



**Proyecto Previo a la Obtención del Título de Ingeniero
Automotriz**

INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Autor: Daniel Alejandro Asqui Yáñez

Tutor: Ing. Edgar Gustavo Vera Puebla, Msc

**Simulación de Esfuerzos en la Cremallera de Dirección del
KIA Stonic 1.6 cc Bajo Carga de Impacto**

Aprobación del Tutor

Yo, Edgar Gustavo Vera Puebla certifico que conozco al autor del presente trabajo siendo responsable exclusivo tanto de su seguridad y autenticidad, como de su contenido.

Edgar Gustavo Vera Puebla, Msc

C.I.: 1715264105

Director del Proyecto

Certificación de Autoría

Yo, Daniel Alejandro Asqui Yáñez, con CI: 0959175662, declaro bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad intelectual, reglamento y leyes.

Daniel Alejandro Asqui Yáñez

C.I.: 0959175662

Dedicatoria

Dedicó a Dios este logro, también dedicó a mi madre Blanca Yáñez y a mi padre César Asqui por todo el esfuerzo y apoyo incansable e incondicional y, por último, le dedicó a todo hermano, amigo y compañero que ha contribuido de una u otra forma para que finalmente pueda alcanzar esta meta.

Daniel Alejandro Asqui Yáñez

Agradecimientos

Agradezco a Dios en primer lugar por permitirme culminar con este proceso educativo también agradezco a la Universidad Internacional del Ecuador, con su Escuela de Ingeniería Automotriz, por otorgarme los medios necesarios para desarrollar este proyecto de titulación y, por último, agradezco a mi tutor Ing. Edgar Gustavo Vera Puebla quien ha sido una guía fundamental, amigo y compañero en este proceso muy importante.

Daniel Alejandro Asqui Yáñez

Índice General

Certificación de Autoría.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimientos	vi
Índice General.....	vii
Índice de Figuras.....	xii
Índice de Tablas	xvi
Índice de Ecuaciones.....	xvii
Resumen.....	xviii
Abstract	xix
Capítulo I	1
Problema de la Investigación	1
1.1 Tema de Investigación.....	1
1.2 Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema	1
1.2.1 <i>Planteamiento del Problema</i>	1
1.2.2 <i>Formulación del Problema</i>	2
1.3 Sistematización del Problema.....	3
1.4 Objetivos de la Investigación	3
1.4.1 <i>Objetivo General</i>	3
1.4.2 <i>Objetivos Específicos</i>	3

1.5	Justificación e Importancia de la Investigación.....	4
1.5.1	<i>Justificación Teórica</i>	4
1.5.2	<i>Justificación Metodológica</i>	4
1.5.3	<i>Justificación Práctica</i>	5
1.5.4	<i>Delimitación Temporal</i>	6
1.5.5	<i>Delimitación Geográfica</i>	6
1.5.6	<i>Delimitación del Contenido</i>	6
1.6	Alcance	7
	Capítulo II	8
	Marco de Referencia	8
2.1	Sistema de Dirección del Vehículo	8
2.2	Tipos de Sistema de Dirección del Vehículo	10
2.3	Componentes del Sistema de Dirección del Vehículo	12
2.4	Funcionamiento del Sistema de Dirección del Vehículo	16
2.5	Componentes de la Cremallera de Dirección Asistida del Vehículo	17
2.6	Ecuaciones Reguladoras del Sistema de Dirección Asistida.....	19
	Capítulo III.....	23
	Metodología	23
3.1	Métodos	23
3.2	Tipo de Estudio.....	23

3.2.1	<i>Investigación Descriptiva</i>	23
3.2.2	<i>Método Descriptivo</i>	24
3.3	Materiales de Estudio	24
3.4	Geometría de la Cremallera de Dirección del Kia Stonic 1.6 cc.....	24
3.5	Optimización Topológica	29
3.6	Consideraciones de Restricción de Diseño.....	30
3.7	Sistema y Ecuaciones	31
3.7.1	<i>Cálculo de la Fuerza (F_1)</i>	31
3.7.2	<i>Cálculo de la Distancia (f)</i>	32
3.7.3	<i>Deformación de la Flecha de Dirección</i>	33
3.8	Consideraciones Iniciales	34
3.9	Modelado y Análisis de la Geometría de la Cremallera de Dirección	36
3.9.1	<i>Modelado de los Terminales de Dirección</i>	37
3.9.2	<i>Modelado de los Axiales de Dirección</i>	42
3.9.3	<i>Modelado de la Barra de Engranes de la Cremallera de Dirección</i>	44
3.9.4	<i>Modelado Final de la Cremallera de Dirección</i>	54
3.10	Interpretación de Resultados	55
3.10.1	<i>Caso 1 – Carga de 100 N</i>	56
3.10.2	<i>Caso 2 – Carga de 500 N</i>	58
3.10.3	<i>Caso 3 – Carga de 1000 N</i>	59

3.11	Factor de Seguridad.....	60
	Capítulo IV.....	62
	Análisis de Resultados	62
4.1	Análisis de Datos Obtenidos	62
4.1.1	<i>Análisis de Tensión Von Mises – Caso 1</i>	62
4.1.2	<i>Análisis de Tensión Von Mises – Caso 2</i>	63
4.1.3	<i>Análisis de Tensión Von Mises – Caso 3</i>	64
4.1.4	<i>Análisis de Desplazamiento – Caso 1</i>	65
4.1.5	<i>Análisis de Desplazamiento – Caso 2</i>	66
4.1.6	<i>Análisis de Desplazamiento – Caso 3</i>	66
4.1.7	<i>Análisis de Deformaciones – Caso 1</i>	67
4.1.8	<i>Análisis de Deformaciones – Caso 2</i>	67
4.1.9	<i>Análisis de Deformaciones – Caso 3</i>	68
4.1.10	<i>Análisis de Factor de Seguridad – Caso 1</i>	68
4.1.11	<i>Análisis de Factor de Seguridad – Caso 2</i>	69
4.1.12	<i>Análisis de Factor de Seguridad – Caso 3</i>	69
4.2	Resumen de Datos Obtenidos	70
	Conclusiones	71
	Recomendaciones	73
	Bibliografía	74

Anexos	77
--------------	----

Índice de Figuras

Figura 1 Sistema de Dirección del Vehículo	8
Figura 2 Sistema de Dirección Mecánica de Recirculación de Bolas	10
Figura 3 Sistema de Dirección Integral	11
Figura 4 Sistema de Dirección Asistida	12
Figura 5 Volante del Sistema de Dirección.....	12
Figura 6 Barra del Sistema de Dirección Integral.....	13
Figura 7 Cremallera del Sistema de Dirección Integral.....	13
Figura 8 Bomba del Sistema de Dirección Integral.....	14
Figura 9 Axial del Sistema de Dirección Integral.....	14
Figura 10 Terminal del Sistema de Dirección Integral	15
Figura 11 Manguera de Presión del Sistema de Dirección	16
Figura 12 CIR del Sistema de Dirección del Automóvil	16
Figura 13 Componentes de la Cremallera de Dirección Asistida del Vehículo	18
Figura 14 Diagrama de Distancias y Fuerzas Aplicadas en el Sistema de Dirección del Vehículo	19
Figura 15 Diagrama Estático de Rueda Motriz y Cuerpo Libre	20
Figura 16 Esquema de Momentos de la Llanta Motriz	21
Figura 17 Despiece de la Cremallera de Dirección del Kia Stonic 1.6 cc	25
Figura 18 Modelo del Proceso de Optimización Topológica y Diseño Generativo	29

Figura 19 Diagrama para el Cálculo de T_2	32
Figura 20 Diagrama para el Cálculo de f	32
Figura 21 Cremallera de Dirección del KIA Stonic 1.6 cc	34
Figura 22 Plano 2D de la Cremallera de Dirección del KIA Stonic 1.6 cc.....	37
Figura 23 Plano 2D del Terminal de Dirección	38
Figura 24 Croquis para el Diseño del Terminal de Dirección	39
Figura 25 Revolución del Croquis para el Diseño del Terminal de Dirección	39
Figura 26 Generación de Simetría.....	40
Figura 27 Dibujo del Círculo en la Simetría Generada	40
Figura 28 Extrusión del Círculo Diseñado	41
Figura 29 Croquis para el Diseño de la Conexión del Terminal con el Axial de Dirección.....	41
Figura 30 Extrusión para el Diseño de la Conexión del Terminal con el Axial de Dirección	42
Figura 31 Plano 2D del Axial de Dirección.....	42
Figura 32 Círculo para el Diseño del Axial de Dirección	43
Figura 33 Extrusión del Círculo para el Diseño del Axial de Dirección.....	43
Figura 34 Croquis en el Centro del Dibujo	43
Figura 35 Revolución del Croquis para el Diseño del Axial de Dirección	44
Figura 36 Plano 2D de la Barra de Engranés	44
Figura 37 Croquis para el Diseño de la Barra de Engranés.....	45
Figura 38 Extrusión Saliente.....	45

Figura 39 <i>Generación de un Rectángulo</i>	46
Figura 40 <i>Proceso de Cortar y Extruir</i>	46
Figura 41 <i>Generación de Croquis</i>	46
Figura 42 <i>Proceso de Revolución</i>	47
Figura 43 <i>Generación de Croquis 2</i>	47
Figura 44 <i>Proceso de Extrusión</i>	47
Figura 45 <i>Generación de Croquis 3</i>	48
Figura 46 <i>Proceso de Extrusión de la Saliente</i>	48
Figura 47 <i>Proceso de Redondeo</i>	48
Figura 48 <i>Croquis para dar Forma al Componente</i>	49
Figura 49 <i>Extrusión del Croquis para dar Forma al Componente</i>	49
Figura 50 <i>Redondeo de la Extrusión del Croquis para dar Forma al Componente</i>	49
Figura 51 <i>Croquis en la Cara Superior del Componente</i>	50
Figura 52 <i>Extrusión del Croquis Generado en la Cara Superior del Componente</i>	50
Figura 53 <i>Geometría de Planos</i>	50
Figura 54 <i>Diseño de Círculo Base</i>	51
Figura 55 <i>Extrusión de Círculo Base</i>	51
Figura 56 <i>Diseño del Círculo en la Extrusión de Círculo Base</i>	51
Figura 57 <i>Recubrimiento del Círculo en la Extrusión de Círculo Base</i>	52
Figura 58 <i>Generación de Plano en la Vista Lateral</i>	52

Figura 59 <i>Revolución de Plano en la Vista Lateral</i>	52
Figura 60 <i>Generación de Plano en la Vista Lateral 2</i>	53
Figura 61 <i>Generación de Plano en la Vista Lateral 2</i>	53
Figura 62 <i>Revolución de Plano en la Vista Lateral 3</i>	54
Figura 63 <i>Cremallera de Dirección del KIA Stonic 1.6</i>	54
Figura 64 <i>Aplicación de Carga de Presión a 100 N</i>	56
Figura 65 <i>Aplicación de Carga de Presión a 500 N</i>	58
Figura 66 <i>Aplicación de Carga de Presión a 100 N</i>	59
Figura 67 <i>Tensión de Von Mises – Caso 1</i>	63
Figura 68 <i>Tensión de Von Mises – Caso 2</i>	64
Figura 69 <i>Tensión de Von Mises – Caso 3</i>	65
Figura 70 <i>Análisis de Desplazamiento – Caso 1</i>	65
Figura 71 <i>Análisis de Desplazamiento – Caso 2</i>	66
Figura 72 <i>Análisis de Desplazamiento – Caso 3</i>	66
Figura 73 <i>Análisis de Deformación – Caso 1</i>	67
Figura 74 <i>Análisis de Deformación – Caso 2</i>	67
Figura 75 <i>Análisis de Deformación – Caso 3</i>	68
Figura 76 <i>Análisis de Factor de Seguridad – Caso 1</i>	68
Figura 77 <i>Análisis de Factor de Seguridad – Caso 2</i>	69
Figura 78 <i>Análisis de Factor de Seguridad – Caso 3</i>	69

Índice de Tablas

Tabla 1	<i>Características Técnicas de la Cremallera de Dirección del Kia Stonic 1.6 cc</i>	25
Tabla 2	<i>Datos Técnicos de la Cremallera de Dirección del KIA Stonic 1.6 cc</i>	35
Tabla 3	<i>Propiedades Volumétricas Cremallera de Dirección</i>	36
Tabla 4	<i>Propiedades para la Cremallera de Dirección</i>	55
Tabla 5	<i>Mallado Utilizado para la Simulación en la Cremallera de Dirección</i>	56
Tabla 6	<i>Fuerzas de Reacción para el Caso 1 a 100 N</i>	57
Tabla 7	<i>Fuerzas de Cuerpo Libre para el Caso 1 a 100 N</i>	57
Tabla 8	<i>Fuerzas de Reacción para el Caso 2 a 500 N</i>	58
Tabla 9	<i>Fuerzas de Cuerpo Libre para el Caso 2 a 500 N</i>	59
Tabla 10	<i>Fuerzas de Reacción para el Caso 3 a 1000 N</i>	60
Tabla 11	<i>Fuerzas de Cuerpo Libre para el Caso 3 a 1000 N</i>	60
Tabla 12	<i>Carga de Presión – Caso 1</i>	62
Tabla 13	<i>Carga de Presión – Caso 2</i>	63
Tabla 14	<i>Carga de Presión – Caso 3</i>	64
Tabla 15	<i>Resultados Globales Obtenidos</i>	70

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1 Sumatorias de Fuerzas Estática.....	20
Ecuación 2 Sumatorias de Momentos Estática	21
Ecuación 3 Formula Teórica para el Cálculo de la Fuerza	22
Ecuación 4 Ecuación para el Cálculo de F_1	31
Ecuación 5 Ecuación para el Cálculo de T^2	32
Ecuación 6 Ecuación para el Cálculo de f	33
Ecuación 7 Fórmula para el Cálculo de r	33
Ecuación 8 Fórmula para el Cálculo de J	33
Ecuación 9 Fórmula para el Cálculo de $\Delta\varphi$	34

Resumen

La caja de dirección es el componente que permite desplazar y girar a voluntad del conductor el vehículo, por cuanto entre más suave y rápida sea la maniobra de cambio y movimiento del volante el giro de las llantas hacia la izquierda y derecha, hacia delante y atrás será más eficiente y rápida. Desde que se creó el automóvil las cajas de dirección han ido en constante evolución desde la del tipo manual (donde el movimiento del volante requería de fuerza del conductor), pasando por las hidráulicas (donde el movimiento del volante es más suave y requiere menos esfuerzo del conductor) hasta llegar a las electrónicas (donde puede existir o no el conductor que mueve el volante). La fuerza aplicada desde el volante afecta directamente en los componentes de la cremallera de dirección, principalmente en los axiales y terminales, pero cuándo existen impactos de cargas a distintos niveles sea por las irregularidades del camino como una colisión donde se desplaza la caja de dirección, se es necesario conocer la estructura en su contexto desde el material cómo se comporta, el factor de seguridad, el desplazamiento y tensión que puede soportar y cuánta deformación es permisible para evitar su ruptura. Por consiguiente, el proyecto analiza la cremallera de dirección del Kia Stonic 1,6 cc con su respectiva simulación a tres cargas de impacto distintas para conocer cuál es el punto más cercano y permisible para evitar la ruptura y/o daño en el material con que se fabrica.

Palabras Clave: *Análisis, Carga, Cremallera de Dirección, Estructura, Impacto, Simulación.*

Abstract

The steering box is the component that allows the driver to move and turn the vehicle at will, so the smoother and faster the shifting and movement of the steering wheel, the more efficient and faster the turning of the wheels to the left and right, forward and backward will be. Since the automobile was created, steering boxes have been in constant evolution, from the manual type (where the movement of the steering wheel required force from the driver), through the hydraulic type (where the movement of the steering wheel is smoother and requires less effort from the driver) to the electronic type (where there may or may not be a driver moving the steering wheel). The force applied from the steering wheel directly affects the components of the steering rack, mainly the axial and terminal components, but when there are impacts of loads at different levels, whether due to irregularities in the road or a collision where the steering box moves, it is necessary to know the structure in its context from the material, how it behaves, the safety factor, the displacement and stress it can withstand and how much deformation is permissible to avoid its breakage. Therefore, the project analyses the steering rack of the Kia Stonic 1.6 cc with its respective simulation under three different impact loads, to determine which is the closest and most permissible point to avoid breakage and/or damage to the material with which it is manufactured.

Keywords: *Analysis, Load, Steering Rack, Structure, Impact, Simulation*

Capítulo I

Problema de la Investigación

1.1 Tema de Investigación

Simulación de esfuerzo en la cremallera de dirección del KIA Stonic 1.6 cc bajo carga de impacto.

1.2 Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema

1.2.1 Planteamiento del Problema

Parte de una constitución mecánica del automóvil está el sistema de dirección que es el encargado del direccionamiento y control de la conducción, a través del volante que lo manipula el conductor para que este transmita por medio de un eje llamado columna de dirección, el movimiento deseado a un conjunto de engranes denominado caja o cremallera de dirección, la cual a su vez transmite por medio del conjunto de control de dirección (axiales y terminales), que se une a los tripoides o manguetas para dar el direccionamiento del vehículo por medio del movimiento y rotación de los neumáticos. De no existir el sistema de dirección el automóvil sería incapaz de desplazarse, así también un incorrecto mantenimiento del mismo podría producir accidentes y/o daños a los sistemas contiguos al mismo (suspensión, transmisión).

El punto de análisis del sistema de dirección se enfoca en los elementos propios de la cremallera de dirección que puede ser controlada mediante una columna de dirección mecánica, hidráulica o electrónica, por cuanto el diseño tanto en su estructura como en su fabricación es primordial para evitar fatigas, sobrecargas, sobreesfuerzos y desbalances, principalmente en sus terminales y axiales que cada cierto tiempo requieren ser sustituidos por el desgaste al que están sometidos. En vehículos antiguos la dirección del tipo mecánico requería de un mantenimiento donde involucraba el colocar grasa en sus componentes para la lubricación, principalmente en el eje que conecta con el volante, con el avance de la tecnología se pasó a

dirección hidráulica donde la lubricación es casi nula porque ya dispone de un depósito donde va aceite que se encarga de mantener la dirección suave principalmente en los giros, pero dicho aceite se requiere de un cambio cada 30000 a 50000 km (dependiendo del fabricante); en la actualidad se dispone de sistemas de dirección electrónico donde ya el mantenimiento se reduce a las partes móviles y mecánicas, eliminando en su totalidad el uso de fluido y aceite,

Dado lo anteriormente expuesto, se define el realizar una simulación de esfuerzos en la cremallera de dirección del KIA Stonic 1.6 cc bajo carga de impacto a la que se somete por la conducción, para así conocer el grado de ruptura con que el material del cual está fabricado y sus componentes pueden llegar a soportar, así también la vida útil y máximo factor de seguridad puede alcanzar si se somete a trabajos de alto impacto.

Parte del problema en planteamiento de la simulación presente está los esfuerzos, deformación, torsión, fuerzas, factor de seguridad y comportamientos del material.

1.2.2 Formulación del Problema

¿Cuáles son procedimientos de metodología factibles que se involucren con los esfuerzos a los que se somete una cremallera de dirección, para que pueda generar un buen trabajo?

A través de la formulación del problema se desea poder alcanzar mediante una simulación computacional conocer características técnicas de la cremallera de dirección, bajo un análisis mecánico donde principalmente se valúa los esfuerzos de trabajo a los que está sometida.

El problema en mención se fundamenta en:

Descriptiva de la cremallera de dirección tanto en su estructura como en su construcción, para poder conocer y analizar el material (es) con que se ha diseñado.

Análisis del tipo, resistencia, aleaciones, cargas, esfuerzos, entre otros del material de construcción.

Computación de ecuaciones fundamentales que intervienen en resistencia de materiales para poder decretar la carga de impacto que tendrá al someterlo a esfuerzos de alto trabajo.

1.3 Sistematización del Problema

- ¿Cómo se selecciona y en qué se fundamenta el material de construcción?
- ¿Cuál(es) son la metodologías para analizar el material con que se construye una cremallera de dirección?
- ¿Qué indicador es base en el estudio, análisis y simulación en materiales con que se fabrica los componentes del vehículo que se someten a esfuerzos de alto impacto por su función de trabajo?
- ¿Cuál es el cálculo base que se considera para la simulación de esfuerzos bajo cargas de impacto?
- ¿Cuál(es) son los fundamentos teóricos con los que se analiza el trabajo y función del sistema de dirección?

1.4 Objetivos de la Investigación

1.4.1 Objetivo General

- Simular el esfuerzo al que está sometida la cremallera de dirección del KIA Stonic 1.6 cc bajo carga de impacto por medio de ingeniería asistida por ordenador.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Modelar la cremallera de dirección por medio de la generación de un modelo tridimensional con su respectiva simulación de esfuerzos.
- Determinar los criterios de evaluación para la selección y análisis de la resistencia de materiales aplicada a componentes sometidos a altos impactos de trabajo.
- Realizar el análisis de la estructura, material y diseño con que se construye la cremallera de dirección para observancia del comportamiento dinámico cuando tiene cargas de impacto.

1.5 Justificación e Importancia de la Investigación

1.5.1 Justificación Teórica

Ya planteado, definido y establecido el problema con sus objetivos correspondientes, se procede a delimitar el espacio geográfico donde se realizará el proyecto, así como de las pertinentes justificaciones del proyecto en respuesta a las preguntas formuladas para el desarrollo del trabajo y que a continuación se describen.

La presente simulación de base automotriz se justifica en base a la necesidad de saber el comportamiento dinámico de la cremallera de dirección desde el material con que se ha fabricado hasta su desempeño de trabajo. Para lo cual se tiene la cremallera de dirección del KIA Stonic 1.6 cc con el que se generará el diseño computacional para analizar el material, esfuerzos, deformación, torsión, fuerzas y comportamientos bajo cargas de impacto a las que se somete el componente en estudio en condiciones de trabajo de normal y agresivo.

Lo que se desea estudiar es la resistencia del material aplicada en componentes que trabajan a altas temperaturas y a condiciones de alto impacto como es el pistón, ya sea desde el diseño hasta el material con que se lo construye para el motor de combustión interna (M.C.I) de 1.6 Lt. con lo cual se permita al mismo el rendimiento óptimo, bajo consumo de combustible, eficiencia de encendido y seguridad.

Por cuanto el presente proyecto muestra un análisis de esfuerzos aplicados en la ingeniería mecánica de construcción de partes del vehículo.

1.5.2 Justificación Metodológica

El método en aplicación del presente trabajo es la simulación de esfuerzos y resistencia de materiales con base en lo cualitativo, cuantitativo, experimental y analítico, debido a que se realiza la simulación bajo cargas de impacto a las que se somete una cremallera de dirección.

El estudio está fundamentado en conocer las características el comportamiento y bases del material con que se han generado y construido la cremallera de dirección; por medio de la

aplicación de una metodología experimental donde el análisis y caracterización del diseño 3D generado de forma computacional permitirá el observar diferentes configuraciones para simular y obtener conclusiones de esfuerzos en el componente para conocer el comportamiento en diferentes cargas de impacto por trabajo. En el caso de las simulaciones se requiere hallar resultados de ecuaciones fundamentales que aplican para la resistencia de materiales. Por cuanto se genera la fase de diseño, simulación, análisis y evaluación de las bases de análisis y toda resultante alcanzada se basará en las distintas condiciones del material de fabricación del elemento en estudio.

Por ende, se justifica que el método a usar busca la integración de procesos de generación en análisis y simulación de mecánica que permite de forma precisa obtener la visión basada en datos y conclusiones numéricas.

1.5.3 Justificación Práctica

La justificativa práctica para el proyecto en desarrollo se basa en el croquis real, la geometría y analítica de material de la cremallera de dirección. En cuanto a los resultados a obtener se basa en el análisis de material, simulación y evaluación como se detalla a continuación:

- Modelar la cremallera de dirección por medio de la generación de un modelo tridimensional con su respectiva simulación de esfuerzos.
- Determinar los criterios de evaluación para la selección y análisis de la resistencia de materiales aplicada a componentes sometidos a altos impactos de trabajo.
- Realizar el análisis de la estructura, material y diseño con que se construye la cremallera de dirección para observancia del comportamiento dinámico cuando tiene cargas de impacto.

En conclusión, la justificativa práctica se basa en ser una simulación permisible, ya que se traslada el conocimiento de teorías en técnica analítica, las cuales aportan la innovación del

campo mecánico por medio del estudio y evaluación de procedimientos de diseño en componentes automotrices con atención en resistencia de material, fuerzas, cargas, eficacia y desempeño del vehículo.

1.5.4 Delimitación Temporal

De acuerdo con la planificación establecida para el presente trabajo investigativo tiene una proyección de tiempo que inicia el 16 de septiembre de 2024 y finalizaría el 27 de diciembre de 2024, tiempo en el cual se lleva a cabo cada una de las fases en las que de manera cronológica se cumplirán con los objetivos planteados hasta llegar a su culminación.

1.5.5 Delimitación Geográfica

El presente estudio se lleva a cabo en las instalaciones de la Escuela de Ingeniería Automotriz de la Universidad Internacional del Ecuador extensión Guayaquil, tanto en la parte teórica, así como práctica con la utilización de los laboratorios con que cuenta la institución.

1.5.6 Delimitación del Contenido

El proyecto se halla parametrizado mediante un contexto de conceptos y teorías del análisis de material, como también la simulación, diseño y personalización del material en el componente de estudio. El proceso de investigación se fundamenta en las fuentes bibliográficas técnicas y teóricas, páginas web con fundamento técnico, artículo científico, proyecto de titulación, entre otras, que se ordenan para cumplir con cada objetivo propuesto.

La organización del marco teórico se desarrolla en cuatro capítulos textuales con sus respectivas conclusiones y recomendaciones. En cuanto al marco teórico se fundamenta acorde a parámetros de la siguiente manera:

En cuanto a limitaciones, se establece:

- Modelar la cremallera de dirección por medio de la generación de un modelo tridimensional con su respectiva simulación de esfuerzos.

- Determinar los criterios de evaluación para la selección y análisis de la resistencia de materiales aplicada a componentes sometidos a altos impactos de trabajo.
- Realizar el análisis de la estructura, material y diseño con que se construye la cremallera de dirección para observancia del comportamiento dinámico cuando tiene cargas de impacto.

En cuanto a delimitaciones:

- Modelar la cremallera de dirección por medio de la generación de un modelo tridimensional con su respectiva simulación de esfuerzos.
- Determinar los criterios de evaluación para la selección y análisis de la resistencia de materiales aplicada a componentes sometidos a altos impactos de trabajo.
- Realizar el análisis de la estructura, material y diseño con que se construye la cremallera de dirección para observancia del comportamiento dinámico cuando tiene cargas de impacto.

1.6 Alcance

El alcance del proyecto se centraliza en la simulación de esfuerzo bajo cargas de impacto de manera computacional con el respectivo análisis de material, fuerzas, ciclo de vida y factor de seguridad. Se incluirá la aplicación de simulación por elemento finito para modelar el comportamiento estructural y resistencia del material y la determinación de los puntos críticos de deformación estructural. El estudio incluirá las ecuaciones base de la resistencia de materiales y ecuaciones de mecánicas de sólidos.

Con todo no se considera aspecto relacionado con la construcción ni costes de fabricación. El estudio se centra exclusivamente en diseño, simulación y análisis de la cremallera de dirección.

Capítulo II

Marco de Referencia

2.1 Sistema de Dirección del Vehículo

(CZ Revista técnica de Centro Zaragoza, 2021) menciona que “El sistema de dirección... han ido incorporando importantes mejoras que han aportado al vehículo un rendimiento y un confort en la conducción. Desde el inicio, los sistemas disponían de una unión directa entre volante y ruedas. Esta unión es una de las que más ha evolucionado tecnológicamente...”

Fuente especificada no válida. menciona en su tesis que “El sistema de dirección en un automóvil tiene un rol relevante y de gran importancia en el funcionamiento de este ya que es responsable de llevar el rumbo del vehículo en la dirección requerida por el conductor de una manera confiable y segura...” El sistema de dirección es un grupo de mecanismos y elementos ubicados en la parte delantera e interior del vehículo, cuya función es la orientación de los neumáticos delanteros para poder orientar correctamente, sea hacia la izquierda o derecha como desee el conductor, con el nulo o menor esfuerzo posible. Ver figura 1.

Figura 1

Sistema de Dirección del Vehículo



Fuente: (CZ Revista técnica de Centro Zaragoza, 2021)

El sistema de dirección cumple los siguientes requisitos dentro del vehículo:

- Seguridad directa: los materiales con que se construye cada elemento del sistema deben ser fiables puesto que el uso que da el conductor afectará en la maniobrabilidad y desempeño de este.
- Seguridad indirecta: en los vehículos antiguos donde se disponía de dirección mecánica no se disponía de sistemas de seguridad activa (airbags), desde la aparición de dicho sistema y el cambio a dirección hidráulica, hicieron que se integren los dos sistemas, donde el volante en su centro dispone de una bolsa de aire que se activa en caso de colisión, por ende, un sistema de dirección inadecuado (sin mantenimiento, revisión, u otro similar) afectará la seguridad del ocupante.
- Suavidad: un sistema de dirección suave aumenta la comodidad y disminuye la fatiga del conductor en la conducción, caso contrario el conductor se sentirá incómodo y cansado.
- Precisión: un sistema de dirección duro puede generar la pérdida del rumbo durante la trayectoria.
- Irreversibilidad: en la transmisión del giro del neumático, las incidencias o irregularidades de la calzada no se transmiten de regreso al volante, de existir esta transmisión de vibración puede incurrir en consecuencias de desplazamiento incorrecto.

Las funciones del sistema de dirección son las siguientes:

- Control de la dirección: el sistema de dirección permite a quien conduce controlar el recorrido del automóvil, girando el volante hacia la derecha o hacia la izquierda.
- Mantener estabilidad y control.
- Aumentar la ergonomía del conductor: reducir la cantidad de esfuerzos necesarios para girar el volante y controlar la dirección.

- Incrementar la seguridad: permite al conductor maniobrar el vehículo para evitar los obstáculos presentes y mantenerse en la calzada.

2.2 Tipos de Sistema de Dirección del Vehículo

Existen diferentes configuraciones del sistema de dirección en el vehículo, a continuación, se detalla los tipos principales y sus configuraciones:

- Mecánica: también llamada manual se crearon en 1910 en Estados Unidos (EEUU).

Sus configuraciones son:

De gusano y seguidor

De recirculación de bolas. Ver figura 2

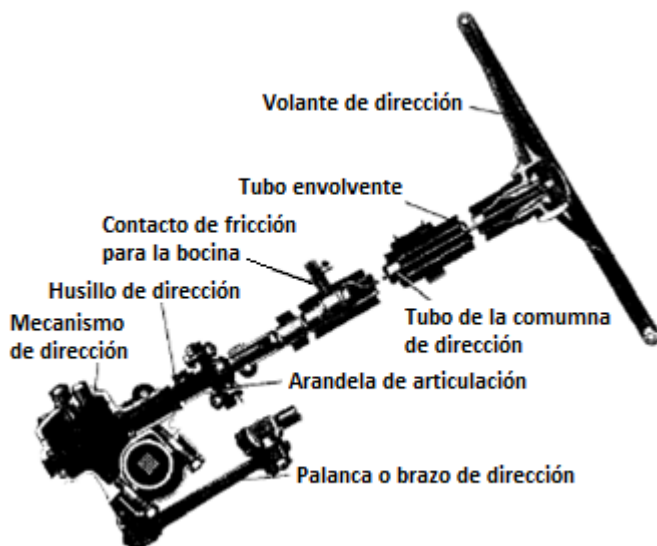
De gusano y rodillo, o también llamado de palancas y leva

De gusano y clavija

De piñón y cremallera

Figura 2

Sistema de Dirección Mecánica de Recirculación de Bolas

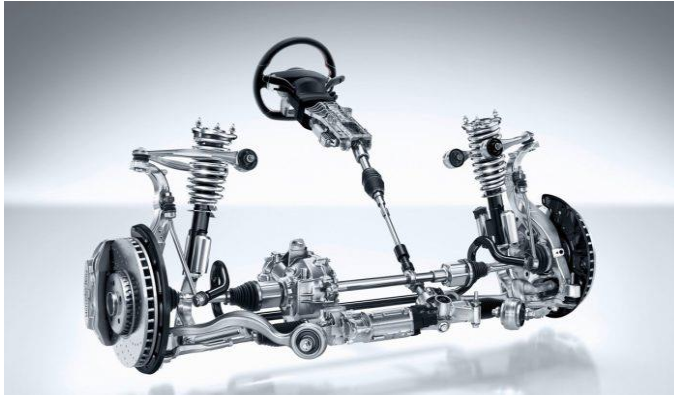


Fuente: (Gesellschaft y Zusammenarbeit, 1980)

- Integral: el cilindro de potencia, la válvula y el pistón de accionamiento se incorporan dentro de una misma caja, son las más comunes y actualmente empleadas en vehículos de baja y mediana gama comercial, y en especial aquellas

Figura 4

Sistema de Dirección Asistida



Fuente: (MoogParts, 2023)

2.3 Componentes del Sistema de Dirección del Vehículo

El sistema de dirección del vehículo se compone de:

- Volante (ver figura 5): es la rueda con la cual el conductor maniobra la dirección y trayectoria del vehículo. En sus extremidades dispone de los brazos de control para encendido de luces y limpiaparabrisas; en su base se encuentra la caja de ignición donde se inserta la llave para dar el encendido y arranque del vehículo. En los vehículos modernos adicionalmente en los brazos extremos se puede controlar el sistema de audio y cambio de velocidades, así como también la caja de ignición se elimina cuando se dispone del encendido electrónico (por medio de botón).

Figura 5

Volante del Sistema de Dirección

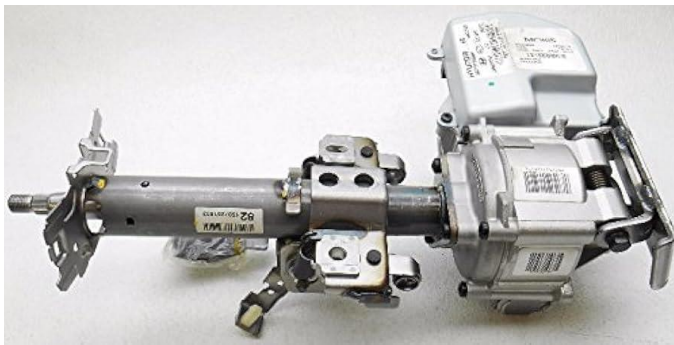


Fuente: (Gesellschaft y Zusammenarbeit, 1980)

- Barra de dirección (ver figura 6): también llamada caña de dirección es la que conecta el volante con la caja de dirección, en los vehículos antiguos era una sola pieza y en la actualidad se compone de partes pequeñas con el fin de poder doblarse en caso de colisión para evitar lesiones. En el caso de direcciones asistidas en su parte intermedia la constituye el sistema electrónico (motor, módulo, sensor, cinta de airbag).

Figura 6

Barra del Sistema de Dirección Integral



Fuente: (MoogParts, 2023)

- Cremallera de dirección (ver figura 7): recibe el movimiento del volante y la barra para repartirlo a los neumáticos, mediante los movimientos realizados por engranajes (dependiendo el tipo de configuración).

Figura 7

Cremallera del Sistema de Dirección Integral

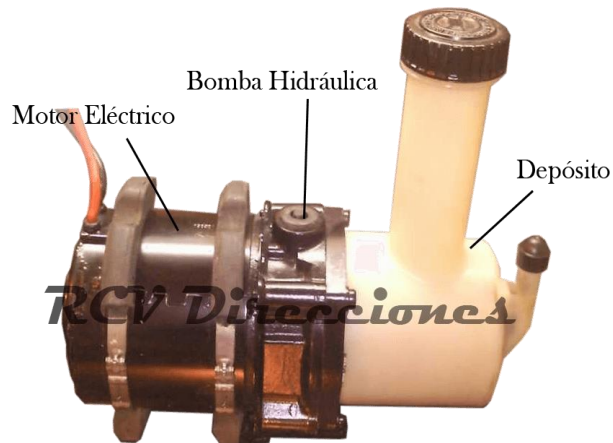


Fuente: (MoogParts, 2023)

- Bomba hidráulica (ver figura 8): bombea el aceite lubricante para mantener engrasadas cada una de las piezas. El aceite lubricante se encuentra dentro de un depósito llamado reservorio hidráulico. En los sistemas mecánicos y electrónicos totales se elimina este componente.

Figura 8

Bomba del Sistema de Dirección Integral



Fuente: (MoogParts, 2023)

- Axiales de dirección (ver figura 9): denominado también articulación de dirección, se ubica en los extremos previos a los terminales de dirección. Son aquellas que recibe el movimiento de la caja de dirección para transmitir el movimiento.

Figura 9

Axial del Sistema de Dirección Integral



Fuente: (MoogParts, 2023)

- Terminales de dirección (ver figura 10): son uniones de tipo rótula con cierta elasticidad para absorber las irregularidades de la calzada. Su función base es enlazarse con las ruedas direccionales.

Dependiendo de la configuración del sistema de dirección puede el terminal conjuntamente con el axial ser un solo conjunto.

Figura 10

Terminal del Sistema de Dirección Integral



Fuente: (MoogParts, 2023)

- Biela: está ubicada a la salida de la cremallera de dirección, que se encarga de unirla con el varillaje central. Dependiendo la configuración del sistema puede no existir este componente
- Mangueras: conectan todo el sistema con el fin de hacer circular el aceite, comúnmente son 3 mangueras:

De alimentación: se ubican del depósito a la bomba.

De presión: van de la bomba hacia la válvula de control. Trabaja con altas temperaturas y presiones, por cuanto se las forra con un aislante de temperatura y de ruido. Ver figura 11.

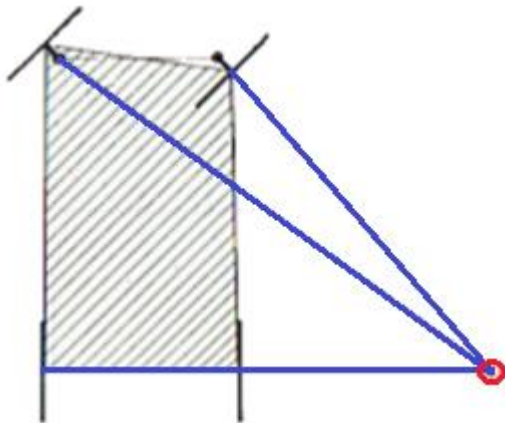
De retorno: canaliza para que el fluido pase de la válvula de control al depósito. La presión en estas mangueras es cercana a 0.

Figura 11*Manguera de Presión del Sistema de Dirección*

Fuente: (MoogParts, 2023)

2.4 Funcionamiento del Sistema de Dirección del Vehículo

La cremallera de dirección es el elemento dentro del sistema de dirección que se encarga de convertir el movimiento rotatorio enviado desde el volante en movimiento lineal. Para poder mover los neumáticos hacia la derecha o izquierda. (Vallejo Galarraga, 2020) menciona que “todo sólido que describe un movimiento curvo o realiza un giro, realiza este en torno a un punto fijo llamado Centro Instantáneo de Rotación (CIR). En un vehículo cuando se inicia una maniobra de giro, el vehículo ha de tener un único CIR, por lo tanto, todos los neumáticos del vehículo tendrán un único CIR”. Ver figura 12.

Figura 12*CIR del Sistema de Dirección del Automóvil*

Fuente: (Celada Sanz, 2015)

2.5 Componentes de la Cremallera de Dirección Asistida del Vehículo

Es un componente del sistema de dirección del vehículo, que se encarga de convertir el movimiento giratorio del volante en movimiento lineal que dirige los neumáticos delanteros.

Consta de varios elementos interconectados que trabajan en conjunto para permitir el control seguro y preciso del vehículo (ver figura 13).

Los elementos son los siguientes:

- Barra cremallera: es la barra dentada que se encuentra al interior de la caja de dirección. Consta de una serie de dientes que se conectan con los dientes de la barra del piñón.
- Carcasa de la cremallera: es el componente unión que interconecta la barra de dirección con la barra cremallera y el conjunto cilindro.
- Conjunto cilindro: también llamado cilindro de potencia, son función de doble acción que proveen la fuerza útil para el movimiento del sistema de dirección. Se compone internamente de un servo pistón permitiendo obtener dos cámaras en el cilindro, el cilindro a su vez cuenta con dos orificios (entrada y salida). El tamaño dependerá e influirá en la mayor fuerza de asistencia requerida para el automóvil.
- Válvula de control: tiene por función devolver al tanque el aceite cuando no se requiere (posición neutra), responde al desplazamiento del volante dirigiendo el aceite al lado ideal del pistón, y permite el incremento proporcionado de la fuerza asistencial conforme aumenta el esfuerzo en aplicación del volante. Pueden ser del tipo rotativa o lineal, en ambas los movimientos son cortos y disponen un resorte central.
- Varillaje: consta de todos los componentes unión entre engranes y ruedas, es decir el sistema que transmite el movimiento de giro en los neumáticos. Puede ser:
Cruzada: para uso en vehículos con doble transmisión (4 x 4).

Paralelogramo: de uso en vehículos livianos y sin doble transmisión.

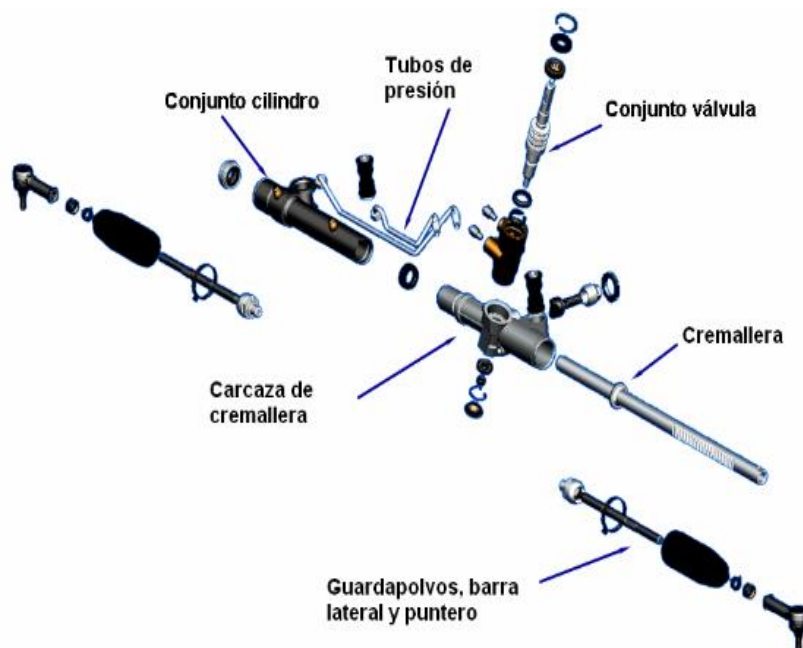
Piñón cremallera: es la más común y utilizada en la actualidad en los vehículos y camiones de carga liviana.

Haltenberger: es propia de la Marca Ford de vehículos con suspensión “*Twin Beam*”

- Guardapolvos: son elementos de goma que rodean los extremos de la barra cremallera, que están fabricados para proteger y sellar para evitar el ingreso del polvo y suciedades, y así evitar el desgaste prematuro. Además, contienen grasa para la lubricación de la cremallera y así reducir la fricción.
- Anillos y abrazaderas: los anillos son cauchos y retenes que sellan las conexiones de las mangueras y otros elementos. Las abrazaderas se utilizan más para sellar los guardapolvos y evitar fugas de grasa e ingreso de la suciedad.
- Tornillos, tuercas de presión y ajuste.

Figura 13

Componentes de la Cremallera de Dirección Asistida del Vehículo



Fuente: (Ramón Román, 2006)

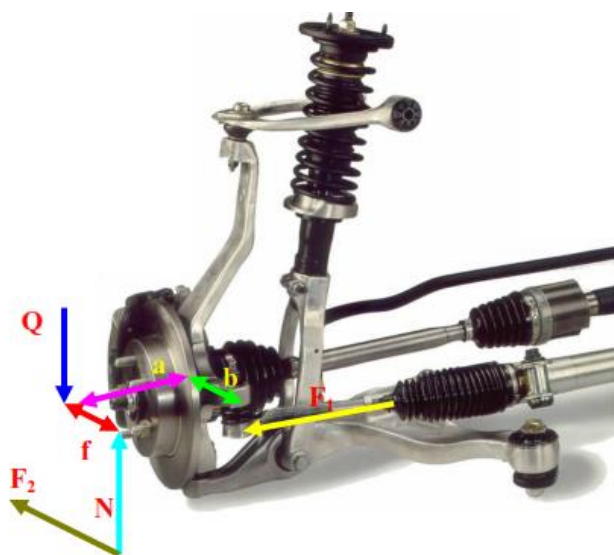
2.6 Ecuaciones Reguladoras del Sistema de Dirección Asistida

Como se conoce el funcionamiento del sistema de dirección inicia con el circulamiento del fluido del depósito por la bomba hidráulica (la cual es accionada por las revoluciones del motor a través de una banda). De la bomba el fluido sigue dos caminos, una es pasar a la válvula rotativa la cual distribuye el flujo a lado del pistón que se requiera y retorna el fluido del lado contrario al tanque. El otro camino es ir a la válvula de regulación que se activa cuando la presión supera los 90 bares. Los cálculos estáticos permiten conocer la fuerza ejercida del brazo de dirección para la rotación de los neumáticos, como se observa en la figura 14 donde:

- F_1 es la fuerza que ejerce el brazo de la dirección.
- F_2 es la fuerza de fricción.
- Q es la carga del vehículo
- N la fuerza normal
- f es la distancia de la fuerza normal al centro del neumático
- a es la distancia del muñón de dirección al centro del neumático (a lo ancho)
- b es la distancia de F_1 al centro del neumático

Figura 14

Diagrama de Distancias y Fuerzas Aplicadas en el Sistema de Dirección del Vehículo

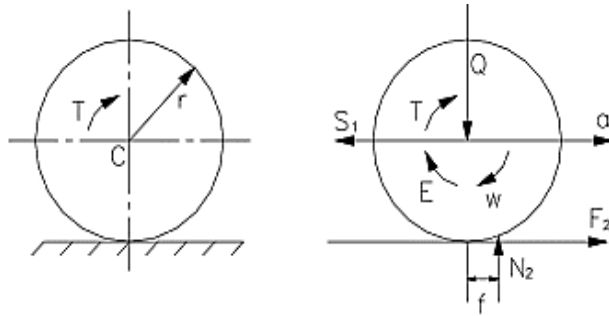


Fuente: (Ramón Román, 2006)

En base a la Figura 14, se puede realizar la sumatoria de fuerzas y momentos, como se observa en la figura 15.

Figura 15

Diagrama Estático de Rueda Motriz y Cuerpo Libre



Fuente: (Ramón Román, 2006)

Basados en la Figura 15, se obtiene las sumatorias de fuerza estática como se muestra en la ecuación 1.

Ecuación 1

Sumatorias de Fuerzas Estática

$$\sum Z = -Q + N_2 = 0 \rightarrow N_2 = Q = m \times g$$

$$\sum X = S_1 - F_2 = 0 \rightarrow S_1 = F_2$$

Donde:

$\sum Z$ = Sumatoria en eje "Z"

Q = carga del vehículo

N_2 = fuerza normal

m = masa

g = gravedad

$\sum X$ = Sumatoria en eje "X"

F_2 = fuerza de fricción

De la Ecuación 1 se obtiene el esquema de momentos de la llanta motriz que se representa en la figura 16, donde la fuerza Q se ubica en el eje “z”, a en el eje “y” y b en el eje “x”. Para ello se aplica la ecuación 2.

Ecuación 2

Sumatorias de Momentos Estática

$$\sum M_y = T + (-N_2 \times f) + (F_2 \times r)$$

$$\sum M_z = (F_1 \times b) + (F_2 \times a)$$

Donde:

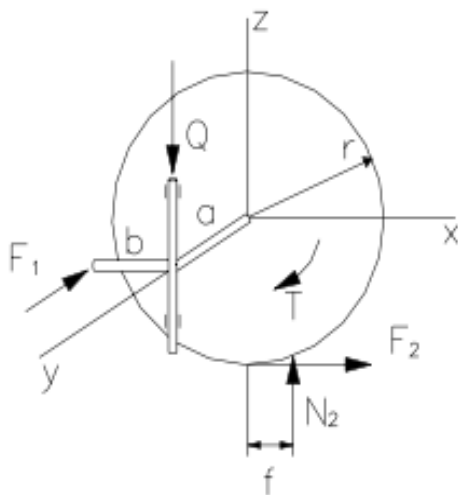
$\sum M_y$ = Sumatoria en momento en el eje “y”

T = Torque de la llanta

r = radio

Figura 16

Esquema de Momentos de la Llanta Motriz



Fuente: (Ramón Román, 2006)

En conclusión, la formula teórica para el cálculo de la fuerza que ejerce el sistema de dirección en base a distancias de los mecanismos de dirección y sujeción de los neumáticos se obtiene la ecuación 3.

Ecuación 3

Formula Teórica para el Cálculo de la Fuerza

$$F_1 = \left(\frac{a}{b}\right) F_2 = \left(\frac{a}{b}\right) \left(\frac{Q x f - T_{LL}}{r}\right)$$

Donde:

T_{LL} = Torque producido por el motor de combustión interna (M.C.I) al de los neumáticos

Capítulo III

Metodología

3.1 Métodos

Los métodos de indagación para la simulativa de esfuerzos en la cremallera de dirección involucran el aplicar análisis por elemento finito para ver la estructura del diseño y puntos críticos al aplicar cargas de impacto. La simulación está basada en ecuaciones fundamentales del sistema de dirección que evalúan comportamientos para minimizar el peso del componente, resistencia del material en trabajos de gran esfuerzo sin alcanzar la deformación, torsión, fuerzas y momentos. Estos métodos combinan el análisis y la evaluación del diseño estructural con preciso enfoque algorítmico para obtención del diseño seguro, óptimo y de gran durabilidad.

3.2 Tipo de Estudio

Este estudio del tipo de investigación analítica, experimental y aplicada, que utiliza las simulaciones de los esfuerzos, torsión, deformación, fuerzas, vida útil, comportamientos del material y factor de seguridad. La simulación se basa en obtener datos cuando se aplica cargas de impacto a un componente, mediante la aplicación de procedimientos de ingeniería en el fundamento real, con el fin de determinar el esfuerzo máximo en la cremallera de dirección de un vehículo con M.C.I de 1.6 cc, contribuyendo al rendimiento del vehículo y seguridad integral del mismo. Se utilizan los resultados numéricos de la simulación para la conclusión y recomendación respectiva.

3.2.1 Investigación Descriptiva

La investigación descriptiva basada en realizar una simulación computacional donde de forma controlada las variables del entorno se podrán comprender los efectos y relaciones causales de cargas de impacto. En esta visión, se diseñan simulaciones con conjuntos de control y análisis, y se anotan con datos cuantitativos. El fin es analizar y verificar la hipótesis

científica, indagar relación de efecto y causa, e instaurar resultados basados en evidencia de experimento.

3.2.2 Método Descriptivo

Al usar la metodología descriptiva se podrá observar, simular y concluir que a través del proyecto en realización se puede obtener el correcto análisis de experimento y numeración, así también el diseño para el análisis de estructura con la obtención de datos para caracterizar y analizar cada juicio y alcanzar una conclusión.

3.3 Materiales de Estudio

La metodología de la investigación se basa en el enfoque de análisis y comprensión de los pasos a seguir en una simulación generada donde el aporte técnico se basa la simulación de esfuerzos en la cremallera de dirección cuando se aplica cargas de impacto a distinto grado. Así también, se implementan algoritmos de simulación por medio del software de diseño asistido (CAD) para determinar el ciclo de vida del componente considerando su material de construcción.

Las resultantes se proceden a evaluar y analizar bajo los fundamentos de resistencia de materiales, así como el diseño geométrico y a escala de la cremallera de dirección, seguridad del y para el componente, y esfuerzos generados por cargas.

Las bases metodológicas se fundamentan en:

- Modelado y análisis de la geometría de la cremallera de dirección.
- Proceso de análisis del material a través de software.
- Análisis de resultados a través de software.
- Interpretación, simulación y evaluación de resultados del componente.

3.4 Geometría de la Cremallera de Dirección del Kia Stonic 1.6 cc

En la tabla 6 se muestra las características técnicas de la Cremallera de Dirección del Kia Stonic 1.6 cc en análisis:

Tabla 1

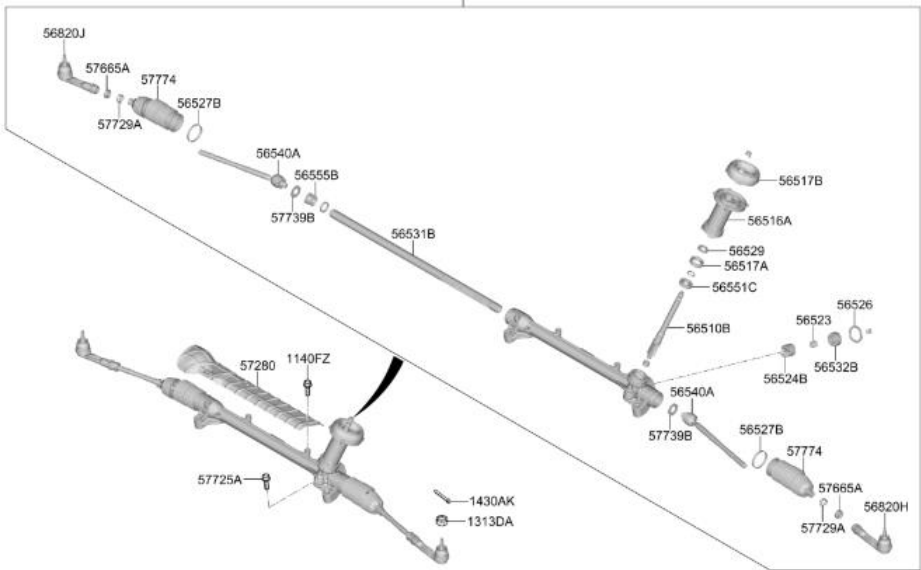
Características Técnicas de la Cremallera de Dirección del Kia Stonic 1.6 cc

Característica técnica	Descripción
Dimensión	1,35 m
Materiales de construcción	Acero al carbono ASTM AISI 1045: se encuentra en la estructura principal de la cremallera, por su resistencia y durabilidad.
	Aluminio: se utiliza en ciertas partes de la estructura para reducir el peso sin comprometer la resistencia total.
	Plástico (polímeros de ingeniería como es la poliamida, nylon): se usa para los componentes como los cubre polvos y partes del mecanismo de montaje.
	Gomas y sellos: usados para evitar la entrada de suciedades, polvos y mantenimiento de la lubricación interna.

En la figura 17 se muestra el despiece de la cremallera de dirección del Kia Stonic 1.6 cc

Figura 17

Despiece de la Cremallera de Dirección del Kia Stonic 1.6 cc



De la figura 17 se tiene lo siguiente:

- Tapa de guardapolvo (56517B): sella la unión entre el guardapolvo (56516A) y la caña de la dirección.
- Sello de aceite (56529): evitar la fuga de lubricante y grasa del guardapolvo (56516A), lo recubre un anillo plástico (56517A) que a la vez lo une al rodamiento (56551C).
- Piñón conjunto (56510B): es la barra de enlace que une la barra de la cremallera con la caña de la dirección, se encarga de dirigir el giro y desplazamiento que tendrá al final los neumáticos acordes a la orden enviada desde el volante. La barra dentada de la cremallera para mantenerse sellada dispone de un soporte en forma de medialuna (56524B) que está unido mediante un resorte (56523) al conector (56532B) que hace de cierre para que no exista ingreso de polvos, todo ello se mantiene fijo por medio de un seguro de bloqueo (56526).
- Barra de engranes (56531B): se halla dentro de la barra de la cremallera y es en sí la que contiene el dentado de acople de movimiento y desplazamiento para la dirección. En su costado derecho se halla un buje de estanqueidad (56555B), fabricado de goma y poliuretano con diámetro interno entre 15 – 20 mm, diámetro externo entre 25 – 30 mm y una altura aproximada de 20 – 25 mm; conjuntamente se une con la arandela de seguridad (57739B) que la sella para evitar entrada de polvo y suciedad que obstruya su dentado, a su costado izquierdo no dispone del buje, puesto que la barra, como se menciona anteriormente, ya dispone del conjunto de cierre. La barra es fabricada de acero con un diámetro entre 25 – 30 mm y una longitud entre 40 – 60 mm.
- Axiales (56540A): se conectan mediante una bola esférica a la barra de engranes (una en cada costado de la barra) para recibir la transmisión de movimiento y

desplazamiento, el cual se transmite a lado contrario de la junta esférica donde el dentado del axial se une al terminal, previo a ello se sella el axial con un guardapolvo plástico (57774), fabricado de goma o plástico flexible con dimensiones de alrededor de 250 – 300 mm con un diámetro interno entre 25 – 30 mm (dependiendo donde se ubique); el cual se fija mediante abrazaderas metálicas en cada extremo del mismo (56527B y 57729A). Los axiales son fabricados de acero y las dimensiones son de alrededor de 180 – 220 mm con un diámetro de la rosca de M12 o M14 (dependiendo del lado izquierdo o derecho respectivamente).

- Tuerca de unión (57665A): une al axial con el terminal de dirección.
- Terminales de dirección (56820H y 56820J): a diferencia de los axiales, los terminales si tienen lado, derecho e izquierdo, los cuales se enroscan al axial, y en medio va la tuerca de unión para que se encuentren fijos. En el extremo (hacia el exterior) la junta esférica del terminal es la que da el movimiento recibido hacia el trípode (a éste se conecta por medio de un enroscado que dispone de una tuerca de fijación 1313DA y un seguro 1430AK para mantenerlos fijos), para que éste con su conjunto de componentes genere el desplazamiento y movimiento de dirección y rotación del neumático. Los terminales son fabricados de acero y las dimensiones son de alrededor de 150 – 200 mm con un diámetro de la rosca de M12 o M14 (dependiendo del lado izquierdo o derecho respectivamente).
- Protector de calor (57280): se ubica por encima del conjunto de la barra de la cremallera en el lado derecho para evitar que el calor generado por el M.C.I haga que las piezas sufran cambios en sus propiedades, tales como el debilitamiento y deformaciones del material. En el lado izquierdo no se dispone de protector de calor dado que el conjunto de la barra está prácticamente en lado derecho tomando como referencia el piñón conjunto.

El funcionamiento de la cremallera de dirección es el siguiente:

- Conexión con el volante: cuando se gira el volante, éste está conectado al piñón que se halla en la cremallera de dirección.
- Conversión de movimiento: el piñón convierte el desplazamiento rotacional del volante en lineal. Este movimiento hace que la barra dentada de la cremallera se desplace de lado a lado.
- Dirección de los neumáticos: a medida que la cremallera se desplaza, empuja y/o tira de los terminales de dirección, hacen que giren en la dirección requerida.
- Asistencia: la Dirección Eléctrica Asistida (*Electric Power Steering – EPS*) usa un motor eléctrico que proporciona asistencia para mejorar la eficiencia del consumo de combustible. Por medio del módulo de dirección se da:

Control y estabilidad: regula la asistencia que se proporciona al volante, concordando la fuerza acorde la velocidad del automóvil y condiciones de conducción.

Sensor de torque: mide la fuerza que la persona aplica al volante y transmite la pesquisa al módulo para determinar cuánta asistencia se necesita.

Diagnóstico: monitorea el rendimiento del sistema y detecta las fallas, mediante la activación de advertencias en el tablero de instrumentos.

Ajuste dinámico: permite la respuesta más adaptativa para, mejorar la experiencia de conducción.

Los beneficios de la cremallera de dirección son:

- Eficiencia: menos consumo de energía en comparación con sistemas hidráulicos sin EPS.
- Manejo preciso: mejora la respuesta del volante y maniobrabilidad general.

- Menos mantenimiento: al no utilizar aceite hidráulico, reduce la necesidad de mantenimiento regular.

3.5 Optimización Topológica

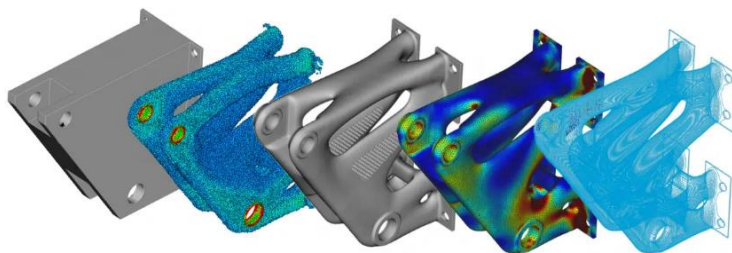
(Ibermática, 2023) menciona que “el diseño generativo se trata de una herramienta que nos brinda una nueva manera de construir y crear a nuestro alrededor”, el mismo que ha tomado mayor realce en el campo del diseño ingenieril con la visión de imitar los elementos de la naturaleza para aplicar en el diseño de prototipos con detalles mejorados y nuevos enfoques.

Del diseño generativo se pasa a la optimización topológica en la cual (Giménez, 2020) indica que “se basa en buscar la distribución óptima de material en una estructura. Partiendo de una forma inicial y mediante la definición de distintas condiciones de contorno, y se genera la mejor distribución de material que cumpla con las condiciones”.

A su vez (Garzón y otros, 2004) mencionan que “el proceso de optimización topológica consiste en cuatro partes: definición de las funciones de optimización, definición de las variables objetivo y las restricciones, inicialización de la optimización y ejecución del análisis”. En definitiva, una optimización topológica se determina como la técnica avanzada en el área de la ingeniería de croquis, que busca encontrar la repartición de mayor eficacia de material en la producción de estructuras, con el fin mayor de minimizar su peso y maximizar el rendimiento. En la figura 18 se ve el diseño generativo de un elemento, a través de la optimización topológica.

Figura 18

Modelo del Proceso de Optimización Topológica y Diseño Generativo



Fuente: (Formlabs , 2023)

Para el proceso de optimización topológica se requiere de una persona para la creación de un diseño CAD, en el que se aplicarán restricciones y cargas tomando en cuenta los parámetros del elemento a elaborar. Posteriormente el software elimina el material redundante y generará el concepto de modelo de malla optimizado para su evaluación.

3.6 Consideraciones de Restricción de Diseño

Se determina las consideraciones de restricciones de diseño en lo que corresponde al componente en estudio para la obtención de soluciones variables y cercanas a la realidad. Las restricciones fundamentan los límites y las condicionantes dentro de los que trabaja el componente optimizado y de esta manera avalar la funcionalidad, seguridad y cumplimiento de requisitos específicos de trabajo.

Las restricciones de diseño que se abarca para el presente proyecto son:

- Esfuerzos máximos permitidos
- Fuerzas y momentos
- Cargas
- Deformaciones admisibles
- Ciclos de vida
- Restricciones geométricas
- Factores de seguridad

La aplicación correcta de las restricciones en mención dependerá de la aplicación de parámetros de diseño y la manera específica. Como, por ejemplo, en el caso de la optimización topológica de la cremallera de dirección, las restricciones se basan en los esfuerzos generados cuando existe una carga de impacto, las fuerzas y deformaciones resultantes. También se determina las restricciones de diseño para de esta manera garantizar que el esfuerzo máximo a soportar por transmisión de movimiento sea bajo un factor de seguridad alto, debido a que su diseño incorrecto podrá generar que el movimiento de torsión sea seguro para el conductor al

momento de girar el volante. Las restricciones en la fase de diseño del componente se desglosan del estándar del campo mecánico, necesidad específica del trabajo y sobre todo de la regulación técnica en la que se aplica. Pero la condición base que se considera es el hallar equilibrio entre el cumplimiento de las restricciones y la optimización del componente, por la razón de que el elemento ideal, desde el punto de vista de la eficiencia, podrá no ser ideal si no se cumplieren las restricciones de trabajo y seguridad. Se considera que algunos juicios las restricciones se contradicen o requieren de un enlace entre los distintos objetivos del diseño, por cuanto la fase de optimización topológica implica de realizar enfoques interactivos y de análisis minucioso para que cada uno de los parámetros de la forma se ajuste, y así obtener un diseño ideal.

En conclusión, la consideración de restricciones en la fase de boceto con aplicativa de optimización topológicas es fundamental para avalar que los resultados sean prácticos y/o seguros. Dicha restricción permitirán implementar cada uno de las fronteras para obtener la mejor estructura del componente y permitir un diseño ideal que combine su eficiencia, función, eficacia y aplicación.

3.7 Sistema y Ecuaciones

3.7.1 Cálculo de la Fuerza (F_1)

Cuando el automóvil se encuentra estacionado y se requiere del giro de los neumáticos, el único torque producido actúa sobre el eje “z” por cuanto el cálculo de F_1 será el que se muestra en la ecuación 4.

Ecuación 4

Ecuación para el Cálculo de F_1

$$F_1 = \frac{T_2}{b}$$

Para determinar T_2 se requiere la ecuación 5 que deriva de la relación existente entre el volante y la columna de dirección.

Ecuación 5

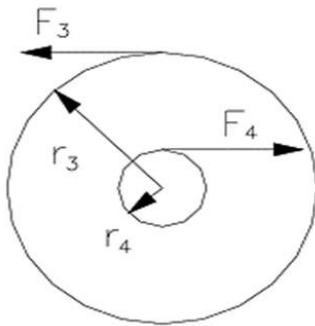
Ecuación para el Cálculo de T_2

$$T_2 = \frac{F_3 r_3 b}{2 r_4}$$

La Ecuación 5 parte del diagrama de la figura 19.

Figura 19

Diagrama para el Cálculo de T_2



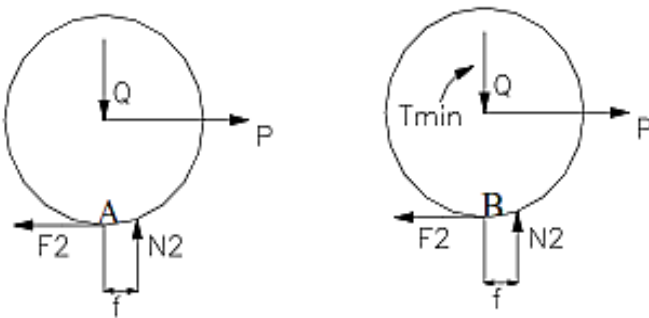
Fuente: (Ramón Román, 2006)

3.7.2 Cálculo de la Distancia (f)

Se considera una aceleración igual a cero para determinar la f , que está en función de F , por cuanto se parte del diagrama de la figura 20.

Figura 20

Diagrama para el Cálculo de f



Fuente: (Ramón Román, 2006)

Con el diagrama de la figura 20 se hace la $\sum M$ en el punto de apoyo A y B para despejar f y obtener la ecuación 6.

Ecuación 6

Ecuación para el Cálculo de f

$$f = \frac{a_c \left(r \left(m + \frac{1}{r^2} \right) \right) - T}{m * g}$$

3.7.3 Deformación de la Flecha de Dirección

El ángulo de la flecha de dirección está basado en el giro producido por un ángulo proporcional de los neumáticos. Para ello se recurre a las ecuaciones de mecánicas de sólidos, las cuales solo funcionan dentro del límite elástico del material. En la ecuación 7 se presenta la fórmula para calcular el esfuerzo cortante al que se somete la flecha de dirección (r).

Ecuación 7

Fórmula para el Cálculo de r

$$\tau = \frac{T_c d}{2 J}$$

Donde:

τ = esfuerzo cortante al que se somete la flecha de dirección

T_c = toque que ejerce el conductor

d = diámetro de la flecha de dirección

J = momento polar de inercia de la selección circular

En la ecuación 8 se presenta la fórmula para calcular de J .

Ecuación 8

Fórmula para el Cálculo de J

$$J = \frac{\pi d^4}{32}$$

En la ecuación 9 se presenta la fórmula para calcular el ángulo de giro ($\Delta\phi$).

Ecuación 9

Fórmula para el Cálculo de $\Delta\varphi$

$$\Delta\varphi = \frac{T_c L}{J G}$$

Donde:

$\Delta\varphi$ = ángulo de giro

L = largo de la flecha

G = módulo de esfuerzo cortante, se obtiene de las tablas de especificaciones del material con que se trabaja

3.8 Consideraciones Iniciales

Se definen todas las propiedades de material requeridas en cada uno de los componentes de la cremallera de dirección. (Ver figura 21)

Figura 21

Cremallera de Dirección del KIA Stonic 1.6 cc



El tipo de material involucrará el comportamiento de este y determinará las propiedades requeridas.

Dentro del software SolidWorks se utilizará la biblioteca de materiales predeterminados en base a lo detallado en la tabla 2.

Tabla 2*Datos Técnicos de la Cremallera de Dirección del KIA Stonic 1.6 cc*

Datos	Observación
Dimensión de la cremallera	1,35 m (desde terminal derecho a izquierdo)
Buje de estanqueidad	Material de goma y poliuretano con: Diámetro interno entre 15 – 20 mm Diámetro externo entre 25 – 30 mm Altura aproximada de 20 – 25 mm Material de acero con:
Barra de engranes	Diámetro entre 25 – 30 mm Longitud entre 40 – 60 mm Material de goma o plástico flexible con:
Guardapolvos	Dimensiones de alrededor de 250 – 300 mm Diámetro interno entre 25 – 30 mm (dependiendo donde se ubique) Material de acero con:
Axiales	Dimensiones de alrededor de 180 – 220 mm Diámetro de la rosca M12 o M14
Tuercas	Material de acero Dimensiones de alrededor de 150 – 200 mm
Terminales	Diámetro de la rosca M12 o M14
Otros componentes	En el proceso de diseño y fabricación se determinarán su material adecuado con base a lo que indique el fabricante

Fuente: (MoogParts, 2023)

Se debe determina las propiedades volumétricas de la cremallera de dirección para poder definir los parámetros del análisis al que será sometido. En la tabla 3 se muestra las propiedades volumétricas que se aplicarán.

Tabla 3

Propiedades Volumétricas Cremallera de Dirección

Propiedad	Observación
Volumen	$2,80119 \text{ e}^{-05} \text{ m}^3$
Masa	0,219893 kg
Peso	2,15495 N
Densidad	7.850 kg/m^3

Para el procedimiento de simulación se realiza el análisis estático a 3 diferentes cargas de fuerza:

- Especificación de restricción y carga: estudios de optimización y fatiga.
- Estudio de caída: permitirá definir restricciones y cargas distintas de las que se especifican en configuración base.

Se definen las propiedades del material, cargas y restricciones, para la creación de la malla en cualesquier orden, pero se define todos los parámetros iniciales antes de ejecutar la simulación para:

- Tensión de Von Mises
- Criterios de evaluación

3.9 Modelado y Análisis de la Geometría de la Cremallera de Dirección

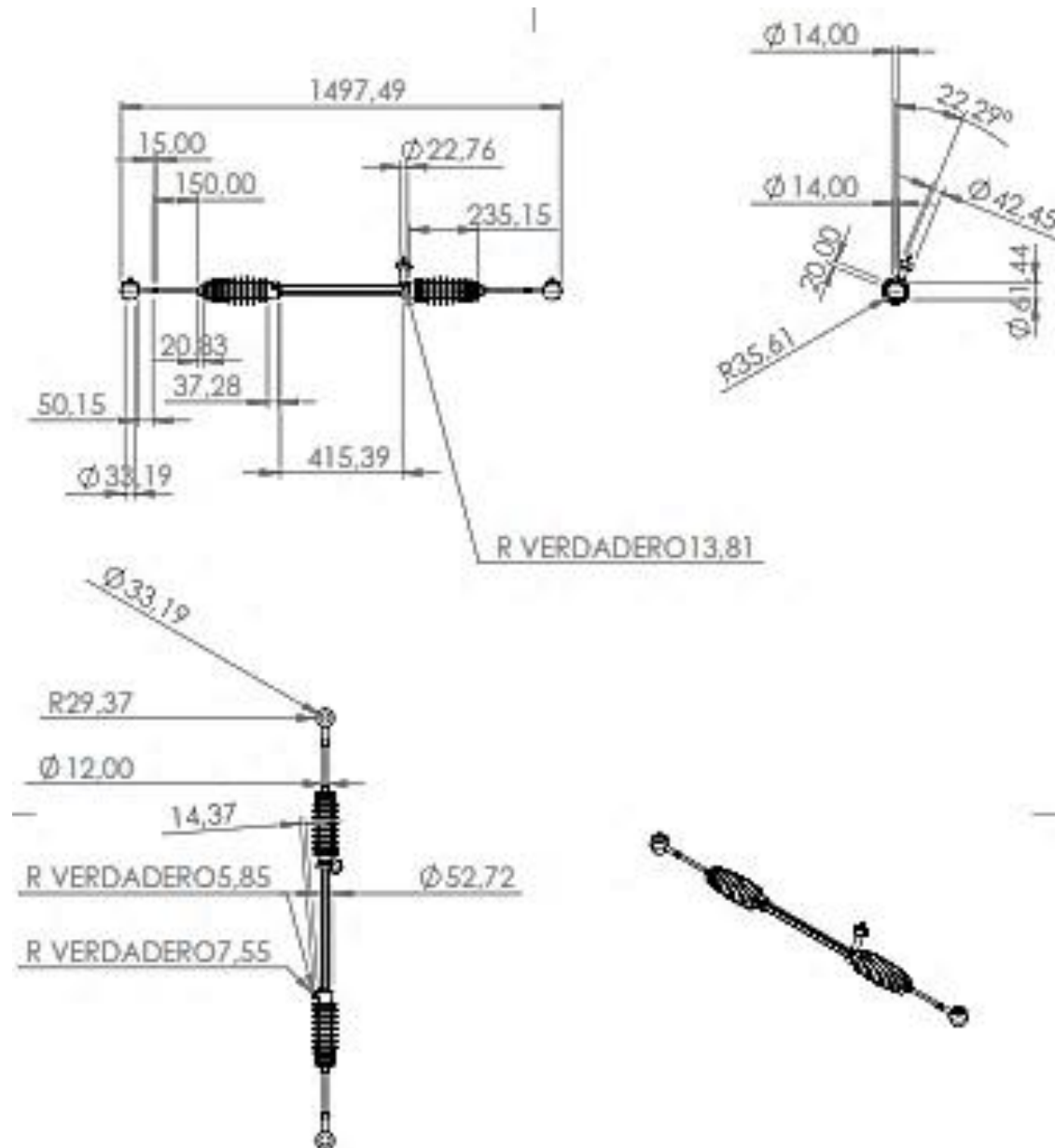
Se determina el rediseñar en software SolidWorks la cremallera de dirección del KIA Stonic 1.6 cc a escala del real para obtener resultados precisos y poder cumplir con el fin del trabajo en propuesta.

Previo a ello se tiene del plano del diseño en 2D para ser trasladarlo a un croquis 3D.

Ver figura 22.

Figura 22

Plano 2D de la Cremallera de Dirección del KIA Stonic 1.6 cc



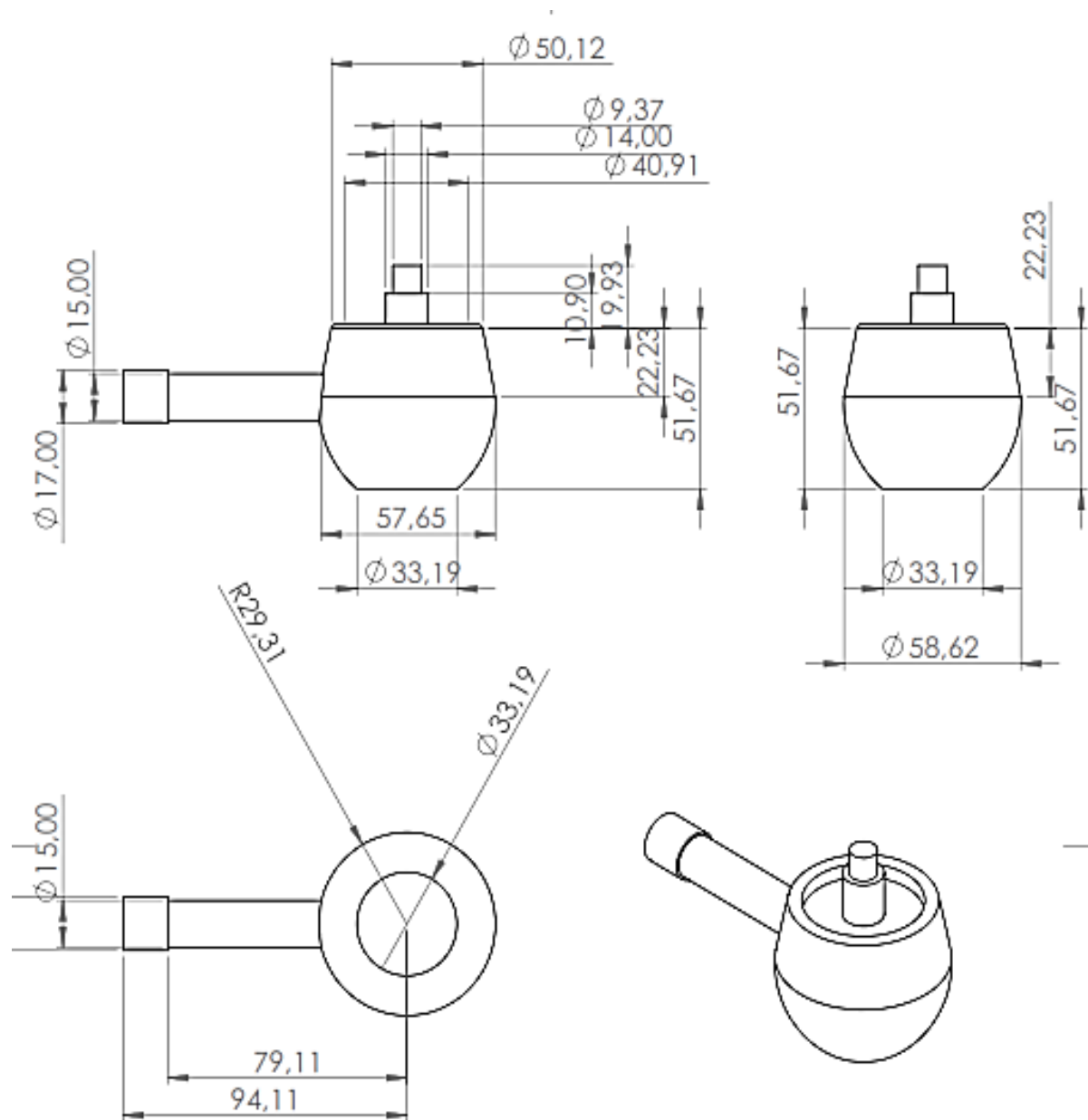
3.9.1 Modelado de los Terminales de Dirección

Se procede a diseñar los terminales de dirección de la cremallera, los cuales generan el desplazamiento y movimiento de dirección y rotación del neumático.

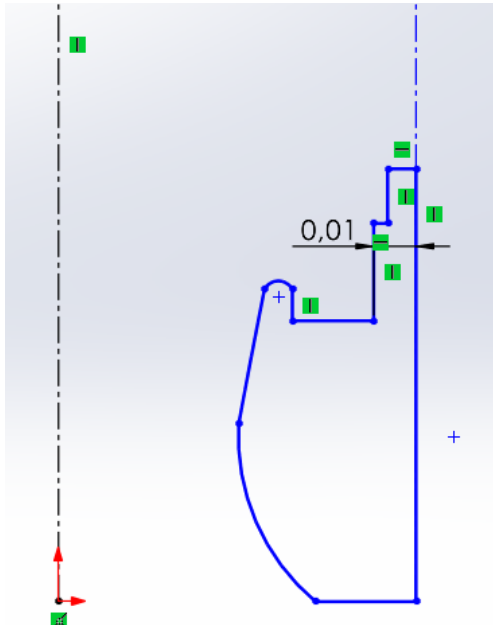
Como punto de partida se tiene el plano del diseño en 2D para ser trasladarlo a un croquis 3D. Ver figura 23.

Figura 23

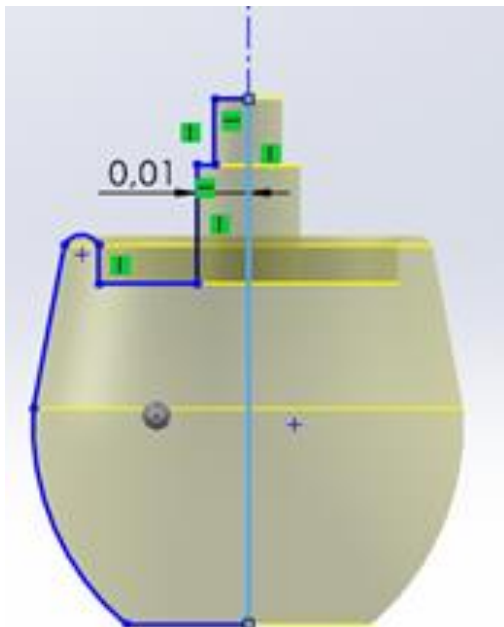
Plano 2D del Terminal de Dirección



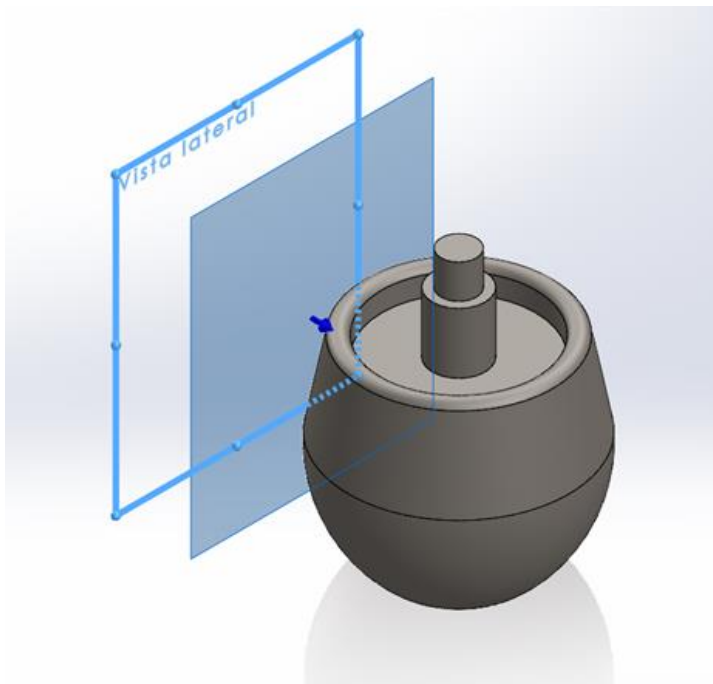
Se crea un croquis dando la forma de la rótula que lleva el terminal en su extremo como se ve la figura 24.

Figura 24*Croquis para el Diseño del Terminal de Dirección*

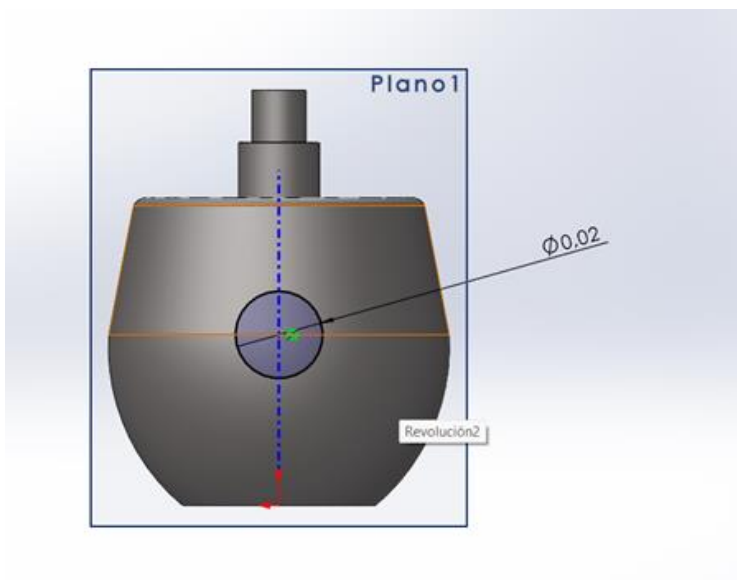
Del croquis generado se realiza una revolución para dar la forma base a la rótula como se ve la figura 25.

Figura 25*Revolución del Croquis para el Diseño del Terminal de Dirección*

Se genera una simetría de croquis con vista lateral como se ve la figura 26.

Figura 26*Generación de Simetría*

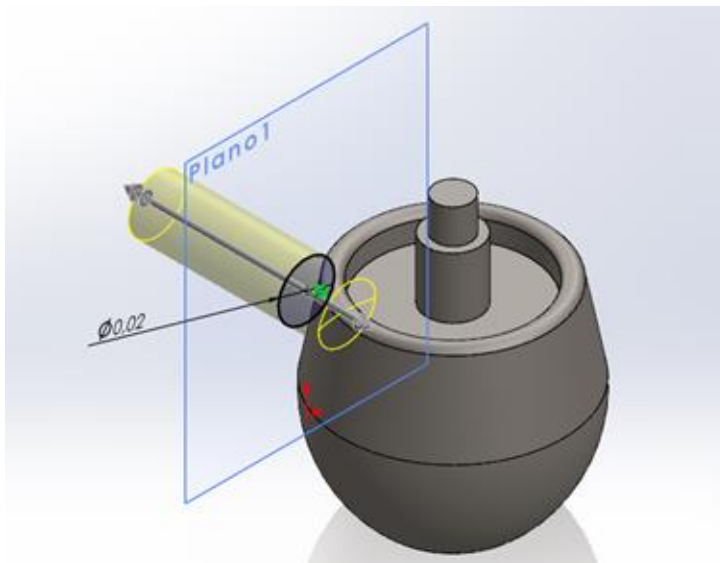
A partir de la simetría de croquis con vista lateral generada, se diseña un círculo de diámetro 0,02 m como se muestra la figura 27.

Figura 27*Dibujo del Círculo en la Simetría Generada*

Se realiza una extrusión del círculo diseñado como se ve la figura 28.

Figura 28

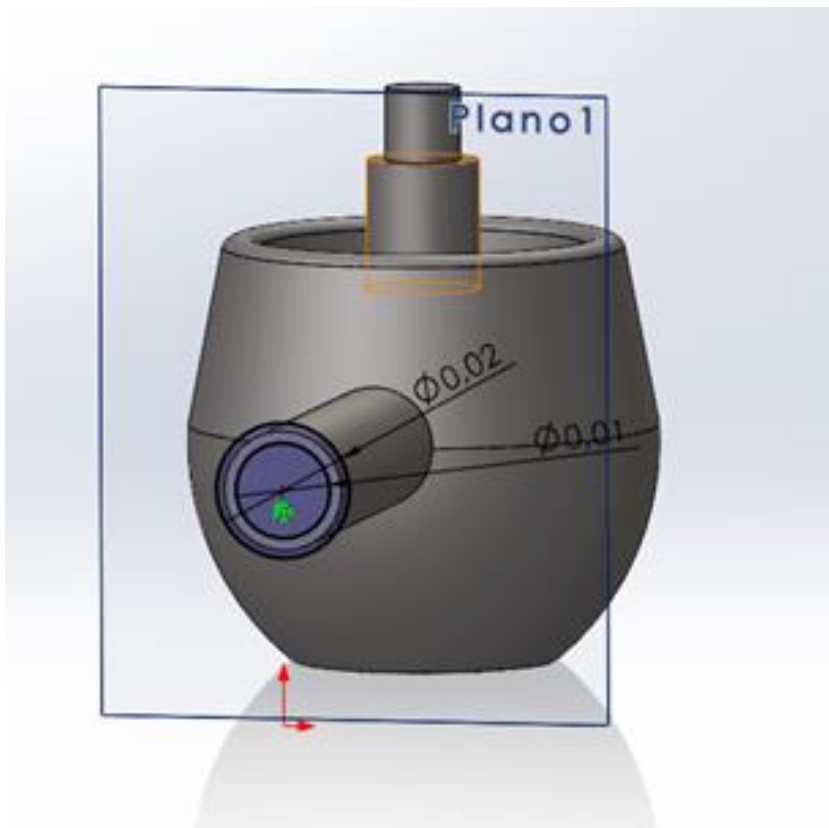
Extrusión del Círculo Diseñado



Se crea un croquis de 2 círculos en la cara que se generó la extrusión para generar la punta donde va el enroscado del terminal de dirección, como se ve la figura 29.

Figura 29

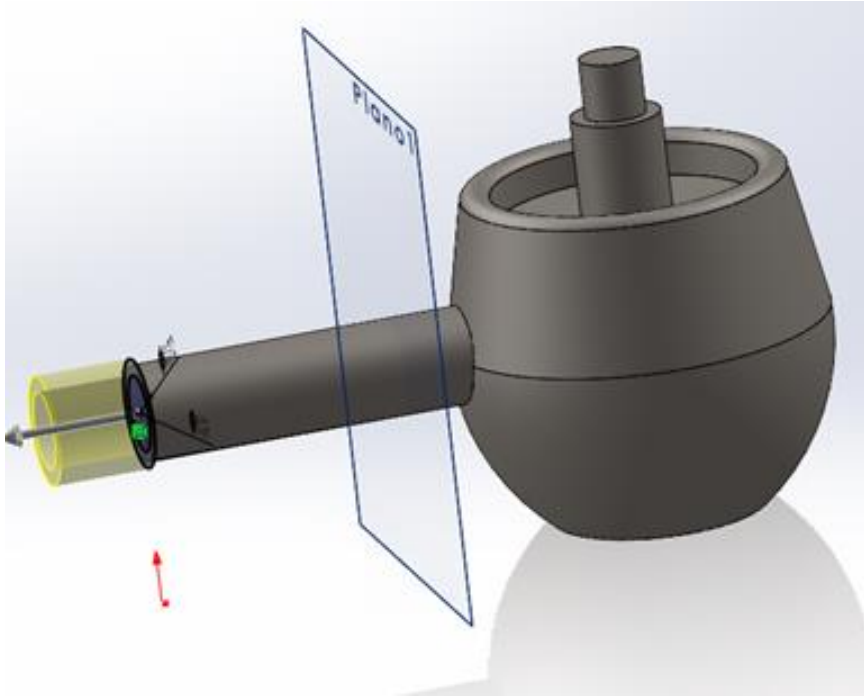
Croquis para el Diseño de la Conexión del Terminal con el Axial de Dirección



Se realiza la extrusión a 0,015 m donde se creó los 2 círculos, como se ve la figura 30.

Figura 30

Extrusión para el Diseño de la Conexión del Terminal con el Axial de Dirección

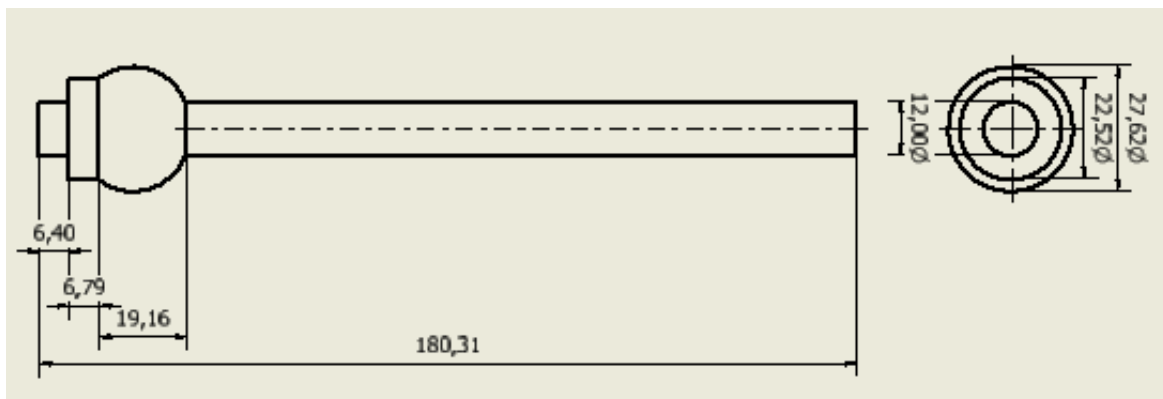


3.9.2 Modelado de los Axiales de Dirección

Se procede a diseñar los axiales de dirección de la cremallera, los cuales reciben la transmisión de movimiento y desplazamiento, el cual se transmite a lado contrario de la junta esférica donde el dentado del axial se une al terminal. Como punto de partida se tiene del plano del boceto en 2D para ser trasladarlo a un croquis 3D. Ver figura 31.

Figura 31

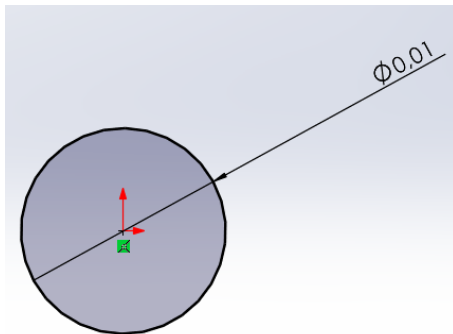
Plano 2D del Axial de Dirección



Se diseña un círculo de 0,01 m de diámetro como se ve la figura 32.

Figura 32

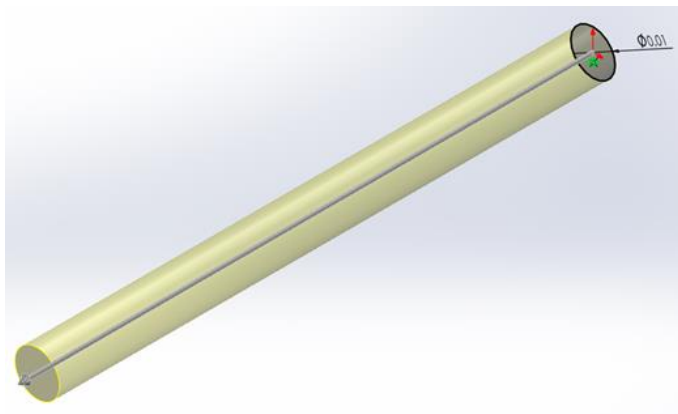
Círculo para el Diseño del Axial de Dirección



Del círculo generado se realiza una extrusión a 0,15 m para dar la forma a la rótula como se ve la figura 33.

Figura 33

Extrusión del Círculo para el Diseño del Axial de Dirección



Se genera un croquis en el centro del dibujo como se ve la figura 34.

Figura 34

Croquis en el Centro del Dibujo



Del croquis generado se realiza una revolución para dar la forma base a la rótula del axial como se ve la figura 35.

Figura 35

Revolución del Croquis para el Diseño del Axial de Dirección



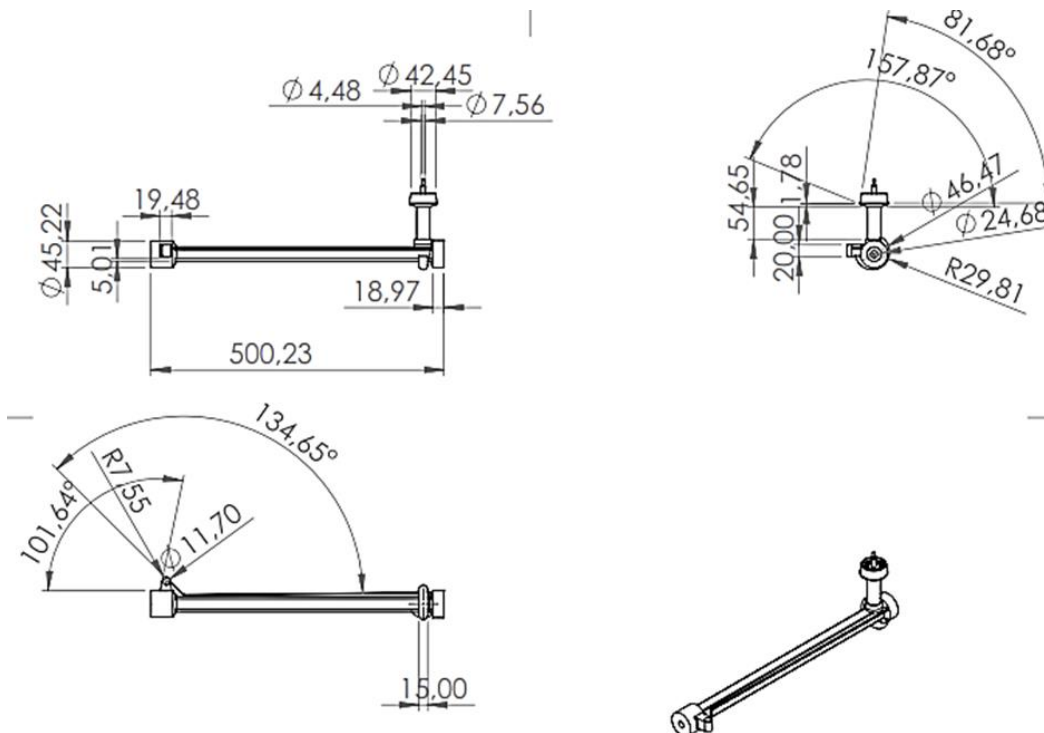
3.9.3 Modelado de la Barra de Engranes de la Cremallera de Dirección

Se procede a diseñar la barra de engranes de la cremallera de dirección la cual recepta la dirección de movimiento desde la columna de dirección y la traslada hacia los axiales y de éstos a los terminales.

Como punto de partida se tiene el plano del boceto en 2D para ser trasladarlo a un croquis 3D. Ver figura 36.

Figura 36

Plano 2D de la Barra de Engranes

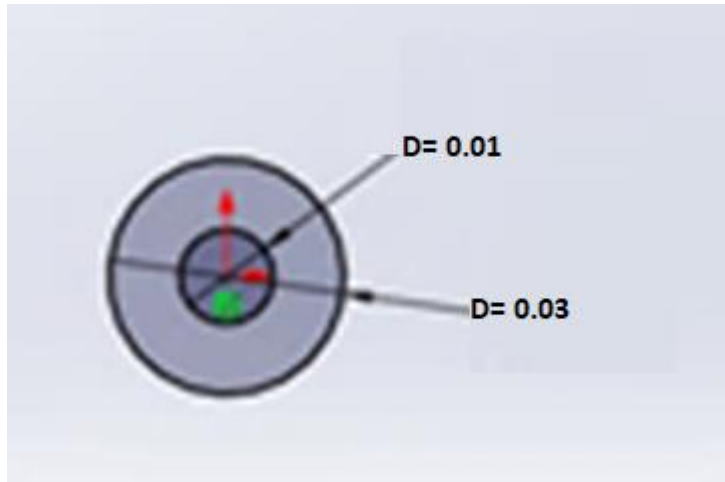


Se crea un croquis con dos círculos de 0,01 m y 0,03 m de diámetro respectivamente.

Ver figura 37.

Figura 37

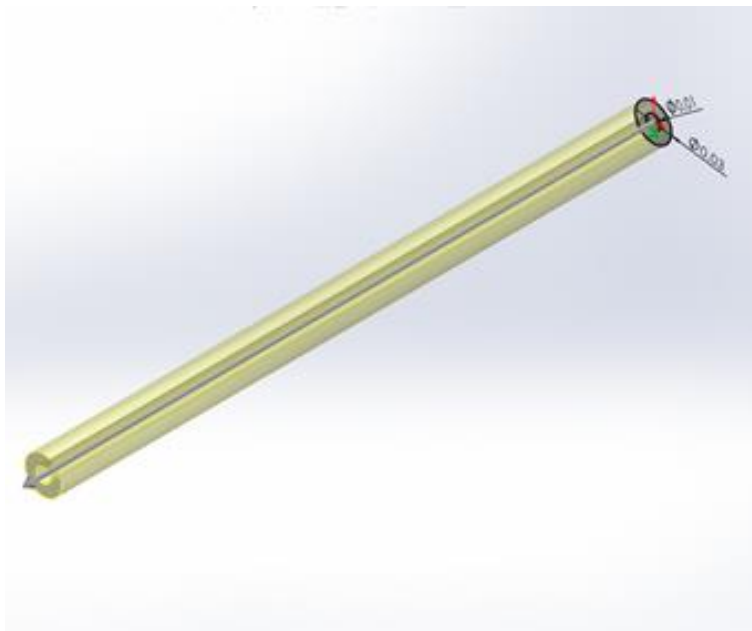
Croquis para el Diseño de la Barra de Engranés



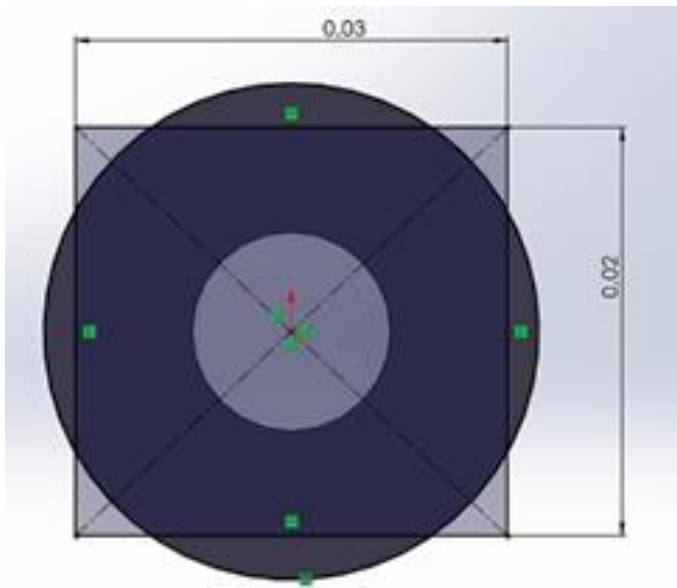
Se realiza una extrusión saliente a 0.50 m del croquis realizado. Ver figura 38.

Figura 38

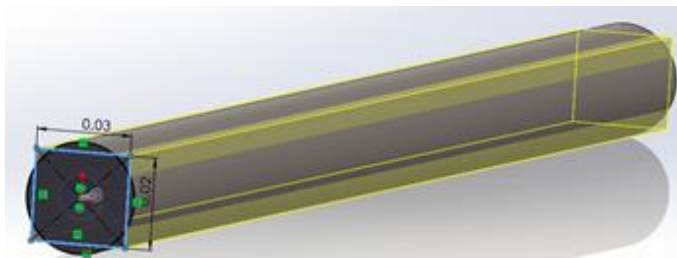
Extrusión Saliente



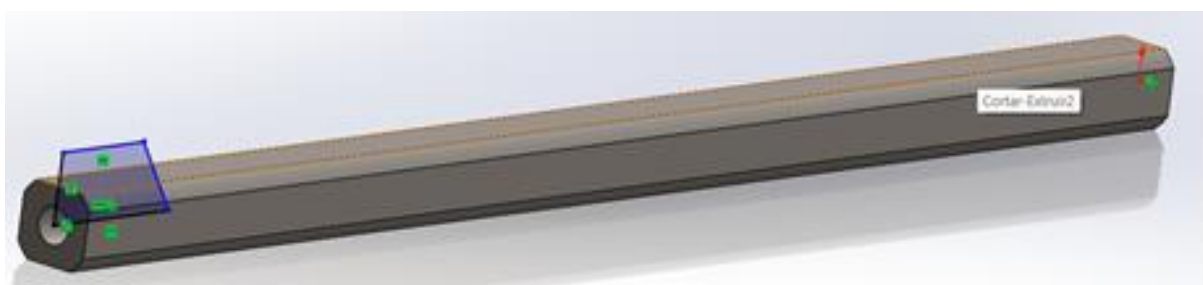
Se crea un rectángulo de 0.03 m x 0.02 m en la cara del plano del croquis dibujado inicialmente. Ver figura 39.

Figura 39*Generación de un Rectángulo*

Se realiza el proceso cortar y extruir a lo largo del cilindro que se generó por medio del rectángulo diseñado. Ver figura 40.

Figura 40*Proceso de Cortar y Extruir*

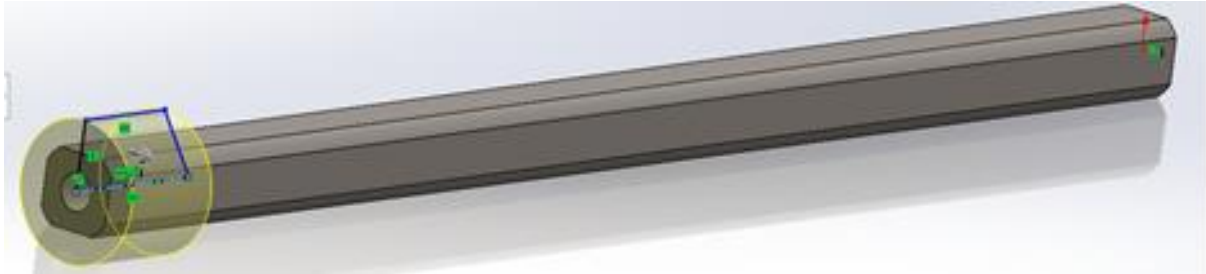
Se realiza un croquis en la mitad de la pieza diseñada como se ve en la figura 41, que servirá de guía para el siguiente proceso de diseño.

Figura 41*Generación de Croquis*

A partir del croquis generado se realiza una revolución. Ver figura 42.

Figura 42

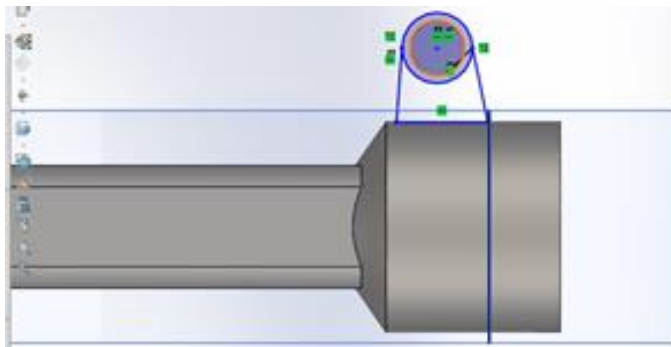
Proceso de Revolución



Se realiza un nuevo croquis donde se generó la revolución como se ve en la figura 43, que servirá de guía para el diseño del soporte de la cremallera de dirección.

Figura 43

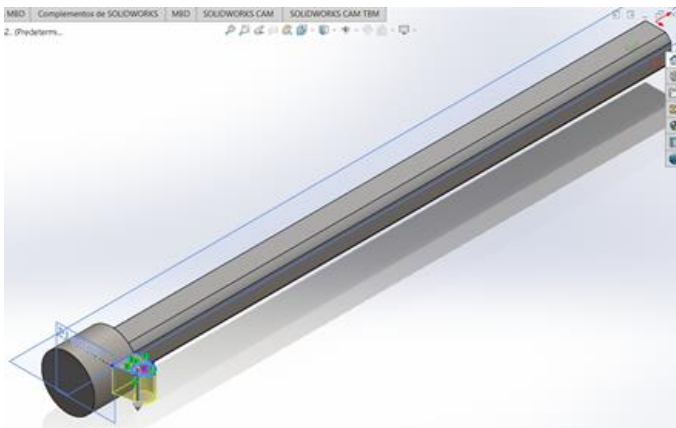
Generación de Croquis 2



A partir del croquis generado se realiza una extrusión. Ver figura 44.

Figura 44

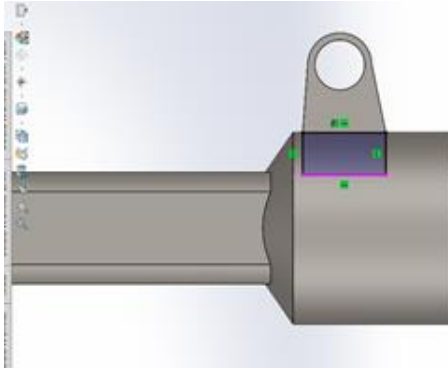
Proceso de Extrusión



Se genera un croquis en la saliente diseñada como se ve en la figura 45.

Figura 45

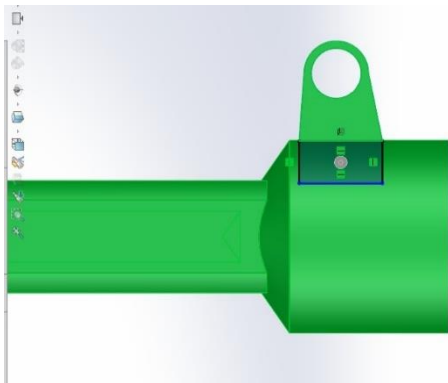
Generación de Croquis 3



A partir del croquis generado se realiza una extrusión. Ver figura 46.

Figura 46

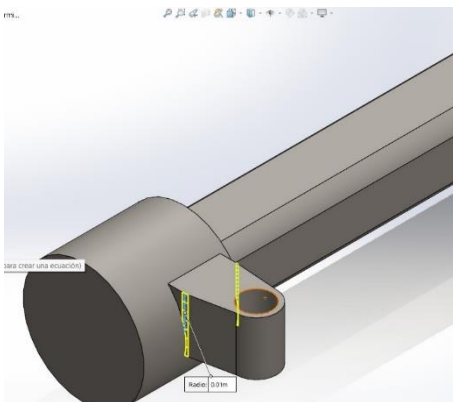
Proceso de Extrusión de la Saliente



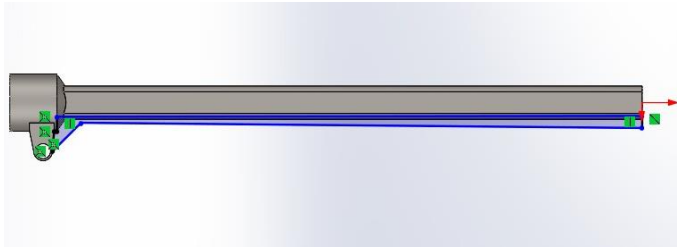
Con la extrusión realizada se genera un redondeo. Ver figura 47.

Figura 47

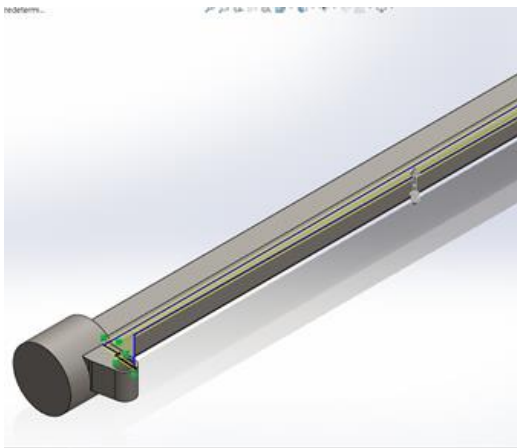
Proceso de Redondeo



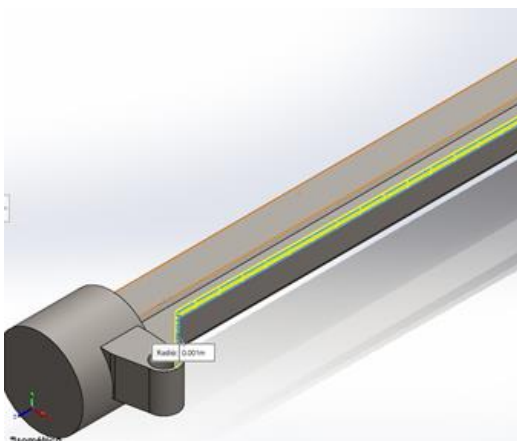
Se crea un croquis que traspase un poco el diseño. Ver figura 48.

Figura 48*Croquis para dar Forma al Componente*

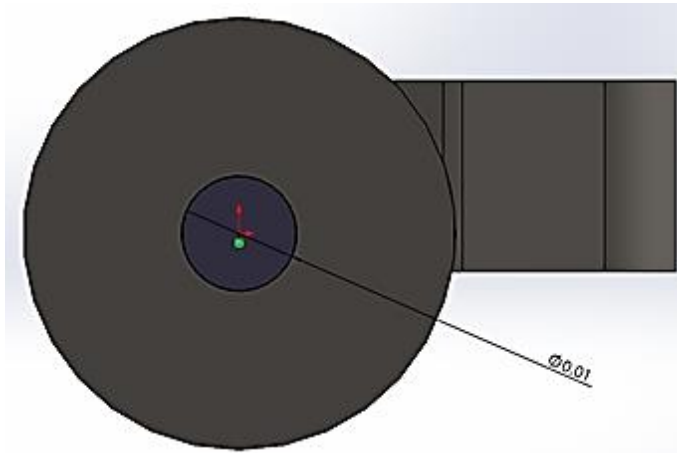
Se extruye el croquis generado. Ver figura 49.

Figura 49*Extrusión del Croquis para dar Forma al Componente*

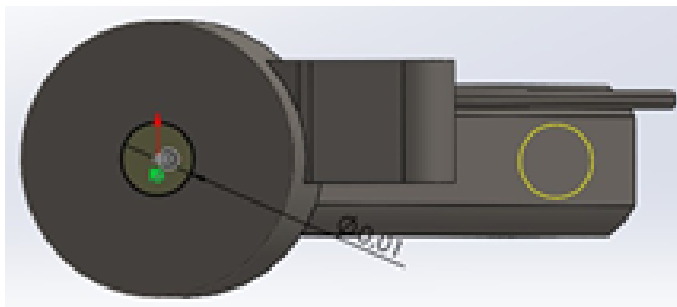
Se redondea la extrusión generada. Ver figura 50.

Figura 50*Redondeo de la Extrusión del Croquis para dar Forma al Componente*

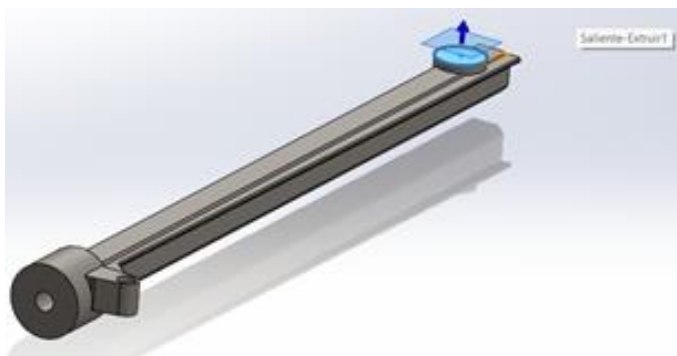
Se realiza un croquis de un círculo en la cara superior del componente. Ver figura 51.

Figura 51*Croquis en la Cara Superior del Componente*

Se realiza una extrusión en todo el componente a partir del croquis generado. Ver figura 52.

Figura 52*Extrusión del Croquis Generado en la Cara Superior del Componente*

Se realiza una geometría de planos como se muestra en la figura 53.

Figura 53*Geometría de Planos*

Se diseña un círculo como se ve en la figura 54, este servirá de base para el diseño del enlace que conecta la cremallera con la columna de dirección.

Figura 54

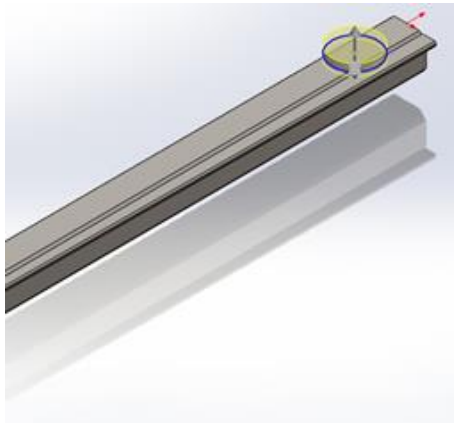
Diseño de Círculo Base



Se procede a extruir el círculo generado como se muestra en la figura 55.

Figura 55

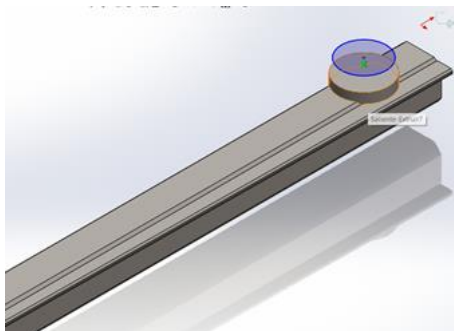
Extrusión de Círculo Base



Se genera un círculo en la parte superior de la extrusión como se muestra en la figura 56.

Figura 56

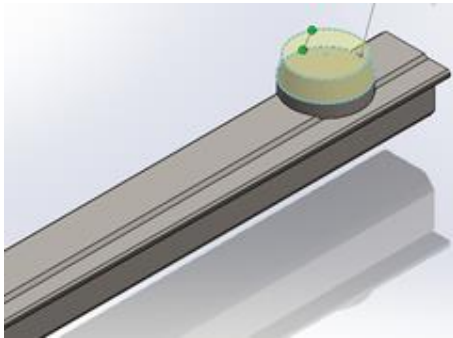
Diseño del Círculo en la Extrusión de Círculo Base



Se aplica recubrimiento en el círculo diseñado en la parte superior de la extrusión como se ve muestra la figura 57.

Figura 57

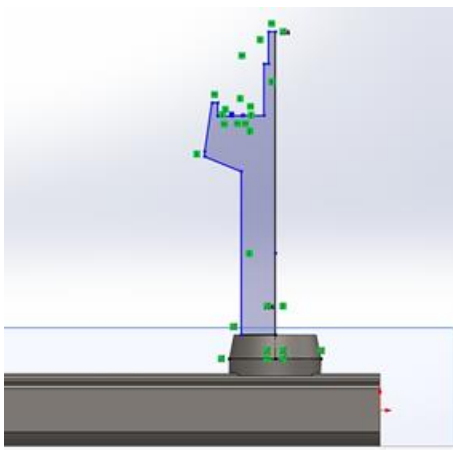
Recubrimiento del Círculo en la Extrusión de Círculo Base



Se aplica un plano en la vista lateral y se realiza un croquis como se muestra en la figura 58.

Figura 58

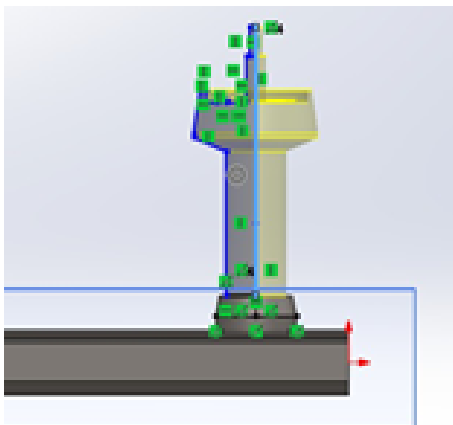
Generación de Plano en la Vista Lateral



Se aplica revolución en el plano generado como se muestra en la figura 59.

Figura 59

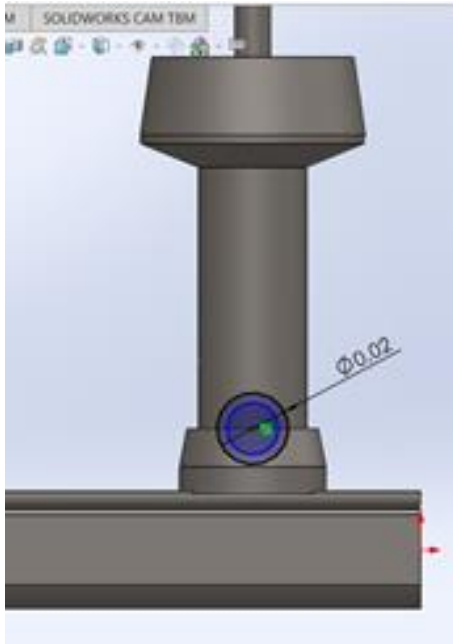
Revolución de Plano en la Vista Lateral



Se aplica un plano en la vista lateral y se realiza un croquis de un círculo como se muestra en la figura 60.

Figura 60

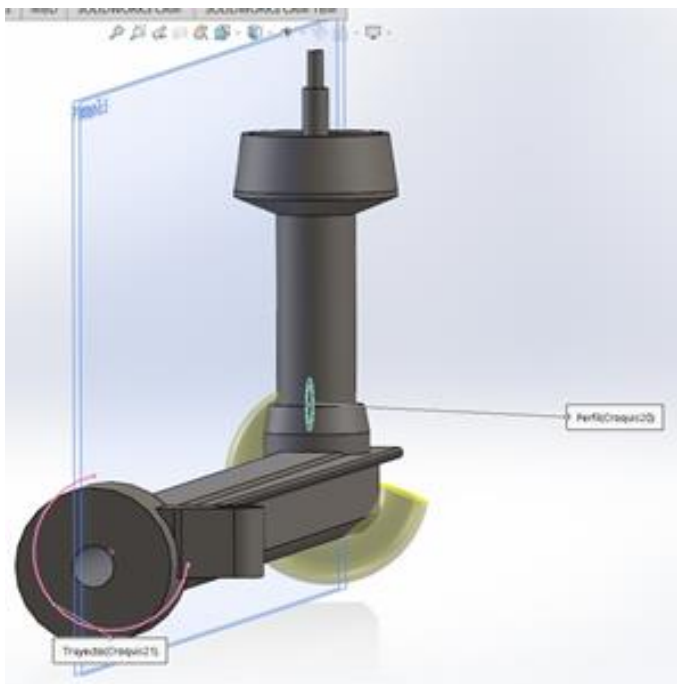
Generación de Plano en la Vista Lateral 2



Se aplica el comando barrer a todo el componente como se muestra en la figura 61.

Figura 61

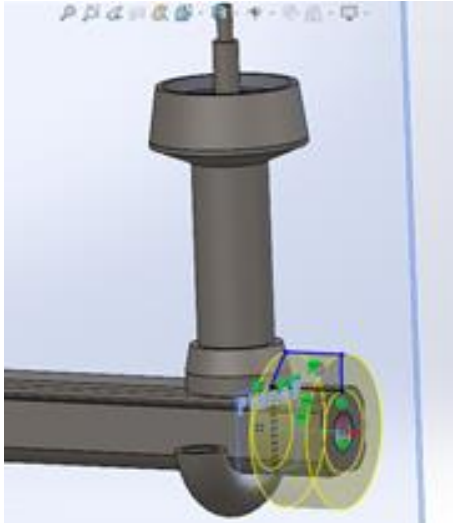
Generación de Plano en la Vista Lateral 2



Se aplica un plano en la vista lateral y se realiza un croquis para generar una revolución como se muestra en la figura 62.

Figura 62

Revolución de Plano en la Vista Lateral 3



3.9.4 Modelado Final de la Cremallera de Dirección

Una vez realizado el diseño de todos los elementos que constituyen la cremallera de dirección se une para poder proceder con la simulación, evaluación y análisis de las tensiones, desplazamientos, deformaciones y factor de seguridad. Para el diseño 3D a realizar en el software se considera el material de fabricación con que se construye de fábrica. En la figura 63 se ve el ensamblaje final de la cremallera de dirección.

Figura 63

Cremallera de Dirección del KIA Stonic 1.6



3.10 Interpretación de Resultados

Para la interpretación de resultados obtenidos con la simulación estructural, involucra analizar y evaluar los resultados. Se analiza las tensiones, desplazamientos, deformaciones y factor de seguridad. La interpretación también consistirá en comparar los resultados con una aplicación de 3 cargas de fuerza para validar los datos experimentales y proporcionar información base para un informe del máximo de carga que puede tener la cremallera de dirección cuando se somete a diferentes esfuerzos.

Para realizar las simulaciones computacionales en la cremallera de dirección, en la tabla 4 se muestra las propiedades asignadas por el software Solidworks.

Tabla 4

Propiedades para la Cremallera de Dirección

Propiedad	Observación
Material	AISI 1045 Acero estirado en frío
Límite elástico	$5,3 \text{ e}^{+08} \text{ N/m}^2$
Tipo de modelo	Isotrópico elástico lineal
Coeficiente de Poisson	0,29
Módulo elástico	$2,05 \text{ e}^{+08} \text{ N/m}^2$
Límite de tracción	$6,25 \text{ e}^{+08} \text{ N/m}^2$
Coeficiente de dilatación térmica	$-273.15 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Módulo cortante	$8 \text{ e}^{+10} \text{ N/m}^2$
Densidad	7850 kg/m^3

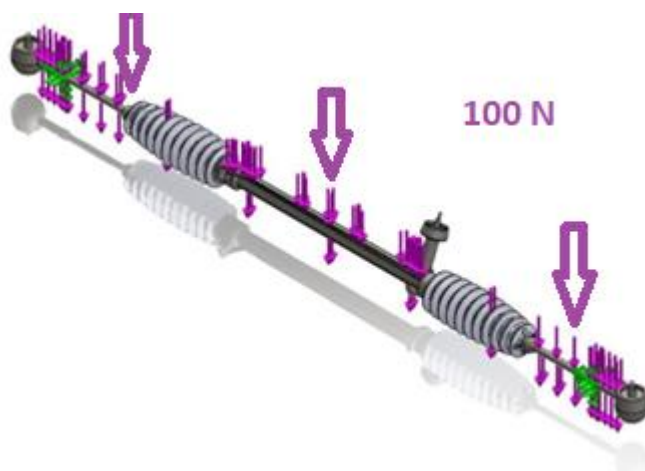
En la tabla 5 se muestra los datos del mallado utilizado a aplicar al diseño para la simulación.

Tabla 5*Mallado Utilizado para la Simulación en la Cremallera de Dirección*

Propiedad	Observación
Mallador utilizado	Malla sólida basada en curvatura de combinado
Tamaño máximo	24,788 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Tamaño mínimo	1,2394 mm
Puntos jacobianos para malla	16 puntos
Cociente máximo de aspecto	3224,6
Nº total de nodos	170881

3.10.1 Caso 1 – Carga de 100 N

En la figura 64 se muestra de forma clara el conjunto de la cremallera de dirección aplicada de forma distribuida la dirección y capacidad de la carga de presión con un valor de 100 N, así mismo se puede apreciar de forma precisa en que puntos de la cremallera se encuentran los puntos de restricción de fijación (flechas moradas).

Figura 64*Aplicación de Carga de Presión a 100 N*

En la tabla 6 se muestra los valores de fuerzas de reacción, en el eje de coordenadas, asignados para la simulación en el caso 1 donde se aplica la carga de 100 N a la cremallera de dirección.

Tabla 6

Fuerzas de Reacción para el Caso 1 a 100 N

Fuerza de Reacción (N)	
X	0,0772867
Y	899,726
Z	0,0408003
Resultante	899,726

En la tabla 7 se muestra los valores de fuerzas de cuerpo libre, en el eje de coordenadas, asignados para la simulación en el caso 1 donde se aplica la carga de 100 N a la cremallera de dirección.

Tabla 7

Fuerzas de Cuerpo Libre para el Caso 1 a 100 N

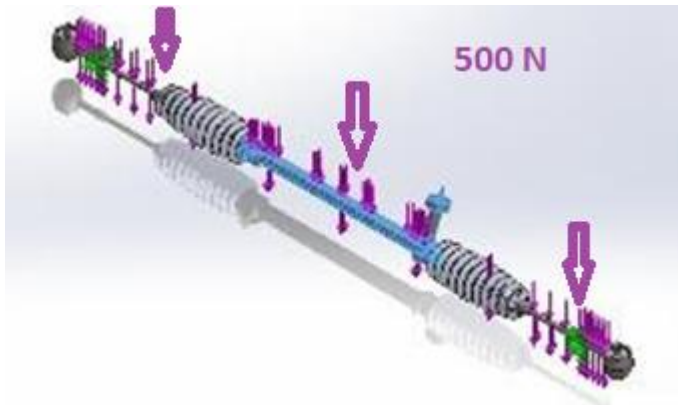
Eje de coordenadas	Fuerza de Cuerpo libre (N)
X	0,117579
Y	0,347111
Z	1,52482
Resultante	1,56825

3.10.2 Caso 2 – Carga de 500 N

En la figura 65 se muestra la cremallera de dirección aplicada la carga de presión a 500 N, así mismo se puede apreciar de forma precisa en que puntos de la cremallera se encuentran los puntos de restricción de fijación (flechas moradas).

Figura 65

Aplicación de Carga de Presión a 500 N



En la tabla 8 se muestra los valores de fuerzas de reacción, en el eje de coordenadas, asignados para la simulación en el caso 2 donde se aplica la carga de 500 N a la cremallera de dirección.

Tabla 8

Fuerzas de Reacción para el Caso 2 a 500 N

	Fuerza de Reacción (N)
X	0,383416
Y	4.498,63
Z	0,204385
Resultante	4.498,63

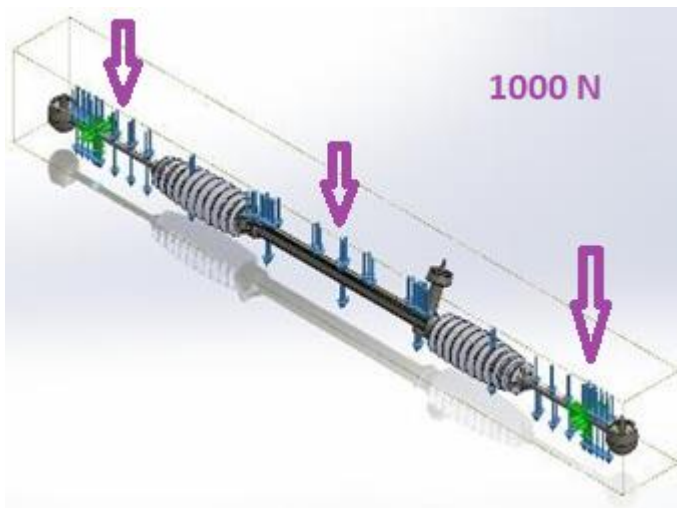
En la tabla 9 se muestra los valores de fuerzas de cuerpo libre, en el eje de coordenadas, asignados para la simulación en el caso 2 donde se aplica la carga de 500 N a la cremallera de dirección.

Tabla 9*Fuerzas de Cuerpo Libre para el Caso 2 a 500 N*

Fuerza de Cuerpo libre (N)	
X	0,5821
Y	1,73508
Z	7,62702
Resultante	7,84352

3.10.3 Caso 3 – Carga de 1000 N

En la figura 66 se muestra la cremallera de dirección aplicada la carga de presión a 1000 N, así mismo se puede apreciar de forma precisa en que puntos de la cremallera se encuentran los puntos de restricción de fijación (flechas azules).

Figura 66*Aplicación de Carga de Presión a 100 N*

En la tabla 10 se muestra los valores de fuerzas de reacción, en el eje de coordenadas, asignados para la simulación en el caso 3 donde se aplica una carga de 1000 N a la cremallera de dirección.

Tabla 10*Fuerzas de Reacción para el Caso 3 a 1000 N*

	Fuerza de Reacción (N)
X	0,766832
Y	8997,27
Z	0,40877
Resultante	8997,27

En la tabla 11 se muestra los valores de fuerzas de cuerpo libre, en el eje de coordenadas, asignados para la simulación en el caso 3 donde se aplica una carga de 1000 N a la cremallera de dirección.

Tabla 11*Fuerzas de Cuerpo Libre para el Caso 3 a 1000 N*

	Fuerza de Cuerpo libre (N)
X	1,1642
Y	3,47016
Z	15,254
Resultante	15,687

3.11 Factor de Seguridad

(Riddell & Hidalgo, 1997) menciona que “en términos generales, se entiende por seguridad el evitar que un elemento alcance o sobrepase un estado límite hasta el cual se considere que el comportamiento del componente es aceptable”.

Mediante la simulación para obtención del factor de seguridad se evalúa a la cremallera de dirección, según el criterio de error se obtendrá:

- Un factor de seguridad superior a 1.0: el material es seguro.
- Un factor de seguridad de 1.0: el material ha iniciado a fallar.
- Un factor de seguridad inferior a 1.0: quiere decir que el material ha fallado.

Capítulo IV

Análisis de Resultados

4.1 Análisis de Datos Obtenidos

En la analítica de resultantes obtenidos en el software, se genera trazados de resultantes personalizadas y predeterminadas, para definir otros trazados con la utilización de sistemas de coordenadas de referencia, trazados de sección, de bordes, animación y vistas en diferentes ángulos.

Con la adición de cortes (cilíndricos y planos), sin restar la importancia que se genere el informe numérico de los resultados por simulación.

Se ha considerado para la simulación la escala de 3 cargas de fuerza actuante sobre la cremallera (100, 500 y 1000 N) para poder realizar la comparativa y evaluación de resultados.

4.1.1 Análisis de Tensión Von Mises – Caso 1

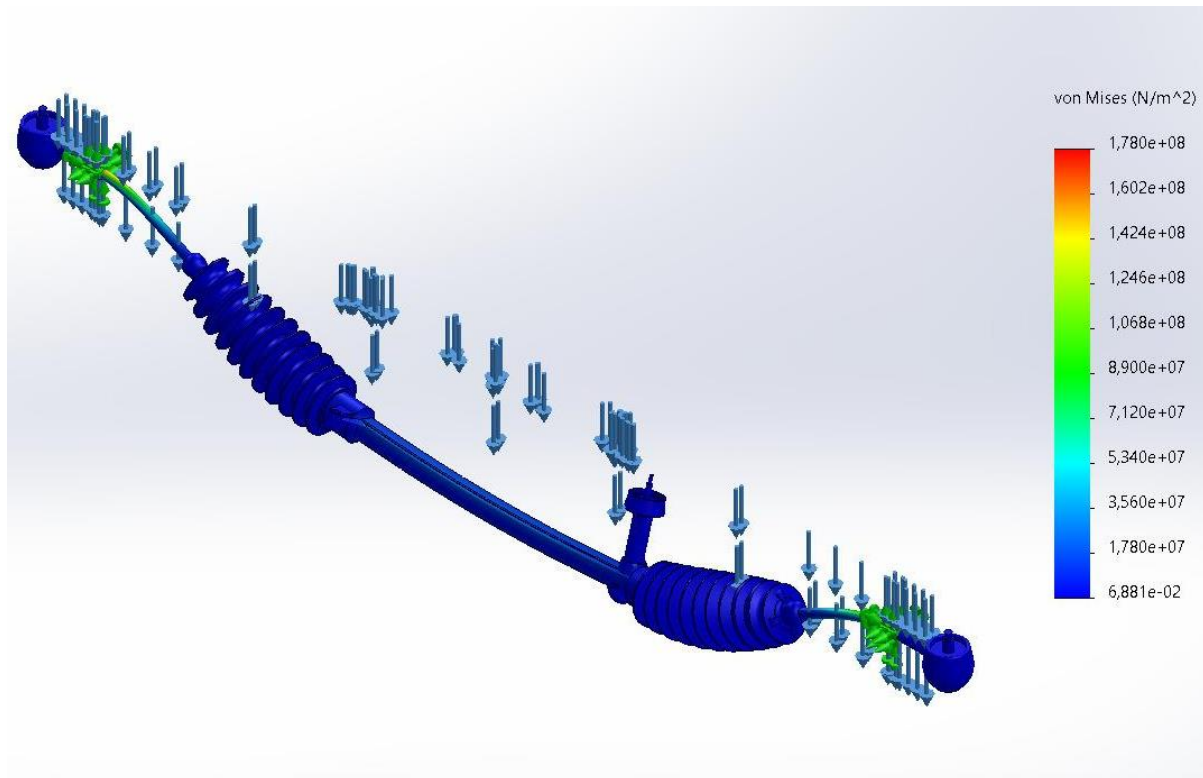
En la tabla 12 se muestra la carga de presión a aplicar en el eje de coordenadas (x, y, z), para el análisis de estructura del caso 1, el cuál será de 100 N.

Tabla 12

Carga de Presión – Caso 1

Carga	Detalle de la Carga
Presión	100 N

La tensión de Von Mises que presenta en la cremallera al aplicar 100 N es un mínimo de $6,881 \text{ e}^{-02} \text{ N/m}^2$ y un máximo de $1,780 \text{ e}^{+08} \text{ N/m}^2$. Ver la figura 67.

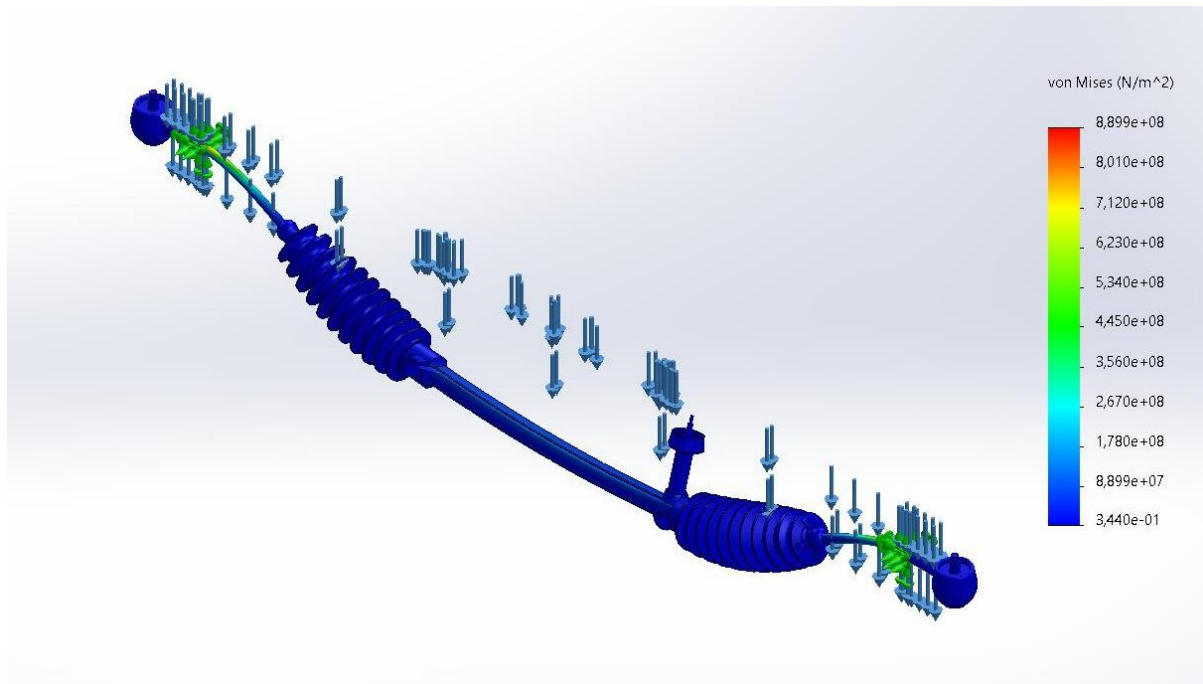
Figura 67*Tensión de Von Mises – Caso 1***4.1.2 Análisis de Tensión Von Mises – Caso 2**

En la tabla 13 se muestra la carga de presión a aplicar en el eje de coordenadas (x, y, z), para el análisis de estructura del caso 2, el cuál será de 500 N.

Tabla 13*Carga de Presión – Caso 2*

Carga	Detalle de la Carga
Presión	500 N

La tensión de Von Mises que presenta en la cremallera al aplicar 500 N es un mínimo de $3,440 \text{ e}^{-01} \text{ N/m}^2$ y un máximo de $8,899 \text{ e}^{+08} \text{ N/m}^2$. Ver la figura 68.

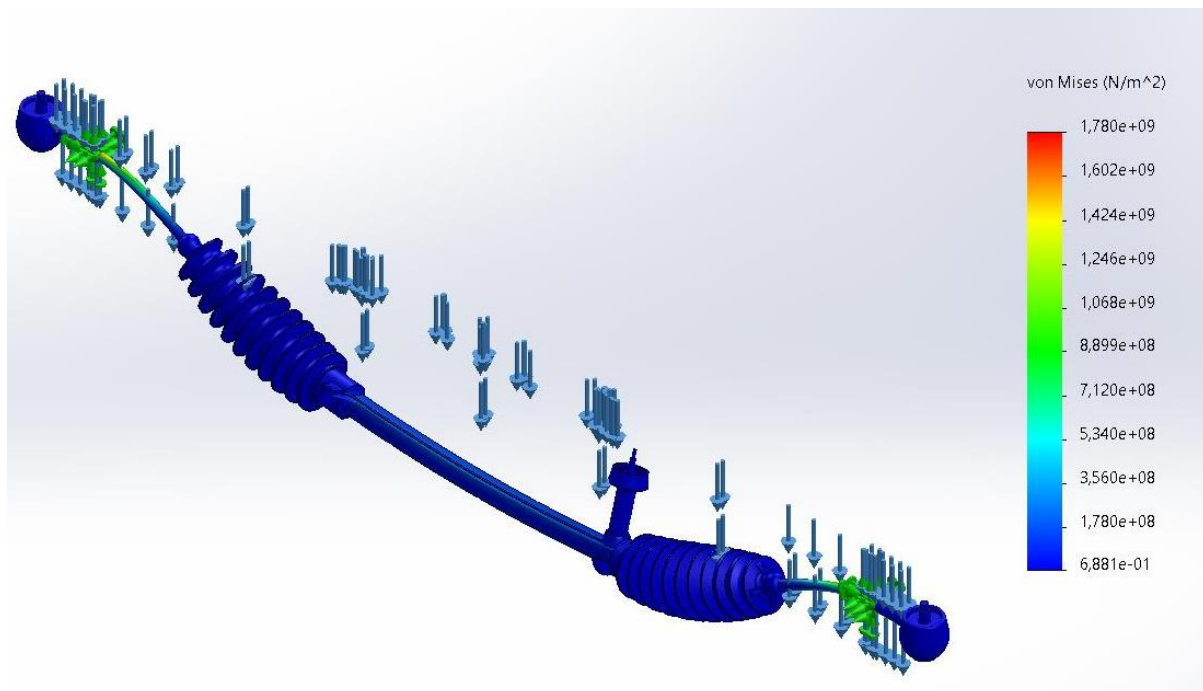
Figura 68*Tensión de Von Mises – Caso 2***4.1.3 Análisis de Tensión Von Mises – Caso 3**

En la tabla 14 se muestra la carga de presión a aplicar en el eje de coordenadas (x, y, z), para el análisis de estructura del caso 3, el cuál será de 1000 N.

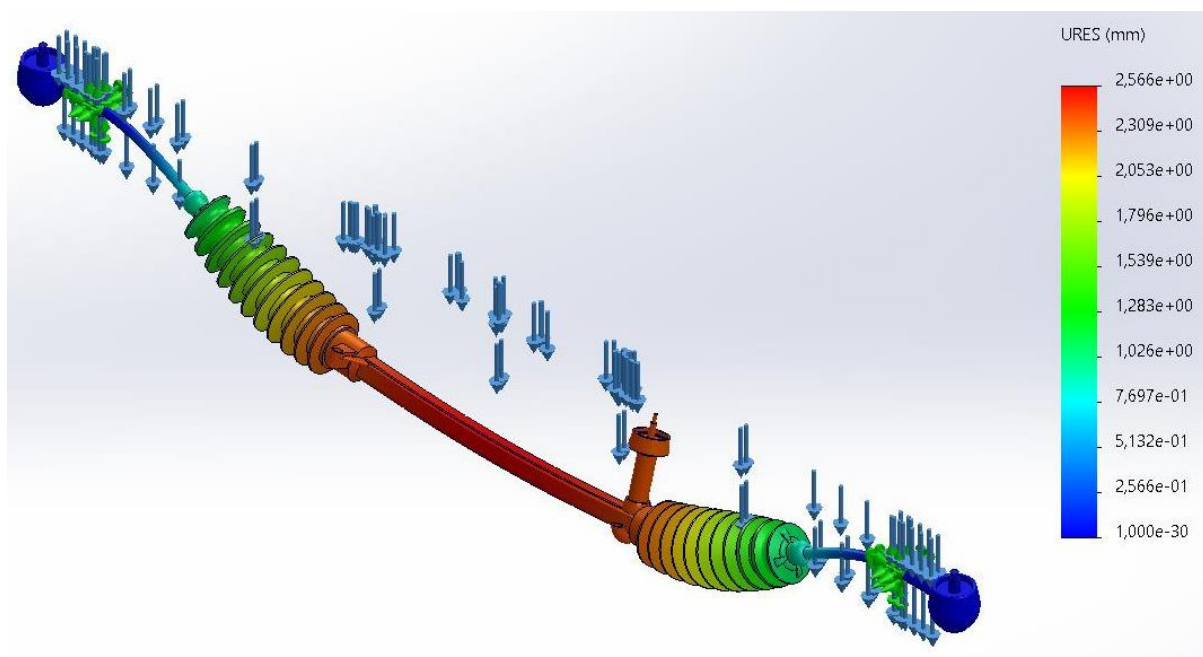
Tabla 14*Carga de Presión – Caso 3*

Carga	Detalle de la Carga
Presión	1000 N

La tensión de Von Mises que presenta en la cremallera al aplicar 1000 N es un mínimo de $6,881 \text{ e}^{-01} \text{ N/m}^2$ y un máximo de $1,780 \text{ e}^{+09} \text{ N/m}^2$. Ver la figura 69.

Figura 69*Tensión de Von Mises – Caso 3***4.1.4Análisis de Desplazamiento – Caso 1**

El desplazamiento que presenta la cremallera al aplicar 100 N es un mínimo de 0,00 e⁺⁰⁰ mm y un máximo de 2,566 e⁺⁰⁰ mm, como se observa en la figura 70.

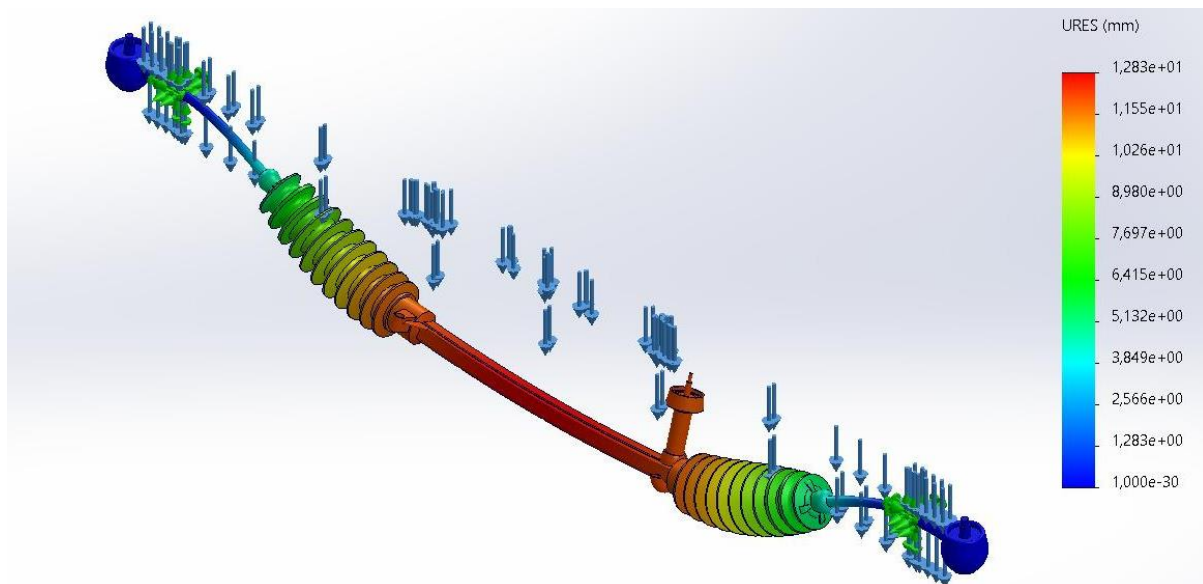
Figura 70*Análisis de Desplazamiento – Caso 1*

4.1.5 Análisis de Desplazamiento – Caso 2

El desplazamiento que presenta la cremallera al aplicar 500 N es un mínimo de 0,00 e⁺⁰⁰ mm y un máximo de 1,283 e⁺⁰¹ mm, como se observa en la figura 71.

Figura 71

Análisis de Desplazamiento – Caso 2

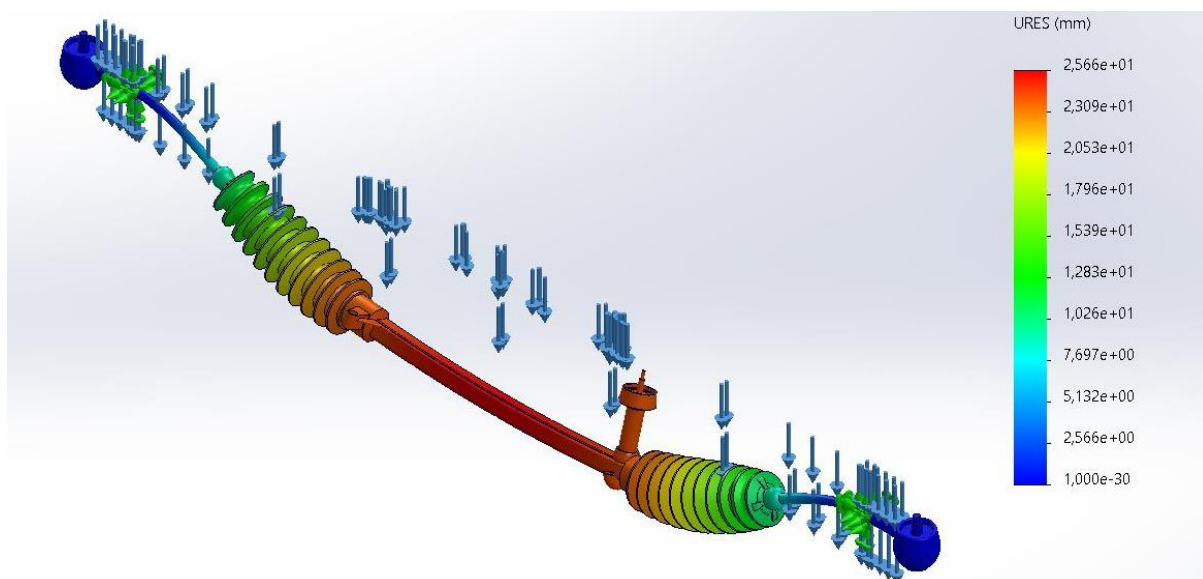


4.1.6 Análisis de Desplazamiento – Caso 3

El desplazamiento que presenta la cremallera al aplicar 1000 N es un mínimo de 0,00 e⁺⁰⁰ mm y un máximo de 2,566 e⁺⁰¹. Ver la figura 72.

Figura 72

Análisis de Desplazamiento – Caso 3

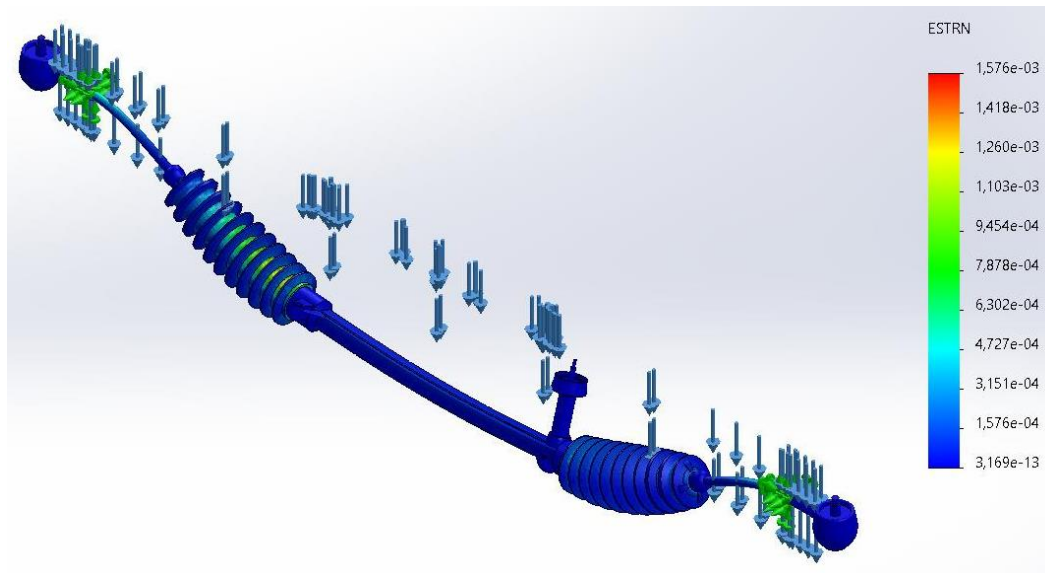


4.1.7 Análisis de Deformaciones – Caso 1

La deformación unitaria que presenta en la cremallera al aplicar 100 N es un mínimo de $3,169 \times 10^{-13}$ y un máximo de $1,576 \times 10^{-3}$, como se observa en la figura 73.

Figura 73

Análisis de Deformación – Caso 1

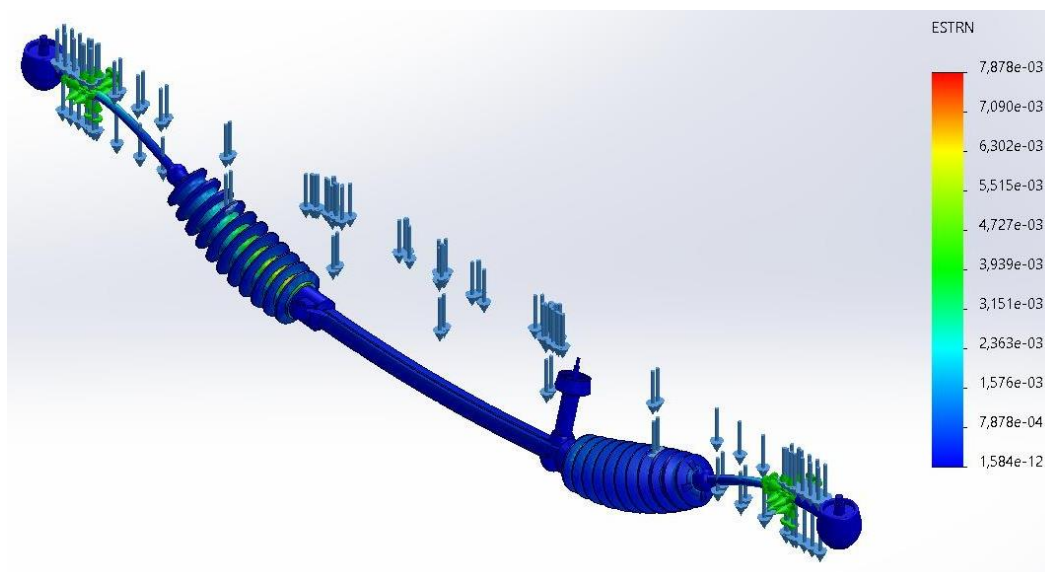


4.1.8 Análisis de Deformaciones – Caso 2

La deformación unitaria que presenta en la cremallera al aplicar 500 N es un mínimo de $1,584 \times 10^{-12}$ y un máximo de $7,878 \times 10^{-3}$, como se observa en la figura 74.

Figura 74

Análisis de Deformación – Caso 2

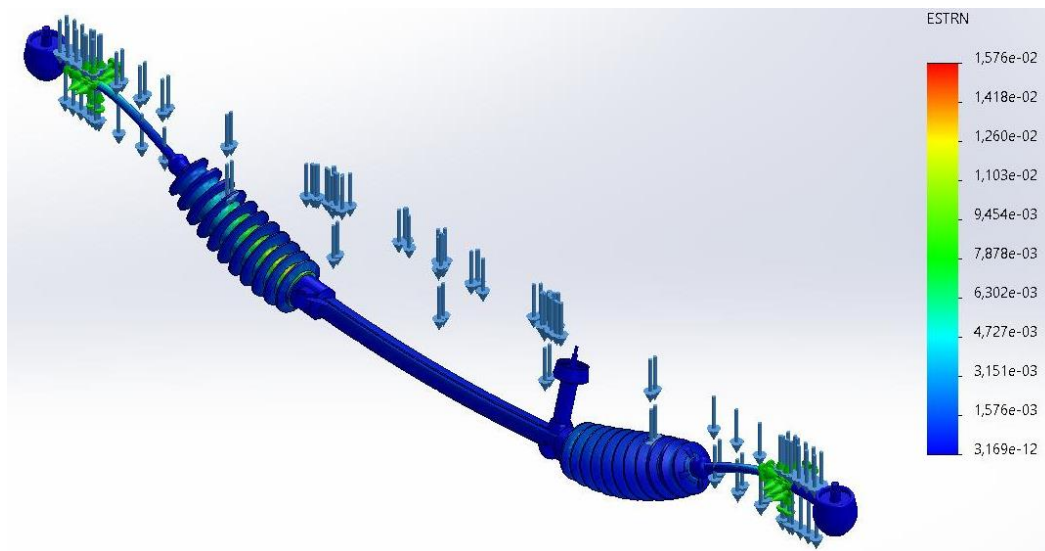


4.1.9 Análisis de Deformaciones – Caso 3

La deformación unitaria que presenta en la cremallera al aplicar 1000 N es un mínimo de $3,169 \text{ e}^{-12}$ y un máximo de $1,576 \text{ e}^{-02}$. Ver la figura 75.

Figura 75

Análisis de Deformación – Caso 3

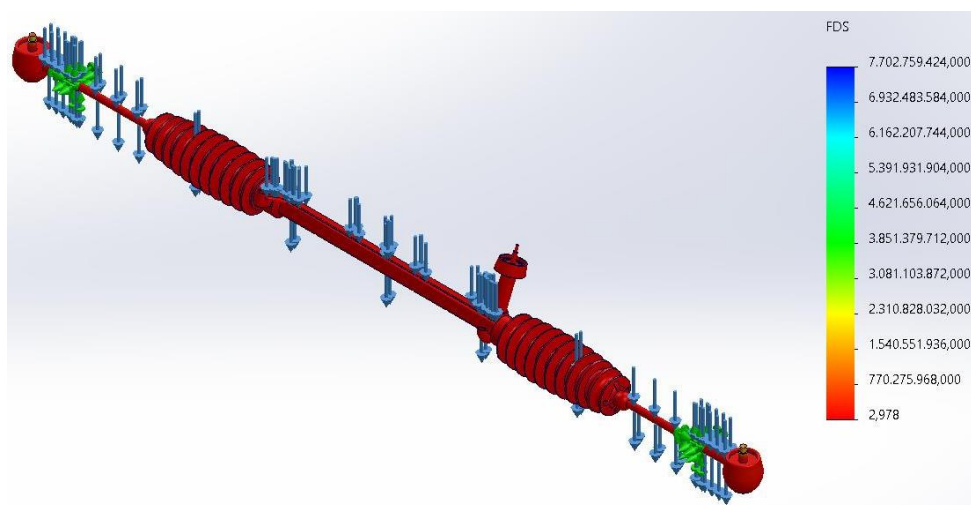


4.1.10 Análisis de Factor de Seguridad – Caso 1

El factor de seguridad que presenta la cremallera al aplicar 100 N va de un rango de un mínimo de 2,978 y un máximo de 7702759936,000, donde la distribución del FDS es = 3, como se observa en la figura 76.

Figura 76

Análisis de Factor de Seguridad – Caso 1

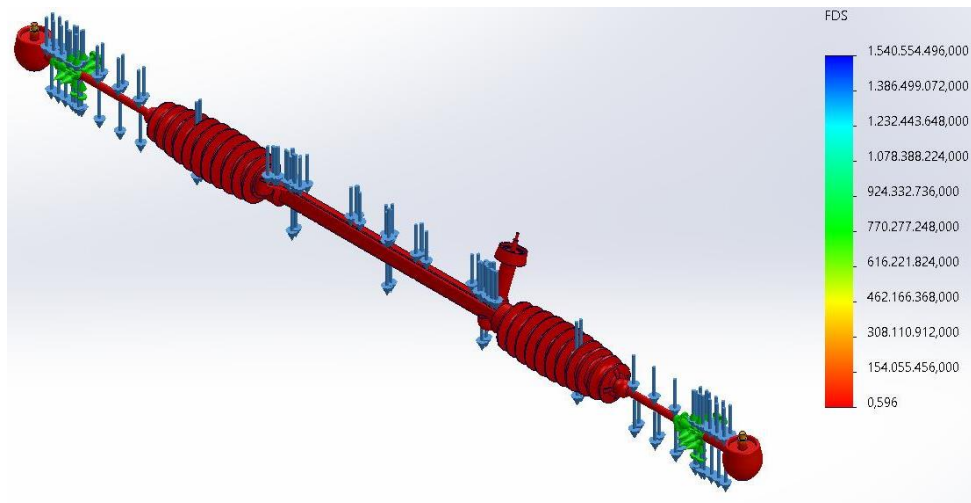


4.1.11 Análisis de Factor de Seguridad – Caso 2

El factor de seguridad que presenta la cremallera al aplicar 500 N va de un rango de un mínimo de 0,596 y un máximo de 1540554624,000 donde la distribución del FDS es = 0,6, como se observa en la figura 77.

Figura 77

Análisis de Factor de Seguridad – Caso 2

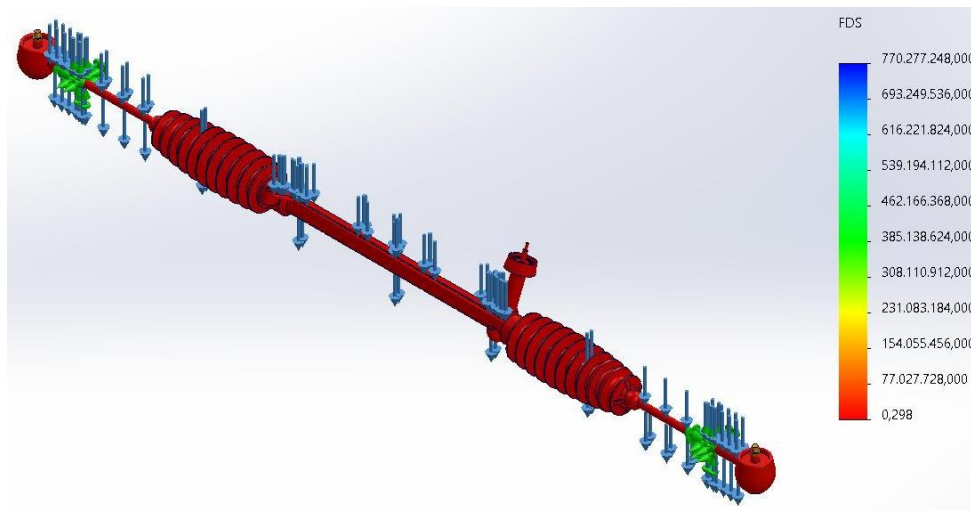


4.1.12 Análisis de Factor de Seguridad – Caso 3

El factor de seguridad que presenta la cremallera al aplicar 100 N va de un rango de un mínimo de 0,298 y un máximo de 770277312,000 donde la distribución del FDS es = 0,3. Ver la figura 78.

Figura 78

Análisis de Factor de Seguridad – Caso 3



4.2 Resumen de Datos Obtenidos

La tabla 15 se detalla la comparativa de resultados obtenidos, en resumen, donde se detalla cada caso con las cargas de fuerza actuante sobre la cremallera, el análisis realizado y sus rangos de valores resultantes mínimo y máximo.

Tabla 15

Resultados Globales Obtenidos

Caso	Carga (N)	Análisis	Mínimo	Máximo
1	100	Tensión Von Mises (N/m ²)	6,881 e ⁻⁰²	1,780 e ⁺⁰⁸
2	500		3,440 e ⁻⁰¹	8,899 e ⁺⁰⁸
3	1000		6,881 e ⁻⁰¹	1,780 e ⁺⁰⁹
1	100	Desplazamiento (mm)		2,566 e ⁺⁰⁰
2	500		0,00 e ⁺⁰⁰	1,283 e ⁺⁰¹
3	1000			2,566 e ⁺⁰¹
1	100	Deformación unitaria	3,169 e ⁻¹³	1,576 e ⁻⁰³
2	500		1,584 e ⁻¹²	7,878 e ⁻⁰³
3	1000		3,169 e ⁻¹²	1,576 e ⁻⁰²
1	100	Factor de seguridad (-)		3
2	500			0,6
3	1000			0,3

Conclusiones

Se simuló los esfuerzos a los que está sometida la cremallera de dirección del KIA Stonic 1.6 cc bajo diferentes cargas de impacto por medio del Software SolidWorks, en el cual se generó un modelo 3D de la cremallera a escala real

Se modeló la cremallera de dirección por medio de la generación de un modelo tridimensional con su respectiva simulación de esfuerzos, para la obtención de tensiones, desplazamientos, deformaciones y el factor de seguridad que se tiene al aplicar diferentes cargas de impacto.

Se determinó los criterios de evaluación para selección y análisis de resistencia en materiales y cargas aplicado a cremalleras de dirección automotriz, considerando las simulaciones para la tensión de Von Mises, desplazamientos, deformación y factor de seguridad, con una comparativa de 3 cargas de 100, 500 y 1000 N, que se adaptan a la cremallera en estudio.

Se definió el diseño geométrico para la cremallera mediante la transcripción de un modelo 3D con la respectiva simulación de cargas, determinando debe ir entre 100 a 500 N (pero no llegar a esta carga), debido a que a una carga de 100 N se tiene una tensión de $6,881 \text{ e}^{-02}$ a $1,780 \text{ e}^{+08} \text{ N/m}^2$ con un desplazamiento de $0,00 \text{ e}^{+00} \text{ mm}$ a $2,566 \text{ e}^{+00} \text{ mm}$ y generando una deformación que va de $3,169 \text{ e}^{-13}$ a $1,576 \text{ e}^{-03}$ resultando en un factor de seguridad igual a 3, es decir que la cremallera soporta el impacto con media tensión, mínimo desplazamiento y deformación mínima y un alto factor de seguridad (que supera el mínimo de 1), lo que se puede traducir a un impacto por alcance o caída a desnivel de baja profundidad (bache) del vehículo en la calzada.

Se determinó mediante el análisis de la estructura, material y diseño de la cremallera que cuando se tiene carga de 500 N se generó una deformación no aceptable que afecta los componentes del mismo, debido a que se tiene una tensión de $3,440 \text{ e}^{-01}$ a $8,899 \text{ e}^{+08} \text{ N/m}^2$ con

un desplazamiento de $0,00 \text{ e}^{+00}$ a $1,283 \text{ e}^{+01}$ y genera una deformación que va de $1,584 \text{ e}^{-12}$ a $7,878 \text{ e}^{-03}$ resultando en un factor de seguridad igual a 0,6, es decir que el material ha fallado y ya no es seguro trabajar con el mismo si no se repara y/o reemplaza los componentes afectados. Esto se puede traducir a una colisión media (frontal o lateral) o caída a desnivel de media profundidad del vehículo en la calzada.

Se determinó que cuando se tiene carga de 1000 N se generó una deformación absoluta de la cremallera que afecta la estructura total, debido a que se tiene una tensión de $6,881 \text{ e}^{-01}$ a $1,780 \text{ e}^{+09} \text{ N/m}^2$ con un desplazamiento de $0,00 \text{ e}^{+00}$ a $2,566 \text{ e}^{+01}$ y genera una deformación que va de $3,169 \text{ e}^{-12}$ a $1,576 \text{ e}^{-02}$ resultando en un factor de seguridad igual a 0,3, es decir que la estructura y material tiene ruptura y ya no es seguro trabajar con la mismo y por consiguiente no se debe reparar y/o reemplazar componentes, por el contrario es necesario su reemplazo total y revisión de la columna de dirección. Esto se puede traducir a una colisión de alto impacto (frontal o lateral), o caída a desnivel de alta profundidad del vehículo en la calzada.

Recomendaciones

Se recomienda realizar simulaciones para análisis de la columna de dirección y ejes de transmisión del vehículo y así conocer los esfuerzos a los que se somete al aplicar distintas fuerzas y torsiones, que se pueden presentar en situaciones reales de conducción y/ de una colisión, para con ello conocer el funcionamiento mecánico con el que se ha diseñado.

Se sugiere dictar cursos y charlas sobre los materiales de fabricación con que se construyen elementos de mecánica automotriz, como también los esfuerzos de tracción y torsión con que se los diseña para conocer los límites de elasticidad y factor de seguridad en caso de cargas, impactos o deformaciones por temperatura a los que se los somete.

Se sugiere tomar como muestra un modelo de vehículo y se genere distintos proyectos en el mismo, tales como análisis de materiales en carrocería a la par la deformación por impactos a distintos grados, análisis de componentes mecánicos del sistema motor, dirección, suspensión y transmisión, análisis y evaluaciones de trabajo mecánico del M.C.I, temperaturas generadas en la cámara de combustión y expulsión de gases, entre otros.

De la Torre, J. P. (2021). *Eso no estaba en mi libro de historia del automovilismo*. Almuzara,.

<https://books.google.com.ec/books?id=0NtFEAAAQBAJ>

Formlabs . (2023). *Nociones básicas de optimización topológica: Cómo usar modelos algorítmicos para crear un diseño ligero*.

<https://formlabs.com/latam/blog/optimizacion-topologica/>

Frausto-Robledo, A. (26 de Mayo de 2022). Autodesk AutoCAD 2023 — AI, Upskilling Users and Performance. <https://architosh.com/2022/05/autodesk-autocad-2023-ai-upskilling-users-and-performance/>

Gesellschaft, D., y Zusammenarbeit, T. (1980). *Tecnología del automóvil Tomo 2*. Reverte.

Ingemecanica. (s.f.). Ingemecanica.

https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn73.html#google_vignette

MoogParts. (2023). *¿Qué es la cremallera de dirección?* <https://www.moogparts.com/es-es/blog/rack-and-pinion-system-with-power-steering.html#:~:text=%C2%BFC%C3%B3mo%20funciona%20la%20cremallera%20de,las%20ruedas%20sea%20m%C3%A1s%20f%C3%A1cil.>

MotorKote Colombia. (30 de Abril de 2022). *¿Que es y cómo funciona el sistema de suspension?* <https://motorkote.com.co/como-funciona-sistema-suspension/>

Prototica3d. (2017). *Cómo hacer soldaduras con Autodesk Inventor*. <https://www.prototica3d.com/2017/02/como-hacer-soldaduras-con-autodesk.html>

Ramón Román, J. (11 de mayo de 2006). *Análisis de fuerza, presión y ángulo de rotación de las ruedas en un sistema dirección hidráulica*. Cholula, Puebla, México. http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/roman_j_r/

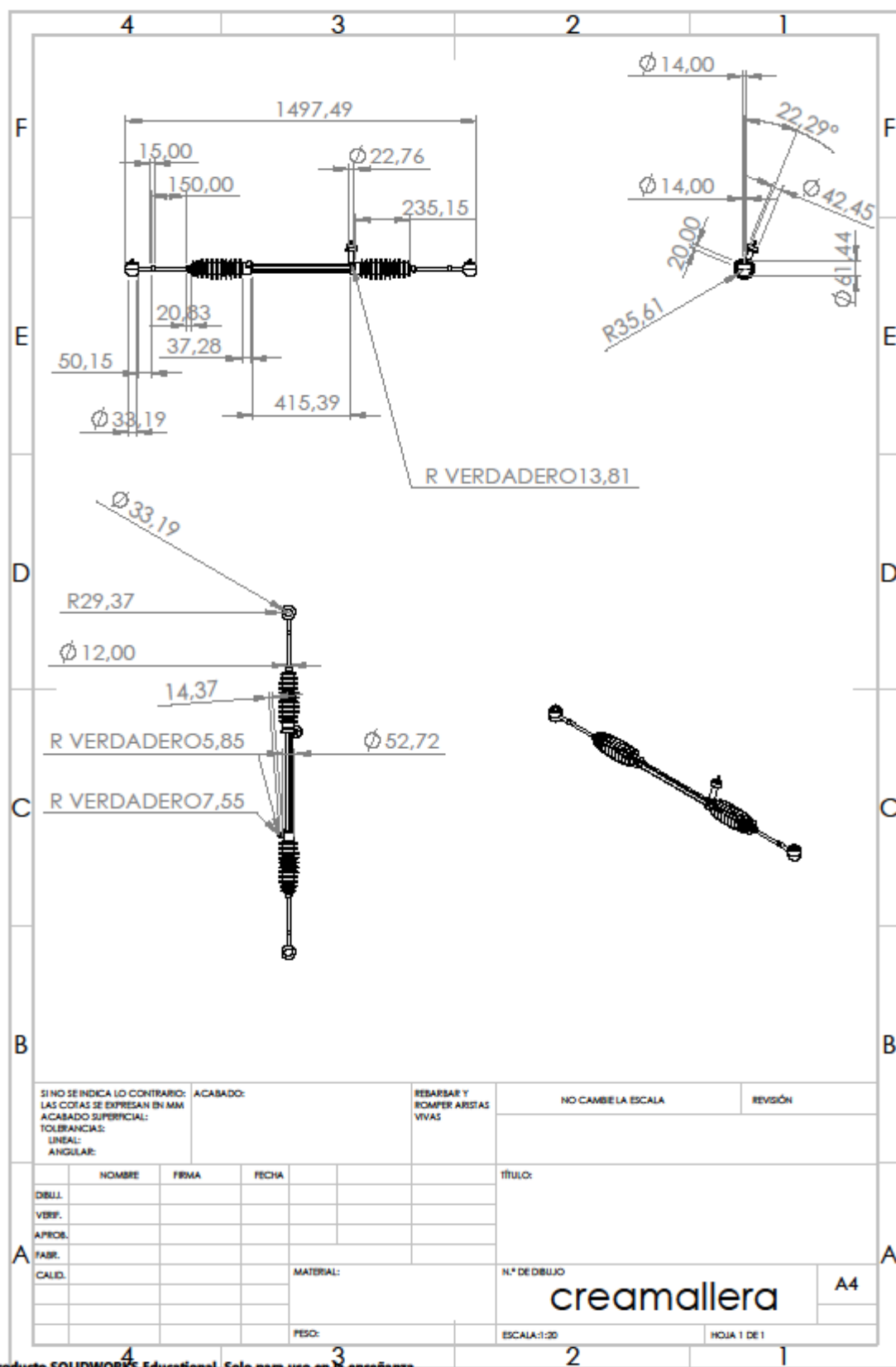
Rivera Berrio, J. G. (2022). *FÍSICA VOLUMEN I*. Córdoba, España: RED Descartes.

Singiresu, R. S. (2012). *Vibraciones Mecánicas* (Quinta ed.). México, México: Pearson Educación.

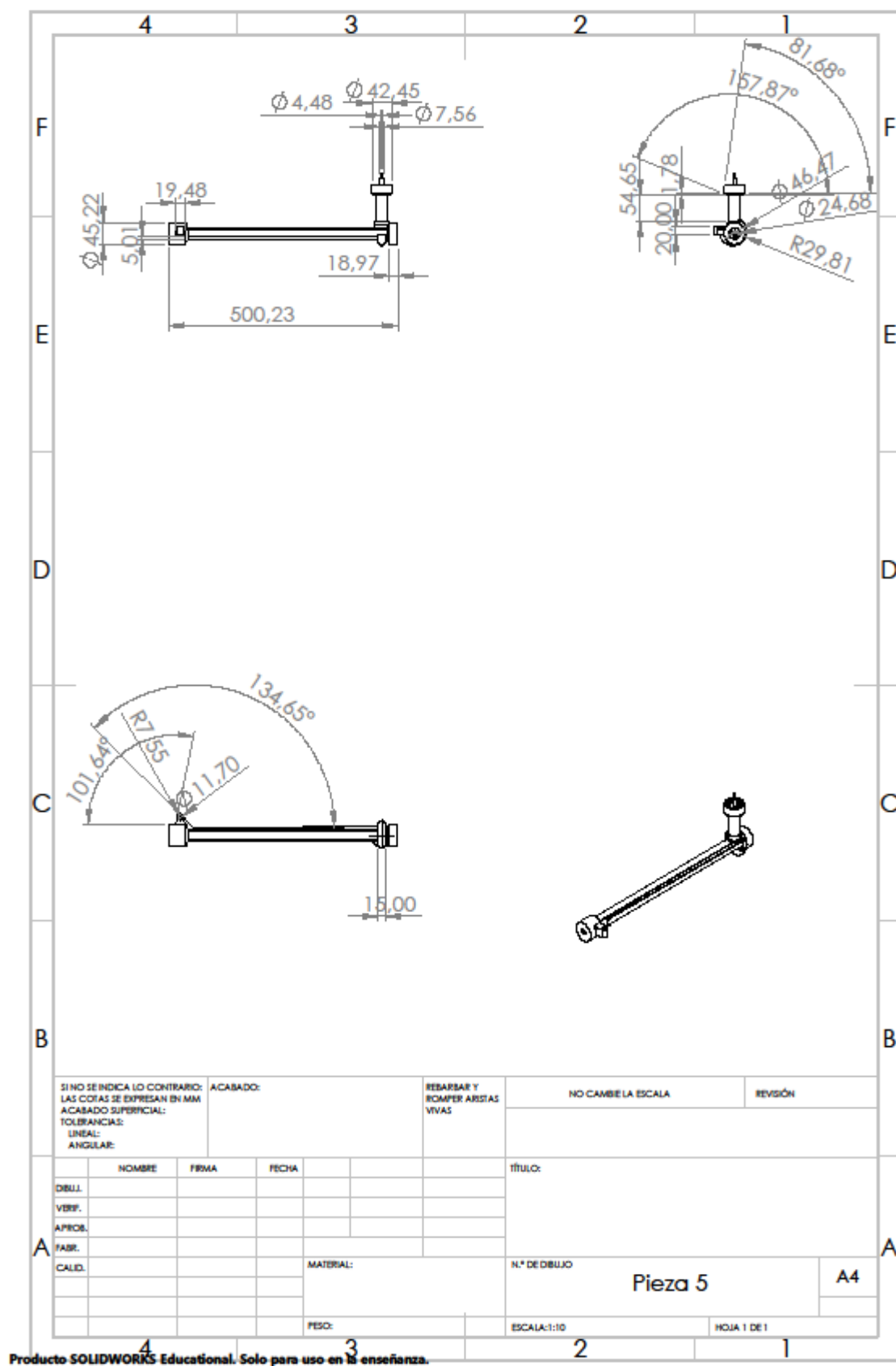
- Tavera, B. (7 de Septiembre de 2023). Aplicación de Autodesk Robot Structural Analysis y Revit para Proyectos Estructurales. <https://www.inesa-tech.com/blog/aplicacion-de-autodesk-robot-structural-analysis-y-revit-para-proyectos-estructurales/>
- Vera, E. (2017). *Propuesta de diseño ergonómico en butacas de vehículos monoplaça, para equipos ecuatorianos participantes de la Formula Student*. Quito: UISEK.

Anexos

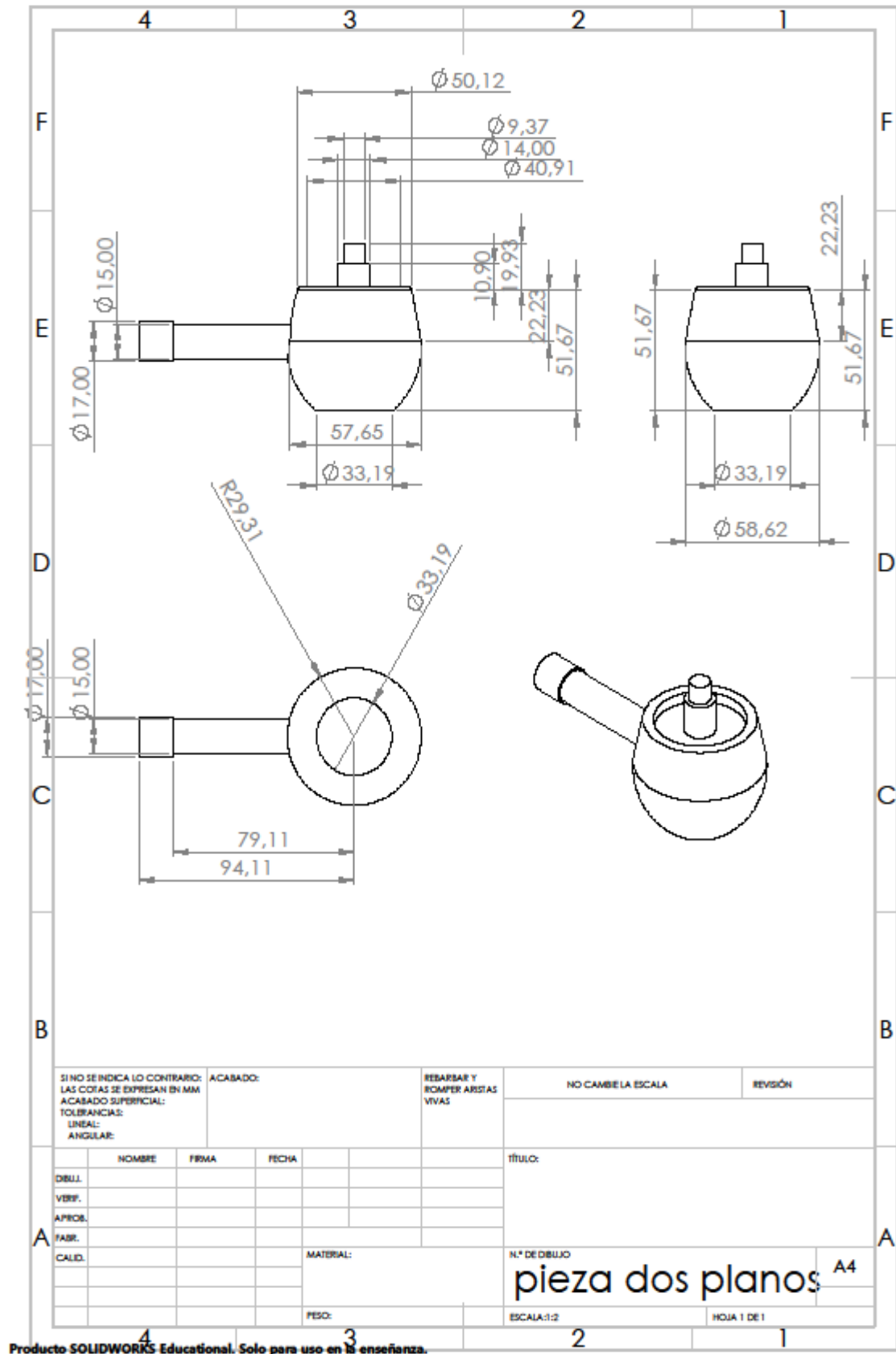
A. Plano de la Cremallera de Dirección



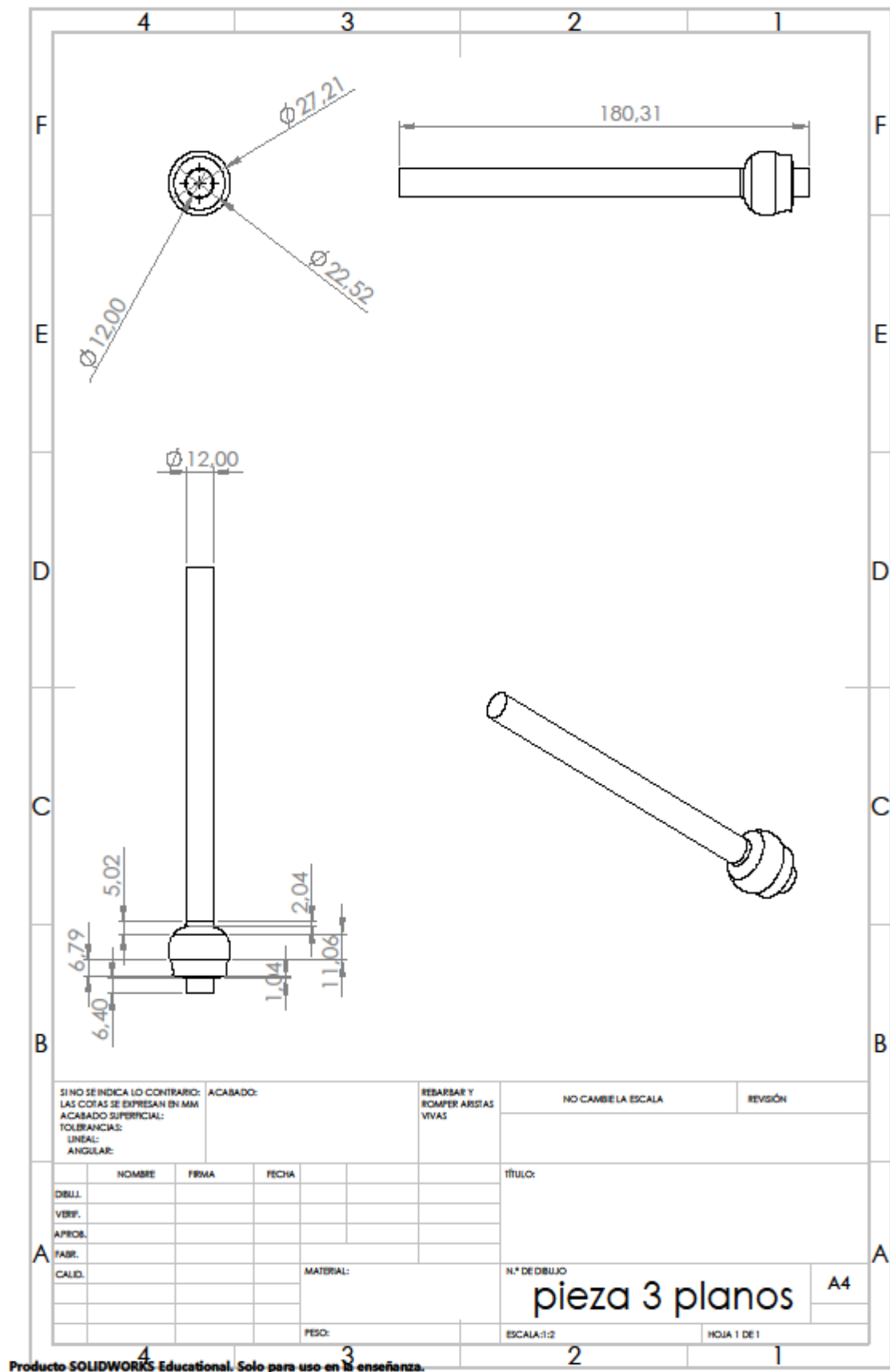
B. Plano de la Barra de Engranes Dirección



C. Plano del Terminal de Dirección



D. Plano del Axial de Dirección



E. Plano de los Guardapolvos de Dirección

