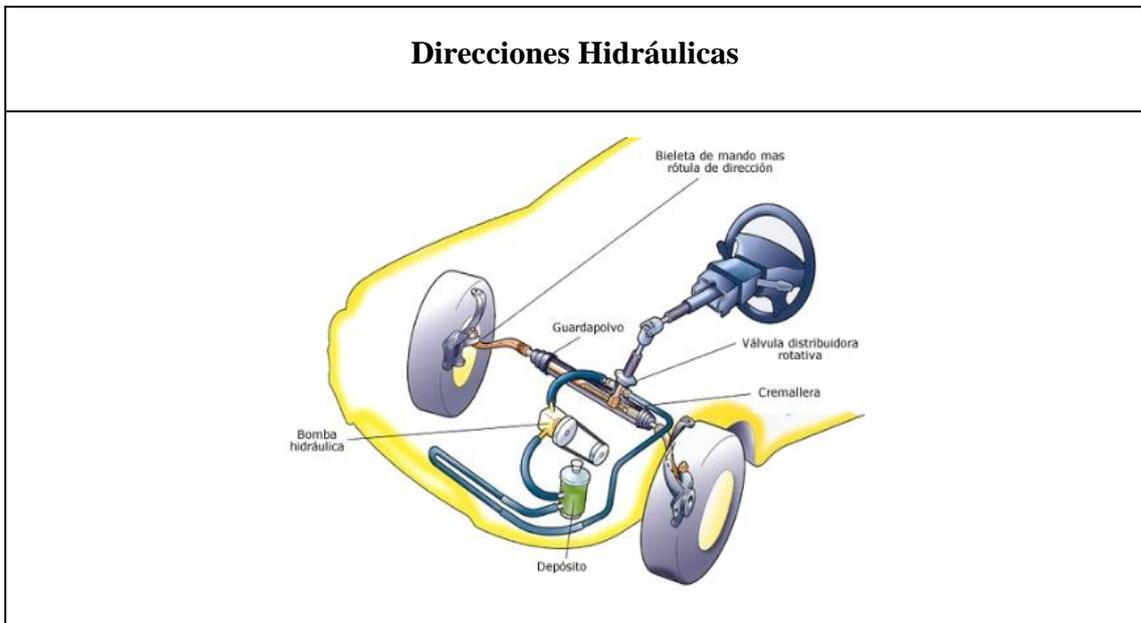
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • No necesita de una fuente de energía • Construcción sencilla • Buena eficiencia (seguridad, estabilidad, precisión) • Fácil y económicos de fabricar y de dar mantenimiento. • Fácil de limitar el movimiento máximo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor esfuerzo de los elementos, por lo tanto, mayor desgaste • Alta sensibilidad a impactos • Sensibilidad en el volante ante perturbaciones externas (vibraciones) • Necesita mayor esfuerzo físico del conductor para girar las ruedas.

Fuente: (Luque, et al., 2005)

Realizado por: Autores

3.1.3.2. Alternativa 2

Tabla 2-3: Alternativa 2 direcciones hidráulicas



Fuente (FierrosClasicos, 2015)

Realizado por: Autores

Tabla 2-3 (Continúa): Alternativa 2 direcciones hidráulicas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Mayor exactitud y suavidad de la dirección con el motor de combustión en funcionamiento. • El conductor necesita hacer menor esfuerzo físico para girar el volante. • Mayor seguridad direccional en altas velocidades. • Este sistema de dirección se lo encuentra en vehículos grandes y pequeños. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere de una fuente de energía, la cual incorpora una polea que va conectada al motor de combustión interna por medio de una correa, para el funcionamiento de la bomba hidráulica. • Aumentó de elementos del sistema, lo que produce pérdida de autonomía del vehículo. • Aumento de consumo de combustible. • Costo elevado de implementación y mantenimiento.

Fuente (FierrosClasicos, 2015)

Realizado por: Autores

3.1.3.3. Alternativa 3

Tabla 3-3: Alternativa 3 direcciones electrohidráulicas



Fuente: (FierrosClasicos, 2015)

Realizado por: Autores

Tabla 3-3 (Continua): Alternativa 3 direcciones electrohidráulicas

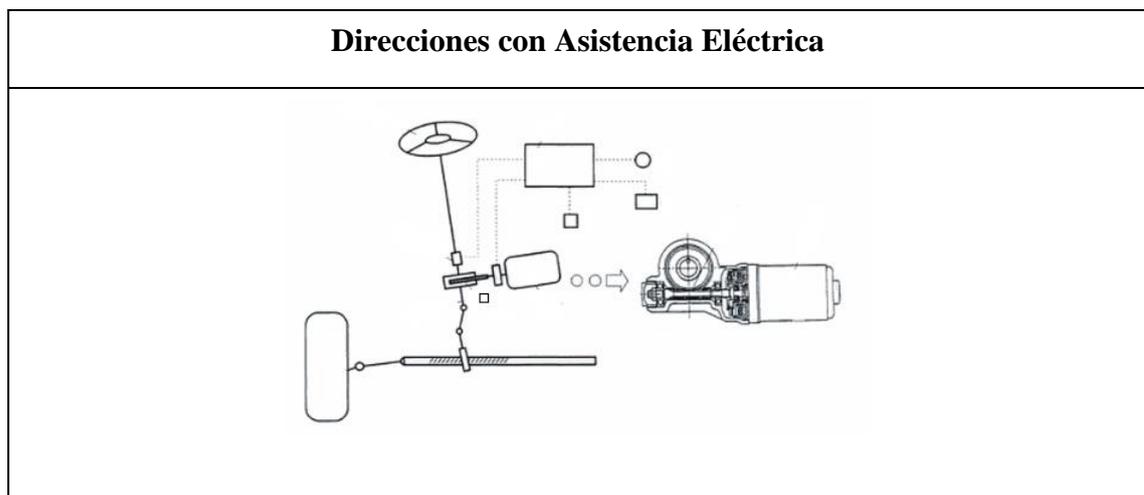
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Mayor exactitud, suavidad y rapidez para realizar maniobras. • Evita los problemas mecánicos debido a que no necesita una transmisión por correa. • La bomba hidráulica funciona al ritmo que necesita el conductor ofreciendo mayor seguridad direccional en altas y bajas velocidades. • Reduce el consumo de combustible. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere de una fuente de energía, la cual incorpora un motor eléctrico para el funcionamiento de la bomba hidráulica. • Aumento de consumo eléctrico, lo que produce descarga de la batería. • Costo elevado de implementación y mantenimiento.

Fuente: (FierrosClasicos, 2015)

Realizado por: Autores

3.1.3.4. Alternativa 4

Tabla 4-3: Alternativa 4 Direcciones con Asistencia Eléctrica



Fuente: (Calvo Martín & Miravete de Marco, 1997)

Realizado por: Autores

Tabla 4-3 (Continua): Alternativa 4 Direcciones con Asistencia Eléctrica

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Ocupa menos espacio que los sistemas hidráulicos, ya que cuenta con un solo motor eléctrico acoplado a la columna de dirección • La asistencia se puede programar para que se adapte en cada situación. • Mayor estabilidad y fiabilidad cuando se realice una maniobra. • Menor número de componentes y por ende menor peso hasta un 25% respecto a los sistemas hidráulicos. • Menor consumo hasta 5% respecto a los sistemas hidráulicos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere de una fuente de energía eléctrica. • No se puede implementar en vehículos de gran tamaño. • Consumo excesivo de electricidad por parte del motor eléctrico. • Costo económico excesivo para la implementación y mantenimiento.

Fuente: (Calvo Martín & Miravete de Marco, 1997)

Realizado por: Autores

3.1.3.5. Evaluación para la selección del tipo de mecanismo de dirección

Para la selección correcta del sistema de dirección se realiza una evaluación global, para lo cual se acude al método ordinal de criterios ponderados, el mismo que realiza un análisis cuantitativo mediante la utilización de tablas, en el cual se comparan entre sí los diferentes valores de las alternativas, con el fin de seleccionar el sistema de dirección que cumpla con los criterios de selección que necesita el vehículo solar. (Alvares, 2015)

Una vez investigado los criterios de selección y las alternativas de implementación del sistema de dirección para el vehículo solar, se asignan los siguientes valores:

- Un valor de (10) cuando el criterio de las filas es mejor o superior que el de las columnas.

- Un valor de (5) cuando el criterio de las filas es semejante o igual que el de las columnas.
- Un valor de (0) cuando el criterio de las filas es malo o inferior que el de las columnas.

Para evitar tener un criterio desfavorable se le suma una unidad a la sumatoria de los valores de cada criterio confrontado, de manera de no tener una valoración de nula (0) y así conseguir los valores ponderados de cada criterio.

El costo, el peso, tamaño, la fuente de energía, la estabilidad, la seguridad y el mantenimiento, son criterios que ayudan a la toma de decisión para la selección de la alternativa apropiada del sistema de dirección para el vehículo solar.

Tabla 5-3: Criterios de selección del tipo de dirección

CRITERIOS	Costo	Peso	Tamaño	Fuente de energía	Estabilidad	Seguridad	Mantenimiento	$\Sigma +1$	Ponderación
Costo	5	5	10	5	5	5	10	41	0,189
Peso	5	5	5	0	5	5	10	31	0,142
Tamaño	0	5	5	0	5	5	5	21	0,096
Fuente de energía	5	10	10	5	10	10	10	56	0,251
Estabilidad	5	5	5	0	5	5	5	26	0,119
Seguridad	5	5	5	0	5	5	10	31	0,142
Mantenimiento	0	5	0	0	5	0	5	11	0,051
TOTAL								217	1

Realizado por: Autores

En la Tabla 5-3, se observa los valores ponderados de los criterios de selección que debe cumplir el sistema de dirección previo a su implementación, estos valores representan la complejidad que tiene cada criterio en comparación a los demás criterios, en el cual se puede observar que el criterio de mayor importancia es la fuente de energía con un valor de 0,251, esto es debido a que el prototipo solar requiere de un sistema de dirección que no ocasione pérdida mecánicas, a la vez sea de bajo costo, menor peso, que bnde seguridad y estabilidad al conducir y que tenga componentes de menor tamaño de fácil mantenimiento.

Tabla 6-3: Criterios de selección del tipo de sistema a bajo costo

COSTO	Mecánico	Hidráulico	Electrohidráulico	Asistencia Eléctrica	$\Sigma +1$	Ponderación
Mecánico		10	10	10	31	0,484
Hidráulico	0		10	10	21	0,33
Electrohidráulico	0	0		10	11	0,171
Asistencia eléctrica	0	0	0		1	0,017
TOTAL					64	1

Realizado por: Autores

En cuanto al bajo costo de implantación del sistema, se observa que la alternativa más favorable es el sistema de dirección mecánica, debido a que el valor de ponderación es de 0,484, el cual es mayor en comparación a los otros sistemas.

Tabla 7-3: Selección del tipo de sistema a bajo peso

PESO	Mecánico	Hidráulico	Electrohidráulico	Asistencia eléctrica	$\Sigma +1$	Ponderación
Mecánico		10	10	5	26	0,406
Hidráulico	0		0	0	1	0,016
Electrohidráulico	0	10		0	11	0,171
Asistencia eléctrica	5	10	10		26	0,406
TOTAL					64	1

Realizado por: Autores

En cuanto al menor peso de los componentes se observa que existen dos alternativas más favorables para la implementación del sistema, los cuales son el sistema de dirección mecánica y de asistencia eléctrica, ya que el valor de ponderación es de 0,406, el cual es mayor en comparación a los otros sistemas.

Tabla 8-3: Selección del tipo de sistema a menor tamaño

TAMAÑO	Mecánico	Hidráulico	Electrohidráulico	Asistencia Eléctrica	$\Sigma +1$	Ponderación
Mecánico		10	10	0	21	0,389
Hidráulico	0		0	0	1	0,0185
Electrohidráulico	0	0		0	1	0,0185
Asistencia eléctrica	10	10	10		31	0,574
TOTAL					54	1

Realizado por: Autores

En cuanto al menor tamaño de los elementos se observa que la alternativa más favorable para la implementación es el sistema de dirección de asistencia eléctrica, ya que el valor de ponderación es de 0,574, el mismo que es mayor en comparación a los otros sistemas, a la vez se observa que el sistema de dirección mecánica también es favorable para la implantación, ya que tiene un valor de ponderación de 0,389, por lo tanto, se lo puede implementar.

Tabla 9-3: Selección del tipo de sistema por fuente de energía

FUENTE DE ENERGÍA	Mecánico	Hidráulico	Electrohidráulico	Asistencia Eléctrica	$\Sigma +1$	Ponderación
Mecánico		10	10	10	31	0,484
Hidráulico	0		10	10	21	0,328
Electrohidráulico	0	0		10	11	0,172
Asistencia eléctrica	0	0	0		1	0,016
TOTAL					64	1

Realizado por: Autores

En la tabla 9-3 se observa que el sistema de dirección mecánica es la alternativa más favorable para la implementación, puesto que no requiere una fuente de energía para su funcionamiento y se demuestra con el valor de ponderación de 0,484, el mismo que es mayor en comparación a los otros sistemas.

Tabla 10-3: Selección del tipo de sistema a mayor estabilidad

ESTABILIDAD	Mecánico	Hidráulico	Electrohidráulico	Asistencia Eléctrica	$\Sigma +1$	Ponderación
Mecánico		5	5	0	11	0,172
Hidráulico	5		5	0	11	0,172
Electrohidráulico	5	5		5	16	0,25
Asistencia eléctrica	10	10	5		26	0,406
TOTAL					64	1

Realizado por: Autores

En la tabla 10-3 se observa que el sistema de dirección de asistencia eléctrica es la alternativa más favorable que presenta mayor estabilidad, con el valor de ponderación de 0,406, el mismo que es mayor en comparación a los otros sistemas, a la vez observa que los otros sistemas de dirección también ofrecen estabilidad en la conducción, por lo tanto, se los puede implementar.

Tabla 11-3: Selección del tipo de sistema a mayor seguridad

SEGURIDAD	Mecánico	Hidráulico	Electrohidráulico	Asistencia Eléctrica	$\Sigma +1$	Ponderación
Mecánico		5	5	0	11	0,172
Hidráulico	5		5	0	11	0,172
Electrohidráulico	5	5		5	16	0,25
Asistencia eléctrica	10	10	5		26	0,406
TOTAL					64	1

Realizado por: Autores

En la tabla 11-3 se observa que el sistema de dirección de asistencia eléctrica es la alternativa más favorable que presenta mayor seguridad, con el valor de ponderación de 0,406, el mismo que es mayor en comparación a los otros sistemas, a la vez observa que los otros sistemas de dirección también ofrecen seguridad en la conducción, por lo tanto, se los puede implementar.

Tabla 12-3: Selección del tipo de sistema de fácil mantenimiento

MANTENIMIENTO	Mecánico	Hidráulico	Electrohidráulico	Asistencia eléctrica	$\Sigma +1$	Ponderación
Mecánico		10	10	10	31	0,484
Hidráulico	0		5	10	16	0,25
Electrohidráulico	0	5		10	16	0,25
Asistencia eléctrica	0	0	0		1	0,016
TOTAL					64	1

Realizado por: Autores

En la tabla 12-3 se observa que el sistema de dirección de asistencia mecánica es la alternativa la más favorable para la implantación, puesto que es de fácil mantenimiento debido a que presenta un valor de ponderación de 0,484, el mismo que es mayor en comparación a los otros sistemas.

Una vez determinado los valores de las ponderaciones individuales de cada criterio, se procede a realizar una tabla de evaluación total, interpolando los criterios de selección de la tabla 5-3 con las tablas individuales de cada criterio para las diferentes alternativas, con el fin de obtener los valores de ponderación, los mismos que nos ayudan a identificar la alternativa más favorable para la implantación del sistema de dirección en el Vehículo Solar.

Tabla 13-3: Evaluación de los criterios y alternativas del tipo de dirección

CONCLUSIÓN	Costo	Peso	Tamaño	Fuente de energía	Estabilidad	Seguridad	Mantenimiento	Σ	Alternativa
Mecánica	0,09 2	0,05 8	0,03 7	0,12 5	0,02 1	0,02 5	0,02 4	0,38 1	1
Hidráulica	0,06 1	0,00 2	0,00 2	0,08 4	0,02 1	0,02 5	0,01 3	0,20 8	2
Electrohidráulica	0,03 3	0,02 5	0,00 2	0,04 4	0,02 9	0,03 5	0,01 3	0,18 1	3
Asistencia eléctrica	0,00 2	0,04 8	0,05 5	0,00 4	0,04 8	0,05 8	0,00 07	0,21 8	4

Realizado por: Autores

En la tabla 13-3 se observa que la alternativa 1 es la más favorable para la implementación, debido a que presenta un valor de ponderación de 0,381, el mismo que es mayor en comparación a las otras alternativas.

Después de analizar las ventajas y desventajas que ofrecen las alternativas los sistemas de dirección y realizar la evaluación total los criterios de selección mediante el método de ponderación, se toma como prioridad la alternativa 1 (Sistemas de Dirección Mecánica), debido a que no requiere de una fuente de energía, brinda buena estabilidad, seguridad, menor costo de implementación, mantenimiento del sistema y sobre todo tiene un peso moderado contribuyendo en la autonomía y necesidades del Prototipo Solar.

3.1.4. *Mecanismos a seleccionar del sistema de dirección mecánica*

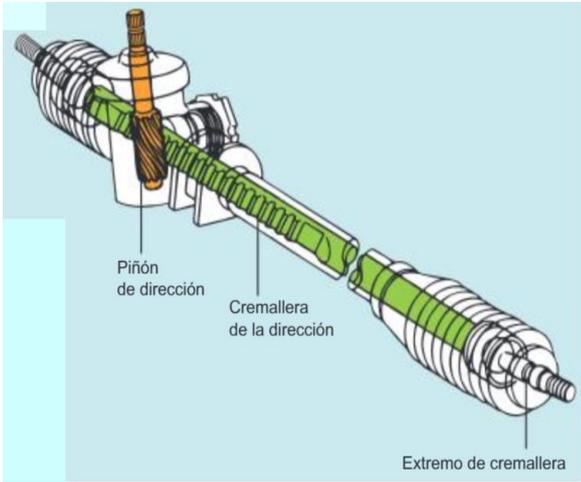
Por lo general existen dos tipos de sistemas de dirección mecánica: los sistemas con mecanismo de tornillo sin fin y los sistemas con mecanismo mediante piñón y cremallera. Los sistemas de dirección piñón y cremallera son utilizados en vehículos pequeños (automóviles), debido a que tiene un mecanismo con menor tamaño en la relación a los

sistemas de tornillo sin fin. Los sistemas de dirección de tornillo sin fin poseen un mecanismo robusto, el cual soporta cargas elevadas, ideales para ser utilizados en vehículos pesados (camiones). (Toyota Motor, 2003)

A continuación, se especifican las alternativas con sus respectivas ventajas y desventajas de los mecanismos para la selección adecuada del sistema de dirección mecánica del Prototipo Solar.

3.1.4.1. Alternativa 1

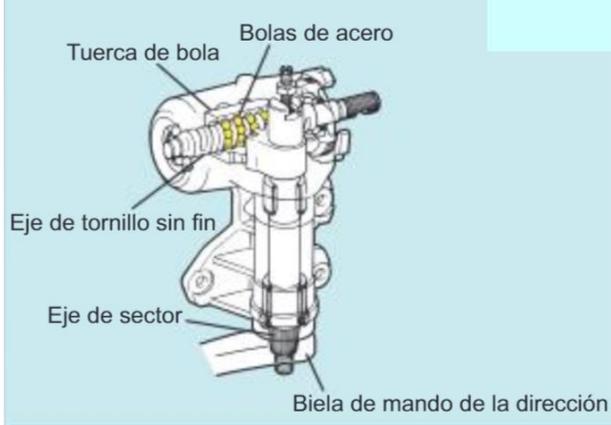
Tabla 14-3: Alternativa 1 del mecanismo de Dirección Mecánica Piñón y Cremallera

Dirección Mecánica Piñón y Cremallera	
	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Estructura compacta sencilla y ligera que facilita el montaje del mecanismo. • La respuesta de la dirección es muy precisa en maniobras. • Existe poco deslizamiento y brinda una mejor transmisión del par. • Bajo costo de implementación y mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Desgaste rápido del mecanismo piñón- cremallera. • Necesita que se mantenga siempre lubricado el sistema. • Presenta vibraciones en el volante.

Fuente: (Toyota Motor, 2003)

3.1.4.2. *Alternativa 2*

Tabla 15-3: Alternativa 2 del mecanismo Dirección Mecánica Tornillo Sin Fin

Dirección Mecánica Tornillo Sin Fin	
	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Debido a la rotación del eje principal la fuerza de fricción que se produce en el mecanismo es pequeña • El mecanismo está diseñado para soportar cargas elevadas • El ángulo de funcionamiento de giro del volante es grande en comparación al sistema piñón- cremallera • Mayor precisión y estabilidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Presenta un diseño robusto, debido a esto el peso es mayor en comparación al sistema piñón-cremallera. • Diseñado para vehículos pesados ya que se necesita un ángulo más grande y mayor esfuerzo físico para girar las ruedas. • Costo económico elevado de implantación y manteniendo.

Fuente: (Toyota Motor, 2003)

Realizado por: Autores

3.1.4.3. *Método de ponderación para la selección adecuada del mecanismo*

Para seleccionar el adecuado mecanismo de dirección se utiliza el método de ponderación utilizando los criterios de selección y los valores asignados que se utilizó en la sección del sistema de dirección en base a la investigación.

Tabla 16-3: Selección del tipo de sistema a bajo costo

COSTO	Tornillo sin fin	Piñón Cremallera	$\Sigma +1$	Ponderación
Tornillo sin fin		0	1	0,083
Piñón - cremallera	10		11	0,917
TOTAL			12	1

Realizado por: Autores

En la tabla 16-3, se observa que el mecanismo piñón – cremallera es más favorable para la implementación, ya que presenta un valor de ponderación 0,917, el mismo que indica que es de bajo económico en comparación al mecanismo tornillo sin fin.

Tabla 17-3: Selección del tipo de sistema a bajo peso

PESO	Tornillo sin fin	Piñón Cremallera	$\Sigma +1$	Ponderación
Tornillo sin fin		0	1	0,083
Piñón - cremallera	10		11	0,917
TOTAL			12	1

Realizado por: Autores

En la tabla 17-3, se observa que el mecanismo piñón – cremallera es más favorable para la implementación, ya que presenta un valor de ponderación 0,917, el mismo que indica que es de bajo peso en comparación al mecanismo tornillo sin fin.

Tabla 18-3: Selección del tipo de sistema a menor tamaño.

TAMAÑO	Tornillo sin fin	Piñón-Cremallera	$\Sigma +1$	Ponderación
Tornillo sin fin		5	6	0,5
Piñón - cremallera	5		6	0,5
TOTAL			12	1

Realizado por: Autores

En la tabla 18-3, se observa que los dos mecanismos son favorables para la implementación, ya que presenta un valor de ponderación 0,5.

Tabla 19-3: Selección del tipo de sistema por fuente de energía

FUENTE DE ENERGÍA	Tornillo sin fin	Piñón - cremallera	$\Sigma +1$	Ponderación
Tornillo sin fin		5	6	0,5
Piñón - cremallera	5		6	0,5
TOTAL			12	1

Realizado por: Autores

En la tabla 19-3, se observa que los dos mecanismos son favorables para la implementación, ya que presenta un valor de ponderación 0,5.

Tabla 20-3: Selección del tipo de sistema a mayor estabilidad.

ESTABILIDAD	Tornillo sin fin	Piñón - cremallera	$\Sigma +1$	Ponderación
Tornillo sin fin	5	5	6	0,5
Piñón - cremallera	5	5	6	0,5
TOTAL			12	1

Realizado por: Autores

En la tabla 20-3 se observa que los dos mecanismos son favorables para la implementación, ya que presenta un valor de ponderación 0,5.

Tabla 21-3: Selección del tipo de sistema a mayor seguridad

SEGURIDAD	Tornillo sin fin	Piñón - cremallera	$\Sigma +1$	Ponderación
Tornillo sin fin	5	5	6	0,5
Piñón - cremallera	5	5	6	0,5
TOTAL			12	1

Realizado por: Autores

En la tabla 21-3 se observa que los dos mecanismos son favorables para la implementación, ya que presenta un valor de ponderación 0,5.

Tabla 22-3: Selección del tipo de sistema de fácil mantenimiento.

MANTENIMIENTO	Tornillo sin fin	Piñón-Cremallera	$\Sigma +1$	Ponderación
Tornillo sin fin		0	1	0,083
Piñón - cremallera	10		11	0,917
TOTAL			12	1

Realizado por: Autores

En la tabla 22-3, se observa que el mecanismo piñón – cremallera es más favorable para la implementación, ya que presenta un valor de ponderación 0,917, el mismo que indica que es de fácil manteniendo en comparación al mecanismo tornillo sin fin.

Una vez determinado las ponderaciones individuales de cada criterio para las alternativas de los mecanismos (Piñón – Cremallera y Tornillo Sin Fin), se procede a realizar una tabla de evaluación total, para cada solución, utilizando la tabla 5-3, para realizar la interpolación con las tablas individuales de cada criterio, la misma que nos ayuda a seleccionar la alternativa más favorable que cumpla con los criterios establecidos de selección del sistema de dirección para el Vehículo Solar.

Tabla 23-3: Evaluación de los criterios y alternativas del mecanismo de dirección

EVALUACIÓN	Costo	Peso	Tamaño	Fuente de energía	Estabilidad	Seguridad	Mantenimiento	Σ	Alternativa
Tornillo sin fin	0,0 16	0,01 2	0,04 8	0,12 9	0,06 0	0,07 1	0,00 4	0,34 0	1
Piñón Cremallera	0,1 73	0,13 0	0,04 8	0,12 9	0,06 0	0,07 1	0,04 6	0,65 9	2

Realizado por: Autores

Una vez analizado la tabla 23-3, de la evaluación total de las alternativas en comparación a los criterios de selección por el método de ponderación, se logró concluir, que la alternativa 2 (Sistemas de Dirección Mecánica Piñón - Cremallera), es factible para la implementación, debido a que este sistema no requiere una fuente de energía, es de bajo costo, fácil mantenimiento, tiene un mecanismo sencillo, ligero y un tamaño moderado, lo cual facilita el montaje del mecanismo en el Prototipo Solar y contribuye en la autonomía.

En la figura 2-3 se observa el sistema de dirección mecánica piñón-cremallera con sus respectivas partes, el mismo que servirá como base para proceder a diseñar el sistema de dirección para el Prototipo Solar.

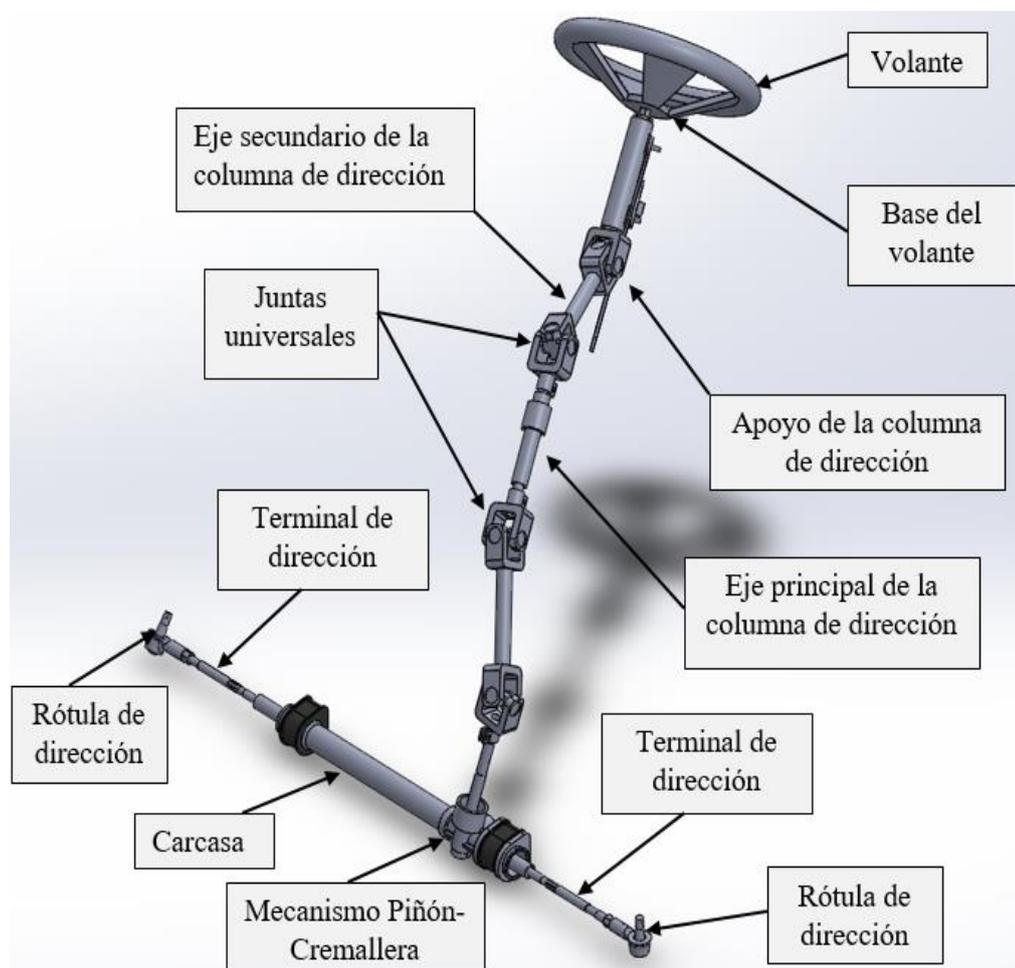


Figura 2-3: Partes del sistema de dirección piñón y cremallera

Realizado por: Autores

3.1.5. Selección del mecanismo (Piñón-Cremallera)

De acuerdo a la figura 2-3, los elementos principales del mecanismo de dirección piñón y cremallera son:

- Cajetín de dirección (piñón y cremallera)
- Carcasa del cajetín de dirección.
- Terminales de dirección.
- Rotulas.

En la tabla 24-3 se presenta las condiciones iniciales del Prototipo Solar, con el fin de seleccionar los elementos adecuados del sistema de dirección mecánica mediante piñón y cremallera, que se ajusten a las necesidades del mismo.

Tabla 24-3: Condiciones iniciales del Prototipo Solar.

Descripción	Simbología	Valor
Masa del prototipo solar	m	270 Kg
Distancia entre ejes	de	2,19 m
Ancho(Ancho de vía o ruedas)	Av	1,75 m
Velocidad máxima	v	70 Km/h

Realizado por: Autores

Una vez definido las condiciones iniciales del prototipo, el modelo de dirección mecánica piñón y cremallera, debe tener un menor un peso ligero, bajo costo, una adecuada distancia entre ejes y facilite las modificaciones al ser implementados en la estructura sin afectar su funcionamiento.

En la tabla 25-6, se muestran algunos modelos de mecanismos de dirección mecánica con sus respectivas características, los cuales son de fácil adquisición en el mercado nacional y se ajustan a las dimensiones del prototipo.

Tabla 25-3: Características principales de los mecanismos de dirección

Modelo de mecanismo		Longitud (cm)	Peso (kg)	Precio (USD)
Cajetín de dirección Chevrolet Spark		115	3,5	220,00
Cajetín de dirección Suzuki Forza 1		120	4	180,00
Cajetín de dirección Suzuki Forza 2		130	4,2	230,00

Realizado por: Autores

El mecanismo de dirección seleccionado es de un vehículo Chevrolet Spark, ya que tiene un peso ligero de (3,5 kg) en comparación a los otros mecanismos seleccionados y cumple con los criterios de selección establecidos, además se le puede modificar la longitud de la distancia entre ejes, lo cual es favorable para la implementación en el Prototipo Solar.

3.1.6. Selección del volante de dirección.

De acuerdo al reglamento "Bases Carrera Solar Atacama", se debe seleccionar un volante de dirección, que este diseñado de modo que no se enganche en la ropa durante la conducción o cuando el conductor salga del vehículo. Además, se debe considerar que el volante seleccionado sea de bajo costo, fácil de adquirir en mercado nacional, menor

peso y que tenga un menor diámetro posible, de manera que no cause incomodidad al conductor, ya que el espacio del habitáculo es reducido.

En la tabla 26-3 las características de algunos tipos de volantes de dirección que se pueden adquirir en el mercado nacional, los mismos que se ajustan a las especificaciones de reglamento "Bases Carrera Solar Atacama" y satisfacen las necesidades del Prototipo Solar.

Tabla 26-3: Características de los tipos de volantes de dirección

Tipo de volante de dirección	Características	
<p data-bbox="316 707 839 792">Volante SPARCO R325 Piel de Vuelta Negro con 3 Brazos</p> 	Diámetro (mm)	350
	Peso (Kg)	2
	Costo (\$)	230
	Disponibilidad en el mercado	Si
<p data-bbox="304 1028 855 1113">Volante OMP CORSICA Piel de Vuelta Negro Brazos Anodizados Plata</p> 	Diámetro (mm)	350
	Peso (Kg)	1
	Costo (\$)	205
	Disponibilidad en el mercado	Si
<p data-bbox="288 1379 871 1464">Volante ECLAE R32 Piel de Vuelta Negro con 3 Brazos</p> 	Diámetro (mm)	320
	Peso (Kg)	0.9
	Costo (\$)	80
	Disponibilidad en el mercado	Si

Realizado por: Autores

El volante de dirección seleccionado para el Prototipo Solar es el Volante ECLAE R32 Piel de Vuelta Negro con 3 Brazos, el cual cumple con las especificaciones de diseño del reglamento "Bases Carrera Solar Atacama", ya que tiene un bajo peso y un diámetro

apropiado, de manera que facilita la conducción y la comodidad del conductor para realizar una maniobra.

3.1.7. *Diseño del adaptador del volante de dirección.*

El adaptador es un elemento del sistema de dirección que ayuda a unir el volante de dirección con el eje de la columna de dirección, para lo cual se diseña un adaptador que se mantenga siempre fijo y no produzca juego entre el volante y la columna de dirección, durante la conducción.

3.2. **Cálculos de los parámetros del sistema de dirección**

Los cálculos de los parámetros del sistema de dirección se realizan con el motivo de cumplir con los criterios del reglamento N° 79 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE), de esta manera se pretende obtener un diseño y selección de los elementos adecuados para el sistema, de tal forma que brinde una conducción segura y fiable.

3.2.1. *Círculo de viraje*

Para el cálculo del círculo de viraje se utiliza la ecuación 1, teniendo en cuenta que el radio de giro viene definido de forma que las ruedas consigan girar un círculo de diámetro cuatro veces mayor que la distancia entre ejes. En los vehículos el radio de giro es el doble de la distancia entre ejes o batalla. (Dirección General de Tráfico, 2016)

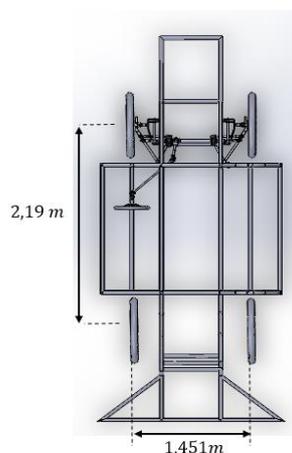


Figura 3-3: Distancia entre ejes y Ancho de vía

$$R = 2 * de$$

$$R = 2 * 2,19 m$$

$$R = 4,38 m$$

3.2.2. *Ángulos de giro*

El ángulo de giro se consigue por medio de la función trigonométrica de los ángulos que forman los neumáticos, en función entre el ancho de vía (Av) y la distancia entre ejes (de) del vehículo. (Dirección General de Tráfico, 2016)

En el cálculo del ángulo de giro se utiliza las ecuaciones 2 y 3.

Ángulo de giro externo

$$\delta_e = \text{tang}^{-1} \frac{de}{R + \frac{Av}{2}}$$

$$\delta_e = \text{tang}^{-1} \frac{2,18 m}{4,38 m + \frac{1,451m}{2}}$$

$$\delta_e = 25,69^\circ$$

Ángulo de giro interno

$$\delta_i = \text{tang}^{-1} \frac{de}{R - \frac{Av}{2}}$$

$$\delta_i = \text{tang}^{-1} \frac{2,18 m}{4,38 m - \frac{1,451m}{2}}$$

$$\delta_i = 34,24^\circ$$

3.2.3. *Fuerza de fricción*

La fuerza de fricción es la oposición al movimiento de los cuerpos. Para realizar cálculos necesarios se utiliza el diagrama cuerpo libre del prototipo, esto se desarrolla con la finalidad de conocer la fuerza de fricción que se produce en los neumáticos del mismo.

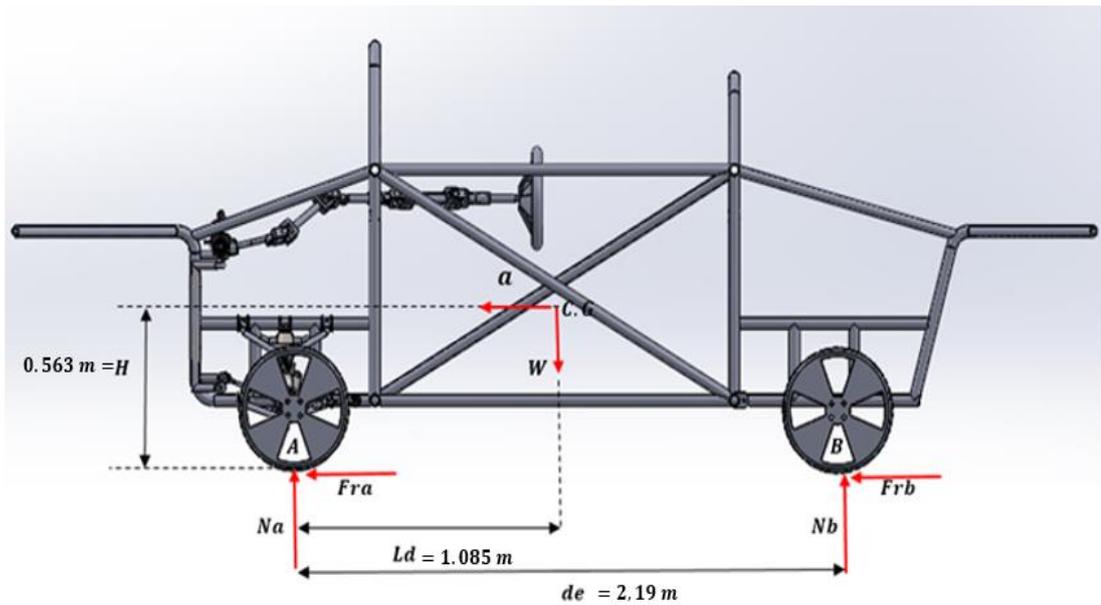


Figura 4-3: Diagrama de cuerpo libre del Prototipo solar

Realizado por: Autores

3.2.3.2. Desaceleración

Para el cálculo de la fuerza de fricción se utiliza la desaceleración, ya que al desacelerar un vehículo en movimiento provoca un frenado, ocasionado que se genera mayor peso en los neumáticos delanteros.

Según las bases de la carrera solar atacama, el vehículo debe poder de detenerse en una distancia de 25 m a partir una velocidad inicial de 50 km/h (13,888 m/s).

$$a = \frac{vf^2 - vi^2}{2 * x}$$

$$a = \frac{0^2 - (13,888 \text{ m/s}^2)^2}{2 * 25 \text{ m}}$$

$$a = -3,857 \text{ m/s}^2$$

$$-a = 3,857 \text{ m/s}^2$$

3.2.3.3. Fuerza de fricción de cada rueda del vehículo

Por medio el diagrama de cuerpo libre del Prototipo solar y de la tabla 27-3, se determina las reacciones que se produce en cada rueda (segunda ley de newton).

Tabla 27-3: Datos para calcular las fuerzas de fricción y las reacciones en las ruedas

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	VALOR
Masa del Prototipo solar más 1 tripulante	m	270 Kg
Gravedad	g	9,81 m/s ²
Desaceleración (-), aceleración (+)	a	3,85 m/s ²
Distancia entre ejes	de	2,19 m
Altura del centro de gravedad medido desde el piso	H	0,563 m
Distancia desde el centro de gravedad al eje delantero	Ld	1,085 m
Coefficiente de fricción del neumático	u	0,8
Inercia de una rueda promedio	I_r	0,27 Kg.m ²
Radio dinámico	R_{din}	0,326 m

Realizado por: Autores

Aplicando la segunda Ley de Newton se tiene:

- Sumatoria de las fuerzas en el eje X.

$$\sum F_x = m * a$$

$$F_{ra} + F_{rb} = m * (\pm a)$$

- Sumatoria de las fuerzas en el eje Y.

$$\sum F_y = m * g$$

$$N_a + N_b = m * g$$

- Sumatoria de momentos en el punto A.

$$\sum \mathcal{M}_A = I$$

$$(Nb * de) + (m * a * H) - (m * g * Ld) = \left(\frac{4Ir * a}{Rdin} \right)$$

$$Nb = \frac{(m * g * Ld) - (m * a * H) + \left(\frac{4Ir * a}{Rdin} \right)}{de}$$

$$Nb = \frac{(270 \text{ Kg} * 9,81 \text{ m/s}^2 * 1,085 \text{ m}) - (270 \text{ Kg} * 3,85 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,563 \text{ m}) + \left(\frac{4 * 0,27 \text{ Kg} \cdot \text{m}^2 * 3,85 \text{ m/s}^2}{0,326 \text{ m}} \right)}{2,19 \text{ m}}$$

$$Nb = 1050,33 \text{ N}$$

Para calcular la normal en el punto A, aplicamos la sumatoria de fuerzas en el eje y.

$$Na + Nb = m * g$$

$$Na = (m * g) - Nb$$

$$Na = (270 \text{ Kg} * 9,81 \text{ m/s}^2) - 1050,33 \text{ N}$$

$$Na = 1598,36 \text{ N}$$

Fuerza de fricción en el punto A

$$Fra = u * Na$$

$$Fra = 0,8 * 1598,36 \text{ N}$$

$$Fra = 1278,69 \text{ N}$$

Fuerza de fricción en el punto B

$$Frb = u * Nb$$

$$Frb = 0,8 * 1050,33 \text{ N}$$

$$Frb = 840,26 \text{ N}$$

3.2.4. Fuerza necesaria para el giro de los neumáticos

Al iniciar a girar el neumático se produce una fuerza de fricción, cuyo valor más alto es cuando el vehículo permanece estático, esta fuerza también influye en el diseño y selección de los componentes adecuados del sistema.



Figura 5-3: Diagrama del cuerpo libre del neumático

Realizado por: Autores

$$\sum F_x = 0$$

$$Fr - Fl = 0$$

$$Fr = Fl$$

Para calcular fuerza lateral se toma la fuerza de fricción que se produce en las ruedas delanteras del vehículo como referencia, ya que es el caso más crítico, en la cual el sistema de dirección debe ejercer una fuerza lateral para girar las ruedas.

$$Fra = Fl$$

Para girar los neumáticos en el eje delantero la fuerza lateral necesaria es:

$$Fl = 1278,69 \text{ N}$$

3.2.5. *Torque aplicado a la cremallera del sistema de dirección*

Para el calcular el torque aplicado a la cremallera se necesitan los datos de la tabla 28-3.

Tabla 28-3: Datos necesarios para el cálculo de Torque aplicado a la cremallera

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	VALOR
Fuerza lateral necesaria para girar las ruedas del prototipo	Fl	N
Radio del piñón	$R_{piñ}$	$0,0125\ m$

Realizado por: Autores

$$T = Fl * R_{piñ}$$

$$T = 1278,69\ N * 0,0125\ m$$

$$T = 15,98\ N.m$$

3.2.6. Esfuerzo sobre el mando de dirección

El esfuerzo sobre el mando de dirección, es igual a la fuerza aplicada al volante sobre el radio del mismo.

Tabla 29-3: Datos necesarios para calcular esfuerzo sobre el mando de dirección

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	VALOR
Torque aplicado a la cremallera del sistema de dirección	T	$15,98\ N.m$
Radio del volante	R_1	$0,16\ m$

Realizado por: Autores

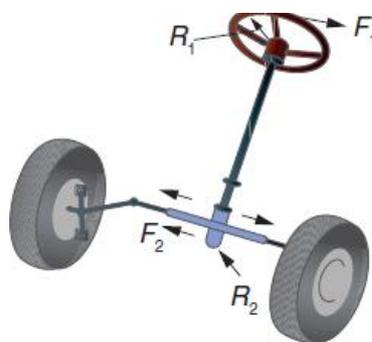


Figura 6-3: Relación de esfuerzos que se transmiten desde el volante a las ruedas

Fuente: (González, et al., 2011)

$$F1 * R1 = F2 * R2$$

$$T = F1 * R1$$

$$F1 = \frac{T}{R1}$$

$$F1 = \frac{15,98 \text{ N.m}}{0,16 \text{ m}}$$

$$F1 = 99,89 \text{ N}$$

$$F1 = 10,18 \text{ Kg}$$

Para girar las redas delanteras del prototipo, se debe ejercer una fuerza de 99,89 N (10,18 Kg) en el volante, con lo cual el conductor no se cansará rápidamente durante la conducción.

3.2.7. *Convergencia*

La convergencia es la posición que ocupan las ruedas delanteras con respecto al eje longitudinal. La convergencia debe estar entre 0 a menos 2 mm para vehículos con tracción y 1 a 10 mm para vehículos con propulsión. (Dirección General de Tráfico, 2016)

Tabla 30-3: Datos necesarios para calcular la convergencia

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	VALOR
Distancia a media altura por delante las ruedas	<i>A</i>	1447 mm
Distancia a media altura por detrás las ruedas	<i>B</i>	1451 mm

Realizado por: Autores

$$Cv = B - A$$

$$Cv = 1451 \text{ mm} - 1447 \text{ mm}$$

$$Cv = 4 \text{ mm}$$

El valor de 4 mm de la convergencia, se encuentra dentro de los rangos establecidos para vehículos con propulsión. El prototipo no debe exceder una convergencia superior a 4 mm para su correcto funcionamiento.

3.2.7.2. *Ángulo de convergencia*

Tabla 31-3: Datos para calcular el ángulo de convergencia

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	VALOR
Ángulo de giro interno	δ_i	34,24°
Ángulo de giro externo	δ_e	25,69°

Realizado por: Autores

$$\theta = \delta_i - \delta_e$$

$$\theta = 34,24^\circ - 25,69^\circ$$

$$\theta = 8,55^\circ$$

El prototipo para tener un buen funcionamiento, no debe extender un ángulo de convergencia superior a 8,55°.

3.3. **Diseño y selección de los componentes de la columna de la dirección**

Una vez obtenido los esfuerzos que debe soportar la columna de dirección se procede diseñar los ejes de la columna y a seleccionar los componentes que sujetan dichos ejes, los mismos que ayudaran a formar el sistema colapsable de la columna de dirección.

3.3.1. *Diseño de la columna de dirección*

De acuerdo a las especificaciones del reglamento "Bases Carrera Solar Atacama 2018", el diseño de la columna de dirección del Prototipo Solar debe ser colapsable, mediante el cual debe evitar la intrusión de ésta en el habitáculo en caso de colisión frontal, con el fin de brindar seguridad al conductor.

La columna de dirección colapsable diseñado consta de tres juntas universales situados a lo largo del eje, las mismas que al momento que suceda un impacto frontal ayuden a la columna de dirección a deformarse, con el fin de evitar que el eje de la columna de dirección se proyecte hacia el conductor.

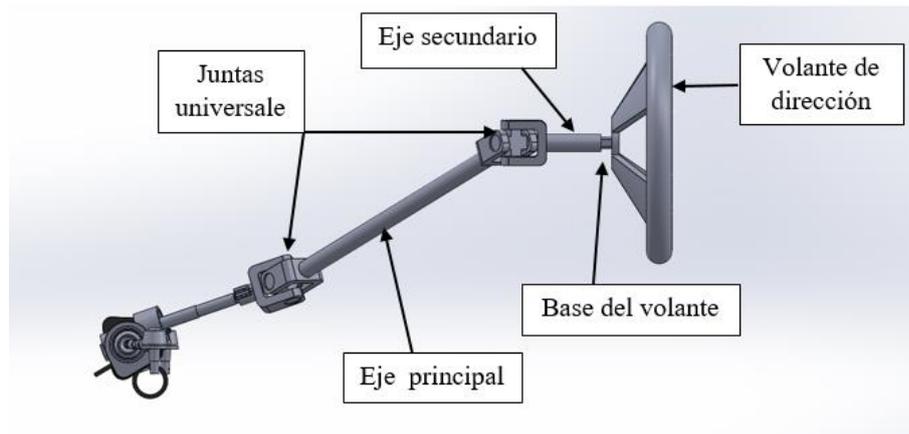


Figura 7-3: componentes de la columna de dirección colapsable.

Realizado por: Autores

Productos de acero DIPAC (Desarrollo de Riego Privado y Actividades Relacionadas), recomienda utilizar para ejes de transmisión el material AISI 1018, ya que es un acero de cementación no aleado, utilizado para la fabricación de piezas pequeñas como pernos, tuercas, ejes, bujes pasadores, etc., las que están expuestas al desgaste y donde la dureza del núcleo no es muy importante. (DIPAC, 2016)

Este material es óptimo para la fabricación de los ejes de la columna de dirección, ya que presenta excelentes propiedades mecánicas, buena soldabilidad, bajo costo económico y fácil de adquirir en el mercado nacional.

A continuación, se presenta los datos para el diseño de los ejes de la columna de dirección, que están sometidos a torsión.

Tabla 32-3: Datos para el diseño de los ejes de la columna de dirección

Descripción de datos	Simbología	Valor
Par de torsión aplicado a la cremallera para girar las ruedas	T	15,98 $N.m$
Límite de fluencia acero AISI 1018 (ANEXO A)	S_y	370 N/mm^2
Resistencia mecánica acero AISI 1018 (ANEXO A)	S_{ut}	440 N/mm^2
Módulo de rigidez del material (ANEXO B)	G	79,3 Gpa

Realizado por: Autores

Para obtener un diseño aceptable se realiza el cálculo del esfuerzo cortante al que va a estar sometido el material. (Mott, 2009)

$$\tau_d = \frac{Sy}{2N} \quad (18)$$

Donde:

τ_d = Esfuerzo cortante (MPa)

Sy = Límite de fluencia (MPa)

N = Factor de diseño (Debido a que la columna de dirección está sometida a torsión repetida se elige el factor de diseño de 4 de acuerdo a la tabla 33-3)

Tabla 33-3: Factor de diseño

Tipo de carga	Factor de diseño	Esfuerzo cortante de diseño $\tau_d = \frac{Sy}{2N}$
Torsión estática o constante	2	$\tau_d = \frac{Sy}{4}$
Torsión repetida	4	$\tau_d = \frac{Sy}{8}$
Impacto o choque torsional	6	$\tau_d = \frac{Sy}{12}$

Fuente: (Mott, 2009)

Realizado por: Autores

$$\tau_d = \frac{Sy}{2N}$$

$$\tau_d = \frac{370 \text{ MPa}}{2(4)}$$

$$\tau_d = 46,25 \text{ MPa}$$

Con el momento polar de inercia (J) y el radio de la sección transversal (c), se consigue el módulo de la sección polar (J/c), la misma que ayudara a calcular el diámetro del eje principal de la columna de dirección. (Mott, 2009)

$$J = \frac{\pi D^4}{32} \quad (19)$$

$$c = \frac{D}{2} \quad (20)$$

$$\frac{J}{c} = \frac{\pi D^3}{16}$$

Donde

J = Momento polar de inercia

c = Radio de la sección transversal

Después de obtener ($Z_p = J/c$), se sustituye en la ecuación básica del esfuerzo torsional (ecuación 22), para conseguir la ecuación del módulo de sección polar, la misma que nos ayuda a limitar el esfuerzo cortante torsional ($\tau_d = \tau_{m\acute{a}x}$), cuando el eje de la columna de dirección se someta a un par de torsión aplicado a la cremallera para girar las ruedas (T). (Mott, 2009)

$$Z_p = \frac{\pi D^3}{16} \quad (21)$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{Tc}{J} \quad (22)$$

$$Z_p = \frac{T}{\tau_d} \quad (23)$$

Donde:

Z_p = Módulo de la sección polar

T = Par de torsión aplicado a la cremallera para girar las ruedas ($N \cdot m$)

τ_d = Esfuerzo cortante (MPa)

Entonces tenemos:

$$Z_p = \frac{(15,98 * 10^3) Nmm}{46,25 N/mm^2}$$

$$Z_p = 345,59 mm^3$$

Para el cálculo del diámetro del eje principal de la columna de dirección se despeja (D) de la ecuación 21, entonces se tiene:

$$D = \sqrt[3]{\frac{16 Zp}{\pi}} \quad (24)$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{16(345,59) \text{ mm}^3}{\pi}}$$

$$D = 12,07 \text{ mm} \approx 5/8 \text{ pulg}$$

Posteriormente de haber obtenido la dimensión del diámetro del eje principal de la columna de dirección, se le aproxima a 5/8 pulg (12,07 mm), debido a que es el diámetro disponible en el catálogo "Productos de Acero DIPAC".

La columna de dirección consta de tres juntas universales, las mismas que deben tener un diámetro interno 5/8 pulg, de tal manera que se acoplan al eje de la columna.

Una vez obtenido la medida real del eje primario de la columna de dirección, se procede a seleccionar el eje secundario de la columna de dirección de 3/4 pulg de diámetro, este aumento del diámetro se realiza para adaptar la base del volante con eje secundario, con el fin de conseguir una fijación óptima del volante de dirección

De acuerdo a la ubicación del sistema de dirección en el Prototipo Solar, se requiere que el eje principal sea de una longitud de 500 mm y el eje secundario sea de 200 mm, de manera que el volante quede ubicado en una posición adecuada, para que no obstruya la visión del conductor.

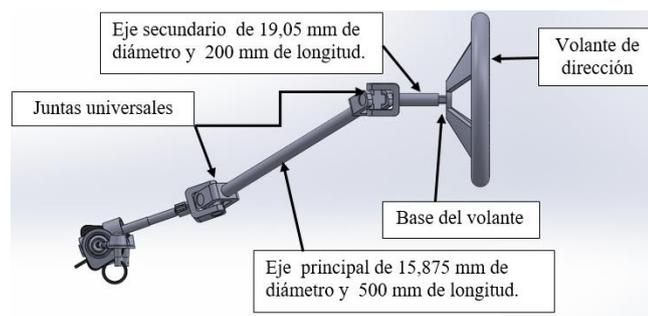


Figura 8-3: Dimensiones de los ejes de la columna de dirección.

Realizado por: Autores

A continuación, se calcula el ángulo de torsión del eje principal y secundario, con el fin de comprobar la resistencia de los ejes al par de torsión que se produce en la columna de dirección. (Mott, 2009)

Para el cálculo del ángulo de torsión del eje principal se utiliza la ecuación 25, el eje tiene un diámetro de 5/8 pulg (15.875 mm) y una longitud de 225 mm. (Mott, 2009)

$$\theta = \frac{T * l}{J * G} \quad (25)$$

Para encontrar el Momento polar de inercia (J) reemplazamos los datos en la (ecuación 19).

$$J = \frac{\pi * (15.875mm)^4}{32}$$

$$J = 6,235 E^{-9} m^4$$

Con el valor de Momento polar de inercia (J) encontrado se reemplaza en la ecuación 25 para encontrar el ángulo de torsión del eje primario.

$$\theta = \frac{(15,98 Nm)(0,5 m)}{(6,235 E^{-9} m^4)(79,3 E^9 N/m^4)}$$

$$\theta = 0.0161 rad$$

$$\theta = 2,90^\circ$$

Para el cálculo del ángulo de torsión del eje secundario se utiliza la (ecuación 25), este eje tiene un diámetro de 3/4 pulg (19,05 mm) y una longitud de 200 mm. (Mott, 2009)

Para encontrar el valor del Momento polar de inercia (J) reemplazamos los datos en la ecuación 19:

$$J = \frac{\pi * (19,05mm)^4}{32}$$

$$J = 12,93E^{-9} m^4$$

Con el valor de Momento polar de inercia (J) encontrado, se reemplaza en la (ecuación 25) para encontrar el ángulo de torsión del eje secundario.

$$\theta = \frac{(15,98 Nm)(0,2 m)}{(12,93 E^{-9} m^4)(79,3 E^9 N/m^4)}$$

$$\theta = 0,0031 rad$$

$$\theta = 0.56^\circ$$

En conclusión tenemos que eje principal y el eje secundario sufren una distinta deformación de $2,90^\circ$ y 0.56° , debido a la diferencia de longitudes de los ejes, de manera que el par de torsión que existe en la columna de dirección de $15,98 Nm$, no va a ocasionar fallas en el funcionamiento.

3.3.2. Selección de las juntas universales de la columna de dirección

Para la selección de las juntas universales de la columna de dirección, se toma a consideración el torque aplicado a la cremallera, ya que este es el que produce el sistema de dirección seleccionado para girar las ruedas.

Se selecciona dos juntas universales del catálogo Rodavigo con las siguientes características: (Rodavigo, 2003)

Tabla 34-3: Datos generales del catálogo Rodavigo de las juntas universales

Juntas universales código C3 (ANEXO C)	Valor
Velocidad máxima	1000 rpm
Par de rotura	$\geq 220 Nm$
Ángulo de giro máximo	34°
Diámetro externo	$\varnothing = 42 mm$
Diámetro de agujeros internos sin apriete	$\varnothing i = \frac{5}{8} in$
Numero de dientes del estriado.	36

Fuente: (Rodavigo, 2003)

Realizado por: Autores

Las juntas universales seleccionadas van a resistir los esfuerzos que se aplican en la columna de dirección, ya que la junta seleccionada tiene un par de rotura $\geq 220 N.m$, y la columna de transmisión transmite un par $15,98 Nm$; por lo tanto la junta universal seleccionada es viable para acoplar a la columna de dirección.

3.3.3. Selección de chumaceras

El peso de los ejes de la columna y del volante va ser resistido por rodamientos de las chumaceras, por cual se tiene que seleccionar la más adecuada para el sistema.

$Peje = \text{Peso del eje (Kg)}$

$Pvolante = \text{Peso del volante (Kg)}$

Para transmitir la fuerza del volante hacia la cremallera, El eje secundario tiene una inclinación de 10° con respecto al eje Y.

$$Peje = 0,65 \text{ Kg} * 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$Peje = 6,376 \text{ N}$$

$$Pvolante = 0,9 \text{ Kg} * 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$Pvolante = 8,809 \text{ N}$$

Descomponiendo los pesos diagrama de cuerpo libre del eje secundario se obtiene la cargas en el eje x e y .

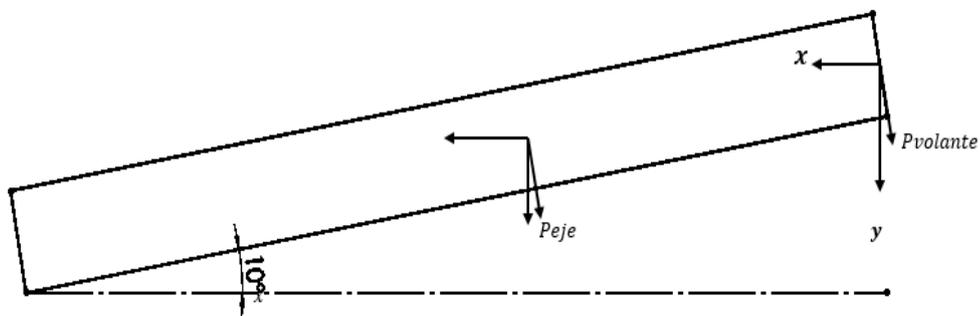


Figura 9-3: Diagrama de cuerpo libre del eje secundario

Realizado por: Autores

$$Peje x = 6,376 \text{ N} * \text{sen}10^\circ$$

$$Peje x = 1,11 \text{ N}$$

$$Peje y = 6,376 \text{ N} * \text{cos}10^\circ$$

$$Peje y = 6,30 N$$

$$Pvolante x = 8,809 N * \text{sen}10^\circ$$

$$Pvolante x = 1,529.66 N$$

$$Pvolante y = 8,809 N * \text{cos}10^\circ$$

$$Pvolante y = 8,675 N$$

Para conocer que carga debe soportar la chumacera se realiza la distribución el eje Y.

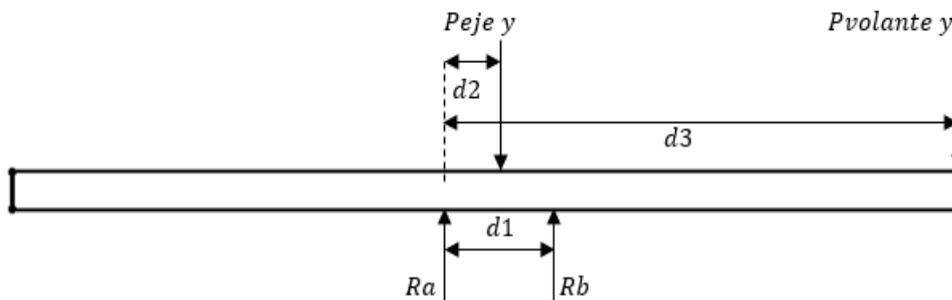


Figura 10-3: Distribución de cargas en el eje Y

Realizado por: Autores

$$Ma = 0$$

$$Rb * d1 - Peje y * d2 - Pvolante y * d3 = 0 \quad (26)$$

$$Rb * 30 \text{ mm} - 6,376 N * 15 \text{ mm} - 8,675 N * 100 \text{ mm} = 0$$

$$Rb = 32,10 N$$

$$Fy = 0$$

$$Peje y + Pvolante y - Ra - Rb = 0 \quad (27)$$

$$6,30 N + 8,675 N - Ra - 32.10 N = 0$$

$$Ra = 17,125 N$$

3.3.3.2. Diseño de las chumaceras a carga estática

Según el catalogo SKF las chumaceras deben cumplir con el siguiente

$$Co_{req} \leq Co_{disponible}$$

$$C_{o_{req}} = \frac{2P_o}{F_t} \quad (27)$$

Donde

$C_{o_{req}}$ = Capacidad de carga requerida (KN)

P_o = Carga estática equivalente (KN)

F_t = Factor de temperatura

La carga estática equivalente se calcula con la siguiente ecuación.

$$P_o = 0,6Fr + 0,5Fa \quad (28)$$

Donde

Fr = Carga radial (KN)

Fa = Carga axial (KN)

Como el eje secundario no va a desplazarse a lo largo del eje x no se toma en cuenta la carga axial, pero si gira, por lo cual para cargas radiales se toma el valor de fuerza de R_b .

$$P_o = 0,6Fr + 0,5Fa$$

$$P_o = 0,6 * 32,10 N$$

$$P_o = 19,26 N$$

$$P_o = 0,0192 KN$$

Según el catalogo SKF para mecanismos que trabajan a temperaturas menores que 150°C se tiene un factor de temperatura de 1.

$$C_{o_{req}} = \frac{2P_o}{F_t}$$

$$C_{o_{req}} = \frac{2 * 0,0192 KN}{1}$$

$$C_{o_{req}} = 0.0384 KN$$

Con el eje principal de 5/8 pulg (15.875 mm) y una capacidad de carga de 0.0384 KN, se selecciona dos chumaceras (ANEXO D).

Según el catalogo KMK, se selecciona la chumacera UCP 202-10 que tiene un diámetro de 5/8 pulg y una capacidad de carga de 6,650 KN, la cual cumple con requisitos necesarios del vehículo solar.

3.4. Diseño del sistema de dirección en el vehículo solar

Después de haber seleccionado los elementos principales del sistema de dirección, se realiza el diseño final, conforme al dimensionamiento de la estructura del vehículo solar, la misma que cumple con las exigencias y requerimientos del Reglamento de las Bases de la “Carrera Solar Atacama”.



Realizado por: Autores

Figura 11-3: Diseño del sistema de dirección en el vehículo solar

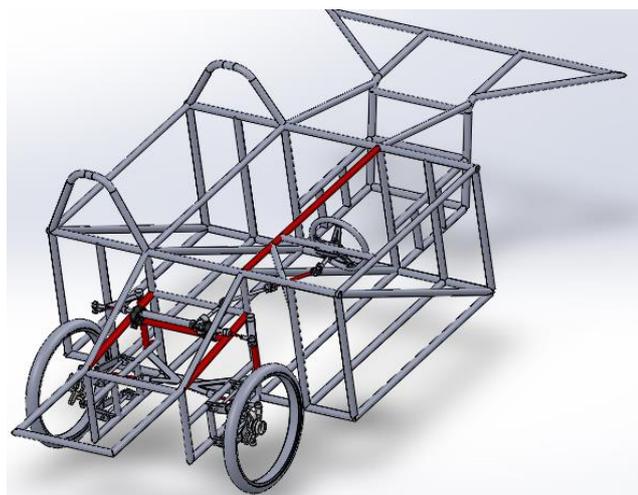


Figura 12-3: Implementación del sistema de dirección en el vehículo solar

Realizado por: Autores

3.5. Análisis de los elementos del sistema de dirección

Una vez obtenido el diseño y finalizado los respectivos cálculos se procede a realizar un análisis en los diferentes elementos del sistema de dirección, con el propósito de comprobar si es capaz de soportar la fuerza que se transmite desde el volante hacia las ruedas.

Los respectivos análisis se realizan mediante un software de simulación (ANSYS), en el cual se observará el comportamiento y la resistencia del material de los diferentes elementos del sistema de dirección y de esta manera obtener un sistema eficiente, seguro y viable para su construcción.

En los análisis se considera la calidad de mallado, Ansys Meshing nos recomienda para obtener datos fiables de los respectivos análisis, se debe tener un promedio de calidad de malla (Element Quality) entre 0,8 a 1. (Ansys, 2013)



Unacceptable	Bad	Acceptable	Good	Very good	Excellent
0-0.001	0.001-0.14	0.15-0.20	0.20-0.69	0.70-0.95	0.95-1.00

Figura 13-3: Calidad de mallado

Fuente: (Ansys, 2013)

3.5.1. Análisis en los Mecanismos de accionamiento de la dirección

El diseño de los Mecanismos de accionamiento de la dirección presenta un promedio de calidad de mallado de 0,83; el mismo que se encuentra dentro del rango establecido por Ansys Meshing

Quality	
Check Mesh Qua...	Yes, Errors
Error Limits	Standard Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Element Quality
<input type="checkbox"/> Min	8,4211e-002
<input type="checkbox"/> Max	1,
<input type="checkbox"/> Average	0,83009
<input type="checkbox"/> Standard Devi...	0,10527

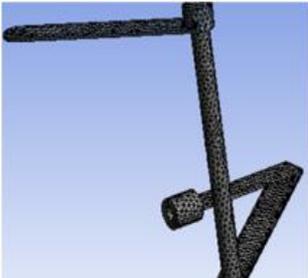


Figura 14-3: Calidad de mallado del Mecanismos de accionamiento de la dirección

El análisis consiste en observar el comportamiento y la resistencia del mecanismo de accionamiento de la dirección, al aplicar la fuerza máxima de 1278,69 N que transmite la cremallera hacia las ruedas en dirección longitudinal.

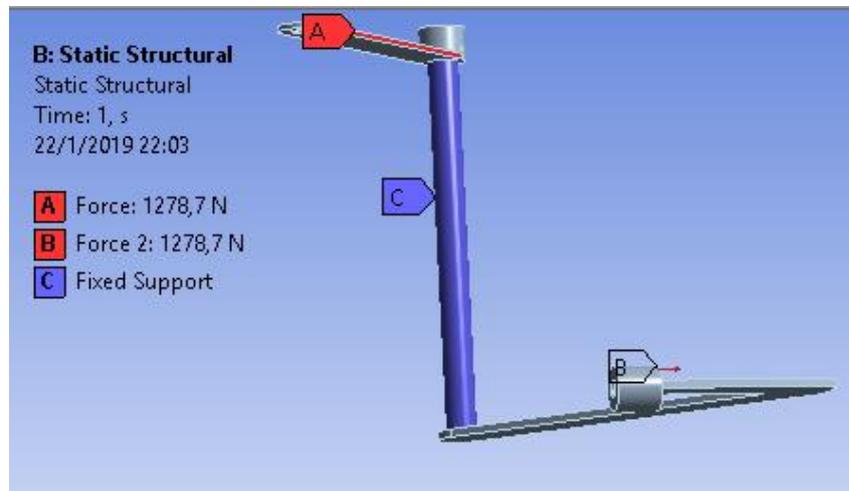


Figura 15-3: Aplicación de fuerzas

Realizado por: Autores

3.5.1.2. Mecanismo Derecho

- a. Deformación total de (1,73 mm)

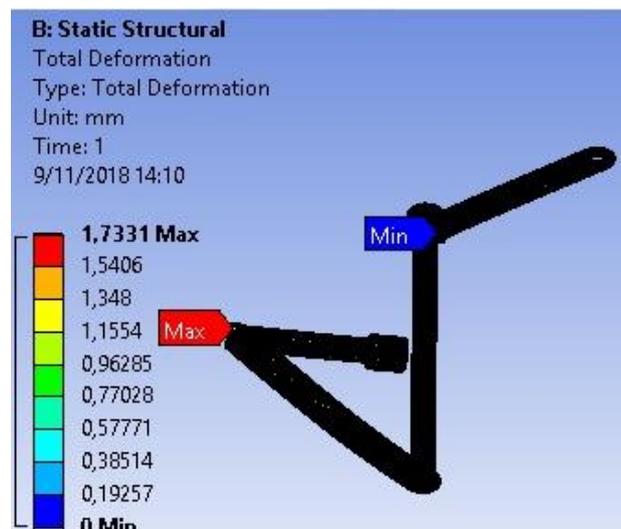


Figura 16-3: Deformación total

Realizado por: Autores

b. Factor de Von Mises (130,41 MPa)

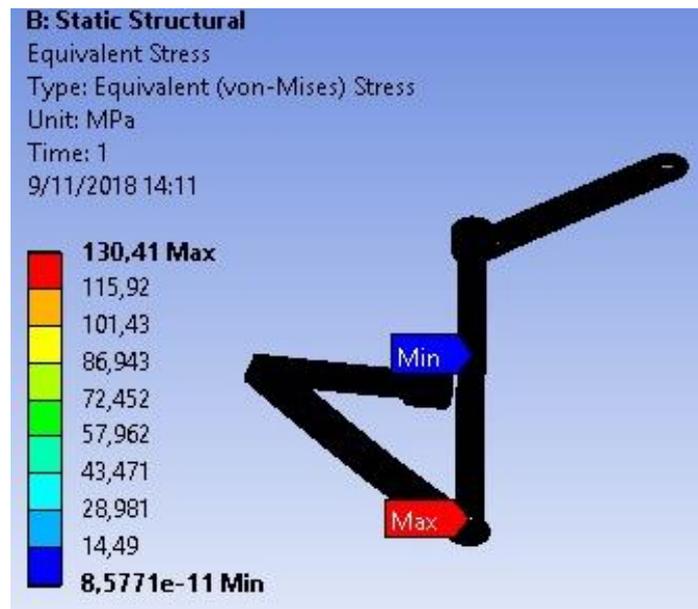


Figura 17-3: Factor de Von Mises

Realizado por: Autores

c. Factor de seguridad (3,45)

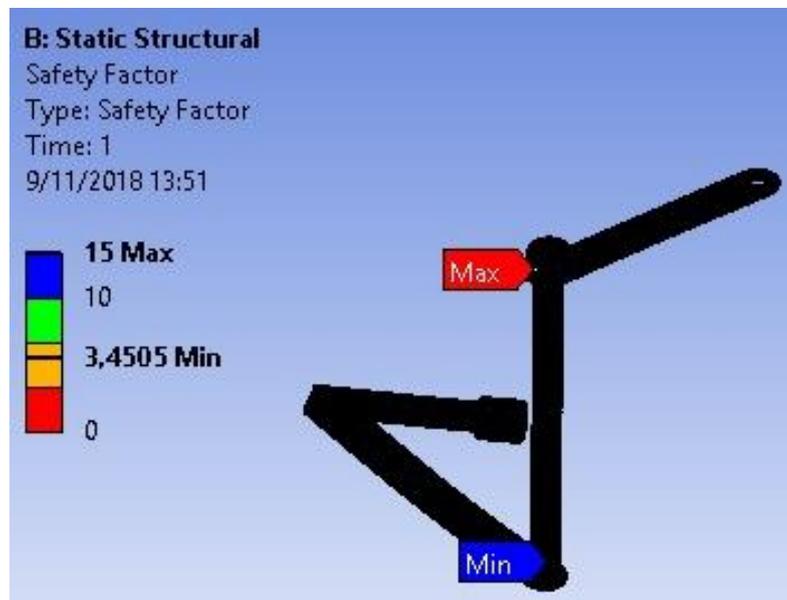


Figura 18-3: Factor de seguridad

Realizado por: Autores

d. Factor de seguridad a fatiga (1,32)

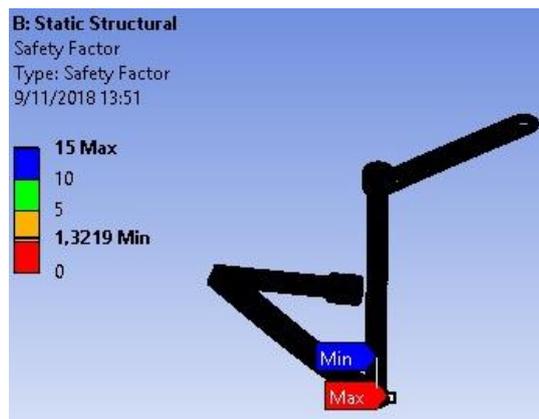


Figura 19-3: Factor de seguridad

Realizado por: Autores

Al aplicar una fuerza de 1278,69 N en el mecanismo de accionamiento derecho se observa deformación total menor a 2 mm, lo cual no influye en su funcionamiento, así también se tiene un esfuerzo máximo menor a la resistencia del material, un factor de seguridad estático mayor a 3, y un factor de seguridad sometido a fátiga mayor a 1, con lo cual se considera que es mecanismo de accionamiento es bien diseñado y no va sufrir fallas cuando el prototipo solar esté en funcionamiento.

3.5.1.3. *Mecanismo Izquierdo*

a. Deformación total (1,67 mm)

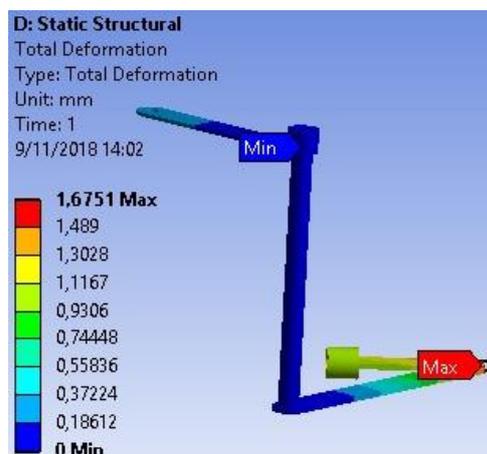


Figura 20-3: Deformación total

Realizado por: Autores

b. Factor de Von Mises (149.57 MPa)

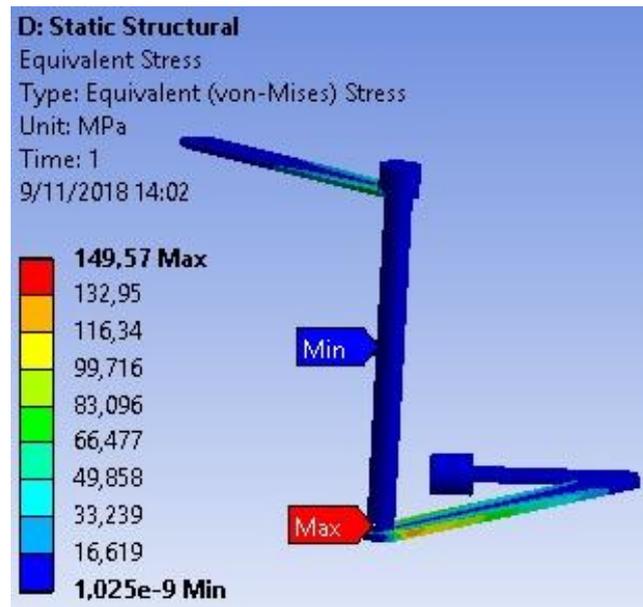


Figura 21-3: Factor de Von Mises

Realizado por: Autores

c. Factor de seguridad (3,008)

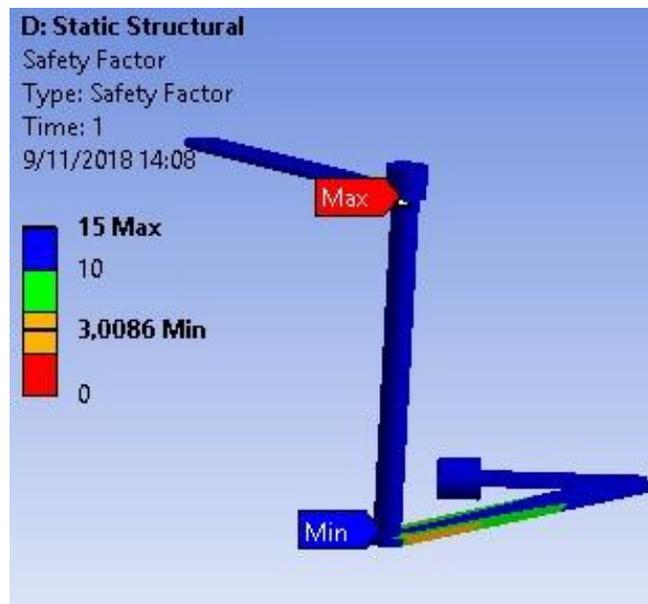


Figura 22-3: Factor de seguridad

Realizado por: Autores

d. Factor de seguridad a fatiga (1,15)

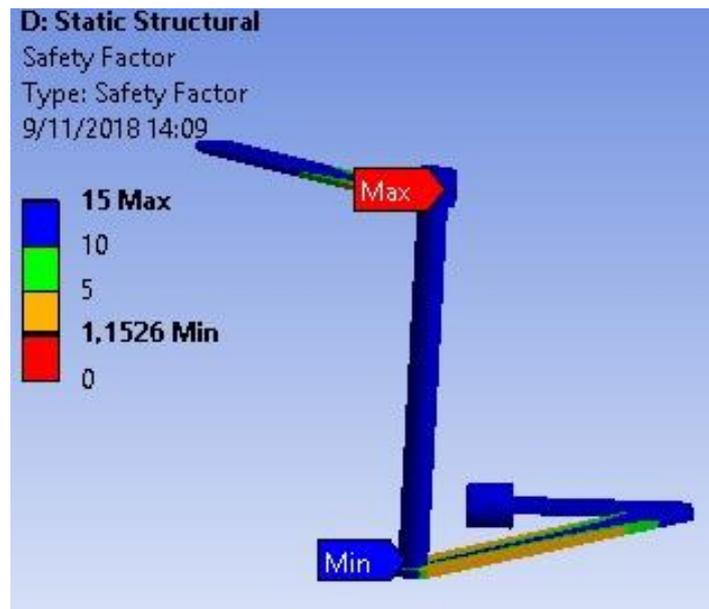


Figura 23-3: Factor de seguridad

Realizado por: Autores

El Mecanismos de accionamiento izquierdo de la dirección resiste la carga aplicada, ya que tiene un factor de seguridad mayor a 1, una mínima deformación y el esfuerzo máximo no sobrepasa a la resistencia del material AISI 1018. El mecanismo diseñado se considera que es factible para su construcción, ya que según los análisis realizados no va tener a fallar cuando el prototipo esté en funcionamiento.

CAPÍTULO IV

4. CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN

Después de haber realizado los respectivos análisis considerando el Reglamento De La Carrera Solar Atacama, el Reglamento N° 79 de la CEPE, el diseño y la selección de los elementos, por tanto, se procede a la implementación y construcción de los elementos del sistema de dirección del Vehículo Solar Atacama.

4.1. Implementación de los elementos del sistema de dirección

Conforme al diseño y al reglamento la Carrera Solar Atacama, se selecciona los elementos del sistema de dirección, que sean de fácil mecanizado, bajo peso, fácil adquisición y estén disponibles en el mercado nacional.

4.1.1. *Mecanizado de manguetas*

Se seleccionó las manguetas de un vehículo subcompacto de bajo peso; posteriormente se mecanizó las mismas en un torno y una fresadora, acorde a los planos del diseño realizado a fin de acoplarlo al diseño de la suspensión ya construida.



Figura 1-4: Implementación de manguetas

4.1.2. *Mecanismos de accionamiento de la dirección*

Debido al diseño y la ubicación de la cremallera, se realizó un mecanismo que sea capaz transmitir el movimiento en dirección longitudinal que emite la cremallera hacia las manguetas, evitando tener pérdidas mecánicas en el mecanismo de accionamiento que se necesita para girar las ruedas.



Figura 2-4: Implantación de Mecanismos de accionamiento de la dirección

Realizado por: Autores



Figura 3-4: Implantación de Mecanismos de accionamiento de la dirección

Realizado por: Autores

Para la soldadura de los elementos del mecanismo se utilizó un proceso MIG (Gas Inerte de Metal) en el cual se utilizó un proceso de soldado con electrodo desnudo y una protección por gas. El calor es generado por un arco de un electrodo consumible y el material que se va a soldar. (Rodríguez, 2001)

4.1.3. Implementación de la Cremallera

Se construyó un soporté, que sirve como base para la ubicación de la cremallera en el vehículo, posteriormente se sujetó la misma con abrazaderas de acero inoxidable, de manera que sea de fácil desmontaje y se pueda realizar sus respectivos mantenimientos.



Figura 4-4: Implementación de la Cremallera

Realizado por: Autores

4.1.4. Brazos de dirección

Se seleccionó los brazos de dirección acorde a la cremallera implementada, seguidamente se modificó su longitud de acuerdo al diseño y al dimensionamiento del Vehículo Solar Atacama.



Figura 5-4: Corte del Brazo de dirección

Realizado por: Autores

4.1.5. *Terminales*

Conforme al diseño de las manguetas y los brazos de dirección se seleccionó e implantó los terminales que permiten un fácil acoplamiento y transmisión del movimiento hacia las manguetas.



Figura 6-4: Terminales seleccionados

Realizado por: Autores

4.1.6. *Columna de dirección*

De acuerdo a los planos del diseño de la columna de dirección, se mecanizo el eje primario y secundario utilizando un torno y una sierra trazadora afín de obtener las mediadas deseadas.



Figura 7-4: Selección de la Columna de dirección

Realizado por: Autores



Figura 8-4: Implementación de la Columna de dirección

Realizado por: Autores

Con los ejes mecanizados se procede a realizar el montaje de la columna de dirección utilizando juntas universales para la unión en sus extremos, a la vez se implementó tres chumaceras que sirven como soporte de la columna de dirección, ya que está diseñada de manera que se colapse en caso de un accidente, la misma que cumple con las exigencias del Reglamento de la Carrera Solar Atacama.



Figura 9-4: Implementación de la columna de dirección

Realizado por: Autores

4.1.7. Volante

Se procede al montaje del mismo, para lo cual se diseñó una base en el extremo de la columna de dirección, la cual permite un acople fijo del volante.



Figura 10-4: Implementación del soporte para el volante

Realizado por: Autores



Figura 11-4: Implementación del volante

Realizado por: Autores

4.2. Alineación Del Vehículo

El proceso de alineación de un vehículo es de suma importancia ya sea para autos de competición, vehículos convencionales y prototipos, puesto que permite un mejor desempeño y maniobrabilidad además que mejora la vida útil de los elementos de la suspensión y los neumáticos. Una mala alineación conlleva a un desgaste prematuro de los elementos donde lo más evidente a simple vista es la banda de rodadura de los neumáticos.

4.2.1. Procedimiento

4.2.1.1. Revisar las especificaciones

En el caso de este vehículo al ser un prototipo no posee un procedimiento de alineación del sistema de dirección en específico, por lo que se debe tomar en cuenta los valores y ángulos recomendados de forma general, considerando ciertos parámetros como el tipo de suspensión, la distancia entre ejes, la batalla, etc.

4.2.1.2. Verificación la presión de los neumáticos

Esto es de suma importancia ya que, si la presión no es correcta o no es la misma en todos los neumáticos, esto conlleva a un mal desempeño del vehículo y desgaste inadecuado de la banda de rodadura, además para iniciar el proceso de alineación este es un requerimiento fundamental.

Es recomendable inflar al 80% de la presión máxima que soporta el neumático, la misma que esta especificada en el costado del neumático.

4.2.1.3. Verificación los terminales de la dirección

Inspeccionar que el mecanismo del brazo de dirección y el ensamble del terminal que une a la mangueta no este desgastado o dañado, a su vez inspeccionar las rótulas que estén debidamente lubricadas y estén trabajando correctamente.



Figura 12-4: Terminal de la dirección

Realizado por: Autores

4.2.1.4. Verificación el eje direccional y el ángulo de inclinación (Camber)

La inclinación del eje direccional representa la relación de los puntos de pivote o giro de la masa (Rueda), el mismo que está formado por una línea dibujada a través de los puntos superior e inferior del giro de la rueda y una línea vertical que parte del punto del giro de la rueda. (HUNTER, 2015)



Figura 13-4: Camber

Realizado por: Autores

Para ajustar el camber del prototipo se debe ajustar o aflojar las dos tuercas de los terminales de las rótulas, que sujetan las manguetas.



Figura 14-4: Tuercas de los terminales

Realizado por: Autores

Observar que la línea vertical trazada sea casi perpendicular es decir que un ángulo inferior a 1° , con respecto a la línea trazada en la base de giro de la rueda.



Figura 15-4: Ajuste del camber

Realizado por: Autores

4.2.1.5. *Convergencia y divergencia*

Si se observa que las dos ruedas delanteras desde la parte superior del vehículo generan una proyección hacia adelante, y si cada una de ellas se intersecan y forman un ángulo, esto se lo denomina convergencia, en el caso opuesto se le denomina divergencia. (Toyota Motor Corporation, 2013)

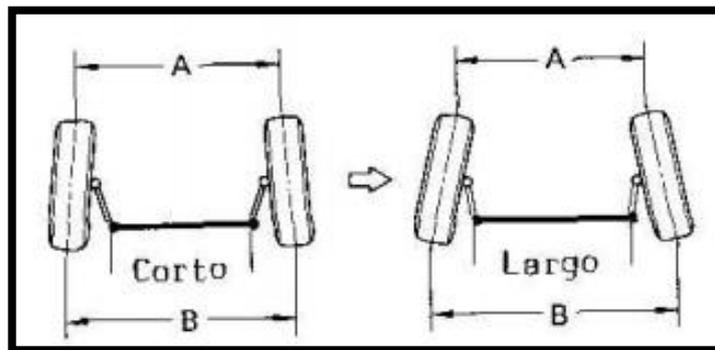


Figura 16-4: Convergencia - Divergencia

Realizado por: Autores

4.2.1.5.2. *Ángulo de convergencia*

Para realizar el proceso de regulación de la convergencia se debe variar la longitud de los brazos de la dirección, los cuales están diseñados específicamente para realizar este proceso.

Se debe aflojar o ajustar la rosca que posee el brazo de la dirección el cual se acopla al terminal, hasta obtener una convergencia entre más de 0.10° y menos $8,55^\circ$.



Figura 17-4: Ajuste del brazo de la dirección

Realizado por: Autores

La longitud de los dos brazos de la dirección deberá ser la misma, caso contrario se tendrá una regulación incorrecta en el ángulo de giro.

4.3. Control de Mantenimiento del sistema de dirección

Para mantener el sistema de dirección en buenas condiciones para su funcionamiento se procede a localizar las averías que se originan en el sistema y así dar sus respectivas soluciones

4.3.1. *Juego en el volante*

Si se presenta juego excesivo en el volante de dirección puede ocasionar un desgaste inadecuado de los neumáticos y perder el control del vehículo, esto puede ocurrir debido a que los elementos del sistema de dirección estén flojos o desgastados.

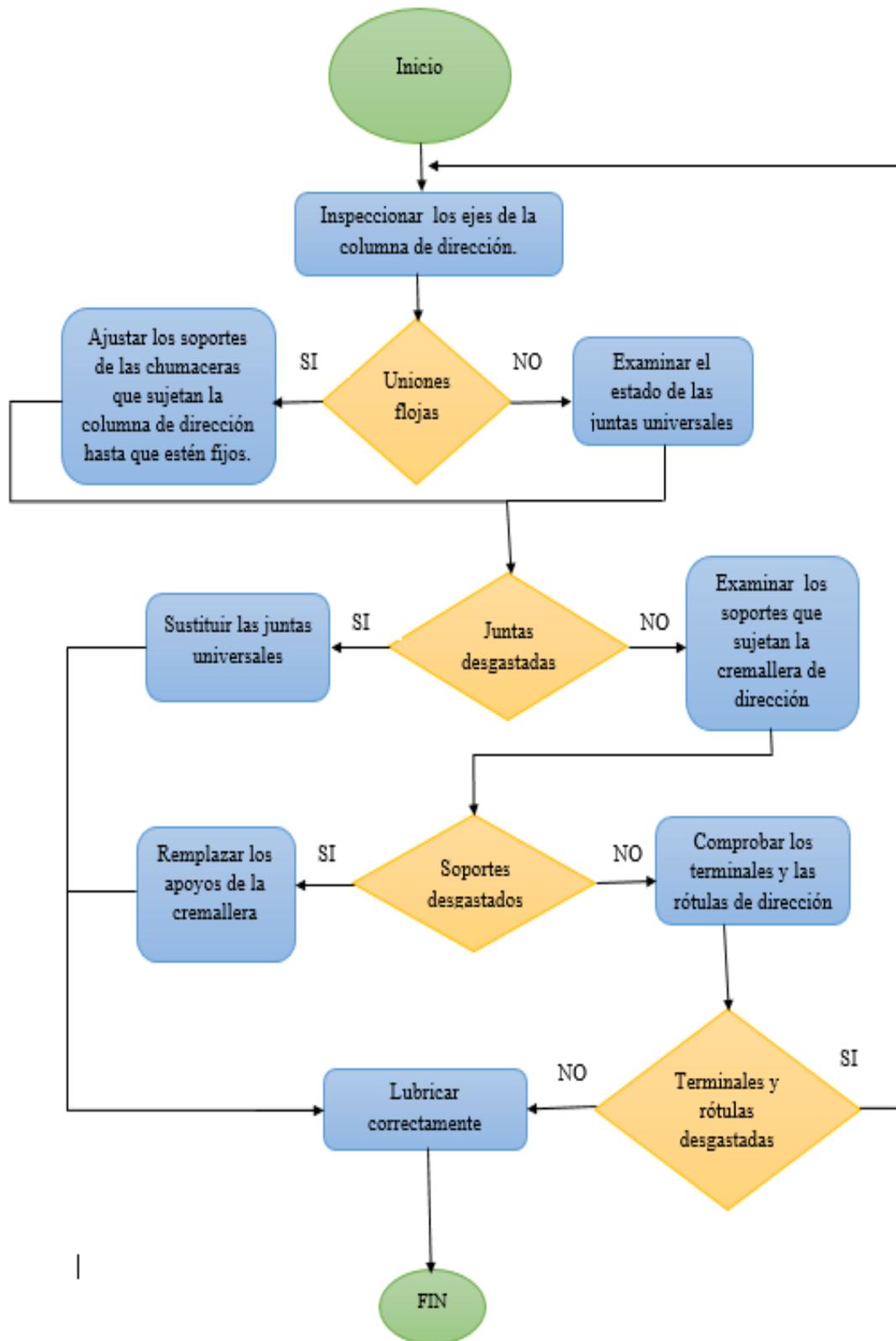


Figura 18-4: Diagrama de flujo de averías cuando existe juego excesivo en el volante

Realizado por: Autores

4.3.2. Dirección demasiado dura al conducir

En el caso que la dirección presente una gran resistencia para girar las ruedas, se debe analizar las posibles averías que causan este problema en el sistema de dirección y así dar sus respectivas soluciones.

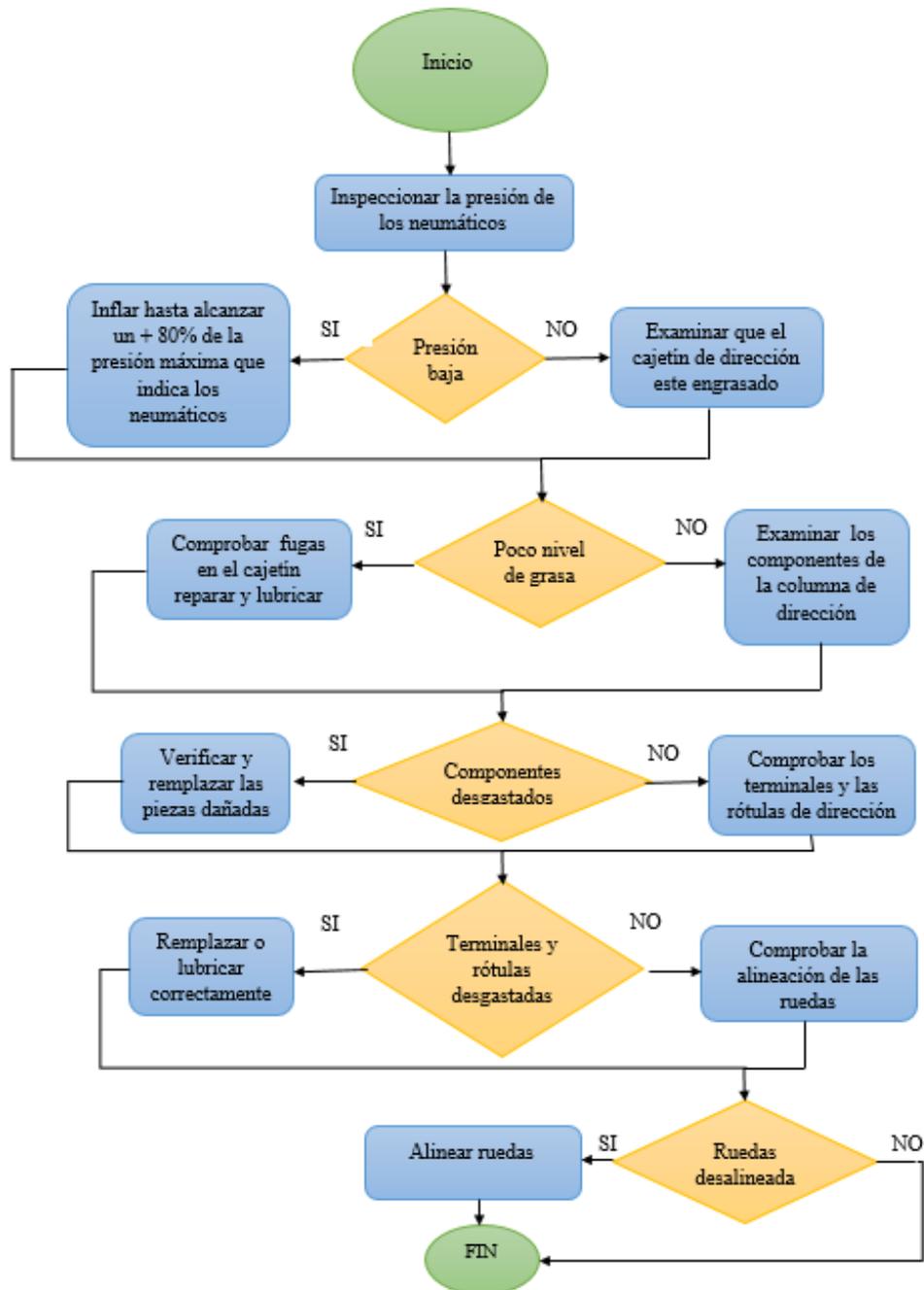


Figura 19-4: Diagrama de flujo de averías cuando la dirección es demasiado dura

Realizado por: Autores

4.3.3. Inestabilidad al conducir

Cuando el conductor realiza una maniobra y el vehículo tiende a tomar una dirección contraria a la realizada, de manera que el conductor debe realizar un esfuerzo mayor para controlar el vehículo y tome la dirección adecuada. La inestabilidad también se produce por la dirección dura y el juego excesivo en el volante, para lo cual se obtiene las averías y soluciones posibles que se encuentre en el sistema.

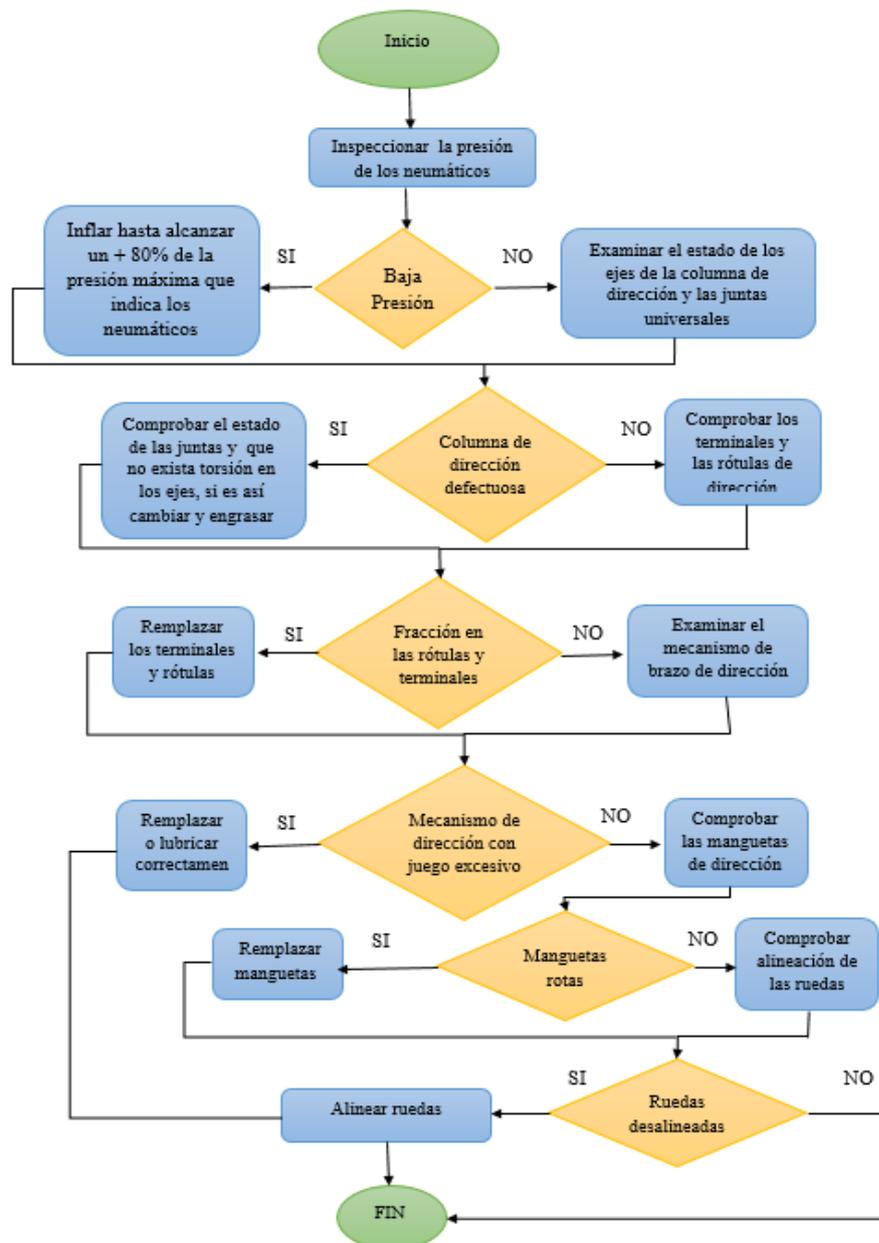


Figura 20-4: Diagrama de flujo de averías cuando existe inestabilidad de la dirección

4.3.4. Sacudidas del volante

Puede producirse por las irregularidades de la calzada, si existen muchas sacudidas en el volante verificar los elementos del sistema e identificar las posibles averías y soluciones a fin de obtener una dirección estable y así controlar el vehículo.

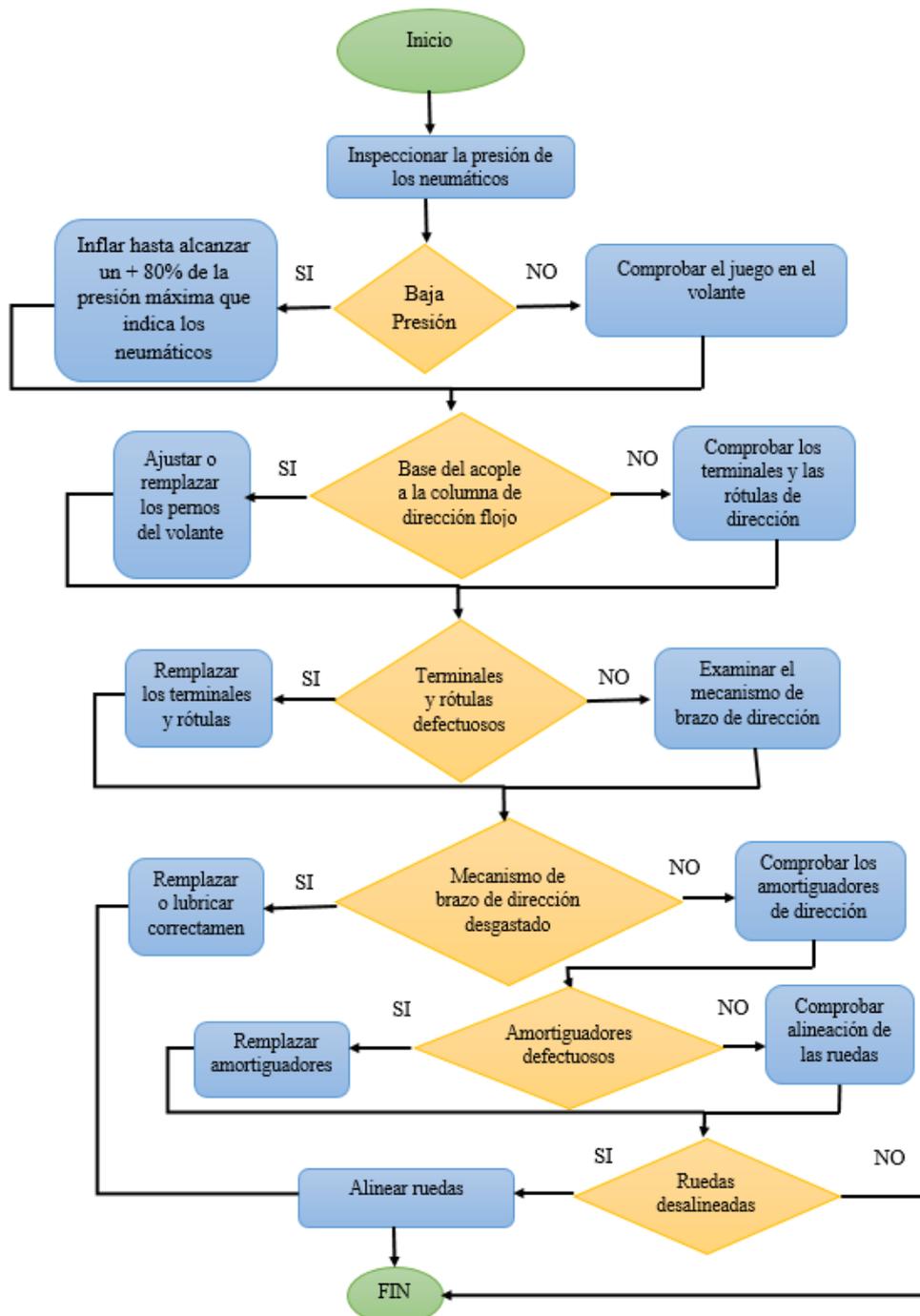


Figura 21-4: Diagrama de flujo de averías cuando existe sacudidas en el volante

4.3.5. Mantenimiento del mecanismo piñón-cremallera de dirección

Por lo general; en el mecanismo piñón- cremallera la falla común que puede existir es la rotura de los dientes del mecanismo, el cual procede un rozamiento excesivo entre los elementos cuando se gira el volante de dirección, lo que ocasiona mucho ruido y pérdida del control de la dirección del vehículo.

En la figura 22-4, se observa los pasos para el mantenimiento del mecanismo piñón – cremallera.

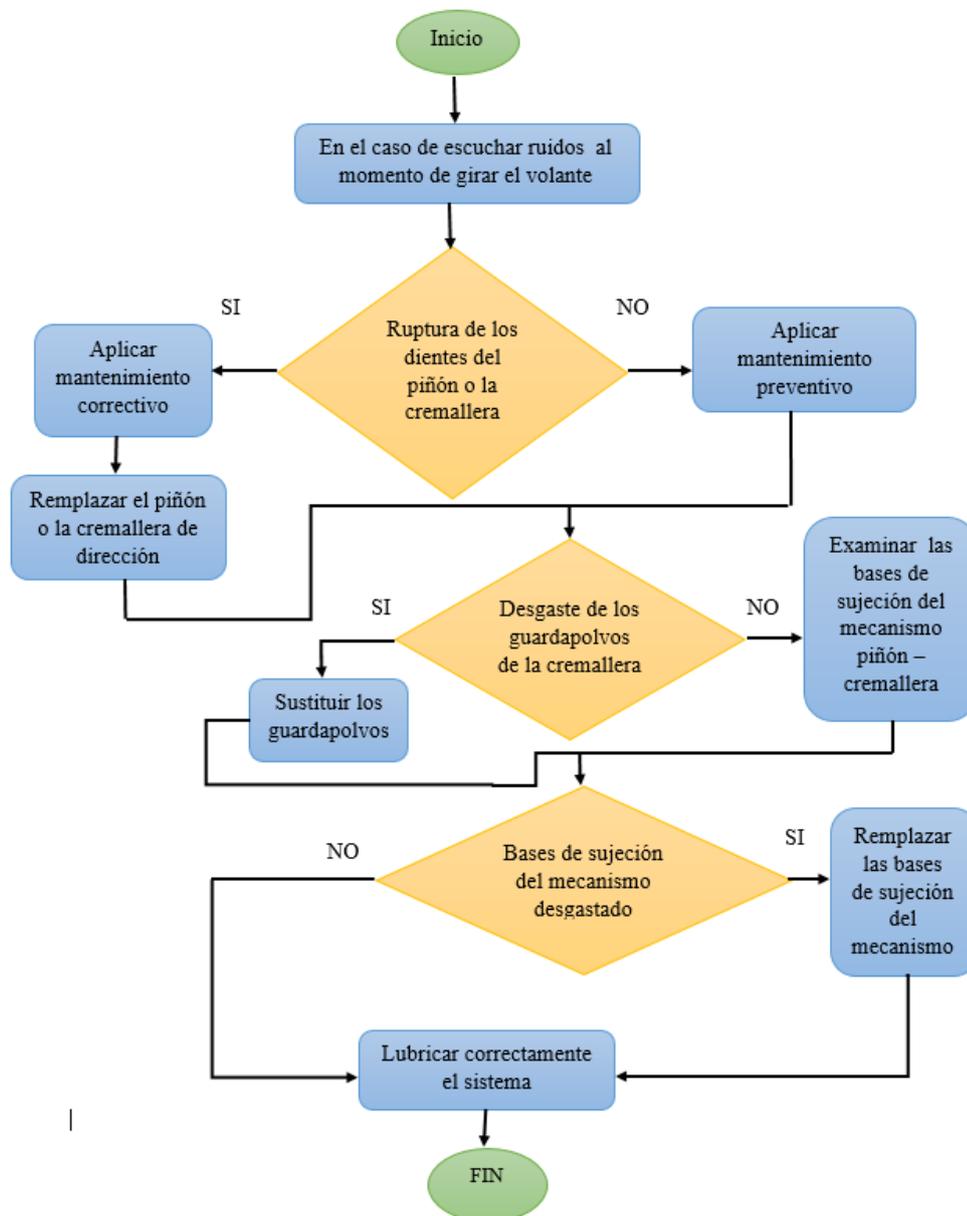


Figura 22-4: Diagrama de flujo del mantenimiento del piñón – cremallera

4.3.6. Control del mantenimiento de las chumaceras

Una mala lubricación de los rodamientos de las chumaceras, produce que la fricción aumente provocando fisuras o rotura de los rodamientos, para lo cual se detalla los pasos para dar un adecuado mantenimiento a los rodamientos de las chumaceras.

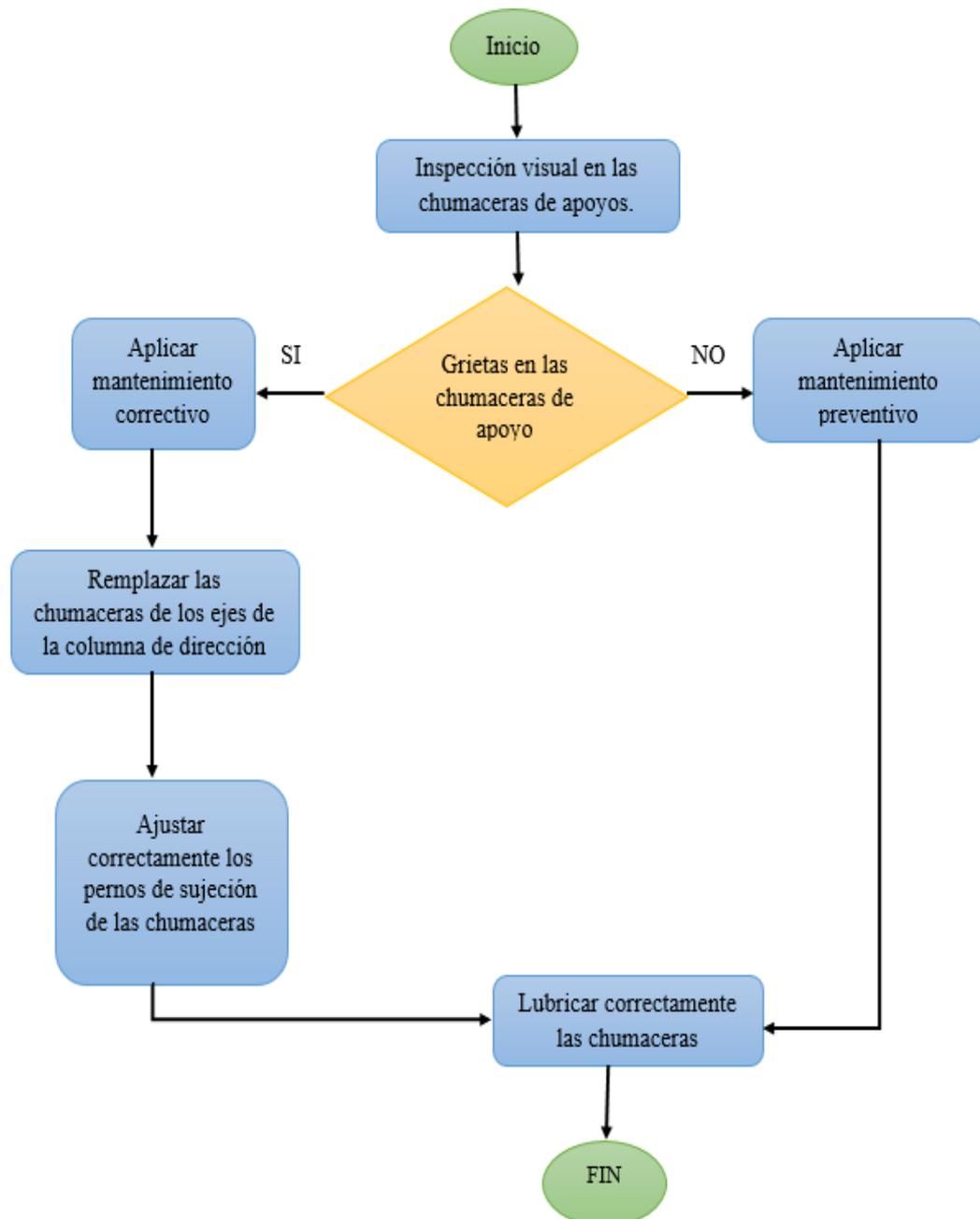


Figura 23-4: Diagrama de flujo del mantenimiento de las chumaceras

4.3.7. *Mantenimiento del mecanismo del brazo de dirección*

Es importante realizar una inspección del mecanismo del brazo de dirección, ya que puede existir desgaste del mismo, o su vez pueda estar doblado o tener fisuras en los puntos de soldadura, lo que ocasiona vibración y pérdida del control de la dirección del vehículo.

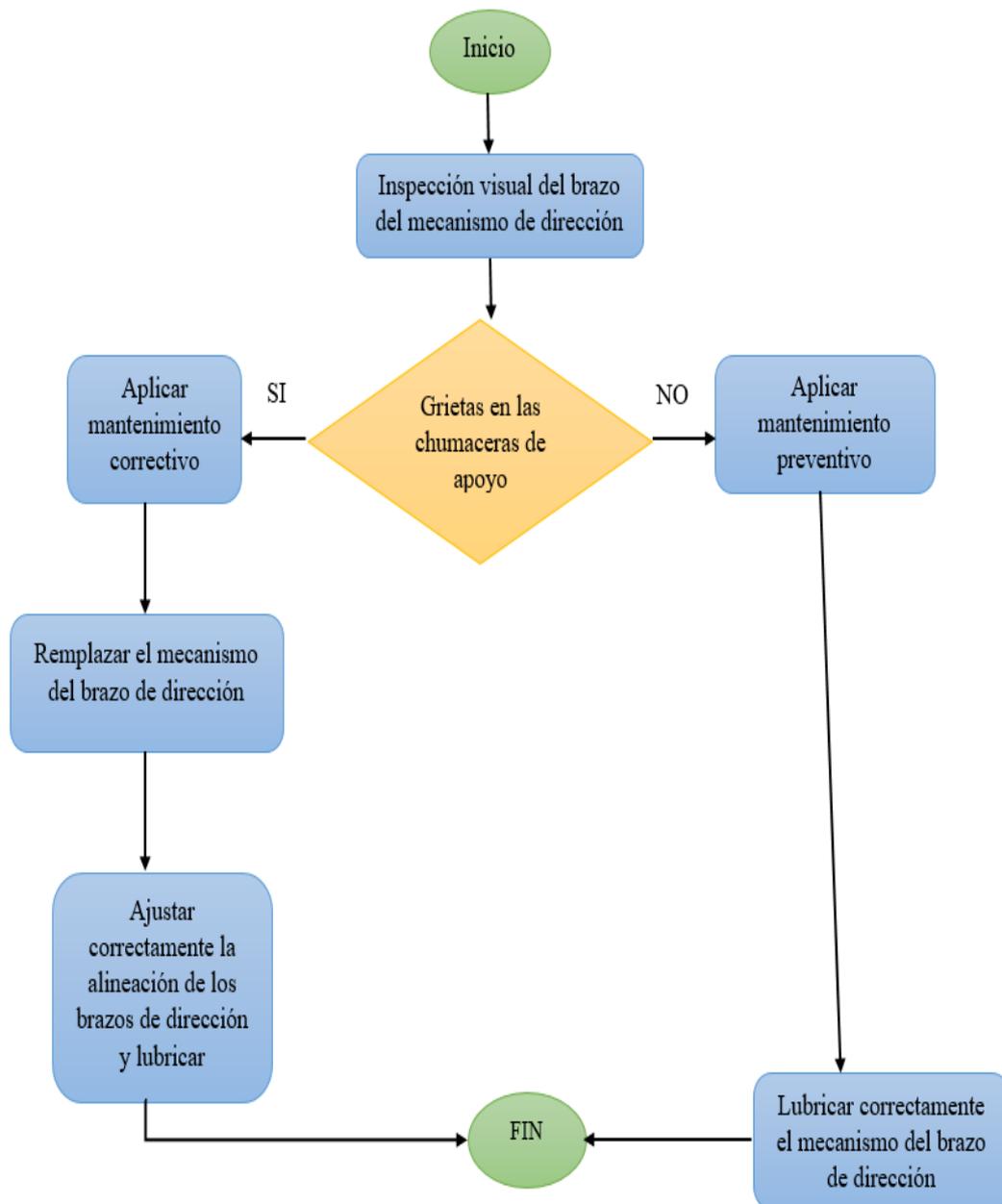


Figura 24-4: Diagrama de flujo del mantenimiento del brazo de dirección

Realizado por: Autores

4.3.8. Control de mantenimiento de las rótulas de dirección

La vibración en el volante al instante de la conducción, se produce debido a la fricción y el esfuerzo que existe en las rótulas de dirección.

En la figura 25-4 se presenta los pasos para el mantenimiento de las rótulas del sistema de dirección.

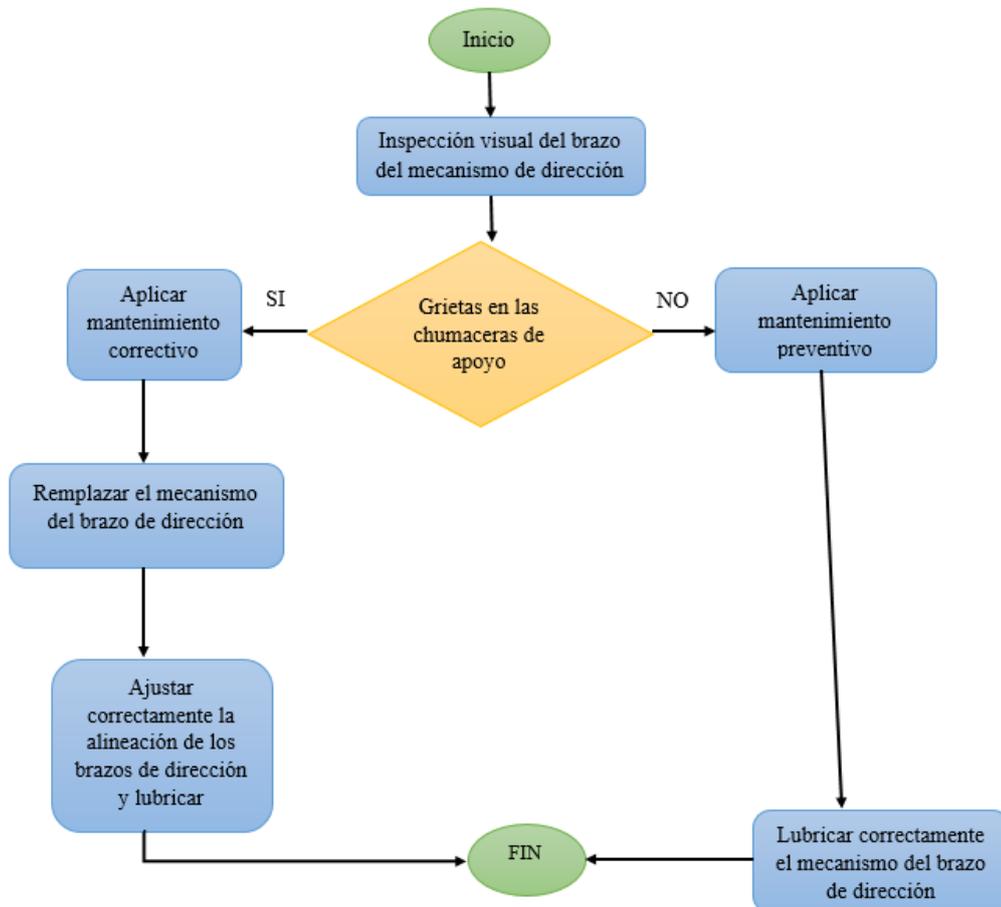


Figura 25-4: Diagrama de flujo del mantenimiento de las rótulas de dirección

Realizado por: Autores

4.4. Costos

En el diseño e implementación del sistema de dirección colapsable para un prototipo solar, intervinieron los costos directos e indirectos, los cuales son los gastos que influyen en el desarrollo del proyecto de titulación.

4.4.1. Costos Directos

Tabla 1-4: Costos Directos

Cantidad	Descripción	Precio por unidad (USD)	Precio total (USD)
1	Cremallera	220,00	220,00
4	Terminales	10,00	40,00
4	Brazos de la dirección	15,00	60,00
2	Ejes de transmisión de 3/4 pulg.	25,00	50,00
2	Manguetas mecanizadas	110,00	220,00
4	Juntas universales	10,00	40,00
3	Chumaceras	8,00	24,00
6	Abrazaderas	1,80	10,80
1	Volante	80,00	80,00
20	Pernos, Tornillos	1,00	20,00
2	Tubo de aluminio 6061T6 (1 pulg. x 1/4)	60,00	120,00
1	Platinas de acero inoxidable	30,00	30,00
4	Discos de corte	2,00	8,00
12	Electrodos de acero inoxidable	3,200	38,40
2	Eje de acero de transmisión	20,00	40,00
2	Pasadores elásticos	1,50	3,00
Total			1004,20

Realizado por: Autores

4.4.2. Costos Indirectos

Tabla 2-4: Costos Indirectos

Descripción	Precio total (USD)
Transporte	200,00
Imprevistos	230,00
Documentación e investigación	300,00
Otros	450,00
Total	1180,00

Realizado por: Autores

4.4.3. Costos totales

Tabla 3-4: Costo total

Descripción	Precio (USD)
Costos directos	1004,20
Costos indirectos	1180,00
Costos total	2184,20

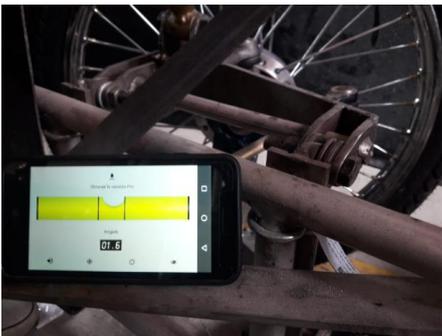
Realizado por: Autores

4.5. Pruebas

Para verificar si la construcción del sistema de dirección cumple con los requisitos necesarios de la Carrera Solar Atacama, se realiza la inspección visual y auditiva en condiciones estáticas y dinámicas.

4.5.1. Inspección visual y auditiva

Tabla 4-4: Pruebas estáticas en el sistema de dirección

Pruebas estáticas del Sistema de Dirección	
Proyecto: Sistema de Dirección	
<p>El sistema de dirección al aplicar una fuerza de $1278,69\text{ N}$ en la rueda en las condiciones estáticas, todos los elementos acoplados presentan deformaciones, por lo cual se toma las diferentes medidas de deformación.</p>	
Mecanismo de accionamiento superior del Sistemas de Dirección	
Área Examinada	Interpretación
	<p>El mecanismo superior al aplicar una fuerza de $1278,69\text{ N}$ en la rueda sufre una deformación $2,4$ grados, lo cual no influye en nada sobre el funcionamiento. Debido a que el mecanismo de accionamiento superior no presenta una deformación excesiva se considera como aceptable.</p>
Mecanismo de accionamiento superior del Sistemas de Dirección	
	<p>El mecanismo inferior al aplicar una fuerza de $1278,69\text{ N}$ en la rueda sufre una deformación $1,6$ grados, lo cual no influye en nada sobre el funcionamiento. El mecanismo de accionamiento inferior como no presenta una deformación excesiva se considera como aceptable.</p>

Realizado por: Autores

Tabla 5-4 (Continua): Pruebas estáticas en el sistema de dirección

Mecanismo de accionamiento superior del Sistemas de Dirección	
Área Examinada	Interpretación
	<p>Al aplicar una fuerza de 1278,69 N en la rueda, sufrió una deformación de 10 mm el mecanismo de accionamiento inferior, para realizar esta prueba se tomó como base una de altura 340 mm, de manera que se aplicó la fuerza el mecanismo se deformato hasta una altura de 350 mm. Debido a que el mecanismo de accionamiento inferior no presenta una deformación excesiva se considera como aceptable.</p>

Realizado por: Autores

Tabla 5-4: Inspección del Sistema de Dirección en la prueba de ruta

Pruebas dinámicas del Sistema de Dirección			
DESCRIPCIÓN	BUENO	REGULAR	MALO
Sistema de dirección alineado	X		
Sentimiento normal a la hora de girar el vehículo	X		
El vehículo anda recto en condiciones normales	X		
El vehículo no gira a los lados cuando se frenar	X		
Volante centrado	X		
No existen vibraciones o sonidos raros	X		

Realizado por: Autores

Tabla 7-5 (Continua): Inspección del Sistema de Dirección en la prueba de ruta

DESCRIPCIÓN	BUENO	REGULAR	MALO
No existen sonidos o vibraciones raros desde la ruedas o cuando se conduce	X		
No existen chirridos ni traqueteos desde el interior	X		
Ángulo de giro adecuado	X		
Magüetas apropiadas	X		
Mecanismos de accionamiento de la dirección funcionan adecuadamente	X		
Cremallera sin chirridos o vibraciones	X		
no existe juegos en los Brazos de dirección	X		
Terminales sin juego ni sonidos raros	X		
Crucetas de la Columna de dirección sin sonidos raros	X		
Estabilidad al conducir	X		
No existe sacudidas en el volante	X		
Dirección suave al conducir	X		

Realizado por: Autores

CONCLUSIONES

Para la selección del sistema de dirección, se utilizó el método de ponderación, en el cual se obtuvo que la mejor opción es la Dirección Mecánica con un Mecanismo Piñón – Cremallera, ya que este sistema es mucho más ligero en comparación a los demás, es de fácil mantenimiento, presenta un tamaño moderado, de bajo costo, seguro y estable, no requiere de una fuente de energía y sobre todo es viable para la implementación en el Vehículo Solar Atacama.

El diseño de la columna de dirección colapsable consta de un eje secundario de diámetro 19.05 mm con una longitud de 200 mm y un eje primario que está formado por la unión de dos ejes de diámetro 15.875 mm con una longitud de 225 mm, unidos con tres juntas universales, esto se lo realizó con el fin de formar una columna de dirección que se deforme rápidamente, evitando que el eje de la columna se proyecte hacia el pecho del conductor y de este modo brindar seguridad y confiabilidad en el caso de que el vehículo sufra un impacto.

El sistema de dirección del Vehículo Solar Atacama cuando está en funcionamiento no presenta vibraciones, ruidos extraños, no existen chirridos, ni traqueteos, pero al aplicarse una fuerza directamente a la rueda los mecanismos de accionamiento presentan deformación lo cual a altas velocidades o en irregularidades de la pista representan un riesgo.

Después de haber realizado la construcción del sistema de dirección, los mecanismos de accionamiento inferior y superior prestan deformaciones de 3 grados y 10 mm en sus extremidades, lo cual no influye su conducción en velocidades bajas, pero en velocidades altas afecta su estabilidad.

RECOMENDACIONES

Antes de realizar el diseño y la selección de los materiales, se debe tomar a consideración las respectivas normas o reglamentos, de esta manera saber cómo realizar nuestro proyecto de titulación.

Se debe continuar con el desarrollo del VEHÍCULO SOLAR ATACAMA, pero realizado los respectivas pruebas y análisis antes de la construcción e implementación de los elementos faltantes.

Antes de realizar el proyecto de titulación se debe tener en cuenta la disponibilidad de las máquinas, herramientas y del material, de esta manera evitar tener diseños que no son de fácil construcción.

Mantener siempre lubricados los mecanismos del sistema de dirección para evitar el deterioro prematuro de los elementos del sistema.

En posteriores rediseños se recomienda la disminución de elementos en el sistema de dirección ya que esto provoca pérdidas mecánicas, las cuales reducen la eficiencia en el diseño actual, el cual fue construido en base a los diseños del chasis y la carrocería.

BIBLIOGRAFÍA

Abasolo, Mikel; et al. *Guía Práctica de Elementos Finitos en Estática*. Madrid-España: Paraninfo, 2017, pp. 40-60.

Alonso Pérez, J. *Técnicas del Automóvil Chasis*. 8^{va} ed. Madrid-España: Paraninfo, 2010, pp. 207-300.

Alvares, F. “Método de los factores ponderados”, *Campusvirtual* [en línea], 2015, (España), pp. 1-5. [Consulta: 7 noviembre 2018]. Disponible en: https://campusvirtual.ull.es/ocw/pluginfile.php/5075/mod_resource/content/1/Problemas/Met-Local-Ponderado-ejemplo.pdf.

Ansys. “Lecture 07 Mesh Quality”. *Ansys 14.5* [en línea], 2013, (United State of America), pp. 2-17. [Consulta: 10 noviembre 2018]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/286040015/CFD-Pro-14-5-L07-Mesh-Quality>.

Calvo Martín, Jesús; & Miravete de Marco, Antonio. *Mecánica del Automóvil Actualizada*. Zaragoza-España: INO Reproducciones, 1997, pp. 180-181.

Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE). “Prescripciones uniformes relativas a la homologación de vehículos por lo que respecta al mecanismo de dirección”, *EUR-Lex. Reglamento no 79* [en línea], 2006, (España), pp. 1-7. [Consulta: 25 agosto 2018]. Disponible en: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/ALL/?uri=CELEX%3A42008X0527\(01\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/ALL/?uri=CELEX%3A42008X0527(01)).

DIPAC. “AISI 1018”. *Productos de ACERO* [en línea], 2016, (Ecuador), pp. 2-5. [Consulta: 6 septiembre 2018]. Disponible en: <http://www.dipacmanta.com/aisi-1018-transmission>.

Dirección General de Tráfico. *Sistema de Dirección Automotriz, Estructura Trayectoria y Funciones*. Madrid-España: Ministerio del Interior, 2016, pp. 20-80.

Fierros Clásicos. “Diferencias entre la Dirección Hidráulica y Asistida”. *Mundo Automotor* [en línea], 2015, (España), [Consulta: 3 septiembre 2018]. Disponible en: <https://fierrosclasicos.com/diferencias-entre-la-dirección-hidráulica-y-asistida/>.

González Martínez, Roberto. “Módulo CIRF (Sistemas de Dirección en Vehículos)”. *StudyLib* [en línea], 2009, (España), [Consulta: 27 agosto 2018]. Disponible en: <http://studylib.es/doc/91855/sistema-de-direcci%C3%B3n-en-veh%C3%ADculos>.

González, Tomás; et al. *Circuitos de fluidos. Suspensión y dirección*. Madrid-España: EDITEX, 2011, pp.10-80.

Hunter. *Diagnóstico Básico de Alineación de Ruedas*. Houston- United States: HUNTER, 2015, pp. 1-10.

Ruta Solar. *Bases de la Carrera Solar Atacama*. Santiago de Chile: Carrera Solar Atacama, 2018, pp. 20-60.

Luque, Pablo; et al. *Ingeniería del Automóvil y Comportamiento Dinámico*. Madrid-España: Paraninfo, 2005, pp. 40-88.

Martínez, Hermógenes Gil. *Manual del Automóvil Reparación y Mantenimiento (Suspensión, Dirección, Frenos, Neumáticos y Airbag)*. Madrid-España: CULTURAL, 2004, pp. 15-50.

Mott, Robert L. *Resistencia de Materiales Aplicada*. 5^{ta} ed. Ciudad de México: Pearson, 2009, pp. 194-226.

Rodavigo. “Juntas universales Tipo Cruceta”. *Suministros Industriales* [en línea], 2003, (España), pp.10-15. [Consulta: 6 septiembre 2018]. Disponible en: <https://rodavigo.net/catalogos/LASIOM/07%20Transmisi%C3%B3n/LASIOM%2003%20Juntas%20universales%20a%20cruceta.pdf>.

Rodríguez, Alberto. “Análisis Técnico - Columna de Dirección”. *AlbrodpulF1* [en línea], 2014, (México). [Consulta: 27 agosto 2018]. Disponible en: <https://albrodpulF1.wordpress.com/2014/09/23/análisis-técnico-columna-de-dirección/>.

Rodríguez, Pedro Claudio. *Manual de Soldadura (Soldadura Eléctrica, MIG y TIG)*. Buenos Aires-Argentina: Alsina, 2001. 950-553-095-1, pp. 18-42.

Sánchez, Emilio Velasco; et al. “El Sistema de Dirección”. *Ingeniería de Vehículos Automóviles* [en línea], 2013, (España). [Consulta: 27 agosto 2018]. Disponible en: <http://umh1796.edu.umh.es/wp-content/uploads/sites/272/2013/02/sistema-de-direccion-texto1.pdf>.

Volvo. “Qué son los coches solares y cómo funcionan”. *Tecvolución* [en línea], 2017, (Suecia). [Consulta: 28 agosto 2018]. Disponible en: <https://tecvolucion.com/que-son-los-coches-solares-y-como-funcionan/>.

Toyota Motor Corporation. *Alineamiento de Ruedas y Neumáticos*. Madrid-España: Toyota, 2013, pp.6-32.

Toyota Motor Corporation. “Manual de Sistema de Dirección Toyota – Componentes, Mecanismo e Inspección”. *Mecánica Automotriz* [en línea], 2013, (España). [Consulta: 24 agosto 2018]. Disponible en: <https://docs.google.com/file/d/0B4uwxwKUzRind3JGdnNLMT hON1E/edit>.

Toyota Motor Corporation. “Sistema Dirección”. *Motores Mantenimiento* [en línea], 2003, (España). [Consulta: 3 septiembre 2018]. Disponible en: <https://es.calameo.com/books/0031704936ef467815345>.

Vásquez Angulo, José Antonio. *Análisis y Diseño de Piezas de Maquinas con CATIA V5*. 2^{da} ed. Barcelona-España: Marcombo, 2012, pp. 42-75.