



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**



**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA  
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO  
TERRESTRE PARA LA EXPULSIÓN DE FAUNA  
VOLADORA EN LOS AEROPUERTOS”**

**TESIS**

Para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS**

con especialidad en Ingeniería Mecánica

Presenta:

**Ing. Sintahuatl Renato Martínez Nopala**

Directores de tesis:

Dr. Guillermo Urriolagoitia Sosa

Dr. Guillermo Urriolagoitia Calderón

México D.F., Marzo del 2015

# AGRADECIMIENTOS

A DIOS por permitirme volver a ver y cumplir con mi sueño académico.

Al IPN, a la ESIME y al CONACYT por la beca que tan generosamente se me otorgo, y que hizo posible este trabajo de tesis.

A mi MADRE **Yolanda Nopala Gómez** al principio y al final de todo.

A mi PADRE **Renato Martínez Osorio** donde quiera que esté.

A mi TÍO **Rolando Nopala Gómez** porque cuando más lo necesite estuvo ahí para apoyarme de principio a fin.

A mi HERMANO **Rodolfo Gordillo Nopala** por ser como es.

A mi HERMANO **Salvador Martínez Nopala** por esas interminables charlas de psicología y filosofía que tanto le dejaron a mi corazón, gracias hermanito.

A mi HERMANO **Jovan Basaldúa Sánchez** por creer en mí cuando ni siquiera yo mismo creía en mí.

A mi familia y amigos que estuvieron junto a mí con todo y contra todo...

**¡GRACIAS!**

# DEDICATORIA

A **Salvador Martínez Nopala** porque me hacen faltan las palabras para agradecerte todo lo que has hecho por mí hermanito. Fuiste una luz en mi oscuridad.

A **Jovan Basaldúa Sánchez** y su esposa **Nalleli**. Por estar conmigo en las buenas y en las malas desde hace más de 10 años, y por ese pastel de cumpleaños que nunca olvidare.

A **Jaime Pérez Avendaño** por su apoyo incondicional, y a **Saúl Beristaín Lima** por sus buenos consejos. Así como a **Valencia, Alex** y **Abel** por contagiarme su amor a la mecánica.

A **Luz Elena Arana Rivera** por haber ocupado un lugar muy especial en mi corazón.

A todos aquellos que se tomen el tiempo para leer esta tesis... gracias totales.

Me enseñó el Viejo Antonio que uno es tan grande como el enemigo que escoge para luchar, y que uno es tan pequeño como grande el miedo que se tenga. "Elige un enemigo grande y eso te obligara a crecer para poder enfrentarlo. Achica tu miedo porque si él se crece, tú te harás pequeño", me dijo el Viejo Antonio una tarde de mayo y lluvia, en esa hora en que reinan el tabaco y la palabra.

Cuéntelo usted en algún escrito. Ponga que se lo contó el Viejo Antonio. Todos hemos tenido, alguna vez, un Viejo Antonio. Pero si usted no lo tuvo, yo le presto el mío por esta vez.

Cuente usted que los Mexicanos achican su miedo para hacerse grandes, y escogen enemigos descomunales para obligarse a crecer y ser mejores.

*Subcomandante Insurgente Marcos.*

## **RESUMEN**

La convivencia de fauna voladora y aeronaves dentro de un mismo espacio genera altas probabilidades de choques (contra motores, parabrisas, etc.), provocando incidentes y/o accidentes principalmente en los momentos de despegue y aterrizaje. Los métodos de expulsión de aves en los aeropuertos son principalmente procedimientos que emplean aves rapaces o depredadoras para habilitar estas áreas al libre tránsito. Por lo anterior, en este trabajo se plantea el diseño y la construcción de un vehículo terrestre, que recorra las pistas del aeropuerto y que sirva para ahuyentar a las aves por medio de destellos intermitentes de luz, así como por medio de una alarma acústica. Este vehículo presenta ventajas tales como, reducir las pérdidas económicas que resultan del choque de aves contra las aeronaves. Así como, contar con un dispositivo de fácil manejo, sencillo mantenimiento y bajo costo



## ABSTRACT

The coexistence of wildlife and aircraft flying within a space generates a high probability of collisions (engines, windshields, etc.). This provoking incidents and / or accidents mainly in times of takeoff and landing. In this paper presents the construction of a land vehicle that loops through the airport runways and used to scare birds through intermittent flashes of light and audible alarms. This vehicle has advantages: reduce economic losses resulting from bird strikes. As well as, provide a device easy to use, easy maintenance and low cost.

# ÍNDICE

RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
ÍNDICE GENERAL	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XVIII
ÍNDICE DE TABLAS	XXVII
SIMBOLOGÍA	XXX
GLOSARIO	XXXI
OBJETIVO	XXXIII
JUSTIFICACIÓN	XXXIII
INTRODUCCIÓN	XXXIIV
ANÁLISIS DE RESULTADOS	206
CONCLUSIONES	207
TRABAJOS FUTUROS	209
DIBUJOS Y PLANOS	210
ANEXOS	217

## Capítulo I

### ESTADO DEL ARTE

<b>I.1.- Introducción</b> .....	1
<b>I.2.- Historia de los choques de aeronaves con aves</b> .....	1
<b>I.3.- Ejemplos significativos de impactos con fauna silvestre</b> .....	2
<b>I.4.- Incidentes con fauna invasora en aeropuertos mexicanos</b> .....	21
<b>I.5.- Exclusión de especies</b> .....	26
I.5.1.-Exclusión de aves.....	26
I.5.2.-Exclusión de mamíferos.....	29
<b>I.6.- Planteamiento del problema</b> .....	32
<b>I.7.- Sumario</b> .....	32
<b>I.8.- Referencias</b> .....	32

---



---

## Capítulo II

### MARCO TEÓRICO

<b>II.1.- Introducción</b> .....	36
II.1.1.- Fauna invasora.....	37
II.1.2.- Incremento de los impactos entre aviones y fauna silvestre.....	37
II.1.3.- Injerencia del predio aeroportuario en el problema.....	38
<b>II.2.- Estrategias de control de fauna silvestre</b> .....	40
II.2.1.- Modificación de programas de vuelo.....	40
II.2.2.- Modificación y exclusión de hábitat.....	41
II.2.2.1.- Alimento.....	41
II.2.2.2.- Refugio.....	43
II.2.2.3.- Agua.....	45
<b>II.3.- Sistemas de expulsión y hostigamiento</b> .....	45
II.3.1.- El momento del día en que la especie invasora es más activa.....	50
II.3.2.- La localización de la especie con respecto a las operaciones de vuelo.....	51
II.3.3.- El tiempo que la especie está en el aire o moviéndose activamente.....	52
II.3.4.- El número de impactos reportados que involucran a la especie.....	52
II.3.5.- Habilidad de la especie para evadir activamente colisiones con aeronaves....	54
<b>II.4.- Análisis final de riesgo</b> .....	55
II.4.1.- Técnicas repelentes.....	56
II.4.2.- Patrullas de fauna silvestre y recorridos de pista en vehículos.....	58
II.4.3.- Aeronaves a escala de control remoto para repeler aves.....	59
II.4.4.- proyectiles no letales para repeler aves.....	59
<b>II.5.- Sumario</b> .....	60
<b>II.6.- Referencias</b> .....	61

## Capítulo III

### DISEÑO DE UN VEHÍCULO TERRESTRE PARA LA EXPULSIÓN DE FAUNA VOLADORA EN LOS AEROPUERTOS

<b>III.1.- ¿Qué es diseño mecánico?</b> .....	63
<b>III.2.- Semblanza general sobre diseños para la expulsión de fauna voladora</b> .....	63

---



---

---



---

<b>III.3.- Vehículos móviles terrestres (robots móviles con ruedas)</b> .....	66
III.3.1.- Control de vehículos móviles terrestres (control de robots móviles con ruedas).....	67
III.3.2.- Microcontroladores AVR.....	70
III.3.3.- Software de programación del AVR.....	71
III.3.4.- Servomotor.....	71
III.3.5.- Batería para el control de los motores.....	73
<b>III.4.- Componentes mecánicos implementados en el diseño de los ejes del proyecto</b> ....	76
III.4.1.- Acero <i>SAE 1045</i> en ejes.....	76
III.4.2.- Chumaceras.....	76
III.4.3.- Catarinas y cadenas.....	76
III.4.4.- Engranés.....	77
III.4.5.- Poleas dentadas y bandas de distribución.....	77
<b>III.5.- Diseño del chasis del vehículo terrestre</b> .....	78
III.5.1.- Perfil <i>PTR</i> .....	78
III.5.2.- Diseño del chasis.....	78
<b>III.6.- Diseño de los ejes del vehículo terrestre</b> .....	80
III.6.1.- Diseño del eje central (eje A).....	80
III.6.2.- Diseño del eje de las llantas delanteras (eje B).....	82
III.6.3.- Diseño del eje superior (eje C).....	84
III.6.4.- Diseño del eje de las llantas traseras (eje D).....	86
<b>III.7.- Ensamble general y operación del vehículo</b> .....	88
III.7.1.- Diseño del movimiento de translación del vehículo terrestre.....	88
III.7.2.- Diseño del movimiento de dirección o rotación del vehículo terrestre.....	91
III.7.3.- Diseño mecánico final.....	93
<b>III.8.- Sumario</b> .....	95
<b>III.9.- Referencias</b> .....	95

## Capítulo IV

### ANÁLISIS POR EL MÉTODO DE ELEMENTO FINITO DE LOS COMPONENTES MECÁNICOS DEL VEHÍCULO TERRESTRE

---



---

---



---

<b>IV.1.- Introducción al Método de Elemento Finito</b> .....	97
<b>IV.2.- Antecedentes generales sobre análisis con el Método de Elemento Finito</b> .....	97
<b>IV.3.- Análisis por medio del <i>MEF</i> de la estructura base del vehículo (chasis)</b> .....	98
IV.3.1.- Descripción general para el análisis para la estructura del chasis.....	98
IV.3.2.- Descripción del análisis para el largo del chasis.....	100
IV.3.2.1.- Propiedades del análisis para el largo del chasis.....	101
IV.3.2.2.- Fijación del largo del chasis.....	102
IV.3.2.3.- Aplicación de la carga en el largo del chasis.....	103
IV.3.2.4.- Discretización del modelo para el largo del chasis.....	104
IV.3.2.5.- Resultados para los esfuerzos de von Mises en el largo del chasis.....	106
IV.3.2.6.- Resultados para el desplazamiento en el largo del chasis.....	106
IV.3.3.- Descripción del análisis para el ancho del chasis.....	108
IV.3.3.1.- Propiedades del análisis para el ancho del chasis.....	108
IV.3.3.2.- Fijación del ancho del chasis.....	109
IV.3.3.3.- Aplicación de la carga en el ancho del chasis.....	110
IV.3.3.4.- Discretización del modelo para el ancho del chasis.....	111
IV.3.2.5.- Resultados para los esfuerzos de von Mises en el ancho del chasis.....	111
IV.3.3.6.- Resultados para el desplazamiento en el ancho del chasis.....	112
<b>IV.4.- Análisis numérico de ejes</b> .....	114
IV.4.1.- Descripción del análisis en el eje central.....	114
IV.4.1.1.- Especificaciones del análisis en el eje central.....	114
IV.4.1.2.- Información adicional del análisis en el eje central.....	116
IV.4.1.3.- Propiedades del análisis en el eje central.....	116
IV.4.1.4.- Sujeción y carga del eje central.....	116
IV.4.1.5.- Discretizado del eje central.....	118
IV.4.1.6.- Resultados para el esfuerzo von Mises en el eje central.....	119
IV.4.1.7.- Resultados para el desplazamiento en el eje central.....	119
IV.4.1.8.- Deformación total en el eje central.....	120
IV.4.2.- Descripción del análisis del eje de las llantas delanteras.....	121

---



---

---

---

IV.4.2.1.- Especificaciones del análisis en el eje de las llantas delanteras...	121
IV.4.2.2.- Información adicional del análisis en el eje de las llantas delanteras.....	122
IV.4.2.3.- Propiedades del análisis en el eje de las llantas delanteras.....	122
IV.4.2.4.- Sujeción y carga del eje de las llantas delanteras.....	123
IV.4.2.5.- Discretizado para el eje de las llantas delanteras.....	125
IV.4.2.6.- Resultados para esfuerzo de von Mises en el eje de las llantas delanteras.....	126
IV.4.2.7.- Resultados para el desplazamiento en el eje de las llantas delanteras.....	126
IV.4.2.8.- Deformación total en el eje de las llantas delanteras.....	126
IV.4.3.- Descripción del análisis en el eje superior.....	128
IV.4.3.1.- Especificaciones del análisis en el eje superior.....	128
IV.4.3.2.- Información adicional del análisis en el eje superior.....	129
IV.4.3.3.- Propiedades del análisis en el eje superior.....	129
IV.4.3.4.- Sujeción y carga del eje superior.....	130
IV.4.3.5.- Discretizado del eje superior.....	131
IV.4.3.6.- Resultados para los esfuerzos de von Mises en el eje superior...	133
IV.4.3.7.- Resultados para el desplazamiento en el eje superior.....	133
IV.4.3.8.- Deformación total en el eje superior.....	133
IV.4.4.- Descripción del análisis en el eje de las llantas traseras.....	135
IV.4.4.1.- Especificaciones del análisis en el eje de las llantas traseras.....	135
IV.4.4.2.- Información adicional del análisis en el eje de las llantas traseras.....	136
IV.4.4.3.- Propiedades del análisis en el eje de las llantas traseras.....	136
IV.4.4.4.- Sujeción y carga del eje de las llantas traseras.....	137
IV.4.4.5.- Discretizado del eje de las llantas traseras.....	138
IV.4.4.6.- Resultados para esfuerzos von Mises en el eje de las llantas traseras.....	139
IV.4.4.7.- Resultados para el desplazamiento en el eje de las llantas traseras.....	139

---

---

---

---

IV.4.4.8.- Deformación total en el eje de las llantas traseras.....	141
<b>IV.5.- Análisis numérico de los diversos componentes dentados del vehículo.....</b>	<b>141</b>
IV.5.1.- Descripción del análisis en el engrane de distribución.....	141
IV.5.1.1.- Especificaciones del análisis en el engrane de distribución.....	142
IV.5.1.2.- Información adicional del análisis en el engrane de distribución...	143
IV.5.1.3.- Propiedades del análisis en el engrane de distribución.....	143
IV.5.1.4.- Sujeción y carga del engrane de distribución.....	143
IV.5.1.5.- Discretizado del engrane de distribución.....	145
IV.5.1.6.- Resultados para esfuerzo von Mises en el engrane de distribución.....	146
IV.5.1.7.- Resultados para el desplazamiento en el engrane de distribución.	147
IV.5.1.8.- Deformación total en el engrane de distribución.....	147
IV.5.2.- Descripción del análisis en el engrane conducido.....	148
IV.5.2.1.- Especificaciones del análisis en el engrane conducido.....	148
IV.5.2.2.- Información adicional del análisis en el engrane conducido.....	150
IV.5.2.3.- Propiedades del análisis en el engrane conducido.....	150
IV.5.2.4.- Sujeción y carga del engrane conducido.....	150
IV.5.2.5.- Discretizado del engrane conducido.....	152
IV.5.2.6.- Resultados para esfuerzo von Mises en el engrane conducido...	153
IV.5.2.7.- Resultados para el desplazamiento en el engrane conducido.....	154
IV.5.2.8.- Deformación total en el engrane conducido.....	154
IV.5.3.- Descripción del análisis en la polea dentada piñón.....	155
IV.5.3.1.- Especificaciones del análisis en la polea dentada piñón.....	155
IV.5.3.2.- Información adicional del análisis en la polea dentada piñón.....	156
IV.5.3.3.- Propiedades del análisis en la polea dentada piñón.....	156
IV.5.3.4.- Sujeción y carga de la polea dentada piñón.....	157
IV.5.3.5.- Discretizado en la polea dentada piñón.....	159
IV.5.3.6.- Resultados para esfuerzos von Mises en la polea dentada piñón.	160
IV.5.3.7.- Resultados para el desplazamiento en la polea dentada piñón.....	160
IV.5.3.8.- Deformación total en la polea dentada piñón.....	161
IV.5.4.- Descripción del análisis en la polea dentada conducida.....	162

---

---





---



---

<b>V.2.-</b>	<b>Ensamble de los ejes del proyecto</b> .....	179
	V.2.1.- Descripción.....	179
	V.2.2.- Rodamientos.....	179
	V.2.3.- Justificación.....	180
<b>V.3.-</b>	<b>Manufactura del eje A (eje central)</b> .....	180
	V.3.1.- Fijación de los componentes mecánicos al eje central.....	181
	V.3.2.- Acoplamiento para la transmisión de movimiento en el eje A.....	182
	V.3.3.- Ajustes y tolerancias.....	183
<b>V.4.-</b>	<b>Manufactura del eje B (eje de las llantas delanteras)</b> .....	184
	V.4.1.- Fijación de los componentes mecánicos al eje B.....	185
	V.4.2.- Acoplamiento para la transmisión de movimiento en el eje B.....	185
	V.4.3.- Ajustes e implementaciones.....	187
<b>V.5.-</b>	<b>Manufactura del eje C (eje superior)</b> .....	190
	V.5.1.- Fijación de los componentes mecánicos al eje C.....	190
	V.5.2.- Acoplamiento para la transmisión de movimiento en el eje C.....	191
	V.5.3.- Implementaciones.....	193
<b>V.6.-</b>	<b>Manufactura del eje D (eje de las llantas traseras)</b> .....	193
	V.6.1.- Fijación de los componentes mecánicos al eje D.....	194
	V.6.2.- Acoplamiento para la transmisión de movimiento en el eje D.....	194
<b>V.7.-</b>	<b>Manufactura del volante del vehículo</b> .....	196
	V.7.1.- Justificación.....	196
<b>V.8.-</b>	<b>Descripción de la manufactura de componentes mecánicos adicionales</b> .....	197
	V.8.1.- Manufactura del mecanismo ahuyentador de aves.....	197
	V.8.1.1.- Justificación.....	198
	V.9.1.- Manufactura de la barra porta circuitos.....	198
	V.9.1.1.- Justificación.....	198
<b>V.10.-</b>	<b>Manufactura de los PCB's del vehículo terrestre</b> .....	198
	V.10.1.- Descripción de la bocina ahuyentadora.....	198
	V.10.2.- Descripción del circuito reproductor de un mensaje de voz.....	199
	V.10.3.- Descripción del despliegado de mensajes de luz en un <i>LCD</i> .....	200
	V.10.3.1.- Código del programa.....	200

---



---

---

---

V.10.4.- Descripción del control de los motores <i>C.D.</i> .....	200
V.10.4.1.- Función del <i>AVR ATMEGA8535</i> .....	201
V.10.4.2.- Función del <i>74LS245</i> .....	201
V.10.4.3.- Función del <i>MCT2E</i> .....	202
V.10.4.4.- Función del <i>L298</i> .....	203
V.10.4.5.- Código del programa.....	205
<b>V.11.- Sumario</b> .....	205
<b>V.12.- Referencias</b> .....	205

---

---

# ÍNDICE DE FIGURAS

## Capítulo I

- Figura I.1.-** Mirlo de alas rojas (*Agelaius phoeniceus*)
- Figura I.2.-** Aeroplano *Bleriot XI*
- Figura I.3.-** Primer accidente fatal producido al impactarse una gaviota contra un avión
- Figura I.4.-** Los hermanos *Wright, Wilbur* (arriba) y *Orville* (abajo)
- Figura I.5.-** Avión *Lockheed L-188 Electra* y Estorninos pintos (*Sturnus vulgaris*)
- Figura I.6.-** Avión *Learjet 24* y tordo cabeza café (*Molothrus ater*)
- Figura I.7.-** Avión *Convair 580* y cernícalo americano (*Falco sparverius*)
- Figura I.8.-** Avioneta *PIPER PA-31* y palomas huilotas (*Zenaida macroura*)
- Figura I.9.-** Avión *Cessna 550 Citation* y zopilote aura (*Cathartes aura*)
- Figura I.10.-** Avión *Dassault Falcon 20* y avefría (*Vanellus vanellus*)
- Figura I.11.-** Avión *Boeing 737-200* y gaviota austral (*Leucophaeus scoresbii*)
- Figura I.12.-** Avión *Boeing 727-223* y gansos nevados (*Chen caerulescens*)
- Figura I.13.-** Avión *MD-11* y gaviota argétea (*Larus argentatus*)
- Figura I.14.-** Avión *Bombardier Dash 8* y pato bola (*Aythya affinis*)
- Figura I.15.-** Motor #2 del *Fokker-100* dañado al ingerir gansos canadienses
- Figura I.16.-** Avión *Airbus A-319* y garza azul (*Egretta caerulea*)
- Figura I.17.-** Avión *Boeing 737* y búho cornudo (*Bubo virginianus*)
- Figura I.18.-** Motor #1 del avión *McDonnell Douglas DC-9-82* quemado después de succionar más de un cormorán
- Figura I.19.-** Avión *Airbus 320* encallado en el *Río Hudson*
- Figura I.20.-** Avión *Boeing 767-300* y pato silbador ventrinegro (*Dendrocygna autumnalis*)
- Figura I.21.-** Descripción detallada del incidente del vuelo *Madrid-Vigo*
- Figura I.22.-** Ave succionada por el motor #1 y restos del ave atrapada
- Figura I.23.-** Avión de *Avianca* aterrizando de emergencia en *Costa Rica* tras impactarse contra un ave

**Figura I.24.-** Ubicación del aeropuerto internacional de *Campeche*

**Figura I.25.-** Avión *ATR-42* y venado cola blanca (*Odocoileus virginianusyucatanensis*)

**Figura I.26.-** Aeropuerto internacional de la *Ciudad de México* y sus alrededores

**Figura I.27.-** Avioneta *Cessna* y zopilote mexicano (*Coragyps atratus*)

**Figura I.28.-** Red repelente de aves

**Figura I.29.-** Cortinas de plástico para restringir a las aves

**Figura I.30.-** Rayo láser de uso profesional para ahuyentar aves

**Figura I.31.-** Dispositivo *antiperchaje* para evitar la presencia de aves

**Figura I.32.-** *Bird balls* para evitar la presencia de aves en zonas acuosas

**Figura I.33.-** Malla ciclónica para impedir el paso de mamíferos en los predios aeroportuarios

**Figura I.34.-** Cerca colocada en inclinación para evitar que los mamíferos escaven

**Figura I.35.-** Cerca electrificada para excluir venados y similares de los aeropuertos

**Figura I.36.-** *Guarda ganado* empleado para impedir el paso de animales con pezuñas

## Capítulo II

**Figura II.1.-** Ejemplo de aeronave sabotada por aves

**Figura II.2.-** Ejemplo de aeronaves modernas

**Figura II.3.-** Distancias de separación en aeropuertos dentro de las que se debe evitar, eliminar o mitigar cualquier factor atractivo para fauna de riesgo

**Figura II.4.-** Ubicación de las islas *Midway* abundantes de albatros en ciertas temporadas

**Figura II.5.-** Venado invadiendo el área de operación del aeropuerto

**Figura II.6.-** Cabras, ovejas y burros utilizados para el control de la vegetación en los alrededores del aeropuerto internacional *O'Hare (Chicago-EUA)*

**Figura II.7.-** Aves usando una barda alrededor del aeropuerto para posarse y descansar

**Figura II.8.-** El agua estancada debe suprimirse de todo predio aeroportuario

**Figura II.9.-** *Sturnella (Icteridae)* y *zarapito (Scolopacidae Numenius)* son ejemplos de aves altamente ineptas evadiendo aeronaves

---

---

**Figura II.10.-** Avión militar *Boeing E-6* saboteado por estorninos

**Figura II.11.-** No todas las aves son iguales, el cuervo común (*Corvus corax*) es más hábil

**Figura II.12.-** Aves ahuyentadas de la pista del aeropuerto por patrullaje

**Figura II.13.-** Las aeronaves de radiocontrol pueden usarse para repeler aves dentro del predio aeroportuario

**Figura II.14.-** Pistolas ahuyentadoras de aves capaces de alcanzar hasta los 304.8 mts (1000 pies) de altura

### Capítulo III

**Figura III.1.-** Cañón de gas propano para la expulsión de fauna voladora

**Figura III.2.-** Robot halcón brasileño para ahuyentar fauna voladora

**Figura III.3.-** Dos águilas *Harris* y un perro *Braco-alemán* entrenados para ahuyentar aves

**Figura III.4.-** Vehículo coreano terrestre repelente de aves

**Figura III.5.-** Vehículo ahuyentador de fauna voladora

**Figura III.6.-** Robot seguidor de línea

**Figura III.7.-** Vehículo robótico con ruedas y robot móvil con patas.

**Figura III.8.-** Trayectoria de un vehículo móvil

**Figura III.9.-** Control de movimientos en vehículos robóticos móviles

**Figura III.10.-** Diagrama a bloques del control *PID*

**Figura III.11.-** Microcontroladores, versión encapsulado *PDIP*

**Figura III.12.-** Movimiento de un servomotor estándar

**Figura III.13.-** Perfil *PTR* unidas para formar la mitad del chasis del vehículo terrestre

**Figura III.14.-** Partes que conforman el chasis unidas por soldadura

**Figura III.15.** Estructura final del chasis.

**Figura III.16.-** Ubicación del eje A en el vehículo

**Figura III.17.-** Componentes mecánicos que conforman el eje A

**Figura III.18.-** Entrada y salida del movimiento en el eje A

**Figura III.19.** Ubicación del eje B en el vehículo

**Figura III.20.-** Componentes mecánicos que conforman el eje B

---

---

- 
- 
- Figura III.21.-** Entrada y salida del movimiento en el eje B.
- Figura III.22.-** Ubicación del eje C en el vehículo
- Figura III.23.-** Componentes mecánicos que conforman el eje C.
- Figura III.24.-** Entrada y salida del movimiento en el eje C
- Figura III.25.-** Ubicación del eje D en el vehículo
- Figura III.26.-** Componentes mecánicos que conforman el eje D
- Figura III.27.-** Última transmisión de movimiento en el vehículo terrestre
- Figura III.28.-** Motor principal (M1)
- Figura III.29.-** Transferencia de movimiento del motor principal hacia el eje A.
- Figura III.30.-** Transferencia de movimiento del eje A hacia el eje B
- Figura III.31.-** Transferencia de movimiento del eje B hacia el eje C
- Figura III.32.-** Transferencia de movimiento final del eje C hacia el eje D
- Figura III.33.-** Transferencia de movimiento del sistema mecánico del vehículo terrestre
- Figura III.34.-** Motor secundario (M2)
- Figura III.35.-** Ubicación del volante ‘V’ en el vehículo terrestre
- Figura III.36.-** Componentes del volante montados en el chasis del vehículo terrestre
- Figura III.37.-** Mecanismo diseñado para la rotación del vehículo terrestre
- Figura III.38.-** Diseño mecánico final
- Figura III.39.-** Flecha del motor #1 haciendo girar todo el sistema iniciando por el eje A, mediante una transmisión catarina-cadena
- Figura III.40.-** Transmisión del eje A hacia el eje B por engranes rectos y transferencia de movimiento del eje B hacia el eje C mediante poleas dentadas-bandas síncronas
- Figura III.41.-** Unión del eje C con el eje D mediante una transmisión catarina-cadena y movimiento del volante controlado por el motor #2

## Capítulo IV

- Figura IV.1.-** Estructura del proyecto y estructura simplificada para su análisis en MEF

---

---

**Figura IV.2.-** Dimensiones finales de la base analizada (Largo = 48.2 cm, Ancho = 33 cm)

**Figura IV.3.-** Sección de perfil *PTR* de 381 mm (15")

**Figura IV.4.-** Fijación por los extremos de la sección *PTR* que conforma el largo del chasis

**Figura IV.5.-** Diversas vistas sobre la fijación del perfil usado para formar el largo del chasis

**Figura IV.6.-** Aplicación de la fuerza vertical de 61.3125 N al perfil *PTR* de 381 mm

**Figura IV.7.-** Aplicación de la fuerza horizontal de 137.34 N al perfil *PTR* de 381 mm

**Figura IV.8.-** Diversas vistas sobre la fijación y carga del perfil para formar el largo del chasis

**Figura IV.9.-** Discretizado en el perfil que conforma el largo del chasis

**Figura IV.10.-** Resultados para los esfuerzos de von Mises en el largo del chasis

**Figura IV.11.-** Desplazamiento resultante en el perfil que conforma el largo del chasis

**Figura IV.12.-** Deformación resultante en el perfil que conforma el largo del chasis

**Figura IV.13.-** Sección de perfil *PTR* de 330.2 mm (13")

**Figura IV.14.-** Fijación del perfil *PTR* de 330.2 mm (13")

**Figura IV.15.-** Diversa vistas sobre la fijación del perfil usado para formar el ancho del chasis

**Figura IV.16.-** Aplicación de la fuerza vertical en el centro del perfil *PTR* de 330.2 mm

**Figura IV.17.-** Diversa vistas sobre fijación y carga del perfil para formar el ancho del chasis

**Figura IV.18.-** Discretización de la pieza que conforma el ancho del chasis

**Figura IV.19.-** Resultados para los esfuerzos de von Mises en el ancho del chasis

**Figura IV.20.-** Desplazamiento resultante en el perfil que conforma el ancho del chasis

**Figura IV.21.-** Vista frontal de la deformación resultante en el ancho del chasis

**Figura IV.22.-** Condiciones iniciales del eje central

**Figura IV.23.-** Fijación del eje central

**Figura IV.24.-** Aplicación de la fuerza en el eje central

**Figura IV.25.-** Fuerza de 1098.72 N aplicada en el eje central

---

---

- 
- 
- Figura IV.26.-** Discretizado en el eje central
- Figura IV.27.** Resultados para el esfuerzo von Mises en el eje central
- Figura IV.28.-** Desplazamiento resultante en el eje central
- Figura IV.29.-** Deformación resultante en el eje central
- Figura IV.30.-** Representación del eje de las llantas delanteras
- Figura IV.31.-** Fijación del eje de las llantas delanteras
- Figura IV.32.-** Aplicación de la fuerza en el eje de las llantas delanteras
- Figura IV.33.-** Fuerza de 1098.72 N aplicada en el eje de las llantas delanteras
- Figura IV.34.-** Discretizado en el eje de las llantas delanteras
- Figura IV.35.-** Resultados para esfuerzo von Mises en el eje de las llantas delanteras
- Figura IV.36.-** Desplazamiento resultante en el eje de las llantas delanteras
- Figura IV.37.-** Deformación en el eje de las llantas delanteras
- Figura IV.38.-** Esquemmatización del eje superior
- Figura IV.39.-** Fijación del eje superior
- Figura IV.40.-** Aplicación de la fuerza en el eje superior
- Figura IV.41.-** Fuerza de 1098.72 N aplicada en el eje superior
- Figura IV.42.-** Discretizado del eje superior
- Figura IV.43.-** Resultados para los esfuerzos de von Mises en el eje superior del proyecto
- Figura IV.44.-** Desplazamiento resultante en el eje superior del proyecto
- Figura IV.45.-** Deformación en el eje superior
- Figura IV.46.-** Eje de las llantas traseras
- Figura IV.47.-** Fijación del eje de las llantas traseras
- Figura IV.48.-** Aplicación de la fuerza en el eje de las llantas traseras
- Figura IV.49.-** Fuerza de 1098.72 N aplicada en el eje de las llantas traseras
- Figura IV.50.-** Discretizado del eje de las llantas traseras
- Figura IV.51.-** Resultados para esfuerzos von Mises en el eje de las llantas traseras
- Figura IV.52.-** Desplazamiento resultante en el eje de las llantas traseras
- Figura IV.53.-** Deformación en el eje de las llantas traseras
- Figura IV.54.-** Engrane de distribución analizado
- Figura IV.55.-** Fijación en la parte interna del engrane de distribución
- 
-



- 
- 
- Figura IV.56.-** Aplicación de la fuerza en el diente del engrane de distribución
- Figura IV.57.-** Fuerza de 1098.72 N aplicada en el diente del engrane de distribución
- Figura IV.58.-** Discretizado del engrane de distribución
- Figura IV.59.-** Resultados del esfuerzo von Mises en el engrane de distribución
- Figura IV.60.-** Desplazamiento resultante en el engrane de distribución
- Figura IV.61.-** Deformación en el engrane de distribución
- Figura IV.62.-** Engrane conducido analizado por *MEF*
- Figura IV.63.-** Fijación del engrane conducido en los barrenos pasantes de su cubo
- Figura IV.64.-** Aplicación de la fuerza en el diente del engrane conducido
- Figura IV.65.-** Fuerza de 1098.72 N aplicada en el diente del engrane conducido
- Figura IV.66.-** Discretizado del engrane conducido
- Figura IV.67.-** Resultados para esfuerzo von Mises en el engrane conducido
- Figura IV.68.-** Desplazamiento resultante en el engrane conducido
- Figura IV.69.-** Deformación en el engrane conducido
- Figura IV.70.-** Polea dentada piñón analizada por *MEF*
- Figura IV.71.-** Fijación de la polea dentada piñón
- Figura IV.72.-** Aplicación de la fuerza en los distintos dientes de la polea dentada piñón
- Figura IV.73.-** Fuerza de 84.5169 N aplicada en los dientes de la polea dentada piñón
- Figura IV.74.-** Discretizado en la polea dentada piñón
- Figura IV.75.-** Resultados para esfuerzos de von Mises en la polea dentada piñón
- Figura IV.76.-** Desplazamiento resultante en la polea dentada piñón.
- Figura IV.77.-** Deformación en la rueda dentada piñón
- Figura IV.78.-** Polea dentada conducida analizada por *MEF*
- Figura IV.79.-** Fijación de la polea dentada conducida en el cuñero
- Figura IV.80.-** Aplicación de la fuerza en los dientes de la polea dentada conducida
- Figura IV.81.-** Fuerza de 42.2584 N aplicada en cada diente de la polea dentada conducida que hace contacto con la banda
- Figura IV.82.-** Discretizado en la polea dentada conducida
- Figura IV.83.-** Resultados para esfuerzos de von Mises en la polea dentada conducida
- Figura IV.84.-** Desplazamiento resultante en la polea dentada conducida
- 
-

- 
- 
- Figura IV.85.-** Deformación en la polea dentada conducida
- Figura IV.86.-** Catarina analizada por medio del método del elemento finito
- Figura IV.87.-** Fijación en la parte interna de la catarina
- Figura IV.88.-** Aplicación de la fuerza en el diente de la catarina del eje trasero
- Figura IV.89.-** Fuerza de 109.872 N aplicada en los puntos donde tiene lugar el contacto entre la cadena y la catarina
- Figura IV.90.-** Discretizado de la catarina del eje trasero
- Figura IV.91.-** Resultados para el esfuerzo von Mises en la catarina del eje trasero
- Figura IV.92.-** Desplazamiento resultante en la catarina del eje trasero
- Figura IV.93.-** Deformación en la catarina del eje trasero

## Capítulo V

- Figura V.1.-** Base soldada del vehículo
- Figura V.2.-** Ubicación de las 4 flechas en el proyecto
- Figura V.3.-** Ubicación de chumaceras (de piso y de cocol) en la parte posterior del vehículo
- Figura V.4.-** Ubicación de la flecha en el vehículo y sus componentes
- Figura V.5.-** Fijación de los componentes mecánicos al eje central
- Figura V.6.-** Transmisión de movimiento en el eje central
- Figura V.7.-** Abocardado en el torno del engrane de distribución a 15.8 mm (5/8")
- Figura V.8.-** Esquema del ajuste realizado a las ruedas dentadas para su correcta fijación
- Figura V.9.-** Ubicación del eje de las llantas delanteras en el vehículo y sus componentes.
- Figura V.10.-** Ruedas dentadas afianzadas al eje B
- Figura V.11.-** Transmisión de movimiento en el eje de las llantas delanteras
- Figura V.12.-** Ajuste de caras a las poleas dentadas (piñones) con el cortador de 4 gabilanes
- Figura V.13.-** Ajuste del radio interno en la polea con el buril de interiores
- Figura V.14.-** Maquinado en Aluminio para las tapas de la polea dentada piñón
- Figura V.15.-** Tapas de Aluminio barrenadas en el radio interior y cortadas
- 
-

**Figura V.16.-** Componentes de la polea dentada y pieza final ensamblada

**Figura V.17.-** Bases de acero soldadas al rin de las llantas

**Figura V.18.-** Ubicación de la flecha superior en el vehículo y sus componentes

**Figura V.19.-** Vista frontal e isométrica de las ruedas dentadas afianzadas en el Eje C

**Figura V.20.-** Transmisión de movimiento en el eje superior

**Figura V.21.-** Ubicación del eje de las llantas traseras en el vehículo y sus componentes.

**Figura V.22.-** Eje que impulsa las llantas traseras del vehículo

**Figura V.23.-** Transmisión de movimiento en el eje de las llantas traseras

**Figura V.24.-** Volante del vehículo y su ubicación

**Figura V.25.-** Mecanismo ahuyentador de aves

**Figura V.26.-** Ubicación del mecanismo ahuyentador de aves en el vehículo

**Figura V.27.-** Diagrama electrónico de la bocina ahuyentadora

**Figura V.28.-** Diagrama electrónico del reproductor de un mensaje de voz

**Figura V.29.-** Diagrama electrónico de control para los motores *CD*

**Figura V.30.-** Diagrama de conexiones entre el *ATMEGA8535* y el *74LS245*

**Figura V.31.-** Diagrama de conexiones entre el *74LS245* y el *MCT2E*

**Figura V.32.-** Diagrama electrónico de la etapa de potencia

**Figura V.33.-** Diagrama electrónico de las conexiones entre el motor y el puente *H*

**Figura V.34.-** Diagrama electrónico de las conexiones del motor *CD*

# ÍNDICE DE TABLAS

## Capítulo I

**Tabla I.1.-** Impactos entre aeronaves y fauna invasora en el AICM

## Capítulo II

**Tabla II.1.-** Datos de la tasa de impactos contra fauna silvestre en *EUA*

## Capítulo III

**Tabla III.1.-** Características del motor *PDX256 - 256:1 Gearmotor*

**Tabla III.2.-** Características de las baterías para alimentación de vehículos robotizados

## Capítulo IV

**Tabla IV.1.-** Propiedades del Acero *ASTM A-36*

**Tabla IV.2.-** Propiedades del análisis para el largo de la estructura

**Tabla IV.3.-** Características de la malla utilizada en el análisis del largo del chasis

**Tabla IV.4.-** Detalles de la malla utilizada en el análisis del largo del chasis

**Tabla IV.5.-** Propiedades del análisis para el ancho del chasis

**Tabla IV.6.-** Características de la discretización utilizada en el análisis del ancho del chasis

**Tabla IV.7.-** Detalles de la malla implementada en el análisis para el ancho del chasis

**Tabla IV.8.-** Propiedades del Acero *AISI 1045*

**Tabla IV.9.-** Propiedades del análisis en el eje central

**Tabla IV.10.-** Características de la malla utilizada en el análisis del eje central

**Tabla IV.11.-** Detalles específicos de la malla implementada en el análisis del eje central

**Tabla IV.12.-** Propiedades del análisis en el eje de las llantas delanteras

**Tabla IV.13.-** Características del discretizado para el análisis del eje de las llantas delanteras

---

---

**Tabla IV.14.-** Detalles específicos del discretizado para el eje de las llantas delanteras

**Tabla IV.15.-** Propiedades del análisis en el eje superior

**Tabla IV.16.-** Características de la malla implementada en el análisis del eje superior

**Tabla IV.17.-** Detalles específicos de la malla implementada en el análisis del eje superior

**Tabla IV.18.-** Propiedades del análisis en el eje de las llantas traseras

**Tabla IV.19.-** Características de la malla utilizada en el análisis del eje de las llantas traseras

**Tabla IV.20.-** Detalles específicos de la malla implementada en el eje de las llantas traseras

**Tabla IV.21.-** Propiedades del Nylamid 6/6

**Tabla IV.22.-** Propiedades del análisis en el engrane de distribución

**Tabla IV.23.-** Características de la malla utilizada en el análisis del engrane de distribución

**Tabla IV.24.-** Detalles específicos en el mallado del engrane de distribución

**Tabla IV.25.-** Propiedades del Acero *AISI 1020*

**Tabla IV.26.-** Propiedades del análisis en el engrane conducido

**Tabla IV.27.-** Características de la malla utilizada en el análisis del engrane conducido

**Tabla IV.28.-** Detalles específicos de la malla implementada en el análisis

**Tabla IV.29.-** Propiedades del Aluminio aleación *6063 - T5*

**Tabla IV.30.-** Propiedades del análisis en la polea dentada piñón

**Tabla IV.31.-** Características de la malla utilizada en el análisis de la polea dentada piñón

**Tabla IV.32.-** Detalles específicos del discretizado para el análisis la polea dentada piñón

**Tabla IV.33.-** Propiedades del análisis en la polea dentada conducida

**Tabla IV.34.-** Características de la discretizado en el análisis de la polea dentada conducida

**Tabla IV.35.-** Detalles específicos de la discretizado implementado

**Tabla IV.36.-** Propiedades del Acero *AISI 1018*

**Tabla IV.37.-** Propiedades del análisis en la catarina del eje trasero

---

---

**Tabla IV.38.-** Características de la malla utilizada en el análisis de la catarina del eje trasero

**Tabla IV.39.-** Detalles específicos de la malla de la catarina del eje trasero

## **Capítulo V**

**Tabla V.1.-** Medidas de los tornillos usados en el proyecto

**Tabla V.2.-** Medidas de los opresores usados en el proyecto

**Tabla V.3.-** Características de la transmisión de movimiento en el eje central

**Tabla V.4.-** Características de la transmisión del movimiento en el eje de las llantas delanteras

**Tabla V.5.-** Características de la transmisión de movimiento en la flecha superior del vehículo

**Tabla V.6.-** Características de la transmisión de movimiento en el eje de las llantas traseras

**Tabla V.7.-** Datos técnicos de la bocina ahuyentadora

**Tabla V.8.-** Datos técnicos más relevantes del reproductor de voz

## SIMBOLOGÍA

*a* aceleracion

*E<sub>C</sub>* Energia cinetica

*F* Fuerza

*m* masa

*R* riesgo

*V* velocidad

# GLOSARIO

## Capítulo I

**FAA.** La Administración Federal de Aviación, Federal Aviation Administration (FAA) en inglés, es la entidad gubernamental responsable de la regulación de todos los aspectos de la aviación civil en los Estados Unidos.

**AWACS.** Los sistemas AEW&C también son conocidos por los antiguos términos alerta temprana aerotransportada, o AEW (Airborne Early Warning), y sistema de alerta y control aerotransportado, o AWACS (Airborne Warning and Control System). Un sistema de alerta temprana y control aerotransportado, o AEW&C (acrónimo en inglés de Airborne Early Warning and Control), es un sistema de radar aerotransportado diseñado para detectar aeronaves. Usados a gran altura, los radares permiten a los operadores distinguir entre aeronaves amigas u hostiles a cientos de kilómetros de distancia.

**RADOMO.** Un radomo es, en ingeniería de telecomunicación, el recubrimiento de una antena, utilizado con el fin de protegerla, sin que ello afecte a sus propiedades electromagnéticas, siendo transparente a las ondas de radio. Por ejemplo, en radares montados al exterior, en aviones, como en equipos estáticos, mejora y protege la instalación electromecánica y reduce el efecto del viento, lluvia, granizo, nieve, es decir, de los efectos ambientales.

**TUBO PITOT.** El tubo de Pitot se utiliza para calcular la presión total, también denominada presión de estancamiento, presión remanente o presión de remanso (suma de la presión estática y de la presión dinámica).

**AGL.** Es un acrónimo del inglés de Above ground level, y se traduce al español como ‘sobre el nivel del suelo’. Es un término utilizado en aeronáutica para referirse a la altitud o altura real de la aeronave sobre el suelo, normalmente, referenciada en pies.



**SMITHSONIANO.** El Instituto Smithsonian (en inglés: 'Smithsonian Institution') es un centro de educación e investigación que posee además un complejo de museos asociado.

**NTSB.** La Junta Nacional de Seguridad del Transporte (inglés: National Transportation Safety Board o NTSB) es una organización independiente del Gobierno de los Estados Unidos que se dedica a la investigación de accidentes automovilísticos, de aviación y marinos en ese país.

**USAF.** La Fuerza Aérea de los Estados Unidos (en inglés: United States Air Force, abreviada como USAF) es la rama de las Fuerzas Armadas de los Estados Unidos que se encarga de la guerra aérea.

**AICM.** El Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, oficialmente Aeropuerto Internacional Benito Juárez de la Ciudad de México en honor a Benito Juárez y abreviado AICM; es un aeropuerto comercial que sirve a la Zona Metropolitana del Valle de México. Es el aeropuerto más ocupado de México y el segundo más ocupado de Latinoamérica por operaciones aéreas.

**DIRECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE Y ECOLOGÍA.** Las funciones de esta Dirección son establecer instrumentos de políticas públicas municipales que promuevan procesos productivos socialmente responsables, tecnológicamente factibles y ambientalmente amigables; así como la actualización y promulgación de la normatividad municipal necesaria en materia ambiental; además de crear sistemas de gestión integral de residuos y de protección de los recursos naturales dentro del territorio mexicano.

**AOA.** Área de operaciones aeronáuticas.

## **Capítulo II**

## **Capítulo III**

**ASTM.** Es un organismo de normalización de los Estados Unidos de América.

*AISI*. La norma AISI/SAE (también conocida por SAE-AISI) es una clasificación de aceros y aleaciones de materiales no ferrosos. Es la más común en los Estados Unidos.

#### **Capítulo IV**

*MEF*. El método de los elementos finitos (MEF en castellano o FEM en inglés) es un método numérico general para la aproximación de soluciones de ecuaciones diferenciales parciales muy utilizado en diversos problemas de ingeniería y física. El MEF está pensado para ser usado en computadoras y permite resolver ecuaciones diferenciales asociadas a un problema físico sobre geometrías complicadas. El MEF se usa en el diseño y mejora de productos y aplicaciones industriales, así como en la simulación de sistemas físicos y biológicos complejos.

#### **Capítulo V**

## OBJETIVO

### Objetivo general

- ✓ Diseñar y construir un vehículo de cuatro ruedas impulsado por motores de corriente directa, que sea capaz de recorrer una pequeña sección de cualquier predio aeroportuario, con el fin de ahuyentar la fauna invasora del mismo. Esto por medio de alarmas acústicas y destellos de luz.

### Objetivos específicos.

- ✓ Diseño de un prototipo funcional
- ✓ Validación de resultados con los paquetes computacionales correspondientes (Ansys, Catia, Solid etc.)
- ✓ Elaboración de correcciones en el diseño original propuesto y nuevas implementaciones derivadas de los resultados obtenidos en los análisis previos
- ✓ Diseño de circuitos electrónicos y de control para realizar las tareas planteadas (ahuyentar eficientemente a la fauna invasora)
- ✓ Construcción y montaje mecánico de un prototipo final

## JUSTIFICACIÓN

La convivencia de fauna voladora y aeronaves dentro de un mismo espacio genera altas probabilidades de choques, provocando accidentes principalmente en los momentos de despegue y aterrizaje. Los métodos de expulsión de aves en los aeropuertos son principalmente procedimientos que emplean aves rapaces o depredadoras. Por lo anterior, en este trabajo se plantea un prototipo que sirva para ahuyentar aves de una pequeña sección de cualquier predio aeroportuario.

## INTRODUCCIÓN

El 15 de enero del 2009 un avión tipo *Airbus 320* de *US Airways*, con 155 personas a bordo, acuatizó sobre las aguas del río *Hudson*, en la ciudad de *Nueva York*, estado ubicado al este de los *Estados Unidos de Norteamérica*. La causa: el choque de la aeronave con una parvada de gansos que volaba en los alrededores del aeropuerto. Para abatir este riesgo, desde hace más de medio siglo que en *Europa* se utilizan halcones y águilas especialmente entrenados para limpiar de aves los espacios aéreos de los aeropuertos. Con el fin de evitar que palomas, zopilotes y otras aves puedan causar un desastre inesperado al impactarse en el fuselaje o en las turbinas de un avión, el aeropuerto de *Mérida* (capital del estado de *Yucatán, México*) utiliza águilas entrenadas. a fin de evitar que las aves se conviertan en peligrosos proyectiles, en caso de que se impacten contra el fuselaje o, peor aún, se introduzcan en las turbinas de un avión, con la consiguiente paralización o incendio de los motores y el desplome de la aeronave con resultados fatales.

En el Aeropuerto Internacional de la *Ciudad de México*, en los años sesentas y setentas los zopilotes eran liquidados a pedradas y/o balazos, lo que representaba un riesgo. Actualmente se utilizan águilas en los aeropuertos de *Veracruz, Tapachula, Villahermosa y Oaxaca*. Se usa pirotecnia, rayos láser y ultrasonido para ahuyentar a las aves que se aproximan al aeropuerto. Por su parte en el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (*AICM*), un reducido grupo de trabajadores, con ayuda de una decena de aves rapaces entrenadas y perros de presa, tienen la tarea de ahuyentar las miles de aves silvestres y migratorias que rondan las instalaciones aeroportuarias. Uno solo de esos pájaros podría ocasionar la caída de un avión, ya sea en despegue o aterrizaje. Ubicadas en la ruta migratoria de varias especies de aves, las 747 hectáreas de la terminal aérea se asemejan a un oasis dentro de un mar de cemento. Además, su colindancia con el parque ecológico *Alameda Oriente* y el antiguo lago de *Texcoco*, y su cercanía con el basurero del *Bordo Poniente* y el lago *Nabor Carrillo*, éste último con 13 kilómetros cuadrados de espejo de agua, convierten al *AICM* en un lugar atractivo para la fauna silvestre y roedores.

# Capítulo I

## Estado del arte



*El capítulo contiene los antecedentes históricos nacionales e internacionales derivados del choque entre aeronaves con fauna invasora, dentro y alrededor del área de operación de los predios aeroportuarios. Necesarios para comprender los alcances del presente proyecto.*

---

---

## I.1.- Introducción

Es de suma importancia tomar en cuenta la presencia de fauna silvestre dentro y en las cercanías del predio aeroportuario, ya que dicha presencia pone en riesgo la seguridad de las operaciones aéreas y la integridad de sus usuarios, por lo que es importante prevenir cualquier condición de peligro. Por tal motivo es necesario conocer los antecedentes históricos que nos ayudarán a proponer una mejor solución al problema.

## I.2.- Historia de los choques de aeronaves con aves

El primer vuelo motorizado de los Hermanos *Wright* tuvo lugar el 17 de diciembre de 1903 [I.1] y poco después comenzó el problema de los impactos con fauna silvestre. El 7 de septiembre de 1905 *Oliver Wright* escribió en su diario el primer reporte de un impacto. Su aeroplano chocó contra un ave (Figura I.1) mientras sobrevolaba un sembradío de maíz cerca de *Dyton, Ohio* [I.2].



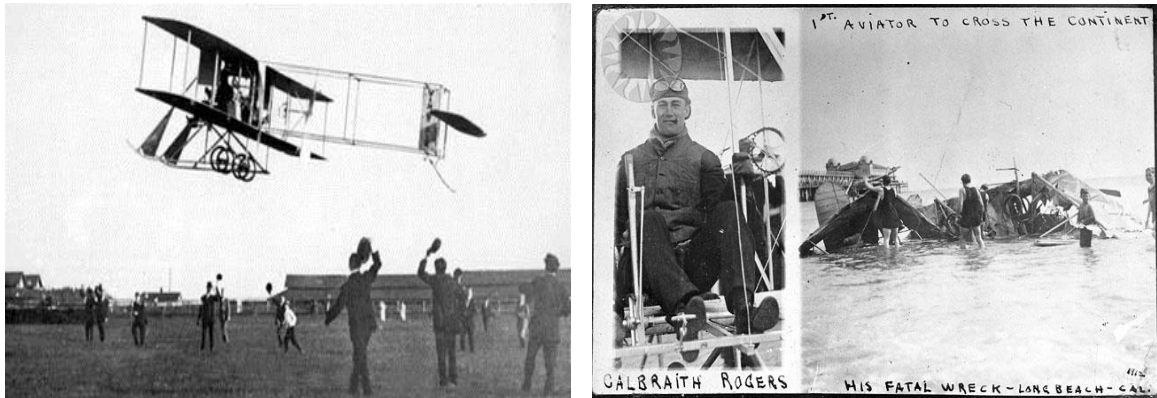
**Figura I.1.-** Mirlo de alas rojas (*Agelaius phoeniceus*)



**Figura I.2.-** Aeroplano *Bleriot XI*

Mientras el primer impacto reportado contra un mamífero data del 25 de julio de 1909, al comienzo del histórico vuelo de *Louis Bleriot* a través del *Canal de la Mancha* desde *Les Braques, Francia* [I.3] Durante el calentamiento de motores de su aeroplano *Bleriot XI* (Figura I.2) un perro de granja corrió hasta impactarse contra la hélice.

Asimismo, el 3 de abril de 1912 *Calbraith Rodgers*, la primera persona que cruzó volando los E.U.A. de un extremo a otro del continente, se convirtió en el primero en sufrir un accidente fatal como resultado del impacto contra una gaviota en la costa de California (Figura I.3) [I.4].



**Figura I.3.-** Primer accidente fatal producido al impactarse una gaviota contra un avión

Desde esos primeros impactos, los diseños de aeronaves han cambiado radicalmente y la población de la fauna silvestre, así como el tráfico aéreo, se han incrementado. Como resultado de lo anterior, por lo menos 122 aeronaves y 255 vidas civiles se han perdido en todo el mundo debido a impactos con fauna silvestre entre 1960 y 2004 [I.5].

Para 1969, el 75% de las 2 100 aeronaves de pasajeros eran de tres o cuatro motores. Para 1998, la flota había crecido a 5 400 aeronaves, principalmente de turbina, de las cuales sólo el 30% eran de tres o cuatro motores. Para el 2008, la flota consistirá en cerca de 7 000 aeronaves y menos del 10% será de tres o cuatro motores [I.6].

### **I.3.- Ejemplos significativos de impactos con fauna silvestre**

---

---

A continuación se describen algunos de los impactos con fauna silvestre más significativos. Estos casos han tenido influencia en la definición de políticas de seguridad de vuelos, o bien representan casos típicos de impactos con daños en los años recientes.

- **7 de Septiembre de 1905.-** Extracto del diario de los Hermanos Wright: *Orville voló 4,751 metros en 45 segundos, cuatro círculos completos. Pasó dos veces sobre la cerca del sembradío de Beard. Persiguió una parvada de pájaros durante dos vueltas y mató a uno que cayó sobre la superficie superior y luego de un tiempo cayó hasta el piso en una curva pronunciada.* Este fue el primer reporte de un impacto entre una aeronave y un ave. Dada la ubicación (cerca de *Dayton, Ohio, E.U.A.*) y la época del año en que fue registrado este accidente, el ave que golpeara el conspicuo pionero de la aviación era como ya se mencionó anteriormente un mirlo de alas rojas [I.7].



**Figura I.4.-** Los hermanos *Wright*, *Wilbur* (arriba) y *Orville* (abajo)

- **25 de julio de 1909.-** Durante el calentamiento de motores, al comienzo del histórico vuelo de *Louis Bleriot* a través del *Canal de la Mancha* desde *Les Braques, Francia*, un perro de granja corrió hacia la hélice de su aeronave, el



---

---

*Bleirot XI*. Este fue el primer impacto terrestre (contra un mamífero) reportado [I.3].

- **3 de abril de 1912.-** *Calbraith Rogers*, fue la primera persona que cruzó volando los Estados Unidos de un extremo a otro del continente. Fue también el primero en morir como resultado de un impacto con ave. En esa fecha, el *Wright Pusher* de *Rogers*, impactó una gaviota, causando que la aeronave se estrellara con la resaca en *Long Beach, California*. *Rogers* quedó atrapado bajo los restos y se ahogó [I.7].
- **10 de marzo de 1960.-** Algunos años después del primer incidente aéreo y durante su despegue del aeropuerto *Logan de Boston (Massachusetts)*, un avión *Lockheed Electra* turbo-hélice ingirió varios estorninos pintos (Figura I.5) por los cuatro motores. El avión se estrelló en la *Bahía de Boston* y en el percance murieron 62 personas. Después de este accidente, la *FAA* inició las acciones correspondientes para el desarrollo de normas mínimas para evitar la ingestión de aves por motores de turbina [I.2].



**Figura I.5.-** Avión *Lockheed L-188 Electra* y Estorninos pintos (*Sturnus vulgaris*)

- **26 de febrero de 1973.-** Durante su despegue del aeropuerto *Dekalb-Peachtree* de *Atlanta (Georgia)*, un *Learjet 24* se impactó con una parvada de tordos cabeza café (Figura I.6), los cuales fueron atraídos por una estación de transferencia de basura cercana. Este impacto dio como resultado la falla del motor en la aeronave, por lo que se estrelló. En el accidente fallecieron 8 personas y resultó seriamente herida

otra persona en tierra. Este incidente presionó a la *FAA* a desarrollar lineamientos sobre la ubicación de depósitos de desperdicios sólidos dentro o cerca de los aeropuertos [I.7].



**Figura I.6.-** Avión *Learjet 24* y tordo cabeza café (*Molothrus ater*)

- **12 de diciembre de 1973.-** En *Norwich, Inglaterra* un *Falcon Business Jet* con 9 personas a bordo impactó contra un grupo de gaviotas comunes y de cabeza negra durante su despegue del aeropuerto. El accidente provocó daños importantes en ambos motores. El avión se estrelló y fue completamente destruido, con una lesión menor como saldo. El juez que llevó el caso escribió que la defensa (operador aeroportuario) le debía a los quejosos (operador de la aeronave y pasajeros) el común deber de cuidado (*deber de conducir con atención y evitar infracciones*). Luego de considerar toda la evidencia del caso, el juez decidió que la defensa falló en sus deberes y que debía haber una compensación por daños a los quejosos. En otras palabras, el operador aeroportuario falló en el cumplimiento de su deber en el manejo del riesgo por fauna silvestre en el aeropuerto [I.8].
- **12 de noviembre de 1975.-** Durante la carrera de despegue en el aeropuerto internacional *John F. Kennedy (Nueva York)*, el piloto de un *DC-10* abortó el despegue después de que el motor ingirió unas gaviotas. Como resultado del fuego en el motor y sobrecalentamiento de los frenos el avión salió de la pista y se incendió. El fuego destruyó la aeronave y las 138 personas a bordo eran personal de la aerolínea que estaban recibiendo entrenamiento de evacuación de emergencia.

Todos lograron evacuar la aeronave a salvo. Después de este accidente, la *Oficina Nacional de Seguridad en Transportes* recomendó a la *FAA* evaluar los efectos por ingestión de aves en los motores de turboreacción de alta derivación y su adecuación a las normas de certificación de motores. La *FAA* comenzó a recabar información para documentar los incidentes con aves y los eventos de ingestión por motores [I.8].

- **25 de julio de 1978.-** Un *Convair 580* que salía del aeropuerto de *Kalamazoo (Michigan)*, succionó a un cernícalo americano durante el despegue (Figura I.7). El motor se trabó con las plumas y la aeronave se estrelló en un terreno, resultando heridos 3 de los 43 pasajeros [I.2].



**Figura I.7.-** Avión *Convair 580* y cernícalo americano (*Falco sparverius*)

- **18 de julio de 1983.-** El piloto de un *Bellanca 1730* que aterrizaba en *Clifford, Texas*, cuando observó 2 halconcillos en una aproximación final. Aceleró y realizó maniobras evasivas con la intención de continuar su aproximación. Como resultado, el punto medio de la pista de aterrizaje era ya más alto que cualquiera de sus extremos y el piloto no pudo ver a un canino de gran tamaño que se acercaba al área de aterrizaje sino hasta que el avión estaba ya a la mitad de la pista. El piloto intentó volver a levantar la nave pero el tren de aterrizaje, que ya había sido bajado, chocó contra unos árboles cercanos y ocasionó que perdiera el control. El avión pudo descender finalmente en un sembradío a unos 230 metros del impacto inicial,

---

---

luego de haber impactado varios árboles más. El avión sufrió daños considerables y 2 personas que viajaban a bordo resultaron gravemente heridos [I.3].

- **6 de enero de 1985.-** Un *Beechcraft King Air 90* que despegaba al amanecer en el aeropuerto *Smith Reynolds de Carolina del Norte*, golpeó un perro feral de gran tamaño justo al momento de la rotación. La aeronave resultó con daños considerables [I.2].
- **17 de marzo de 1987.-** Un *Boeing-737* impactó un venado de 36 kilogramos en *Chicago O'Hare (Illinois)*. El avión sufrió daños por más de US\$ 114 000 [I.7].
- **7 de junio de 1989.-** En *Génova, Italia* un *BAE 146*, operado por *TNT Air Cargo*, que salía del aeropuerto, voló a través de una parvada de gaviotas mientras hacía una maniobra de rotación. El piloto logró regresar el avión, gravemente dañado, al aeropuerto. La aerolínea demandó a varias entidades por daños resultantes del impacto. En el 2001, luego de 11 años de litigio, la corte civil de *Génova* le otorgó a la aerolínea dos millones de dólares como compensación. La responsabilidad sobre esa compensación se repartió como sigue; 50% para el Ministerio de Transporte, 30% a la compañía privada que operaba el aeropuerto y 20% a la Autoridad de Puertos [I.8].
- **5 de noviembre de 1990.-** Durante su despegue del aeropuerto regional *Michiana (Indiana)*, un *PA-31* voló a través de una parvada de palomas huilotas (Figura I.8). Los motores ingirieron varias aves y el despegue fue abortado. Ambos motores se destruyeron. El costo de las reparaciones fue de un millón de dólares y el tiempo fuera de servicio de la aeronave fue de 60 horas [I.9].
- **30 de diciembre de 1991.-** Un *Citation 550* que despegaba del aeropuerto de la ciudad de *Angelina (Texas)*, se impactó con un zopilote aura (Figura I.9). El impacto causó daños mayores al motor número uno y causó daños menores en el

ala y el fuselaje. El costo por reparaciones fue de US\$ 550 000 y el tiempo perdido de la aeronave por servicio fue de dos semanas [I.10].



**Figura I.8.-** Avioneta *PIPER PA-31* y palomas huilotas (*Zenaida macroura*)



**Figura I.9.-** Avión *Cessna 550 Citation* y zopilote aura (*Cathartes aura*)

- **2 de febrero de 1992.-** Un *Piper Cherokee* impactó a un venado cuando se encontraba en rotación durante su despegue del aeropuerto municipal *Sandstone (Minnesota)*. El piloto intentó regresar al aeropuerto pero chocó con unos árboles en el lado sur del aeropuerto. La aeronave se destruyó y el piloto resultó seriamente lesionado [I.10].
- **3 de diciembre de 1993.-** Un *Cessna 550* se impactó con una parvada de gansos durante su ascenso inicial en el aeropuerto del condado de *DuPage (Illinois)*. El piloto escuchó un gran estallido y la aeronave viró a izquierda y derecha. Los instrumentos mostraron una pérdida de potencia del motor número dos y una fuga



---

---

sustancial de combustible en el lado izquierdo. Se declaró una emergencia y la aeronave aterrizó en el aeropuerto *Midway*. El costo por la reparación de los dos motores fue de US\$ 800 000 y el tiempo perdido de la aeronave por servicio fue de casi tres meses [I.10].

- **21 de octubre de 1994.-** Un *Cessna 210* impactó a un coyote en la noche durante su carrera de aterrizaje en el aeropuerto municipal industrial de *Higginsville* (*Missouri*). El tren de nariz se colapsó causando que la hélice golpeará la pista, resultando el motor y el cigüeñal con daños mayores [I.2].
- **20 de enero de 1995.-** En *París, Francia* un jet ejecutivo *Dassault Falcon 20* impactó contra un grupo de avefrías (Figura I.10) mientras despegaba del aeropuerto *Le Bourget*. El piloto no logró controlar el avión después de que las aves ingeridas destruyeran el motor izquierdo. La aeronave se estrelló y las 10 personas que iban a bordo murieron. Una investigación mostró que el personal del aeropuerto no realizó las operaciones rutinarias para ahuyentar aves. En 1998, las autoridades francesas levantaron cargos por homicidio involuntario en contra de la autoridad aeroportuaria de *París* y a 3 ex-oficiales. La autoridad aeroportuaria fue acusada de negligencia en el seguimiento de procedimientos normales de seguridad. La disposición actual del caso es desconocida [I.8].



**Figura I.10.-** Avión *Dassault Falcon 20* y avefría (*Vanellus vanellus*)

- 
- 
- **3 de junio de 1995.-** Un *Concorde de Air France* que aterrizaba en el aeropuerto internacional *John F. Kennedy (Nueva York)*, ingirió uno o dos gansos canadienses por el motor número tres, aproximadamente a 3.048 m (10 pies) sobre el nivel de tierra (AGL por sus siglas en inglés). El motor sufrió una falla incontrolable. El eje del motor número tres destruyó el motor número cuatro y cortó muchas líneas hidráulicas y cables de control. El piloto pudo aterrizar el avión a salvo, pero la pista se tuvo que cerrar por varias horas. El daño al *Concorde* se estimó en más de 7 millones de dólares. Las autoridades francesas de aviación demandaron a las autoridades aeroportuarias de *Nueva York* y *Nueva Jersey* y eventualmente llegaron a un arreglo por US\$ 5.3 millones [I.11].
  - **22 de septiembre de 1995.-** Una aeronave con sistema de alerta y control en vuelo (AWACS, por sus siglas en inglés) de la *Fuerza Aérea de los E.U.A. (Boeing-707 modificado)* se estrelló después de ingerir 4 gansos canadienses por los motores uno y dos durante su despegue de la base de la fuerza aérea *Elmendorf (Alaska)* y resultaron muertos los 24 pasajeros a bordo. Este fue el primer accidente de un avión AWACS desde que la fuerza aérea comenzó a usarlos en 1977. Este impacto, que involucró a una aeronave militar, no está incluido en la *Base Nacional de Datos de Impactos con Fauna Silvestre* de la FAA [I.12].
  - **5 de octubre de 1996.-** Un *Boeing-727* que partía del aeropuerto nacional *Reagan de Washington* impactó a una parvada de gaviotas justo después del despegue, ingiriendo por lo menos un ave. Un motor comenzó a vibrar y fue apagado. Un olor a quemado se registró en la cabina de mando. Se declaró una emergencia y la aeronave, que llevaba 52 pasajeros, aterrizó en el mismo aeropuerto, donde varios álabes del motor fueron dañados [I.2].
  - **13 de noviembre de 1996.-** Aeropuerto internacional de *Pula, Croacia* un *B737-200* de *Croacia Airlines* ingirió una gaviota en el motor número 1. Durante la aceleración de despegue, a las 15:11 horas, provocando una *insidiosa explosión* en el motor. El piloto logró abortar el despegue, pero el motor tuvo que ser
- 
-

reemplazado y el avión estuvo fuera de servicio por 2 días. La aseguradora de *Croatia Airlines* pagó los gastos de compostura, pero luego presentó al aeropuerto una instancia de cobro por la misma cantidad. El aeropuerto se negó a pagar, afirmando que había cumplido con todas las condiciones para la protección de la aeronave contra fauna silvestre [I.8].



**Figura I.11.-** Avión *Boeing 737-200* y gaviota austral (*Leucophaeus scoresbii*)

- **7 de enero de 1997.-** Una aeronave *MD-80*, se impactó con más de 350 estorninos, justo después de despegar del aeropuerto internacional *Dallas-Fort Worth (Texas)*. Casi todo el avión resultó golpeado. El piloto declaró una emergencia y regresó a tierra sin novedad. Se encontró daño sustancial en varias partes de la aeronave y el motor número uno tuvo que ser reemplazado. La pista se cerró por una hora. Cerca de 100,000 estorninos descansaban en la terminal aérea alimentándose con granos de cereal dentro y en los alrededores del aeropuerto [I.13].
- **9 de enero de 1998.-** Durante el ascenso, a una altura de 6 000 pies después de su despegue del aeropuerto intercontinental de *Houston (Texas)*, un *Boeing-727* se impactó con una parvada de gansos nevados (Figura I.12). Con la consiguiente ingestión de 3 a 5 aves por un motor. El motor perdió toda su potencia y se destruyó. El *radomo* fue arrancado de la aeronave y los bordes de ataque de ambas alas fueron dañados. El *tubo pitot* del primer oficial se arrancó de su lugar. Se experimentó vibración intensa en la estructura y el nivel de ruido en la cabina de mando, se incrementó al grado de que la comunicación entre los miembros de la



---

---

tripulación se volvió difícil. Se declaró una emergencia. El vuelo regresó a salvo a *Houston* con daños mayores en la aeronave [I.3].



**Figura I.12.-** Avión *Boeing 727-223* y gansos nevados (*Chen caerulescens*)

- **22 de marzo de 1998.-** Aeropuerto de *Marseille Provence, Marsella, Francia* un *A-320 de Air France* se encontró con una parvada de aproximadamente 20 gaviotas mientras aceleraba para despegar. Ingirió varias aves en el motor número 2, que fue inmediatamente destruido. El piloto ejecutó una cancelación de despegue a gran velocidad. El impacto fue directamente atribuido a que había un puercoespín muerto en la pista, del que se estaban alimentando las gaviotas al momento del accidente. La aerolínea demandó al gobierno francés por negligencia [I.8]. Es probable que el puercoespín haya sido golpeado por un vuelo anterior, pero el personal del aeropuerto no retiró el cadáver.
- **22 de febrero de 1999.-** Un *Boeing-757* que partía del aeropuerto internacional de *Kentucky*, al norte de *Cincinnati (Kentucky)*, tuvo que regresar y realizar un aterrizaje de emergencia después de golpear una gran parvada de estorninos. Ambos motores y un ala tuvieron daño significativo. También resultó dañada la armadura del avión [I.14].
- **7 de febrero de 2000.-** Un *DC-10-30* perteneciente a una compañía de carga golpeó e ingirió un murciélago frugívoro a 76 metros AGL (sobre el nivel del mar

---

---

por sus siglas en inglés). El avión tuvo que regresar al aeropuerto y 5 aspas de una hélice tuvieron que ser reemplazadas. El tiempo fuera de servicio del avión fue de 3 días. El costo total de reparación y otros gastos relacionados con el incidente fue de más de US\$ 3 millones [I.3].

- **21 de enero de 2001.-** El motor número tres de un *MD-11* que salía del aeropuerto internacional de *Pórtland (Oregon)*, ingirió una gaviota argéntea durante el despegue (Figura I.13). El motor, fuera de control, hizo volar el capuchón de la nariz, que fue succionado de vuelta hacia el motor y despedazado. El motor tuvo un fallo generalizado. El piloto abortó el despegue y reventó dos llantas. Los 217 pasajeros fueron evacuados a salvo y repartidos en otros vuelos. El laboratorio *Smithsoniano* de plumaje identificó el ave [I.15].



**Figura I.13.-** Avión *MD-11* y gaviota argéntea (*Larus argentatus*)

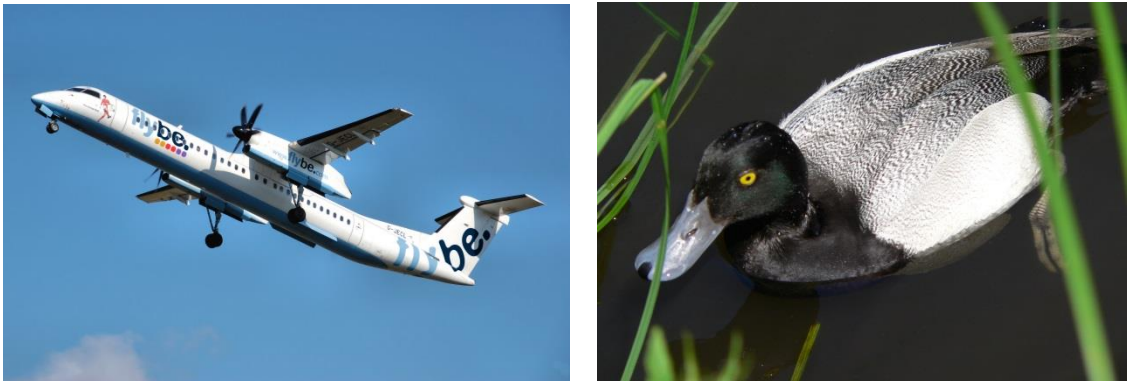
- **9 de marzo de 2002.-** Un *RJ 200* de *Canadair* impactó contra 2 pavos salvajes en el *Dulles* internacional airport (*Virginia*) durante su aceleración de despegue. Uno se estrelló contra el parabrisas, llenando la cabina de fragmentos de vidrio y restos del cadáver. El otro golpeó el fuselaje y fue ingerido. Fue dañada una sección de 35 cm x 10 cm del fuselaje del lado del oficial. El costo de reparación fue estimado en US\$ 200 000. La aeronave estuvo fuera de servicio al menos dos semanas [I.2].
- **19 de octubre de 2002.-** Un *Boeing 767* que salía del aeropuerto internacional de *Logan (Massachusetts)* encontró una parvada de más de 20 cormoranes de dos

---

---

crestas. Al menos un cormorán fue ingerido por el motor número 2. Hubo señales inmediatas de fallas en el bombeo y la compresión en el motor, seguidas de humo. El motor fue apagado y el piloto fue obligado a realizar un aterrizaje con sobrepeso a un solo motor. La maniobra fue lograda sin incidentes. El capuchón de la nariz fue abollado y perforado, las aspas del ventilador del motor sufrieron daño considerable, un álabe del motor fue encontrado en la pista, las líneas hidráulicas tenían fugas y varios pernos estaban dañados dentro del motor, que registró vibraciones anormales. La aeronave tuvo que ser remolcada a la rampa, luego de lo cual estuvo fuera de servicio tres semanas. El costo de reparación fue de 1.7 millones de dólares [I.16].

- **8 de enero de 2003.-** Un *Bombardier de Havilland Dash 8* chocó contra una parvada de patos bola (*Aythya affinis*) a unos 400 metros AGL mientras se aproximaba al aeropuerto internacional de *Rogue Valley (Oregon)*. Al menos 1 ave penetró en la cabina y golpeó al piloto, quien cedió el control al primer oficial para que aterrizara la nave. La alarma de emergencia se encendió cuando los pájaros penetraron el *radomo*, dañando los sistemas de corriente directa y de instrumentos. Las heridas del piloto fueron tratadas y fue dado de alta del hospital poco después (Figura I.14) [I.3].



**Figura I.14.-** Avión *Bombardier Dash 8* y pato bola (*Aythya affinis*)

- **4 de septiembre de 2003.-** Un *Fokker 100* impactó una parvada de al menos 5 gansos canadienses sobre la pista del *La Guardia (Nueva York)* poco después de

haber despegado. El motor numero 2 ingirió 1 ó 2 gansos (Figura I.15). Se registró vibración en el motor. El piloto no pudo apagar el motor con el mando de interrupción de flujo de combustible por lo que se vio obligado a accionar el mando de fuego y finalmente pudo apagar el motor. Sin embargo, la vibración continuó y el vuelo fue desviado al *JFK International Airport* donde el piloto pudo aterrizar sin incidentes. La *Dirección Nacional de Seguridad en el Transporte* de los *Estados Unidos (NTSB, por sus siglas en inglés)* encontró una depresión de 1 metro x 50 centímetros en el lado derecho de la nariz, detrás del *radomo*. La profundidad máxima de dicha depresión era de 10 centímetros. También había marcas de impacto en el ala derecha, un aspa del ventilador se separó del disco y penetró el fuselaje, varias aspas del ventilador fueron deformadas, se encontraron perforaciones en la cobertura del motor. Los restos del ave fueron recuperados e identificados [I.17].



**Figura I.15.-** Motor #2 del *Fokker-100* dañado al ingerir gansos canadienses

- **17 de febrero de 2004.-** Un *Boeing 757* impactó 5 patos de collar durante su aceleración para el despegue en el aeropuerto internacional de *Pórtland (Oregón)* y se vio obligado a regresar con un motor apagado. Al menos un ave fue ingerida y partes de otras 5 aves fueron recogidas de la pista. El daño al motor era irreparable y tuvo que ser reemplazado. El costo fue de US\$ 2.5 millones y la aeronave estuvo fuera de servicio por 3 días [I.3].



- **15 de abril de 2004.-** El motor número 2 de un avión tipo *Airbus A-319* que realizaba un ascenso desde el aeropuerto internacional de *Portland (Oregón)* ingirió una gran garza azul, provocando daño extensivo. El piloto apagó el motor como medida de precaución y realizó un aterrizaje de emergencia. Las labores de limpieza mantuvieron la pista cerrada durante 38 minutos y el vuelo fue cancelado. El motor y el *radomo* fueron reemplazadas. El avión estuvo fuera de servicio 72 horas y los daños costaron US\$ 388 000. (Figura I.16) [I.2].



**Figura I.16.-** Avión *Airbus A-319* y garza azul (*Egretta caerulea*)



**Figura I.17.-** Avión *Boeing 737* y búho cornudo (*Bubo virginianus*)

- **14 de junio de 2004.-** Un *Boeing 737* golpeó un búho cornudo (Figura I.17) durante un aterrizaje nocturno en el aeropuerto internacional de *Greater Pittsburgh (Pensilvania)*. El pájaro cortó un cable en el mecanismo principal frontal. Hubo una

falla en la dirección y el avión salió de la pista y se atascó en el lodo. Mientras que los pasajeros fueron regresados a la terminal en autobús. Dos llantas frontales y dos de los frenos principales del tren de aterrizaje tuvieron que ser reemplazados. La nave estuvo fuera de servicio 24 horas. El costo fue estimado en US\$ 20 000 [I.9].

- **16 de septiembre de 2004.-** Un avión *McDonnell Douglas DC-9-82* que dejaba el aeropuerto de *O'Hare* en *Chicago, Illinois*, golpeó una parvada a casi 1 000 metros *AGL* y a 6.5 kilómetros del aeropuerto. Se recuperó un pájaro muerto y fue identificado como un cormorán de doble cresta. Se estima que el ave en cuestión pesaba alrededor de 2.2 kg (5 libras), con una envergadura de 52 centímetros y una longitud de 81.2 cm (32 pulgadas). El motor número 1 de la aeronave se incendió (Figura I.18), expulsando pedazos de metal que cayeron a tierra en un vecindario de *Chicago*. El examen de los desechos encontrados en el motor confirmaron que al menos dos aves habían sido succionadas. El avión aterrizó de emergencia en el aeropuerto que acababa de dejar. Los 107 pasajeros que iban a bordo resultaron ilesos [I.18].



**Figura I.18.-** Motor #1 del avión *McDonnell Douglas DC-9-82* quemado después de succionar más de un cormorán

- **24 de octubre de 2004.-** Un *Boeing 767* que salía del *Chicago O'Hare (Illinois)* impactó contra una parvada durante su aceleración de despegue. Un compresor falló, provocando que el motor se incendiara. Un departamento de bomberos local recibió llamadas de testigos que vieron fuego salir del motor. El piloto se vio

---

---

obligado a tirar cerca de 49 640 litros de combustible en el *Lago Míchigan* antes de regresar a tierra. Las plumas encontradas en la pista fueron enviadas al *Instituto Smithsonian de Aves* para su identificación [I.3].

- **15 de enero de 2009.-** Un avión *Airbus 320* de *US Airways* despegó a las 15:26 horas desde el aeropuerto *La Guardia (Nueva York)* hacia *Charlotte (Carolina del Norte)*. Minutos después del ascenso el piloto reporta una avería y los motores de la nave colapsan tras impactarse con una parvada de gansos. Rápidamente la torre de control le concede permiso a la aeronave para aterrizar de emergencia en un aeropuerto cercano, pero ya no hay tiempo. El piloto a cargo cuenta con más de 19 mil horas de vuelo y además ha sido piloto de combate en las Fuerzas Aéreas de su país (*USAF*). Increíblemente consigue que el avión descienda logrando lo extraordinario, amerizar sobre las frías aguas del *Río Hudson*. Se salvan 155 personas a bordo, de las cuales solo 78 sufren lesiones menores (Figura I.19) [I.19].



**Figura I.19.-** Avión *Airbus 320* encallado en el *Río Hudson*

- **05 de septiembre de 2012.-** Un *Boeing 767-300* que iba en la ruta *Nueva York – Guayaquil*, sufrió impactos con varias aves presumiblemente de las especies pato silbador ventrinegro (*Dendrocygna autumnalis*) o pato silbador canelo (*Dendrocygna*



*bicolor*), mientras realizaba la aproximación final a la pista 21 del aeropuerto internacional *José Joaquín de Olmedo (Ecuador)*. Según testimonios del piloto, se contabilizaron al menos 6 impactos en el fuselaje, motores y tren de aterrizaje principal, producto de lo cual la aeronave se declaró fuera de servicio, con la consecuente afectación a los itinerarios programados. En la inspección a los motores se pudo constatar que cuatro álabes del motor número dos habían sufrido daños (Figura I.20) [I.7].



**Figura I.20.-** Avión *Boeing 767-300* y pato silbador ventrinegro (*Dendrocygna autumnalis*)



**Figura I.21.-** Descripción detallada del incidente del vuelo *Madrid-Vigo*



- **14 de agosto de 2014.-** Una aeronave *Airbus A320* de la aerolínea *Iberia* con ruta *Madrid - Vigo* retorna al aeropuerto *Alfonso Suárez Madrid-Barajas* tras sufrir el impacto de un pájaro cuando el avión despegaba (Figura I.21) [I.20].
- **21 de agosto de 2014.-** Un aeronave *A319* arriba a la ciudad de *Guayaquil (Ecuador)*, en la maniobra de aterrizaje sufre la succión de un ave por conducto de su primer motor, sin que se produzca daños aparentes. El piloto reporta un gallinazo (*Coragyps atratus*) como el animal involucrado en este suceso, sin embargo, luego del análisis de los restos se determinó que no se trataba de un ave de esta especie (Figura I.22) [I.7].



**Figura I.22.-** Ave succionada por el motor #1 y restos del ave atrapada



**Figura I.23.-** Avión de *Avianca* aterrizando de emergencia en *Costa Rica* tras impactarse contra un ave

- **24 de noviembre de 2014.-** Un avión *Airbus A320* de la aerolínea *Avianca* aterriza de emergencia en el aeropuerto internacional *Juan Santamaría (San José - Costa Rica)* luego de que un ave impactara contra uno de sus motores. El ave en cuestión penetro uno de los motores del avión provocado daños, por lo que el piloto decidió regresar al aeropuerto del que había despegado minutos antes con destino a *El Salvador*. La aeronave aterrizó sin ningún problema (Figura I.23) [I.21].

#### I.4.- Incidentes con fauna invasora en aeropuertos mexicanos

A continuación se presentan algunos de los incidentes aéreos ocurridos dentro del territorio nacional.

El aeropuerto internacional de *Campeche* se localiza en la región sureste de la *República Mexicana*, en la porción occidental de la península de *Yucatán*, a 5 kilómetros de la ciudad de *Campeche* y 10 metros sobre el nivel del mar; en las siguientes coordenadas geográficas:  $19^{\circ} 49'$  latitud norte y  $90^{\circ} 30'$  longitud oeste (Figura I.24).



Figura I.24.- Ubicación del aeropuerto internacional de *Campeche*

- **6 de mayo del 2001.-** Un accidente tiene lugar cuando la aeronave *ATR-42* se impacta con un venado cola blanca, inhabilitando el sistema hidráulico del avión, lo que causa que el piloto declare en la cabina el estado de emergencia. Sin embargo,

la aeronave logra aterrizar después de 45 minutos de haber sufrido el percance con solo algunos daños en el tren de aterrizaje izquierdo. (Figura I.25) [I.22].



**Figura I.25.-** Avión ATR-42 y venado cola blanca (*Odocoileus virginianusyucatanensis*)

A partir de este accidente se logran identificar al menos 20 diferentes especies de mamíferos invasores, propensos a chocar en contra de las aeronaves que arriban al aeropuerto internacional de *Campeche*; zorrillo (*Conepatus semistriatus*), mapache (*Procyonlotor*), tlacuache (*Didelphis marsupialis*), zorra gris (*Urucyoncinereoargnteus*), conejo (*Sylvilagus florindanus*), ardilla (*Sciurusyucatanensis*), oso hormiguero (*Tamandua mexicana*) y tepezcuittle (*Agoutipaca*) entre otras [I.20].


El aeropuerto internacional de la *Ciudad de México (AICM)* se encuentra ubicado por una parte, a pocos kilómetros del *Lago de Texcoco* (encontrándose aquí varias porciones de agua que atraen una gran cantidad de fauna voladora), y por otra parte, se encuentra el parque ecológico *Alameda Oriente* que cuenta con amplias zonas boscosas. Así mismo, se localizan los tiraderos de basura *Chimalhuacán* y *Bordo de Xochiaca*, provocando una constante afluencia de aves en las cercanías del predio aeroportuario (Figura I.26).






**Figura I.26.-** Aeropuerto internacional de la *Ciudad de México* y sus alrededores




Debido a su ubicación, antes descrita, el AICM lleva un registro de los impactos provocados por el choque entre las aeronaves y la fauna voladora invasora [I.23]. Los datos se muestran a continuación en la Tabla I.1.

**Tabla I.1.-** Impactos entre aeronaves y fauna invasora en el AICM

Año	Impactos con aeronaves	Aves invasoras preponderantes en el AICM (Ordenadas por orden alfabético)
2001	5	 <p data-bbox="821 1774 1318 1808">Aguililla cola roja (<i>Buteo jamaicensis</i>)</p>



2002	7	 <p data-bbox="813 625 1325 659">Cernícalo americano (<i>Falco sparverius</i>)</p>
2003	1	 <p data-bbox="878 1129 1260 1163">Golondrina (<i>Hirundo rustica</i>)</p>
2004	3	 <p data-bbox="867 1633 1271 1667">Paloma común (<i>Columba livia</i>)</p>

2005	6	 <p>Tildio (<i>Charadrius vociferus</i>)</p>
2006	20	 <p>Tortolita mexicana (<i>Columbina inca</i>)</p>
2007	20	 <p>Zanate (<i>Quiscalus mexicanus</i>)</p>

Dado lo complejo que resulta el tratar de averiguar el tipo de ave con la que una aeronave nacional impacta, la tabla anterior solo muestra las especies que por sus características son más propensas a frecuentar el perímetro de operaciones del aeropuerto internacional de la

---

---

*Ciudad de México* [I.21] y, por lo tanto, proclives a verse involucradas en incidentes con las aeronaves.

- **29 de enero del 2011.-** Una avioneta *Cessna* recibe un impacto directo en una de sus alas al cruzar un zopilote en la línea de elevación de la aeronave (Figura I.27) que despegaba del aeropuerto internacional de *Cozumel (Quintana Roo)*. El incidente ocurrió a una milla y media de la pista (dos kilómetros con 400 metros aproximadamente). El problema de los zopilotes invasores se planteó a la *Dirección del Medio Ambiente y Ecología* [I.24].



**Figura I.27.-** Avioneta *Cessna* y zopilote mexicano (*Coragyps atratus*)

### **I.5.- Exclusión de especies**

A continuación se presenta la forma en que se intenta excluir a las distintas especies en los aeropuertos y como son separados por grupos para su tratamiento.

#### **I.5.1.- Exclusión de aves [I.2]**

Los arquitectos a cargo de los proyectos de construcción o expansión de edificios, hangares, puentes y demás estructuras aeroportuarias, utilizan las vigas cilíndricas para excluir a las aves de los aeropuertos. Ya que son mucho menos atractivas como sitios de percha para palomas y estorninos, que las vigas con forma de *I*. Si se encuentran sitios de percha o descanso en estructuras antiguas (como techumbres en hangares, almacenes y puentes), estas áreas son eliminadas, por ejemplo mediante el uso de redes (Figura I.28).



**Figura I.28.-** Red repelente de aves

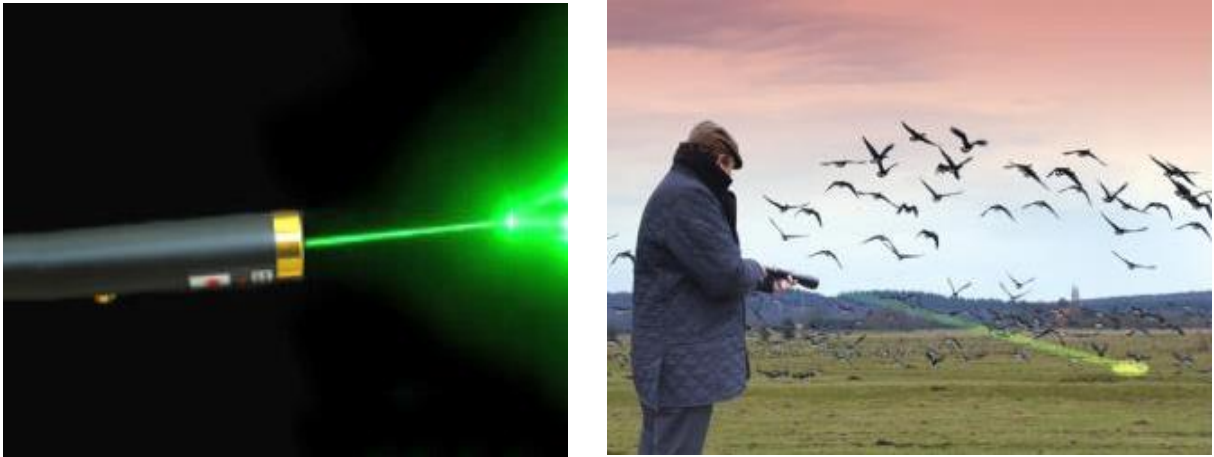
Mientras que cortinas hechas de plástico para uso rudo, cortadas en tiras de unos 30 cm y colgadas en la entrada de los hangares, son generalmente suficientes para evitar que las aves tengan acceso a estas áreas (Figura I.29).



**Figura I.29.-** Cortinas de plástico para restringir a las aves

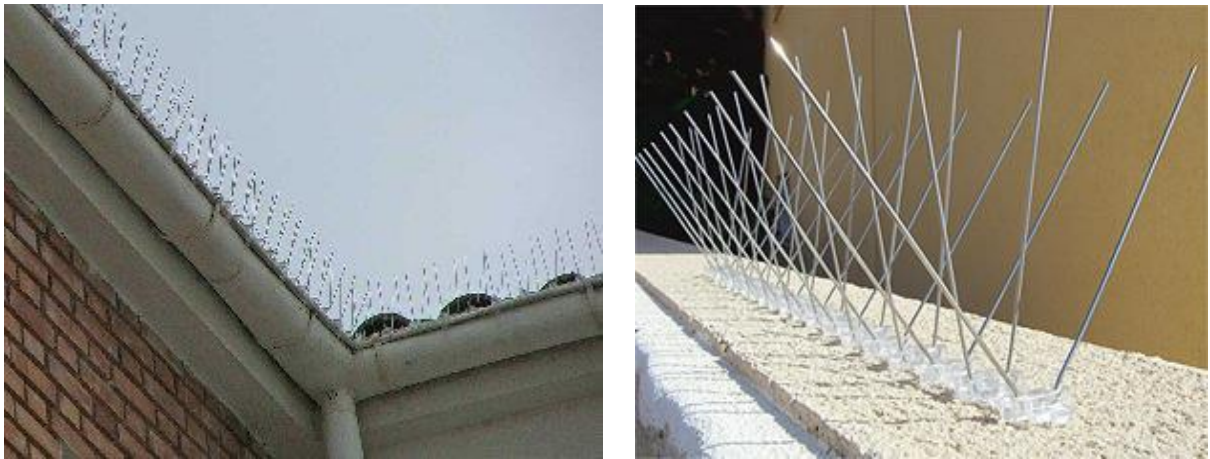
Así como, bajo condiciones de poca luz, los rayos láser especialmente diseñados pueden resultar muy efectivos para dispersar gansos, cormoranes y otras aves (Figura I.30).





**Figura I.30.-** Rayo láser de uso profesional para ahuyentar aves

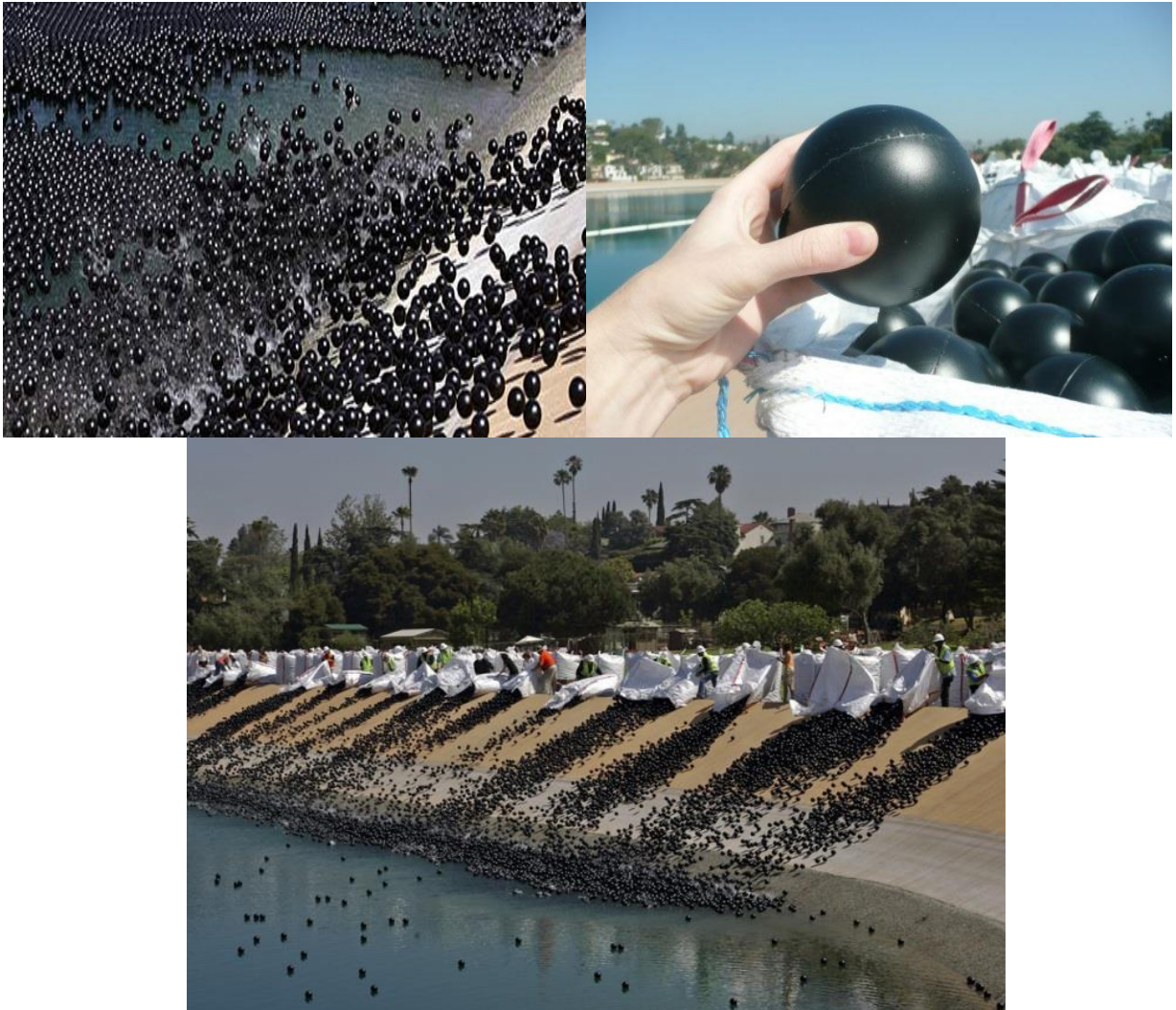
En otro sentido, artefactos *antiperchaje*, como picos, son instalados en bordes, vértices de techumbres, vigas, señales, postes y cualquier otro punto atractivo para evitar que las aves las ocupen (Figura I.31).



**Figura I.31.-** Dispositivo *antiperchaje* para evitar la presencia de aves

El uso de cuerpos de agua y canales de drenaje (por gaviotas y aves ribereñas) se reducen instalando un sistema de alambrado encima de éstos. Un sistema de alambrado en hileras con una separación de 3 metros o un entramado de 3 por 3 metros, evita que las aves lleguen a ellos. Sistemas de alambrado similares que se han utilizado en distintos sitios, han tenido éxito para mantener a las gaviotas alejadas de los techos y fuera de los rellenos sanitarios, y a los cuervos lejos de las subestaciones eléctricas.

Cuando se desea evitar el acceso de cualquier ave a los cuerpos de agua o áreas similares, se instala una malla. Sin embargo, algunas ocasiones las aves se enredan, y entonces surgen problemas de mantenimiento. Una cubierta completa sobre los cuerpos de agua, con pelotas de plástico de un diámetro de 7.5 cm (también conocidas como *bird balls*) excluye completamente a las aves y permite la evaporación del agua. El diseño de estanques con pendientes pronunciadas evita que las aves se junten en las orillas (Figura I.32).



**Figura I.32.-** *Bird balls* para evitar la presencia de aves en zonas acuosas

### **I.5.2.- Exclusión de mamíferos [I.2]**

En los aeropuertos se implementa una política de *cero tolerancia* para los venados, ganado y otros mamíferos grandes en las áreas operativas, debido al alto nivel de riesgo que representan para la aviación. La mejor manera de excluir estos animales del área de operaciones



aeronáuticas (AOA), es la colocación de cercas adecuadas. La *FAA* recomienda colocar un cercado periférico de malla ciclónica de 3 o 3.5 metros de altura, con salientes de 3 tiras de alambre de púas (Figura I.33).

En algunos casos, una cerca con 2.5 metros de altura y salientes de 3 tiras de alambre de púas es suficiente, dependiendo de la intensidad de la actividad de los venados en la zona. La cerca debe extenderse 1.2 metros por debajo de la tierra, con una inclinación de 45° hacia fuera del perímetro, para impedir que los animales excaven (Figura I.34). Así como, para reducir el riesgo de deslaves. Este cercado sirve como una excelente barrera de seguridad para el aeropuerto.



**Figura I.33.-** Malla ciclónica para impedir el paso de mamíferos en los predios aeroportuarios



**Figura I.34.-** Cerca colocada en inclinación para evitar que los mamíferos escaven

Existen muchos diseños de cercas electrificadas (Figura I.35) para excluir venados (también llamados ciervos comunes (*Cervus elaphus*), ciervos europeos, ciervos rojos o ciervos colorados), que no son tan costosas como el cercado permanente, pero tienen desventajas de seguridad y mantenimiento. El cercado se debe instalar correctamente y recibir el mantenimiento necesario. Es importante que el derecho de paso alrededor de la cerca esté limpio de vegetación excesiva. Se realizan patrullajes diarios para corregir deslaves, rupturas y hoyos en la cerca tan pronto como sean descubiertos. Siempre que se observen venados, o cualquier otra clase de mamíferos de gran tamaño cerca del AOA, se deberá tomar acción inmediata para retirarlos.



**Figura I.35.-** Cerca electrificada para excluir venados y similares de los aeropuertos

Los *guarda ganado* son muy utilizados para prevenir que animales con pezuñas atraviesen por aquellos sitios que deben permanecer abiertos para el acceso vehicular (Figura I.36). Para prevenir el paso de venados, estos dispositivos se construyen por lo menos de 4.5 mts de largo y perpendiculares a la cerca.



**Figura I.36.-** Guarda ganado empleado para impedir el paso de animales con pezuñas

Diseño y construcción de un vehículo terrestre  
para la expulsión de fauna voladora en los aeropuertos

### **I.6.- Planteamiento del problema**

Para controlar de forma eficaz la fauna silvestre en un predio aeroportuario los administradores primero identifican y priorizan las amenazas representadas por las diferentes especies que se encuentran en éste. Tomando en cuenta las modificaciones de hábitat para minimizar la disponibilidad de fuentes de alimento, cobijo y agua. Así como, las barreras físicas para la exclusión de fauna silvestre, son el fundamento de los programas de manejo de fauna silvestre para los aeropuertos. Los anteriores puntos demuestran que el proyecto propuesto en este trabajo de tesis puede ser viable si se utiliza de tal manera que pueda amalgamar las técnicas de control de riesgo ya establecidas y brindar una solución efectiva a la problemática existente.

La presente propuesta plantea ser una herramienta integral que conjunte varias técnicas de repulsión, con el fin de romper con el comportamiento normal e incomodar a la fauna silvestre que intenta habitar el aeropuerto. Finalmente, el factor más importante para el éxito del proyecto es el conocer el comportamiento de una pequeña grama de fauna silvestre que intenta invadir el predio aeroportuario y establecer el manejo de las técnicas apropiadas de repulsión para resolver esta problemática.

### **I.7.- Sumario**

El Capítulo I describe los antecedentes históricos existentes a nivel mundial y a nivel nacional derivados de los accidentes producidos por el choque entre aeronaves con fauna invasora, dentro y alrededor del área de operación de los predios aeroportuarios. Así mismo, elabora un breve recuento de los sistemas que existen en la actualidad para controlar la inclusión de fauna invasora dentro del radio de operación de los aeropuertos.

### **I.8.- Referencias**

- 1.- Padfield, G. D., Lawrence B., *The birth of the practical aeroplane: An appraisal of the Wright brothers' achievements in 1905*, The Aeronautical Journal, Department of Engineering University of Liverpool, paper 2994, pp.1, Reino Unido, 16 de agosto del 2005

- 
- 
- 2.- Cleary, E. C., Dolbeer, R. A., *Other Bird Strike and Aviation Materials, Bird Strike Committee Proceedings*, University of Nebraska - Lincoln, paper 5, pp. 2, 22-27, 135-137, Estados Unidos, Marzo del 2005
  - 3.- Cleary, E. C., Dolbeer, R. A., *Wildlife Hazard Management at Airports: A Manual for Airport Personnel*, USDA National Wildlife Research Center - Staff Publications, paper 133, pp.2, 19-21, Estados Unidos, Julio del 2005
  - 4.- Anichiárico-Villarreal, L.M., Páez-Piñeros, A.I., Montealegre, C.E., *Programa nacional de limitación de fauna en aeropuertos*, Sistema de gestión para la seguridad operacional, Unidad administrativa especial de aeronáutica civil, versión II pp. 7, Colombia, Agosto del 2008
  - 5.- Croce, I., *Comunidad de aves y peligro aviario en el Aeropuerto Internacional de Carrasco*, Tesina para optar por el grado de Licenciado en Ciencias Biológicas, Instituto de Ecología y Ciencias Ambientales , Universidad de la República de Uruguay, pp. 3, Uruguay, Julio del 2011
  - 6.- Arriaga-Aguilar, A., Labastida-Sánchez, L., Ríos-Cruz, J.R., *Sistema de control de fauna silvestre en aeropuertos, caso Villahermosa*, Tesis para obtener el título de ingeniero en aeronáutica, ESIME – Ticomán, IPN, pp.10, México D.F., Octubre del 2006
  - 7.- Salazar-Cerda, J., *Gestión del control del peligro aviario y fauna en el Ecuador*, Control del peligro aviario y fauna, Dirección General de Aviación Civil, pp.6, 8, Ecuador, 10 de febrero del 2014
  - 8.- Dolbeer, R. A., *Bird and Other Wildlife Hazards at Airports: Liability Issues for Airport Managers*, USDA National Wildlife Research Center - Staff Publications, U.S. Department of Agriculture / Wildlife Services, paper 142, pp. 1-4, 6100 Columbus Avenue, Sandusky - OH 44870 USA, 3 de noviembre del 2006
  - 9.- Blanco-Rodríguez P., Sánchez-Oria B., Sierra-Veranes M., *Manual para el control y manejo de la fauna de riesgo en aeropuertos de cuba*, Instituto de Ecología y Sistemática, Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente de Cuba, pp. 4 y 5, Carretera de Varona Km 3.5 Boyeros, La Habana-Cuba
  - 10.- Wright, S., *Some significant wildlife strikes to civil aircraft in the United States january 1990 – december 2013*, FAA Wildlife Strike Database, U.S. Department of Agriculture /
- 
-

- 
- 
- Wildlife Services, pp. 3, 6, 6100 Columbus Avenue, Sandusky - OH 44870 USA, 13 de enero del 2014
- 11.- Vassallo, C.M., *Los Accidentes Aéreos y Aspectos Indemnizatorios según sus Causas*, Ponencia del seminario relativo a Cuestiones Actuales de Derecho Aeronáutico, Universidad de Buenos Aires, pp. 12, Argentina, 8 de octubre de 2009
- 12.- Flight safety foundation, *1995 Alaska Boeing E-3 Sentry accident*, The Aviation Safety Network, pp. 1, <http://aviation-safety.net/database/record.php?id=19950922-0>
- 13.- Kuehner, C.W., Alexander, J. R., *Evolution of the DFW International Airport Wildlife Management Program - Lessons Learned*, 1999 Bird Strike Committee-USA/Canada First Joint Annual Meeting, paper 22, pp.1, Vancouver, 1 de enero de 1999
- 14.- Van Es, G.W., Smit, H.H., *A Method for Predicting Fatal Bird Strike Rates at Airports*, Rijkswaterstaat, Directie Noordzee 76/317583, pp.25, 25 de Octubre de 1999
- 15.- Federal Aviation Administration, *Herring Gull Causes Jet Takeoff to be Aborted*, Wildlife Strike Gallery, pp. 1, [http://www.faa.gov/airports/airport\\_safety/wildlife/gallery/](http://www.faa.gov/airports/airport_safety/wildlife/gallery/)
- 16.- Flight Safety Foundation, *News*, The Aviation Safety Network, pp. 1, <http://aviation-safety.net/news/news.php?var=200210%&sort=ASC>
- 17.- American Airlines, *Brief of Accident*, National Transportation Safety Board, Washington DC 20594, pp.2, Estados Unidos, 24 de enero del 2005
- 18.- Flight Simulation Systems, *Birdstrike, McDonnell Douglas DC-9-82, September 16, 2004*, National Transportation Safety Board (NTSB), pp.1, <http://www.fss.aero/accident-reports/dvdfiles/US/2004-09-16-US.pdf>
- 19.- Curkin, S., Monek, B., *Miracle on the Hudson*, Eye Witness News 7, pp. 1, New York- Estados Unidos, 16 de enero del 2009
- 20.- Europa press, *Un vuelo Madrid-Vigo vuelve a Barajas tras sufrir el impacto de un ave*, 14 de agosto del 2014 - 10:50 a.m., <http://www.europapress.es/galicia/noticia-vuelo-madrid-vigo-regresa-barajas-sufrir-impacto-pajaro-despegue-20140814104403.html>
- 21.- La estrella de Panamá, *Avión de Avianca aterriza de emergencia en Costa Rica tras impactar ave*, lunes 24 de noviembre de 2014 - 3:51 p.m., <http://laestrella.com.pa/internacional/america/avion-avianca-aterriza-emergencia-costa-rica-tras-impactar/23823272>
- 
-

- 22.- García-Marín, M. C., *Manejo de Fauna Silvestre en el Aeropuerto de la Ciudad de Campeche*, Segunda Reunión del Comité Regional CAR/SAM de Prevención del Peligro Aviario, pp. 5, Diciembre 2004
- 23.- Guerrero-Caballero I., *Control aviario en el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México*, Tesina para obtener el título de Ingeniero en Aeronáutica, ESIME – Ticomán IPN, pp. 8,24, México D.F., Noviembre del 2007
- 24.- La policiaca, *Aumenta el riesgo de accidentes aéreos por zopilotes*, 03 de Febrero del 2011 a las 12:35 am, <http://www.lapolicia.com/nota-roja/aumenta-el-riesgo-de-accidentes-aereos-por-zopilotes/>



# Capítulo II

## Marco teórico



*El capítulo contiene los sistemas de evaluación y control de riesgo, orientados a eliminar la presencia de fauna voladora dentro del área de operaciones de los predios aeroportuarios. Establece un horizonte claro del problema que se afronta buscando proponer una mejor solución en el proyecto.*

---

---

## II.1.- Introducción

Las aves levantaron el vuelo por primera vez hace unos 150 millones de años. Los seres humanos empezaron a compartir con ellas el espacio aéreo hace apenas un poco más de 100 años [II.1]. Desafortunadamente, cuando aeronaves y aves intentan usar al mismo tiempo un espacio aéreo (Figura II.1), se dan colisiones entre ellos. Las aves no son el único problema para las aeronaves. Venados, coyotes e inclusive lagartos que se encuentran en las pistas, pueden crear serios problemas en los despegues o aterrizajes de las aeronaves.



**Figura II.1.-** Ejemplo de aeronave sabotada por aves

Las colisiones de aeronaves con fauna silvestre (llamadas comúnmente impactos con fauna silvestre) cuestan anualmente a la aviación civil de los *E.U.A.* cerca de 500 millones de dólares por daños directos y costos asociados. Además de aproximadamente 500 mil horas fuera de uso de las aeronaves.

En el *Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México* desde el año 2003 biólogos, médicos veterinarios y técnicos ambientalistas forman parte del equipo humano que se encarga del programa de control de riesgo aviar que se aplica dentro del predio aeroportuario ininterrumpidamente los 365 días del año [II.2]. Aun cuando el costo económico por impactos con fauna silvestre es muy alto, el costo por pérdida de vidas humanas ilustra mejor la necesidad de manejar el problema de impactos con fauna silvestre. Los viajes aéreos se han

---

---

convertido en algo común en todo el mundo. Las aeronaves han asumido, también un papel vital en operaciones comerciales, de transporte, logísticas y militares.

### **II.1.1.- Fauna invasora**

Numerosos programas de recursos naturales, promovidos por los sectores público y privado, dedicados al manejo de fauna silvestre, han contribuido a un progresivo aumento en el tamaño de las poblaciones de diferentes especies de fauna de mediano y gran tamaño, como aves rapaces (águilas, halcones y búhos), cormoranes, gansos, gaviotas, garzas, grullas, lagartos, pavos salvajes, pelícanos, venados y zopilotes. Al mismo tiempo, algunas de estas especies (por ejemplo; coyotes, gansos canadienses, pavos salvajes y venados) han expandido sus territorios hacia áreas urbanas y suburbanas, incluyendo los aeropuertos. Lo han logrado con mucho éxito, gracias al proteccionismo y en respuesta a las modificaciones de hábitat en estas áreas. Prácticamente todas estas especies tienen masas corporales superiores a los 1.8 kg. (4 libras), lo cual excede la normatividad para certificación de impactos contra fauna silvestre contra motores [II.3]. El incremento observado, tanto en el tráfico aéreo, como en las poblaciones de fauna silvestre, contribuye a su vez a intensificar las probabilidades de impactos capaces de provocar daños serios a los aviones.

### **II.1.2.- Incremento de los impactos entre aviones y fauna silvestre**

El comienzo de la era del jet revolucionó los viajes aéreos, pero magnificó el problema de impactos con fauna silvestre. Las primeras aeronaves de pistón eran ruidosas y relativamente lentas. Todo lo contrario a los aviones modernos (Figura II.2).



**Figura II.2.-** Ejemplo de aeronaves modernas

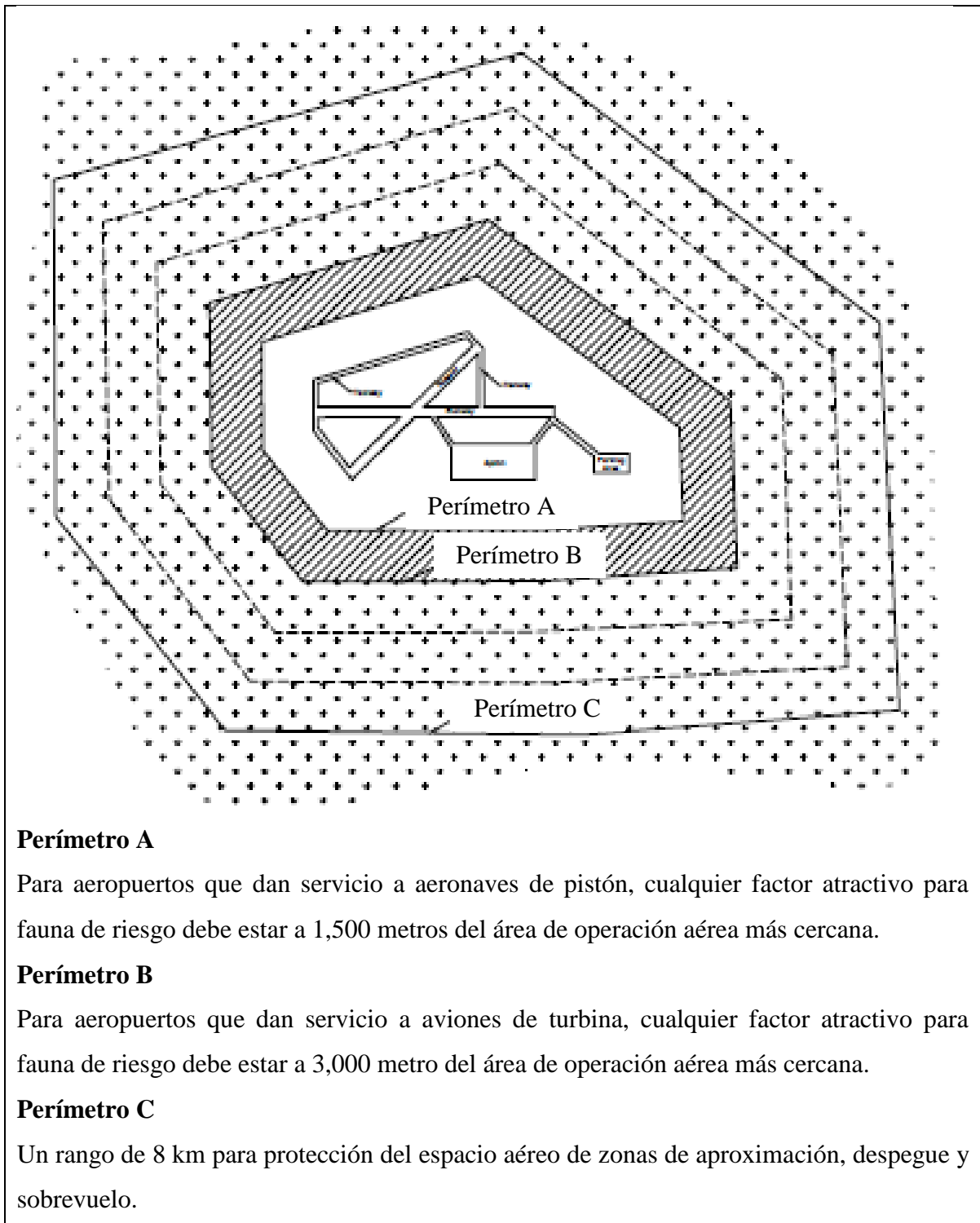
La fauna silvestre podía usualmente evadir a las antiguas aeronaves y los impactos que ocurrieron no provocaron daños o éstos eran menores. Sin embargo, las nuevas aeronaves son rápidas, relativamente silenciosas y los álabes de sus motores son frecuentemente más vulnerables que las hélices, por lo que pueden resultar más dañados en un impacto con fauna silvestre.

Cuando los jets chocan con aves u otra fauna silvestre, pueden darse problemas estructurales o importantes fallas de motor en la aeronave. El daño múltiple al motor por la ingestión de una parvada, es particularmente preocupante, ya que la flota de aeronaves de pasajeros de dos motores es muy común alrededor de todo el mundo. Estos factores, combinados con la alta velocidad, silencio y vulnerabilidad de las aeronaves modernas, son la base del problema de impacto con fauna silvestre que enfrentan actualmente los administradores de los aeropuertos, quienes también enfrentan una creciente preocupación por la responsabilidad que tiene el predio aeroportuario en torno a estos impactos.

### **II.1.3.- Injerencia del predio aeroportuario en el problema [II.3]**

La fauna silvestre es atraída a un aeropuerto debido a la comida, agua o hábitat que éste les proporcione. La mayoría de los impactos con fauna silvestre ocurren dentro de las inmediaciones del aeropuerto. El 74% de todos los impactos ocurren por debajo de los 152.4 m (500 pies) sobre el nivel de tierra (*AGL*, por sus siglas en inglés). Por este motivo es importante eliminar dentro del aeropuerto cualquier factor que pueda atraer fauna invasora (Figura II.3).

Los problemas de impactos con fauna silvestre en los aeropuertos privados, son el resultado de la interacción de los factores antes mencionados de acuerdo a la escala local. La naturaleza y magnitud del problema que enfrenta un aeropuerto en particular, dependerá de muchos factores como son; el tipo y volumen de tráfico aéreo, las poblaciones de fauna silvestre local y migratoria y las condiciones de hábitat en el área. En resumen, la mayor parte de la fauna silvestre involucrada en impactos se ubica en el aeropuerto o sus alrededores y es por ello que éstos son los lugares lógicos para delimitar la acción del proyecto en el presente trabajo de tesis.



**Figura II.3.-** Distancias de separación en aeropuertos dentro de las que se debe evitar, eliminar o mitigar cualquier factor atractivo para fauna de riesgo

---

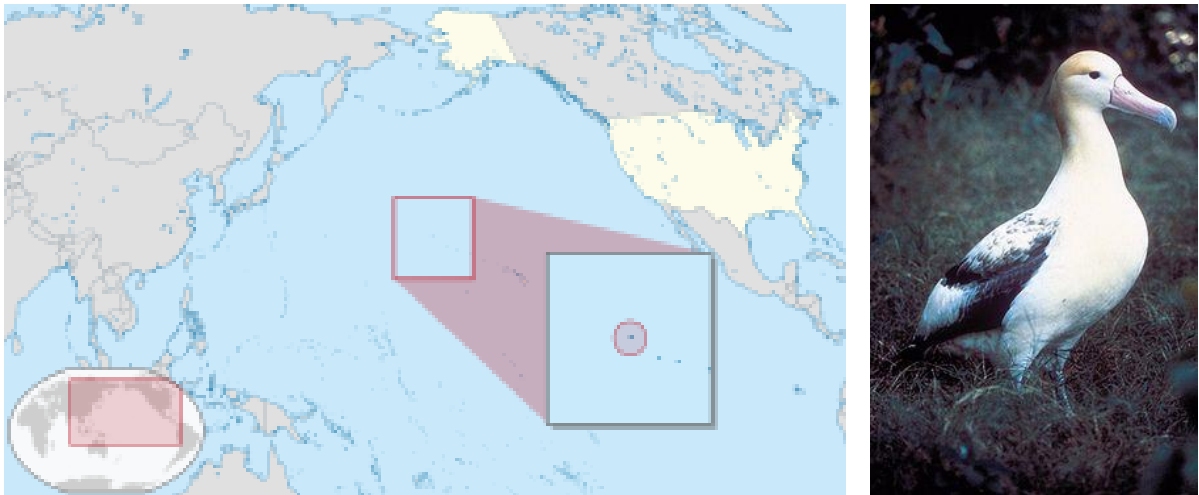
---

## II.2.- Estrategias de control de fauna silvestre

En esta sección se presentan las estrategias básicas utilizadas para excluir a la fauna de los aeropuertos.

### II.2.1.- Modificación de programas de vuelo [II.1]

Aunque esta táctica no resulta práctica para el tráfico comercial en los grandes aeropuertos, pueden darse disposiciones en que los programas de vuelo de algunas aeronaves deban ser ajustados, para minimizar la probabilidad de impacto con la fauna silvestre que tiene un patrón de movimientos predecible. Por ejemplo, se puede dar aviso a los pilotos de no salir durante un período de 20 minutos al amanecer o al atardecer durante el invierno, cuando grandes parvadas de mirlos cruzan un aeropuerto, en su ruta hacia o desde su sitio de descanso fuera del mismo. En situaciones, como en el atolón *Midway*, donde los albatros y otras aves marinas son abundantes durante ciertas épocas del año (Figura II.4), el programar llegadas y salidas durante la noche, cuando las aves no están volando, puede ser la única manera de evitar impactos.



**Figura II.4.-** Ubicación de las islas *Midway* abundantes de albatros en ciertas temporadas

Finalmente, los controladores de tráfico aéreo, eventualmente pueden tener la necesidad de cerrar temporalmente una pista cuando detectan actividad inusual o la incursión de algún mamífero grande, por ejemplo un venado, hasta que el personal de control de fauna silvestre pueda dispersar a los animales (Figura II.5).



**Figura II.5.-** Venado invadiendo el área de operación del aeropuerto

### **II.2.2.- Modificación y exclusión de hábitat [II.3]**

La modificación de hábitat, significa cambiar el medio ambiente para hacerlo menos atractivo o inaccesible para la fauna silvestre. Toda fauna silvestre necesita alimento, cobijo y agua para sobrevivir. Inicialmente, las acciones de manejo para reducir alimento, cobijo y agua en un aeropuerto pueden resultar costosas. Sin embargo, cuando los costos son amortizados en unos años, estas acciones resultan menos caras si el resultado es una reducción de poblaciones de fauna silvestre.

#### **II.2.2.1.- Alimento**

Algunas de las fuentes urbanas de alimentos más comunes para aves dentro y cerca de los aeropuertos incluyen los desechos que la gente deja en los sitios de taxis y estacionamientos, elevadores de granos, plantas de tratamiento de aguas residuales. Así como, un inapropiado almacenamiento de desperdicios de comida alrededor de restaurantes y una mala prestación de servicios de recolección de basura.

En el medio rural y suburbano, las fuentes de alimento que resultan más atractivas para aves incluyen los rellenos sanitarios, forraje, algunas cosechas (especialmente granos de cereal y girasol) y granos tirados a lo largo del camino y terrenos de derecho de camino alrededor de



vías férreas. Los árboles y otras plantas de ornato que se utilizan para las aceras de las calles de los aeropuertos y otras áreas verdes, no deben ser especies productoras de frutas o semillas atractivas para las aves.

En la zona aeronáutica, las grandes extensiones de pasto pueden proporcionar un hábitat propicio para el desarrollo de roedores e insectos, los cuales atraen aves rapaces, gaviotas y otras especies de aves y mamíferos depredadores, como son los coyotes. Los pastizales, si se les permite producir espigas y semillas, resultan una fuente de alimento para palomas, tordos y otras especies. El manejo de la vegetación en estas áreas para controlar roedores, insectos y semillas, puede ser complicado y requerir el uso de insecticidas, herbicidas y raticidas. Si se busca reemplazar a los herbicidas y ayudar a mantener vivos los organismos del suelo, además de reducir el uso de maquinaria pesada que contamine el medio ambiente se puede usar animales de granja para limpiar la vegetación que crece en los alrededores del aeropuerto (Figura II.6). Pues las cabras, ovejas y burros pueden comerse hasta 25 metros cuadrados diarios de vegetación [II.4].



**Figura II.6.-** Cabras, ovejas y burros utilizados para el control de la vegetación en los alrededores del aeropuerto internacional *O'Hare (Chicago-EUA)*



### II.2.2.2.- Refugio

La fauna silvestre necesita un sitio para descansar, posarse, refugiarse y reproducirse (Figura II.7). Las parvadas no migratorias de gansos canadienses establecidas en áreas urbanas, si se les deja, establecerán sus territorios en áreas verdes corporativas, campos de golf e incluso techumbres cercanas a estanques. Mientras las palomas, gorriones domésticos y estorninos pintos, usan las cornisas de los edificios, las construcciones abandonadas, las vigas, durmientes y puentes, así como la vegetación densa para encontrar cobijo. Por ejemplo, los tordos utilizan la vegetación de los pantanos para anidar y empollar. Muchos inconvenientes de aves pueden resolverse suprimiendo la disponibilidad de estas áreas, ya sea a través de su remoción o exclusión. Sin embargo, se debe tener mucho cuidado cuando se seleccionan las plantas ornamentales para un aeropuerto, no sólo para evitar la producción de frutas y semillas que atraigan a las aves, sino también para evitar la creación de áreas, que por su densidad puedan proporcionar sitios de cobijo.



**Figura II.7.-** Aves usando una barda alrededor del aeropuerto para posarse y descansar

Las aves que se posan en los árboles dentro de los aeropuertos pueden ser controladas a través de la poda de las ramas o realizando un tala selectiva para dejar un mayor espacio entre árboles. El manejo de la vegetación en la zona aeronáutica para minimizar la actividad de las aves, es un aspecto controversial por el aspecto ecológico. La recomendación general, basada en estudios realizados en *Inglaterra* en los años 60's y 70's ha sido mantener un monocultivo

---

---

de pasto. A una altura de 15 a 25 cm según el *Ministerio de Transporte de Canadá* y de 18 a 36 cm según la *Fuerza Aérea de los E.U.A.* El pasto alto, al interferir con la visibilidad y movimientos en tierra, evita que muchas especies de aves lo utilicen para descansar y alimentarse. Sin embargo, los estudios realizados en *Estados Unidos*, no han proporcionado un consenso de opinión sobre la utilidad del manejo de la altura del pasto en los aeropuertos [II.5 - II.11]. Por ejemplo, los gansos canadienses no parecen desanimarse por el pasto alto. A esto hay que añadir que el pasto alto puede propiciar un incremento en la población de roedores, que son fuente de alimentación para aves de rapiña. El mantenimiento uniforme de la altura del pasto resulta difícil y caro en muchos aeropuertos, debido a las condiciones variables del suelo. Así como, a la necesidad de aplicar fertilizantes y herbicidas. Las regiones áridas al oeste de los *Estados Unidos*, no pueden mantener el pasto alto sin irrigación.

Una alternativa prometedora respecto a la reducción de la atracción de fauna silvestre por refugio terrestre, independientemente de la altura de los pastos, es el uso de vegetación que es poco deseable o ligeramente tóxica para la fauna silvestre. El pasto artificial (sintético), colocado en ciertas áreas, puede ser útil al generar un ambiente particularmente estéril para la fauna silvestre en aeropuertos. Finalmente, la presencia de masas densas de árboles y arbustos dentro del aeropuerto, puede proporcionar un excelente ambiente para venados, roedores, gansos, coyotes, aves de rapiña y otra fauna silvestre. En general, estos hábitats se limpian o por lo menos se podan lo suficiente para eliminar la condición de refugio o cobijo para la fauna silvestre, y permitir la inspección física y visual. Todos los postes, bardas y otras estructuras innecesarias, que puedan ser usadas como perchas por aves de rapiña u otras, se retiran de la zona aeronáutica. Los montones de cascajo de construcciones y equipo fuera de uso, cercado abandonado y otras áreas que no han tenido un mantenimiento adecuado, proporcionan frecuentemente un ambiente idóneo para la proliferación de ratas y ratones domésticos. Cuando el drenaje total de un estanque de retención de gran tamaño es absolutamente imposible, se usan barreras físicas, como pelotas de plástico para aves, rejas de alambre, almohadillas o redes, para alejar a la fauna silvestre de riesgo que se sienta atraída por estos cuerpos de agua.

### II.2.2.3.- Agua

El agua actúa como un imán natural para las aves, por lo que toda el agua estancada en el aeropuerto se retira al máximo posible (Figura II.8). Las depresiones en el pavimento y áreas con vegetación. Así como, las áreas con piso irregular en los sitios de construcción, que provocan el estancamiento de agua después de las lluvias, son rellenadas o modificadas para permitir su drenaje rápido. Esto es de notable importancia en los aeropuertos costeros, en donde el agua dulce es muy atractiva para que las aves beban y se bañen. Las represas de retención de agua, los canales de drenaje abierto, fuentes exteriores y otros cuerpos de agua, no se establecen (ni siquiera de manera adyacente) en los aeropuertos. Siempre que sea posible, los estanques de retención de aguas pluviales son modificados para que su periodo de drenaje después del evento meteorológico para el que fueron diseñados no exceda las 48 horas. También se evita la colocación de estanques de retención con condiciones de almacenamiento de larga duración; cuando estos estanques ya están operando, se eliminan o sustituyen.



**Figura II.8.-** El agua estancada debe suprimirse de todo predio aeroportuario

### II.3.- Sistemas de repulsión y hostigamiento [II.12]

Para controlar de forma más efectiva la fauna silvestre en los aeropuertos, los encargados de la seguridad en la pistas priorizan las amenazas representadas por las diferentes especies

---

---

animales presentes en su ambiente. Existen factores de riesgo para determinar la amenaza que representan las diferentes especies o grupos de especies.

Un sistema de clasificación de la evaluación de riesgo es aplicado para cada especie en el aeropuerto para determinar su clasificación de riesgo. Aunque sólo como una pauta, existen consideraciones que pueden servir en este trabajo de tesis para definir el alcance efectivo del proyecto, en la tarea de ahuyentar un tipo particular de fauna silvestre dentro de un predio aeroportuario.

Asimismo, el tamaño poblacional puede parecer una consideración obvia cuando se está determinando la amenaza global para las operaciones aeronáuticas representada por una especie de fauna silvestre en particular. Sin embargo, muchas veces, los administradores aeroportuarios no llevan a cabo censos exactos y cuantificables para determinar el número absoluto de animales involucrados. La determinación exacta de la presencia de especies no sólo toma importancia en la evaluación del peligro directo representado por una especie, sino que también es crítica para ayudar a los gerentes de aeropuerto en la asignación del estatus de riesgo relativo para aquellas especies, y en la asignación de prioridades a su control en el programa global de control de fauna silvestre. Obviamente, mientras mayor sea el número de aves presentes en el aeropuerto, mayor será la probabilidad de impactar una aeronave. No siempre los números de animales se traducen directamente en una mayor amenaza para las aeronaves, pero es razonable asumir que las probabilidades de chocar con uno de 20 000 estorninos (*Sturnidae*) son mucho mayores que aquellas de golpear una o dos garzas azules (*Egretta caerulea*). Por lo tanto, a las especies que tienen un mayor número de individuos dentro del aeródromo se les debe asignar un factor de riesgo más alto en el análisis final de riesgo.

Las poblaciones son evaluadas mediante protocolos válidos de *conteo por censos*, aunque los estudios puramente empíricos muchas veces no son posibles (o recomendables) a la luz de la misión global de proteger las operaciones aeronáuticas. Los conteos de poblaciones realizados durante las patrullas rutinarias de fauna silvestre pueden ser suficientes para estimar los

---

---

números totales, siempre y cuando estas patrullas cubran la totalidad del aeropuerto, y sean llevadas a cabo de una forma predefinida y sistemática.

Con frecuencia, cuando no se tienen censos completos, las poblaciones de algunas especies pueden ser subestimadas en observaciones casuales, y por lo tanto, éstas no serían tratadas adecuadamente en el programa de control de fauna silvestre. Los supuestos basados en este tipo de observaciones pueden resultar en que el operador del aeropuerto pase por alto factores de riesgo importantes. Como ejemplo, en una base de la Fuerza Aérea Israelí en el norte de este país presentaba serias amenazas de colisiones con aves presentes durante las horas de luz, en las pistas de aterrizaje y cerca de ellas. Se asumía que la mayor parte de las aves del área no volaban en la noche, y por lo tanto, el control aviario en horas de la noche no se consideraba seriamente en este aeródromo. Sólo después de que se establecieron patrullas nocturnas de rutina, y se condujeron censos directos, se descubrió efectivamente esta problemática.

Visto de forma simplificada, el tamaño de un animal que impacta una aeronave es proporcional a su tamaño corporal—correlacionado directamente con su área superficial. Pero en general, está más notablemente correlacionado con las habilidades de evasión de cada especie. De esta forma, una golondrina de 170 gramos tiene una mayor velocidad y movilidad que un ganso canadiense de 7 kilos, reduciendo las probabilidades de resultar impactada por una aeronave que pasa. Este factor no es absoluto, existen algunos animales pequeños de movimientos lentos y viceversa, pero como regla general, la correlación existe.

Los pájaros *sturnella* (*Icteridae*) y zarapito (*Scolopacidae Numenius*) son ejemplos de aves pequeñas que son altamente ineptas evadiendo aeronaves que se acercan (Figura II.9). Sus patrones de vuelo, junto con sus ineficientes movimientos, las hacen altamente susceptibles a ser impactadas por aeronaves. Asimismo, las aves grandes tienen dificultades alcanzando su velocidad de vuelo, y necesitan un radio de giro más amplio, resultando en una mayor tasa de impactos. Sin embargo, más importante que el factor grupal de amenaza, es el hecho de que mientras mayor sea la masa corporal de un animal, más significativo es el daño que éste podría ocasionar a una aeronave.



**Figura II.9.-** *Sturnella* (Icteridae) y zarapito (*Scolopacidae Numenius*) son ejemplos de aves altamente ineptas evadiendo aeronaves

En la priorización de las amenazas de impacto con fauna silvestre en un aeródromo, la masa de un animal juega un papel de gran importancia. La ecuación [II.12]:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad \text{II.1}$$

en la cual la energía cinética resultante impartida a la aeronave es un medio de la masa del ave por la velocidad del impacto al cuadrado, representa el daño potencial que un ave puede infligir a una aeronave. Podría haber 200 diferentes impactos con aves en un aeródromo, involucrando gorriones, estorninos o alondras, pero el daño que ellos podrían infringir a un avión *Boing 747* es relativamente insignificante. Un solo impacto con ave que involucre un ganso canadiense, por otra parte, podría causar estragos incluso en los aviones más grandes, costando la reparación cientos de miles de dólares y potencialmente arriesgando las vidas de la tripulación y pasajeros a bordo.

En la mayoría de los casos aquellas aves que se mueven en bandadas son potencialmente más peligrosas para las operaciones aeronáuticas que aquellas que se mueven en pequeños grupos o individualmente. Las aves que se mueven en bandadas están con frecuencia confinadas en sus movimientos a los caprichos del grupo.

La reducción de la libertad en las rutas de escape y la habilidad reducida para maniobrar dentro de una multitud, resultan en un mayor potencial de riesgo para las aeronaves, debido a que no todos los individuos de la bandada puede ser capaces de evadir una colisión. Los individuos de una bandada están menos atentos y pueden tener movimientos más lentos, debido a la comodidad que representa moverse en un grupo grande. Existe seguridad en los grupos en cuanto a la protección contra predadores que tratan de separar un individuo de un grupo, pero esto no es cierto cuando se trata de esquivar una aeronave en ruta de colisión (Figura II.10).



**Figura II.10.-** Avión militar *Boeing E-6* saboteado por estorninos

Aún más importante, el número de aves en un grupo puede tener grandes efectos en la magnitud total del impacto. La colisión o ingestión de un gran número de aves pequeñas puede ser equivalente a golpear una sola ave de gran tamaño, dado que la masa de las aves es aditiva. Ingerir varias docenas de *estorninos* por un motor, puede ser tan dañino como ingerir un solo pato, mucho más grande. Debido a la naturaleza gregaria de las aves y al hecho de que tanto aves como aviones están viajando a través de espacio en lugar de representar objetivos estáticos, algunos impactos pueden involucrar más de 100 aves al mismo tiempo. Este tipo de colisiones puede ser tan serio, o más grave, que otros tipos de impacto que involucran aves más grandes. El otro lado de éste factor es el hecho de que los conglomerados más grandes son más fáciles de ver y los pilotos pueden ser capaces de evitarlas activamente si las detectan a distancia. Las bandadas de aves son, también, generalmente más predecibles en sus patrones



---

---

de comportamiento, y los pilotos pueden estar en capacidad de planificar sus rutas lejos de las bandadas de aves.

La cantidad de tiempo de permanencia en el ambiente del aeropuerto, también será un factor en la determinación general del riesgo que para las aeronaves representan las diferentes especies. Mientras más tiempo pase el animal en el hábitat, mayores serán las probabilidades de que éste se vea involucrado en una colisión. Un ave que pasa a través del área y sólo puede ser observada cerca del aeropuerto una vez, obviamente representa mucho menos peligro que una que pasa todo el año en el ambiente local. El número promedio de días en el año que una especie está presente es un factor razonable cuando se analiza en qué grado un animal representará problemas.

### **II.3.1.- El momento del día en que la especie invasora es más activa [II.12]**

Los niveles de actividad de las diferentes especies juega un importante papel en la estimación del riesgo y estos se relacionan directamente con la hora del día. Particularmente, tomando en cuenta que los regímenes de operación de muchos aeropuertos están basados normalmente en horarios de negocios. Las aves que presentan una mayor actividad durante las horas más congestionadas en cuanto a operaciones aéreas, representan un peligro de impacto significativamente más alto que aquellas que están activas fuera de los parámetros usuales de operación. Obviamente, el día de la semana no se tiene en consideración, ya que ninguna especie de ave distingue entre designaciones diarias arbitrarias. Sin embargo, los parámetros de comportamiento diurno y nocturno son altamente significativos, debido a que la fauna silvestre que está activa en la noche, no debería estar expuesta a tantas situaciones de impactos potenciales como aquellas especies que están activas principalmente durante el día. Para que ocurra un impacto con aves, tanto el ave como la aeronave, no sólo deben coincidir en el espacio, sino que también deben hacerlo en el tiempo. Si alguno de estos factores no coincide, no habrá incidente. Simplificando, un ave puede cruzar la pista con frecuencia sin representar una amenaza, mientras lo haga cuando las aeronaves no están operando en un área determinada del aeropuerto.



---

---

### **II.3.2.- La localización de la especie con respecto a las operaciones de vuelo [II.12]**

La localización de las especies de fauna silvestre, también es crítica para determinar su amenaza potencial para las operaciones aeronáuticas. Aquellas especies que no se aventuran hacia adentro del área de operaciones aeronáuticas (AOA) o no buscan sitios cercanos a las áreas activas de movimiento, no representan tanto peligro de impacto como las que forrajean en la pista, canales de drenaje o calles de rodaje. Para hacerlo más complicado, está el componente espacial en tres dimensiones del movimiento de las especies. Aquellas especies que pueden estar localizadas más lejos de las partes activas del área de operaciones aeronáuticas, pero vuelan a grandes altitudes, pueden representar más amenaza que una especie que pasa su tiempo dentro de dicho predio, pero no vuela a mucha altura sobre el terreno.

Los gansos de las nieves, por ejemplo, vuelan a alturas mucho mayores que los zarapitos. Incluso aunque un ganso de las nieves rara vez permanezca en un aeropuerto y un zarapito pueda pasar una cantidad excesiva de tiempo dentro de los límites del área de operaciones aeronáuticas, el ganso de las nieves puede efectivamente representar una mayor amenaza, toda vez que este vuela a alturas que coinciden con las alturas de vuelo de las aeronaves y los zarapitos no pueden volar más que a varios metros del suelo. Aunque las probabilidades de impactar un zarapito sólo son significativas cuando un avión está aterrizando o despegando, e incluso si un número importante de zarapitos está presente en el aeropuerto, si están ubicados lejos de la pista y rara vez pasan tiempo cerca de las áreas de movimiento, su puntaje de amenaza puede ser mínimo. El puntaje para el ganso de las nieves en este factor puede ser mucho más alto, ya que esta especie vuela a alturas considerables, que pueden cruzar tanto las zonas de aproximación y despegue como los circuitos de tránsito aéreo. Aproximaciones de bajo nivel o cualquier vuelo general por debajo de varios cientos de metros (sobre el nivel del terreno).

Incluso los patrones de aproximación y despegue de las aeronaves puede ser un factor en la formulación total de la amenaza representada por una especie particular. Determinar que una especie de ave en particular está normalmente localizada a  $x$  metros de la pista activa puede no representar un riesgo equivalente a otra especie que está equidistante de la pista, pero en una

---

---

porción diferente del aeropuerto. Si una población particular de aves está localizada en un sector muy específico del aeropuerto (a lo largo de un río que bordea el predio aeroportuario, por ejemplo), las operaciones aeronáuticas para ese aeródromo particular determinarán si el riesgo es mínimo o muy elevado.

Un ave localizada a 100 metros del borde de una pista, representa una amenaza muy diferente a otra situada a 100 metros a partir de una cabecera de la misma. Este efecto posicional es particularmente cierto para aeropuertos militares donde operan aeronaves de combate, ya que sus despegues son, con frecuencia, precipitados. Si los vientos predominantes determinan rutinariamente una dirección de despegue, la presencia de una especie de ave en el rodaje final de despegue, debe hacer una diferencia significativa en la amenaza a las aeronaves.

### **II.3.3.- El tiempo que la especie está en el aire o moviéndose activamente [II.12]**

Un factor adicional que debe ser sopesado en la determinación de los puntajes de amenaza es el tiempo que las especies de aves pasan en el aire (o moviéndose activamente dentro del predio aeroportuario, en caso de otros tipos de fauna). Aquellas especies de ave que pasan una gran cantidad de tiempo forrajeando en el suelo, o que rara vez cambian de ubicación, no representan una amenaza tan grande como aquellas especies que se mueven alrededor del aeropuerto con frecuencia. Si un ave no se mueve, no es posible que sea impactada (aplastada si pero impactada no). En la mayoría de los aeropuertos los aviones pasan poco tiempo moviéndose en tierra a altas velocidades, y un incidente que involucra una aeronave durante su tránsito por las pistas de rodaje es muy probablemente inocuo (las aves pueden evitar fácilmente aviones que se mueven lentamente en tierra), mientras más tiempo pase un ave en el aire, mayor es la probabilidad de que su ruta cruce con la de una aeronave. Nuevamente, para que un impacto con fauna tenga lugar, tanto las aves como las aeronaves deben compartir el mismo espacio aéreo y el mismo momento en el tiempo.

### **II.3.4.- El número de impactos reportados que involucran a la especie [II.12]**

Idealmente, sería de gran ayuda evaluar los impactos con aves, ocurridos a través de varios años en un aeropuerto determinado. El conocimiento acerca de qué especie de ave u otra fauna silvestre ha ocasionado un mayor número de impactos en los aeropuertos de todo el mundo,

---

---

puede ser un buen elemento para predecir problemas futuros, asumiendo que las condiciones y/o los métodos de control no han cambiado radicalmente. Con frecuencia, sin embargo, el administrador aeroportuario no tiene a su disposición una colección de información detallada y extensa de impactos reportados y por lo tanto deben apoyarse en las cifras proveídas por la FAA o una entidad similar.

En la *Base de Datos Nacional de Impactos con Fauna Silvestre* en los *Estados Unidos* se han compilado los datos relativos a números de impactos (Tabla II.1).

**Tabla II.1.- Datos de tasa de impactos**

<b>Especies</b>	<b>Impactos</b>	<b>Daño (%)</b>	<b>Daño mayor (%)</b>	<b>Efecto en el vuelo (%)</b>
Gaviotas	2599	20	8	18
Estorninos / Ictéridos	1052	6	2	10
Gorriones	622	2	< 1	6
Gansos	532	56	21	32
Gavilanes	452	25	7	21
Patos	401	41	13	23
Ciervos	367	87	46	77
Paloma	346	20	11	20
Garzas	215	20	6	20
Golondrinas	209	1	< 1	3
Playeros	196	11	2	11
Búhos	171	17	7	10
Buitres	152	67	24	40
Cuervos	149	11	4	11
Tórtolas	139	16	9	10
Cernícalo	138	11	9	10
Coyote	49	13	3	26
Grullas	28	56	20	25

Águilas	24	38	5	23
Águila Pescadora	18	50	18	36
Pelícanos	17	53	13	27

Puede que no todas las especies estén representadas en el ambiente de cada aeropuerto. Por lo tanto algunas de ellas obviamente deben ser eliminadas en las consideraciones de amenaza finales. Pero en general, la base de datos provee índices de amenaza relativa para cada categoría general de especies.

### II.3.5.- Habilidad de la especie para evadir activamente colisiones con aeronaves [II.12]

No todas las aves son iguales y no todas las especies tienen la misma capacidad para evitar activamente una colisión con una aeronave que se acerca, o de mantenerse fuera de las áreas de movimiento de las aeronaves. Los cuervos, por ejemplo, son bastante adeptos a evitar aeronaves, como lo son las aguilillas y cernícalos, entre otros. Otros como las cigüeñas, zarapitos y gansos tienen una notoria inhabilidad para evitar impactos con aeronaves, (Aunque para los gansos esto depende de su ubicación y estado de vuelo). Aquellas especies que son capaces de evadir activamente aeronaves que se acercan no representan altos valores de amenaza, y por lo tanto, no justifican tanta atención como otras especies (Figura II.11).



**Figura II.11.-** No todas las aves son iguales, el cuervo común (*Corvus corax*) es más hábil para evitar colisiones con aeronaves que la cigüeña blanca (*Ciconia ciconia*)

Aunque todos los esfuerzos pueden ponerse en excluir del aeropuerto a todas y cada una de las especies de ave, no todas las especies responden a las formas de hostigamiento usadas en un programa de control de fauna silvestre. Como muchos operadores aeroportuarios no emplean medios letales para excluir animales del predio, deben utilizar de forma continua las diferentes formas de repulsión que tengan a su disposición. Algunas aves responden al acoso dejando libre el área para regresar rara vez, o no regresar. Otras son más difíciles de excluir y continúan regresando (o no dejan para nada las áreas de operaciones aeronáuticas). Los gansos, por ejemplo, responden muy bien a la presencia de un perro *Border Collie* y dejan el área rápidamente. Los mirlos de ala roja (*Icteridae*), de otro lado, pueden dejarse molestar y volver posteriormente.

#### **II.4.- Análisis final de riesgo [II.12]**

Un sistema de clasificación de la evaluación del riesgo se aplica para cada especie, de manera que se determine el valor de riesgo. Para determinar éste valor, cada uno de los factores vistos anteriormente debe ser evaluado para cada especie (o grupo de especies similares. Por ejemplo, todas las especies de pato pueden ser consolidadas dentro de una sola categoría, y tratadas como una sola unidad y clasificadas proporcionalmente en una escala de 1 a 100 (siendo el 100% la amenaza más significativa presente en el aeródromo) todas las otras especies son expresadas como porcentajes de la especie con mayor riesgo.

Deben ser utilizados puntajes inversamente proporcionales para los dos factores finales (habilidad para evitar colisiones y habilidad para controlar la especie), ya que estos factores están inversamente relacionados al riesgo final para las operaciones aeronáuticas. Posteriormente, los puntajes resultantes para cada especie deben ser multiplicados entre sí para derivar el puntaje final de riesgo ( $R$ ). La fórmula que describe esta relación es la siguiente [II.12]:

$$R = \log x \quad \text{II.2}$$

Donde  $x$  es el tamaño global de la población \* Masa del Individuo \* Tamaño del Grupo \* Tiempo en el Aeródromo \* Hora del Día de Mayor Actividad \* Ubicación \* Grado de

---

---

Movilidad \* Historial de Impactos \* Habilidad de Evasión (inv.) \* Habilidad de Control (inv.). Como cada persona que haga la valoración evaluará los factores de maneras ligeramente diferentes y asignará las variables de riesgo con base en sus propias experiencias y percepciones, los análisis de riesgo presentarán variaciones de persona a persona. Por lo tanto, la aplicación más útil del análisis es la relación relativa de los valores de riesgo para cada especie en el ambiente del aeropuerto. Es de ayuda asignar un valor del 100% a la especie con la mayor clasificación general de riesgo en la tabulación final, y a las otras especies, asignarles un valor de riesgo proporcional a esa especie. El *porcentaje de riesgo relativa* está basado en la escala porcentual, comenzando con la especie de prioridad más alta en el 100% y luego descendiendo (de manera que una especie con un puntaje del 52% con relación a la especie con la clasificación más alta representa el 52% del riesgo representado por dicha especie).

Una vez que los valores de riesgo han sido determinados de esta manera para todas las especies identificadas, serán priorizados los rangos de valor. Esto permite al administrador del aeropuerto desarrollar un programa de control de fauna silvestre que puede enfrentar los riesgos más significativos, pero con énfasis en aquellas especies que tienen una clasificación de amenaza más alta. Finalmente, éste puede servir como un índice para ayudar a determinar los valores globales de esfuerzo y dinero que deben ser invertidos en el control de cada especie en el programa de control de fauna silvestre.

#### **II.4.1.- Técnicas repelentes [II.3]**

Las técnicas de repulsión y acoso están diseñadas para lograr que un sitio deje de ser atractivo para las aves, o para hacer que la fauna silvestre se sienta incómoda o temerosa. En un balance a largo plazo del costo-efectividad de las técnicas de repulsión de fauna silvestre, resultan inferiores que las técnicas de exclusión o modificación de hábitat. No importa el número de veces que la fauna silvestre sea repelida de un área atractiva, finalmente, los mismos animales u otros individuos de la misma especie, regresarán mientras el sitio les resulte atractivo. Sin embargo, aún con las técnicas de modificación de hábitat y de exclusión, un aeropuerto nunca logrará librarse completamente del problema de fauna silvestre. Por lo tanto, las técnicas de repulsión son un componente clave para cualquier plan de manejo de fauna silvestre.

---

---

Los repelentes funcionan afectando los sentidos del animal a través de recursos químicos, auditivos o visuales. El mayor problema con estas técnicas es la habituación o aclimatación de las aves y mamíferos a la mayoría de las técnicas de repulsión. Cuando se utilizan repetidamente, la fauna silvestre aprende fácil y rápidamente que las técnicas de repulsión son inofensivas. Los repelentes se vuelven parte de su *ruido de fondo* y por tanto, los ignoran. Los factores críticos que deben considerarse para el uso de repelentes son:

1. No hay *soluciones* que terminen con todos los problemas.
2. De la misma manera, no existe un protocolo o procedimiento estándar para todas las situaciones. La repulsión de fauna silvestre es un arte tanto como una ciencia. El factor más importante, es contar con personal motivado y entrenado, que cuente con el equipo apropiado y que entienda la situación de la fauna silvestre en el aeropuerto.
3. Cada especie de fauna silvestre es única y frecuentemente responderá de manera diferente a las diversas técnicas de repulsión. Aun dentro de un grupo de especies estrechamente relacionadas, como las gaviotas, cada especie responderá de manera distinta a las diferentes técnicas de repulsión.
4. La habituación a las técnicas de repulsión se puede minimizar de la siguiente manera:
  - a) Utilizando cada técnica de manera moderada y apropiada, sólo cuando la fauna silvestre objetivo esté presente.
  - b) Utilizando diferentes técnicas de repulsión de una manera integral.
  - c) Reforzando ocasionalmente estas técnicas con control letal (con los permisos pertinentes del lugar), cuando la abundancia es un problema, como ocurre con las gaviotas y gansos.

Los avances en dispositivos electrónicos, con sensores remotos y computadoras, dan buenos resultados en el desarrollo de sistemas *inteligentes*. Los cuales pueden activar automáticamente los dispositivos de aplicación de repelentes químicos o el encendido de bocinas con ruidos especiales, cuando la fauna silvestre entra en el área afectada. Estos dispositivos pueden ayudar a reducir la habituación e incrementar la efectividad de los

---

---

---

---

repelentes en algunas situaciones. Sin embargo, estos productos no reemplazan la necesidad de contar con personal entrenado en campo, para responder apropiadamente a las incursiones de una gran variedad de especies altamente adaptables y sensibles.

#### **II.4.2.- Patrullas de fauna silvestre y recorridos de pista en vehículos [II.1]**

El patrullaje regular por las áreas de la zona aeronáutica para dispersar aves y otra fauna silvestre es un componente importante en un programa integral de manejo de fauna silvestre en los aeropuertos. Frecuentemente, el dirigir un vehículo hacia un lugar en donde se encuentra fauna silvestre es suficiente para causar que ésta se disperse (Figura II.12). Especialmente si el conductor ha estado utilizando técnicas de repulsión y remoción.



**Figura II.12.-** Aves ahuyentadas de la pista del aeropuerto por patrullaje

La realización de recorridos permite al personal de control de fauna silvestre aprender los patrones de movimiento, preferencias de hábitat y comportamiento de la fauna en el aeropuerto. Esta información resulta útil para identificar los factores de atracción de fauna silvestre en el aeropuerto que deben ser eliminados (como por ejemplo; áreas bajas donde se retiene el agua después de la lluvia) y con base en ello anticipar situaciones problemáticas. Todos los restos de fauna silvestre encontrados mientras se hacen los recorridos de pista, son retirados, identificados a nivel de especie y documentados en un formato de reporte de impacto con fauna silvestre.



---

---

### II.4.3.- Aeronaves a escala de control remoto para repeler aves [II.3]

Los aviones a escala de radiocontrol (*RC*, por sus siglas en inglés), proporcionan un estímulo tanto visual como auditivo, y ocasionalmente se han usado para repeler aves en los aeropuertos (Figura II.13). Una ventaja del avión a escala, es que lo controla una persona y puede dirigirse directamente hacia las aves que se encuentran, por ejemplo, en la pista del aeropuerto, con el fin de ahuyentarlas. Una segunda ventaja, es que se pueden utilizar sólo cuando se necesiten y requieren un mantenimiento menor entre vuelos. Algunos aviones a escala han sido diseñados con la apariencia de un halcón, e inclusive acondicionados para disparar fuegos pirotécnicos. La desventaja es que se requiere una persona entrenada para operarlo dentro del aeropuerto. Los operadores de los aviones a escala deben asegurarse de que las frecuencias de su radio-control sean compatibles con las utilizadas por los radios dentro del aeropuerto.



**Figura II.13.-** Las aeronaves de radiocontrol pueden usarse para repeler aves dentro del predio aeroportuario

### II.4.4.- proyectiles no letales para repeler aves [II.1]

Otro medio para reforzar técnicas de repulsión de gansos canadienses, zopilotes, y quizás incluso otras especies de aves, es el uso de *paintballs* (cápsulas de plástico rellenas de pintura). Así como de proyectiles de hule o plástico, disparados, respectivamente, de una

---

---

pistola especial para proyectiles de pintura, o una escopeta calibre 12. Se utilizan *paintballs* con un arma especial y de muy buena calidad, para asegurar suficiente puntería y velocidad (normalmente se dispara desde 6-30 metros del ave). Existen proyectiles de plástico o hule de diferentes formas y tamaños que pueden ser usados con una pistola (Figura II.14) o con una escopeta. La distancia apropiada para disparar depende del proyectil y de la especie del ave. El personal que utiliza estas técnicas se encuentra capacitado en uso de armas de fuego y en el uso específico del proyectil que va a utilizarse. El objetivo es disparar de una distancia tal, que el ave sufra dolor temporal, pero no se le provoque ninguna lesión.



**Figura II.14.-** Pistolas ahuyentadoras de aves capaces de alcanzar hasta los 304.8 mts (1000 pies) de altura

## II.5.- Sumario

El Capítulo II describe los sistemas de evaluación y control de riesgo, enfocados a erradicar la presencia de fauna voladora dentro del área de operaciones de los predios aeroportuarios. Tiene como finalidad establecer un panorama claro del problema que se aborda, y con esto, proponer una mejor solución en el presente trabajo de tesis.

---

---

## II.6.- Referencias

- 1.- Cleary, E. C., Dolbeer, R. A., *Other Bird Strike and Aviation Materials, Bird Strike Committee Proceedings*, University of Nebraska - Lincoln, paper 5, pp.1, 130, 139, 146, Estados Unidos, Marzo del 2005
- 2.- Román, J. A., *Aves silvestres y migratorias, un peligro para el aeropuerto del DF*, Periódico La Jornada, p.p. 39, Lunes 26 de octubre del 2009, <http://www.jornada.unam.mx/2009/10/26/sociedad/039n1soc>
- 3.- Cleary, E. C., Dolbeer, R. A., *Wildlife Hazard Management at Airports: A Manual for Airport Personnel*, USDA National Wildlife Research Center - Staff Publications, paper 133, pp.3, 114, 120, 126, Estados Unidos, Julio del 2005
- 4.- EFEverde, *Utilizan cabras y llamas para limpiar vegetación de aeropuerto de Chicago*, 29 de agosto del 2014, <http://www.efeverde.com/noticias/utilizan-cabras-y-llamas-para-limpiar-vegetacion-de-aeropuerto-de-chicago/>
- 5.- Washburn, B.E., Seamans, T.W., *Management of vegetation to reduce wildlife hazards at airports*, USDA National Wildlife Research Center - Staff Publications, paper 396, pp. 1 y 2, de abril del 2004
- 6.- Cleary, E. C., Dolbeer, R. A., Bastida, P. R., *The Mexico City International Airport project: bird and mammal concerns at the existing airport and Ex-vaso de Texcoco*, Special report for US Department of Transportation - Federal Aviation Administration, Washington – USA, 2003
- 7.- Cleary, E.C., Dolbeer, R. A., Wright, S.E., *Wildlife strikes to civil aircraft in the United States 1990 – 2002*, U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Office of Airport Safety and Standards, Washington USA, junio del 2003
- 8.- Mead, H., Carter, A.W., *The management of long grass as a bird repellent on airfields*, Journal of the British Grassland Sociep, pp. 219 - 221, 1973
- 9.- Brough, B.E., Bridgman, C.J., *An evaluation of long-grass as a bird deterrent on British airfields*, Journal of Applied Ecology, pp. 243-253, 1980
- 10.- Wright, S. E., Dolbeer, R. A., *The National Wildlife Strike Database for the USA: 1990 to 2002 and beyond*, Proceedings of the 2003 Bird Strike CommitteeUSA/Canada Meeting, Ontario-Canada, 18 de agosto del 2003.

- 11.- Dolbeer, R. A., Wright, S. E., Cleary E. C., *Ranking the hazard level of wildlife species to aviation*, Wildlife Society Bulletin, pp. 372-378, 2000
- 12.- Carter, N. B., *All Birds Are Not Created Equal: Risk Assessment and Prioritization of Wildlife Hazards at Airfields*, 2001 Bird Strike Committee-USA/Canada, Third Joint Annual Meeting, paper 8, pp. 23 - 30, Estados Unidos, 27 de agosto del 2001



### III.1.- ¿Qué es diseño mecánico?

Diseñar viene del latín *designare* que significa designar, marcar. En un sentido más amplio se traduce como delinear, trazar, planear una acción, concebir, inventar. El diseño en Ingeniería se puede definir como; *El proceso de aplicar las diversas técnicas y principios científicos con el objeto de definir un dispositivo, un proceso o un sistema con suficiente detalle para permitir su realización* [III.1]. Según *Shigley* [III.2] diseñar es formular un plan para satisfacer una necesidad específica o para la resolución de un problema. El diseño mecánico se puede entender como una tarea compleja, que requiere de muchas habilidades para plasmar una idea. La complejidad del tema requiere una secuencia en la que las ideas se presentan y se revisan una y otra vez [III.3].

### III.2.- Semblanza general sobre diseños para la expulsión de fauna voladora

Existe en el mercado, a nivel mundial, el diseño de un cañón de gas propano para ahuyentar aves. Este espantapájaros emite un sonido estruendoso de 120 db. El cual funciona con gas propano o butano y es utilizado en campos de cultivo, bodegas y aeródromos. Además de tener una cobertura aproximada de 2 hectáreas. En *México* este tipo de tecnología está disponible a un precio de \$ 6,400.00 pesos [III.4] (Figura III.1).



**Figura III.1.-** Cañón de gas propano para la expulsión de fauna voladora

En otro orden de ideas, en *España* la empresa *Bird Raptor International*, con sede en *Palma de Mallorca*, diseñó e implemento un robot volador teledirigido, en forma de halcón, que se empleará para prevenir la presencia de bandadas o colonias de pájaros en aeropuertos y



centros históricos de ciudades, estadios deportivos, monumentos históricos y campos sembrados [III.5]. Asimismo, un ave robot en forma de halcón se diseñó en *Brasil*, para alejar a los pájaros que viven en la *isla del Gobernador*, zona ubicada al norte del Aeropuerto Internacional de *Río de Janeiro*. El halcón robot puede volar a 50 km/h y alcanzar hasta 300 metros de altura [III.6] (Figura III.2).



**Figura III.2.-** Robot halcón brasileño para ahuyentar fauna voladora

En *México* se diseñó un proyecto de animales entrenados denominado: '*Proyecto de Mitigación de Riesgo Aviar*', que cuenta con dos águilas *Harris* y un perro *Braco-alemán*. Esto con el fin de evitar que palomas, zopilotes y otras aves puedan causar un desastre inesperado al impactarse en el fuselaje o en las turbinas de un avión [III.7]. Ver Figura III.3.



**Figura III.3.-** Dos águilas *Harris* y un perro *Braco-alemán* entrenados para ahuyentar aves



En un proyecto realizado por investigadores coreanos se muestra el diseño y la construcción de un vehículo terrestre (no tripulado) desarrollado para repeler aves en un aeropuerto militar. Dicho vehículo cuenta con altavoces que puede transmitir una serie de efectos de sonido para ahuyentar a los pájaros, entre ellos se puede emular el gáñido de un halcón. Además, emite rayos láser y reúne información sobre la ubicación, comportamiento y movimiento de las aves [III.8] (Figura III.4).



**Figura III.4.-** Vehículo coreano terrestre repelente de aves



**Figura III.5.-** Vehículo ahuyentador de fauna voladora

Otro diseño toma como base el proyecto anterior, perfeccionando la plataforma autónoma móvil, la estación de control remoto y el equipo detector de aves. Se mejora el esquema de control y el recorrido del vehículo. Además propone de un algoritmo de generación de trayectoria. Este tipo de proyecto se aplica tanto a la aviación civil como militar [III.9] (Figura III.5).

### III.3.- Vehículos móviles terrestres (robots móviles con ruedas)

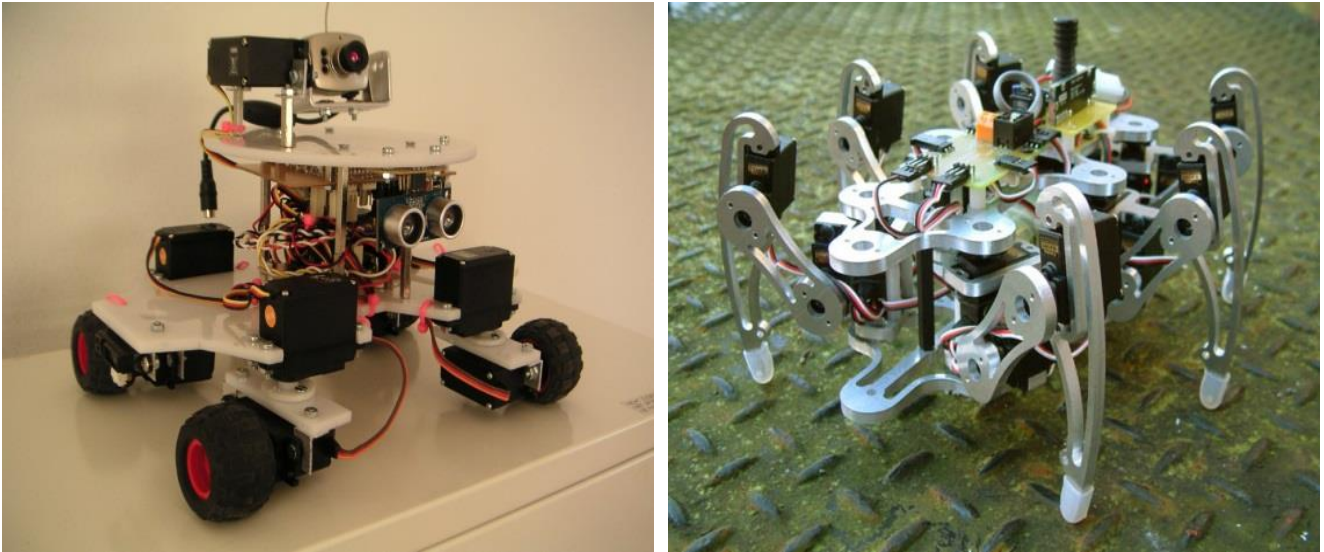
Una definición de vehículo móvil proviene de la teoría clásica de robots [III.10]; *Un vehículo móvil es un robot de propulsión autónoma y movimiento programado por medio de control automático, con la finalidad de realizar una tarea específica.* En este sentido los vehículos móviles se clasifican en guiados y no guiados [III.11]. El vehículo guiado está restringido a un conjunto de trayectorias predefinidas en su área de trabajo. Estas trayectorias están indicadas por líneas ópticas, magnéticas o una secuencia de movimientos guardados en la memoria (Figura III.6).



**Figura III.6.-** Robot seguidor de línea

El vehículo robótico móvil en ningún momento puede abandonar la trayectoria. A estos robots se les llama también vehículos automáticos guiados. Los vehículos robóticos no-guiados no están restringidos a una trayectoria predefinida. A este tipo de robots no-guiados pertenecen los robots submarinos, los del espacio aéreo y los terrestres. Los vehículos robóticos han sido

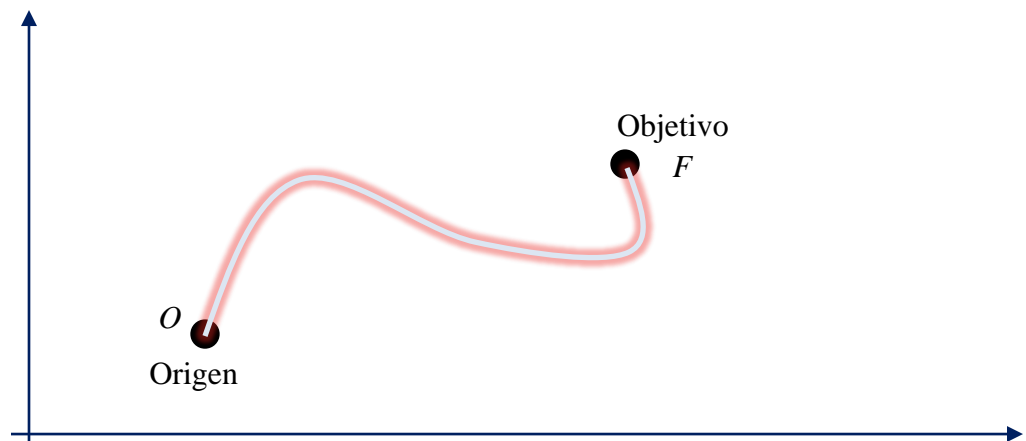
clasificados por su sistema de movimiento en robot con ruedas, con patas o con rieles (Figura III.7). Así cada vehículo desarrolla diferentes tareas de acuerdo a su capacidad.



**Figura III.7.-** Vehículo robótico con ruedas y robot móvil con patas.

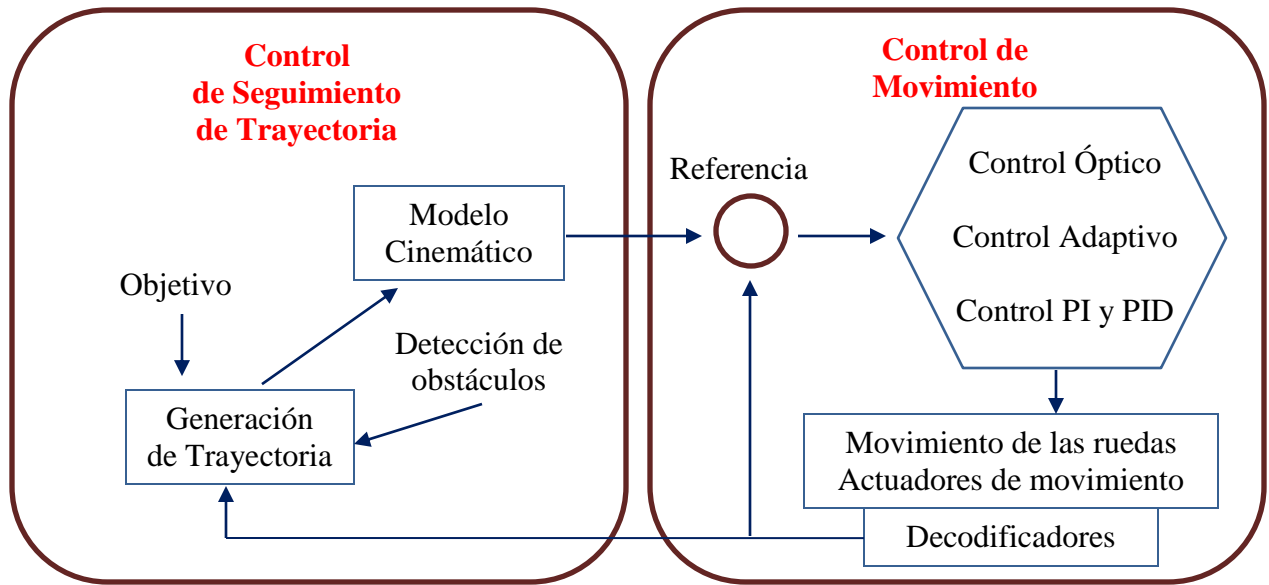
### III.3.1.- Control de vehículos móviles terrestres (control de robots móviles con ruedas)

El diseño del control para los robots móviles con ruedas depende de su capacidad de desplazarse en determinada dirección [III.11]. Los diseños holonómicos (diseño propuesto en este trabajo) son aquellos en los cuales el robot puede maniobrar a cualquier dirección desde cualquier dirección arbitraria. El problema básico en el control de un vehículo móvil se encuentra en la navegación. Es decir, moverse de un lugar a otro auxiliado de sensores, planeación y control. El problema de navegación (Figura III.8) se puede resolver fácilmente al encontrar una trayectoria desde un inicio ( $O$ ) a un objetivo ( $F$ ).



**Figura III.8.-** Trayectoria de un vehículo móvil

La Figura III.9, muestra una estrategia común de control para vehículos robóticos móviles. Una vez que la trayectoria está definida, es la misión del sistema de control garantizar un seguimiento de trayectoria efectiva.

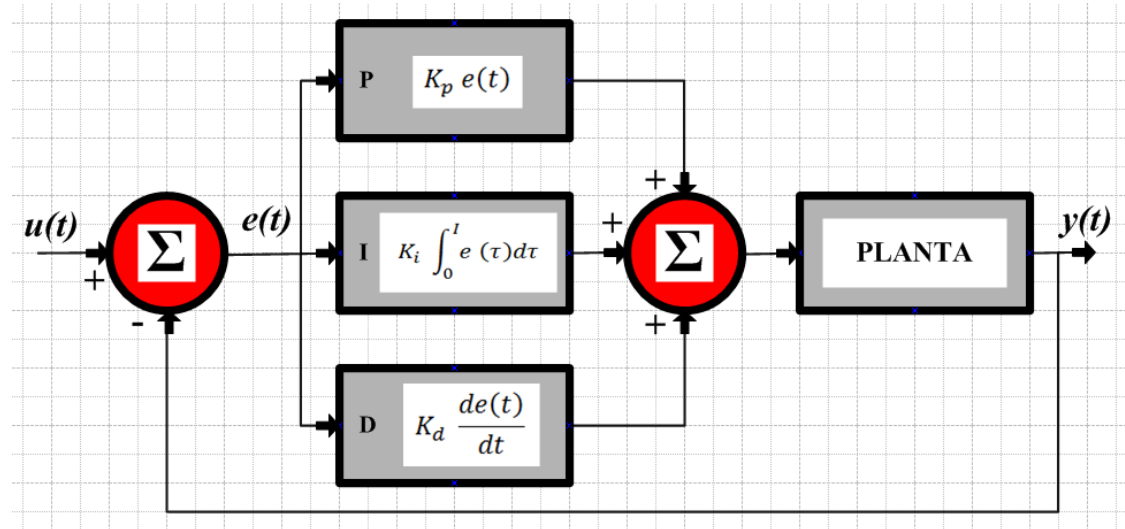


**Figura III.9.-** Control de movimientos en vehículos robóticos móviles

En este sentido los tipos de controladores más comunes son [III.11]:

- *Control Adaptivo Óptimo.*- Este controlador minimiza los comportamientos indeseables relacionados con la limitación física del sistema. Por ejemplo, las sillas de ruedas robotizadas, presentan una estructura de tracción con dos ruedas que dan la dirección y dos ruedas al frente. El comportamiento del sistema de dirección es casi lineal, excepto por las zonas muertas y donde existe saturación. Para compensar la acción de perturbaciones externas indeseables como la fricción, y efectos como la variación interna de los parámetros, se implementa este tipo de estrategia de control en los actuadores.
- *Control Proporcional-Derivativo-Integral.*- Un *PID* es un mecanismo de control por realimentación que calcula la desviación o error entre un valor medido y el valor que se quiere obtener. Para aplicar una acción correctora que ajuste el proceso. El algoritmo de cálculo del control *PID* se da en tres parámetros distintos;

*Proporcional, Integral y Derivativo*. El valor *Proporcional* determina la reacción del error actual. El *Integral* genera una corrección proporcional a la integral del error, esto asegura que aplicando un esfuerzo de control suficiente, el error de seguimiento se reduce a cero. El *Derivativo* determina la reacción del tiempo en el que el error se produce (Figura III.10).



**Figura III.10.-** Diagrama a bloques del control *PID*

Estas estrategias siguen siendo muy utilizadas en el área de la robótica debido a su sencillez de cálculo. Tienden a utilizarse combinándolas con otras más sofisticadas como las técnicas de inteligencia artificial para disminuir los efectos de perturbaciones indeseables.

- *Inteligencia Artificial*.- En este tipo de controladores se encuentran los basados en redes neuronales, algoritmos *Fuzzy*, etc. Este tipo de algoritmos son frecuentemente utilizados en robots que debido a su estructura ligera o por el ambiente en el que trabajan estarán sujetos a perturbaciones, cuyos parámetros pueden no conocerse en su totalidad.

El vehículo robótico omnidireccional holonómico propuesto en este trabajo de tesis cuenta con 2 movimientos planares independientes; uno para traslación y uno para rotación. Esto permite que las estrategias de control sean fáciles y sencillas de implementar.



### III.3.2.- Microcontroladores AVR

Un microcontrolador es un circuito integrado (Figura III.11) que incorpora en su interior los bloques básicos para formar un sistema embebido o una *PC* en menor escala. Es decir, el microcontrolador es un chip en cuyo interior se encuentra un *CPU*, memoria, reloj, puertos de comunicación y módulos periféricos de *E/S* [III.12].



**Figura III.11.-** Microcontroladores, versión encapsulado *PDIP*

Cada uno de estos bloques internos, cumple una función específica y permite al diseñador un mejor control de los procesos del sistema. El *CPU* se dice que es un microprocesador en pequeño y de menor potencia. La memoria que sirve para almacenar el *Firmware* o programa a ejecutar. El reloj provee una señal de sincronización para todas las tareas del sistema. Los puertos de comunicación le permiten al microcontrolador tener comunicación bi-direccional con otros microcontroladores o un *PC*. Por ejemplo, utilizando el puerto *RS232*, *USB*, *ISP*, *I2C*, y los módulos periféricos de *E/S*. Además de su estructura un microcontrolador *AVR* posee ciertas características de desarrollo, como son; su lenguaje de programación, el *IDE* para la escritura de programas, la forma en que es programada la memoria interna y el *hardware* externo necesario para realizar esta grabación. La razón de implementar un microcontrolador *AVR* en el proyecto en lugar de un controlador lógico programable (*PLC*) fue el alto costo que supone cualquier modelo de *PLC* en comparación con el precio de cualquier *AVR*. En cuanto a la elección de un microcontrolador *AVR* en lugar de un *PIC* fue debido a las ventajas que posee el *AVR* en lo referente a potencia o consumo de energía [III.12]. Una ventaja de los

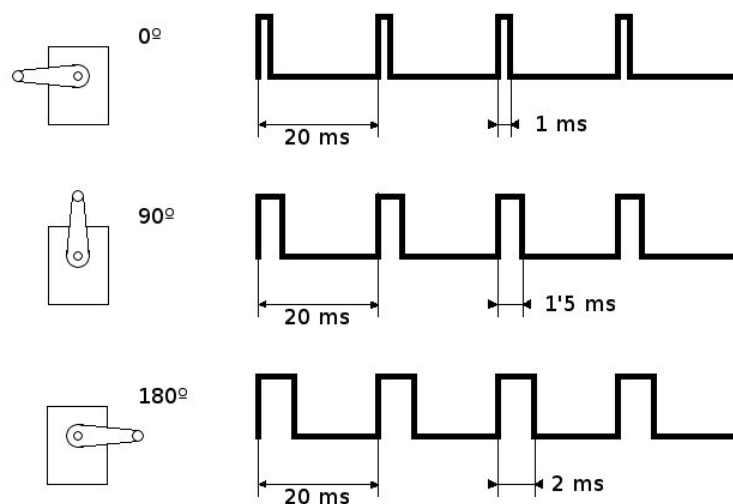
microcontroladores *AVR* frente a los *PIC* es su reducido consumo, tanto en voltaje como en corriente, lo que permite el desarrollo de aplicaciones que funcionen a baterías.

### III.3.3.- Software de programación del AVR

Para el diseño del proyecto se plantea la utilización del programa de computación *AVR Studio 4*. El *AVR Studio 4* es un entorno de desarrollo integrado (*IDE*) para escribir y depurar aplicaciones *AVR* ya sea en lenguaje *ASM* o en *leguaje C* [III.13]. En este programa de computación se podrá realizar el diseño, desarrollo y depuración del código que posteriormente se grabará en el microcontrolador encargado de controlar los motores del proyecto propuesto.

### III.3.4.- Servomotor

Los servos son una derivación de los motores a corriente directa (*CD*). Estos se caracterizan por su capacidad para posicionarse de forma inmediata y exacta dentro de su intervalo de movimiento al estar operando [III.14]. Para lo anterior, el servomotor espera un tren de pulsos, cada uno de estos pulsos tiene una duración específica para mover el eje de rendimiento del servomotor hacia una posición angular determinada. Se dice que el tren de pulsos es una señal codificada. Por lo que cuando ésta cambia en el ancho de sus pulsos, la posición angular del eje también cambia. Para comprender mejor el funcionamiento de estos dispositivos electromecánicos (Figura III.12).




**Figura III.12.-** Movimiento de un servomotor estándar



Después de consultar en los catálogos de las principales marcas de servomotores (*Futaba, Hitech, Graupner, Multiplex, Robbe, Simprop*) y que van desde un torque de 16 kg/cm (91 plg/lb) hasta los 248 kg/cm (1400 plg/lb). Se decidió implementar en el proyecto el motor *PDX256 - 256:1 Gearmotor* marca *BaneBots Motors*. La Tabla III.1 muestra las características del motor seleccionado.

**Tabla III.1.-** Características del motor *PDX256 - 256:1 Gearmotor*



Imagen	Características	
	Tipo de engranaje	Planetario
	Etapas	4 - 4:1, 4:1, 4:1, 4:1
	Material del engranaje	Acero
	Velocidad sin carga	90 rpm
	Amperaje nominal	3.8 Amps
	Eficiencia	45.33%
	Potencia Pico	0,55 HP
	Corriente en paro	148 A
	Par de arranque	1.400 in-lb (248 Kg/cm)
	Peso	19,05 oz (540 gramos)
	Tamaño	1,5" (38,1 mm) cuadrado
	Largo	5 " (127 mm)
	Diámetro del eje	1/2 " (12,7 mm)
	Longitud del eje	1,5 " (38 mm)
	Longitud de la chaveta del eje.	0.125 in (3.1 mm)
Orificios de montaje	(8) # 10-32 (4.7 mm)	


La razón determinante de la elección fue el precio, ya que la diferencia entre un motor de 16 kg/cm (91 plg/lb) y uno con mayor torque de 248 kg/cm (1400 plg/lb) eran solo \$20 dólares.



### III.3.5.- Batería para el control de los motores

Una batería es un elemento eléctrico que transforma energía química en energía eléctrica y viceversa. Se componen de un conjunto de elementos individuales (o celdas) conectados en serie, cada uno de los cuales tiene, si está cargado, un voltaje nominal, que oscila entre 1,2 y 3,6 V. En el mercado se comercializan elementos con diversas capacidades, que se expresan en el cuerpo de la batería como 500 mA/h, 1700 mA/h, 3300 mA/h, etc. Una batería de 1000 mA/h es capaz de entregar una corriente de 1000 mA (1 Ampere) durante una hora o 10 A durante la décima parte de una hora (en teoría, porque muchas baterías no soportan un régimen tan alto de descarga) [III.15]. La Tabla III.2 muestra las propiedades de las baterías usadas comúnmente para alimentar y controlar los motores en los vehículos robotizados.

**Tabla III.2.-** Características de las baterías para alimentación de vehículos robotizados

Imagen	Nombre	Descripción	Ventajas	Desventajas
	Baterías de Plomo-ácido	Las baterías plomo-ácido, como las que se utilizan en los autos, poseen seis celdas con un voltaje nominal de 2,1 V cada una	Bajo costo	Tienen un mayor peso que otro tipo de baterías
	Baterías de gel	Una batería de gel es una batería de plomo-ácido con un electrolito gelificado	Las celdas de una batería de gel están selladas, lo que hace que la batería no tenga problemas con su	Se debe tener un cuidado especial al cargar baterías selladas, porque el proceso de carga puede desprender gases

			orientación física, como pasa con las baterías normales de plomo-ácido	
	Baterías de Níquel-Cadmio (Ni-Cd)	Una batería recargable de Ni-Cd está formada por una placa positiva de hidróxido de níquel y una placa negativa de hidróxido de cadmio. Ambas placas están separadas por un electrolito, compuesto por una solución acuosa de potasio cáustico, contenida dentro de un tejido poroso	Es mayor la cantidad de ciclos de carga y descarga (oscila entre los 1.000 y 1.500, en comparación con los 500 ciclos en las baterías de Ni/MH)	No debe ser descargada por debajo de su tensión mínima (que es de 1,1 V por elemento), ya que se corre el peligro de que se produzca una inversión de polaridad en uno o varios de sus elementos

	<p>Batería de níquel e hidruro metálico (Ni/MH)</p>	<p>Una batería Ni/MH es un tipo de batería recargable similar a una de níquel-cadmio (Ni-Cd) pero que no contiene cadmio, un metal caro y dañino para el medioambiente</p>	<p>Las baterías de níquel e hidruro metálico tienden a tener una mayor capacidad que las Ni-Cd y sufren bastante menos daños</p>	<p>No admiten una carga tan rápida como las baterías de Ni-Cd (bajo riesgo de deteriorarlas). Tienen una resistencia interna superior que limita su uso en aplicaciones de alta potencia</p>
	<p>Batería de iones de litio (Li-Ion)</p>	<p>Las baterías Li-Ion poseen una elevada densidad de energía, acumulando una carga mayor por unidad de volumen. Por esta razón tienen menor peso en relación a baterías de otro tipo de la misma capacidad</p>	<p>Presentan un alto voltaje por celda. Tienen una baja tasa de auto-descarga</p>	<p>Independientemente del uso, sólo tienen una vida útil de 3 años. Se pueden cargar entre 300 y 600 veces, menos que una batería de Ni-Cd o Ni/MH. Son más caras. Están fabricadas con materiales inflamables (pueden explotar o incendiarse). Rendimiento muy inferior a las demás baterías de Ni-Cd o Ni/MH en bajas temperaturas,</p>

Debido a que se busca abatir costos, se eligió implementar una batería de Plomo-acido (como las utilizadas en los automóviles) para la alimentación y el control de los motores del proyecto.

---

---

### **III.4.- Componentes mecánicos implementados en el diseño de los ejes del proyecto**

#### **III.4.1.- Acero AISI 1045 en ejes**

Este tipo de acero es utilizado en la fabricación de una variedad de tornillos, bielas, pinzas hidráulicas y carneros, ejes, una gran variedad de clavijas, rollos, postes, árboles y muchas otras piezas de metal. El acero AISI 1045, por lo general viene en laminados negros y calientes (*hot-rolled*). Sin embargo, también es fabricado en estado normalizado. El acero AISI 1045 es conocido por una resistencia bastante considerable y por sus óptimas propiedades de impacto. Posee además buenas cualidades de mecanización y un precio económico. Por tal motivo en el presente proyecto se decidió implementar barras solidas de acero AISI 1045 rolado en frio (*cold-rolled*), con 15.8 mm (5/8”) de grosor en todas las flechas.

#### **III.4.2.- Chumaceras**

La chumacera es una pieza de metal en que descansa y gira cualquier eje de maquinaria. Las chumaceras se componen de un rodamiento rígido de bolas con anillo interior extendido y un alojamiento (*housing*) hecho de Hierro fundido (alto grado) o de acero prensado, disponibles en variadas formas. La superficie exterior del rodamiento y la superficie interna de la chumacera tienen forma esférica, lo que permite compensar un cierto grado de desalineación. Las chumaceras con rodamientos de bolas pueden ser relubricables y no relubricables, la selección del tipo depende de las necesidades en la aplicación. Para la implementación en el presente proyecto solo se hizo uso de las chumaceras tipo brida de 2 tornillos para el eje central y las chumaceras de piso para todos los demás ejes restantes.

#### **III.4.3.- Catarinas y cadenas**

Una catarina mecánica es una rueda dentada con dientes en forma de ‘V’ que es utilizada para la transmisión o recepción de movimiento a través de una cadena. Asimismo, una cadena es un elemento de transmisión de potencia que se fabrica como una serie de eslabones que se unen mediante pernos. El diseño de transmisión por cadena proporciona mayor flexibilidad, pues permite adaptar la cadena al tamaño apropiado para un desempeño óptimo. En el caso de este proyecto de tesis la cadena (cadena paso 40 con 29 eslabones) se implementa por primera vez para conectar el motor principal con la catarina del eje central (eje A). De la misma forma se

---

---

---

---

vinculan los ejes finales (eje C y eje D) por medio de un par de catarinas y cadenas, esta vez de paso 35 con 26 eslabones.

#### **III.4.4.- Engranajes**

Un engranaje es una rueda dentada empleada para transmitir un movimiento giratorio o alternativo, desde una parte de una máquina a otra. Un conjunto de dos o más engranajes que transmite el movimiento de un eje a otro se denomina tren de engranajes. Los engranajes se utilizan sobre todo para transmitir movimiento giratorio. Tienen la ventaja de un rendimiento alto debido a la constancia en la relación de transmisión y debido a la ausencia de patinaje entre superficies. En el presente proyecto de tesis se utilizan un par de engranajes en transmisión 2:1, mismos que conectan al eje central con el eje de las llantas delanteras (al eje A con el eje B).

#### **III.4.5.- Poleas dentadas y bandas de distribución**

Una polea dentada es una máquina simple accionada por una banda o correa, compuesta por una rueda mecánica con dientes que gira alrededor de un eje, transmitiendo movimiento a todo el sistema. Se fabrican en diversos materiales tales como aluminio, acero y fundición. Las poleas dentadas normalizadas se fabrican en los siguientes pasos en pulgadas; *MXL: Mini Extra Ligero (0.08")*, *XL: Extra Ligero (0.2")*, *L: Ligero (0.375")*, *H: Pesado (0.5")*, *XH: Extra Pesado (0.875")* y *XXH: Doble Extra Pesado (1.25")*. Asimismo, se conoce como banda de transmisión (también llamada correa de distribución) a un tipo de transmisión mecánica basado en la unión de dos o más ruedas, sujetas a un movimiento de rotación. Por medio de una cinta o correa continua, la cual abraza a las ruedas ejerciendo fuerza de fricción suministrándoles energía desde la rueda motriz.

La eficiencia de una transmisión por poleas y banda es relativamente alta, las principales pérdidas son producto del arrastre o fluencia (*creep*), condición inevitable, provocada por las deformaciones que la banda sufre al tomar la forma de la polea. En el presente proyecto se aplica una transmisión 1:2 conectando el eje B con el eje C. Ambas poleas (la conducida y la conductora) están vinculadas por una correa de distribución hecha de neopreno. La banda posee un paso tipo *L*, con 838.2 mm (33") de largo y 19 mm (3/4") de ancho.

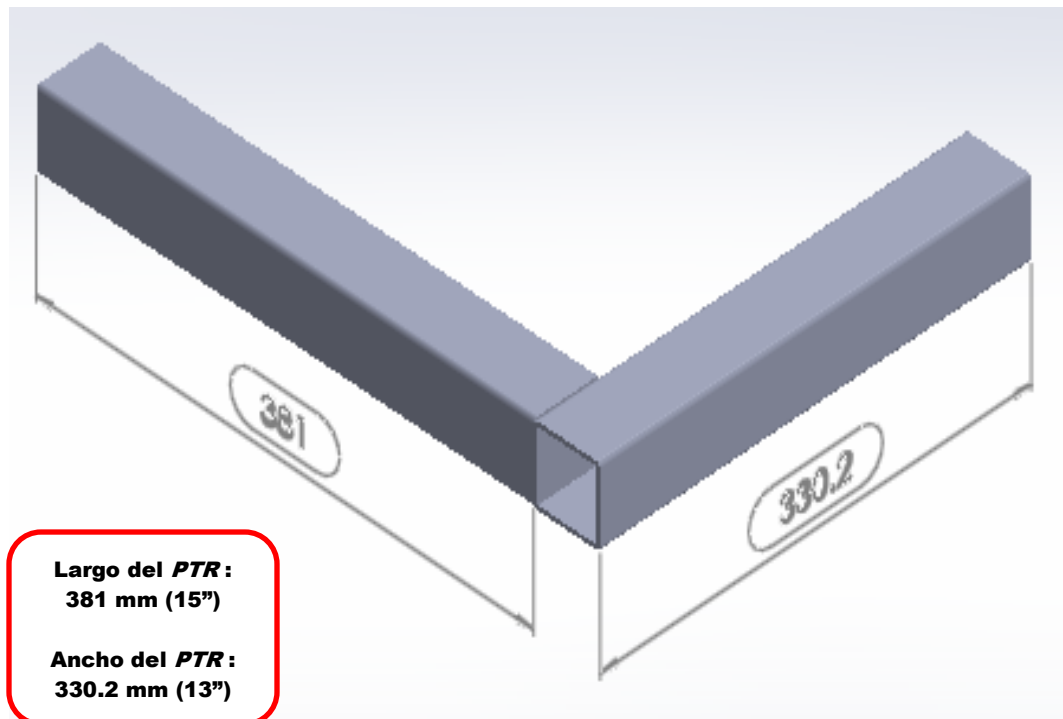
### III.5.- Diseño del chasis del vehículo terrestre

#### III.5.1.- Perfil *PTR*

*PTR* significa perfil tubular rectangular y corresponde a todos aquellos perfiles cuya forma es cuadrada o rectangular. Es utilizado en la herrería y en la elaboración de muebles. Así como la elaboración de estructuras metálicas.

#### III.5.2.- Diseño del chasis

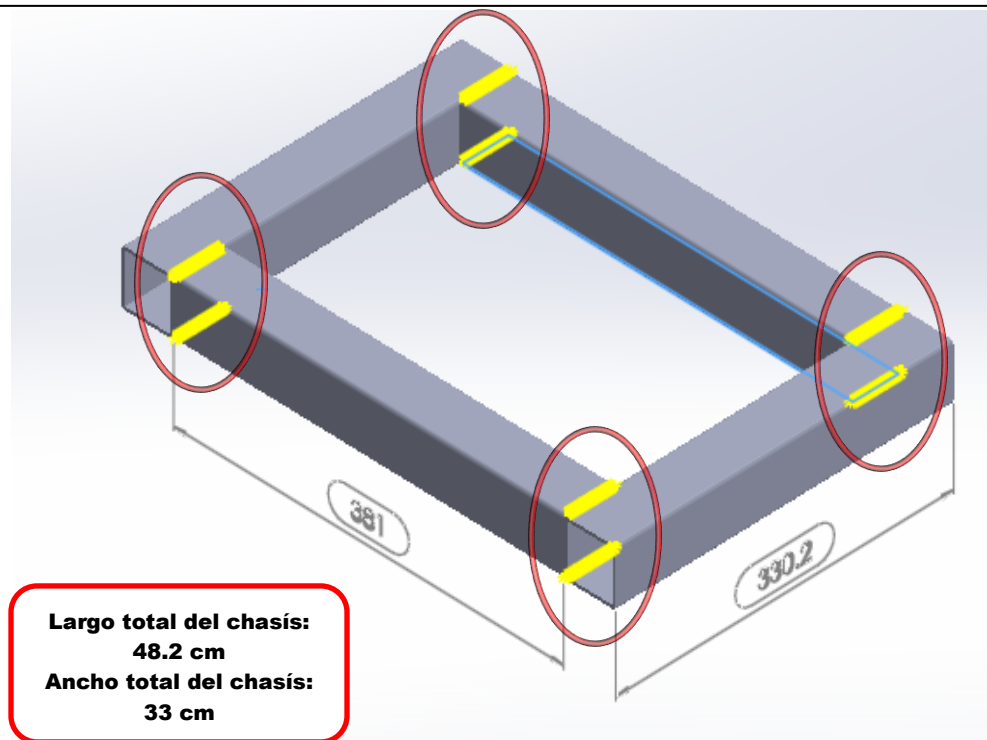
Por lo anterior el material con el que se diseñó el chasis del vehículo es perfil *PTR* cuadrado de acero *ASTM A-36*, de magnitud  $50.8 \text{ mm} \times 50.8 \text{ mm}$  ( $2'' \times 2''$ ) por lado, y una pared interna de 3 mm (casi  $1/8''$ ). En el diseño se propone unir 2 secciones de 381 mm ( $15''$ ) para formar el largo y 2 secciones de 330.2 mm ( $13''$ ) para formar el ancho del chasis del vehículo terrestre (Figura III.13).



**Figura III.13.-** Perfil *PTR* unidas para formar la mitad del chasis del vehículo terrestre

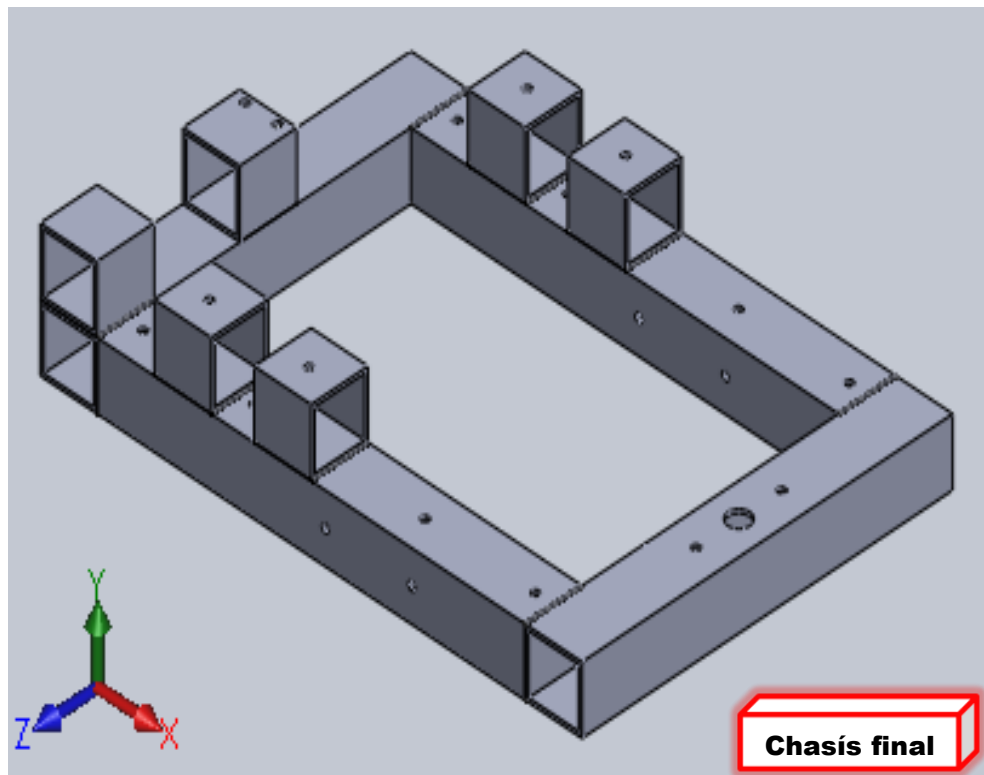
Las dimensiones resultantes del chasis son; largo 482.6 mm ( $19''$ ) y ancho 330.2 mm ( $13''$ ). Dicho material estará unido en las esquinas por medio de un cordón de soldadura (Figura III.14).





**Figura III.14.-** Partes que conforman el chasis unidas por soldadura

Con la finalidad de implementar un diseño ergonómico en el proyecto, se soldaron además a la estructura base del chasis, 6 cuadrados del mismo perfil *PTR* (Figura III.15).



**Figura III.15.** Estructura final del chasis.

---

---

Los cuadrados miden 50.8 mm x 50.8 mm x 50.8 mm (2" x 2" x 2") y estarán separados a 50.8 mm (2") de distancia. Lo que justifica la incorporación de estos elementos a la estructura del chasis es permitir una mayor optimización del espacio en que interaccionan los distintos componentes mecánicos.

La razón por la cual se utilizó perfil *PTR* de acero y no perfil *IPS* de Aluminio (que puede resultar mejor estéticamente y permitiría mejores acabados finales) fue la necesidad de una base que contara con el peso suficiente para que el prototipo no desviara su trayectoria (o incluso llegara a voltearse). Esto, debido a que en los predios aeroportuarios existen muchas corrientes de aire, resultado del funcionamiento de los motores con los que cuentan las aeronaves. Por este motivo, al contar con más peso el acero que el Aluminio, el perfil *PTR* era una opción viable. Otro motivo de implementar en el proyecto un perfil de tipo cuadrado (en lugar de por ejemplo soldar secciones de tubo redondo para formar la base) fue la mayor facilidad que se tendría en el montaje al contar con caras planas. Pues al realizarse el montaje de los diversos elementos mecánicos, se tendrían superficies lisas. En contraste, las superficies redondas podrían haber dificultado el armado de los distintos componentes que conforman la parte mecánica del proyecto.

### **III.6.- Diseño de los ejes del vehículo terrestre**

#### **III.6.1.- Diseño del eje central (eje A)**

La Figura III.16 muestra el diseño del eje central (eje A) dentro del vehículo. El eje central (eje A) posee una longitud de 117.8 mm (7"), con 15.8 mm (5/8") de grosor. Está sostenido por un par de chumaceras de brida de 2 tornillos que se encuentran fijas en la parte interna del chasis del vehículo. El eje A (Figura III.17.) consta de varios componentes mecánicos:

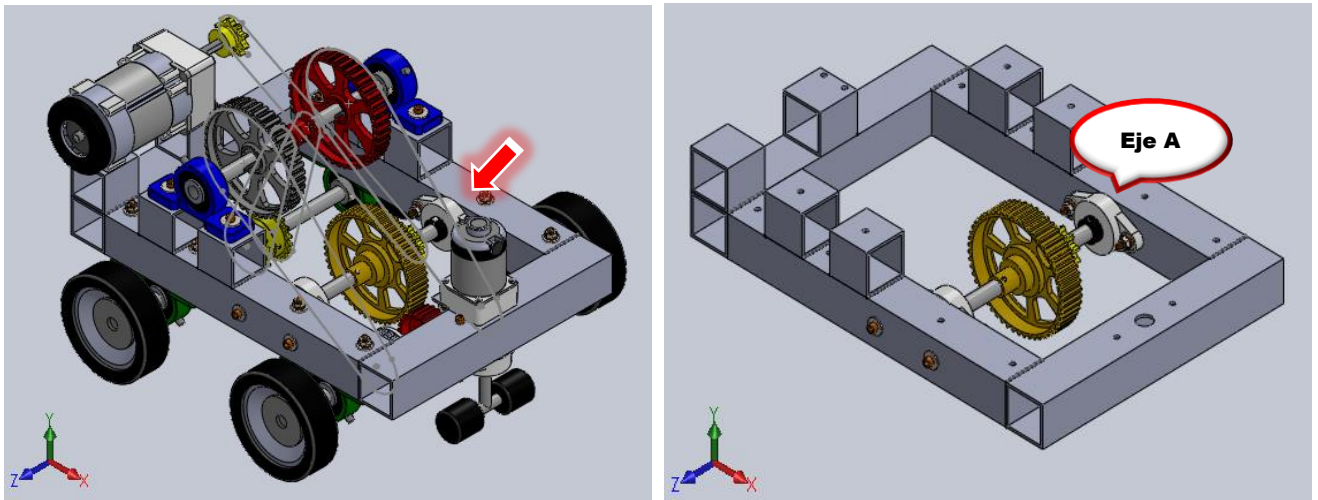
- a) Catarina con 10 dientes de paso 40 (para una cadena con 29 eslabones).
- b) Engrane recto con un diámetro primitivo de 127 mm (5"), ancho de cara igual a 25.4 mm (1") y 52 dientes.
- c) y d) Chumacera rómbica de 15.8 mm (5/8") de diámetro interno.

De esta manera el diseño propone la entrada del movimiento en el eje central (eje A) por medio de la catarina montada en la flecha del motor principal, cuya relación es 1:1. La salida

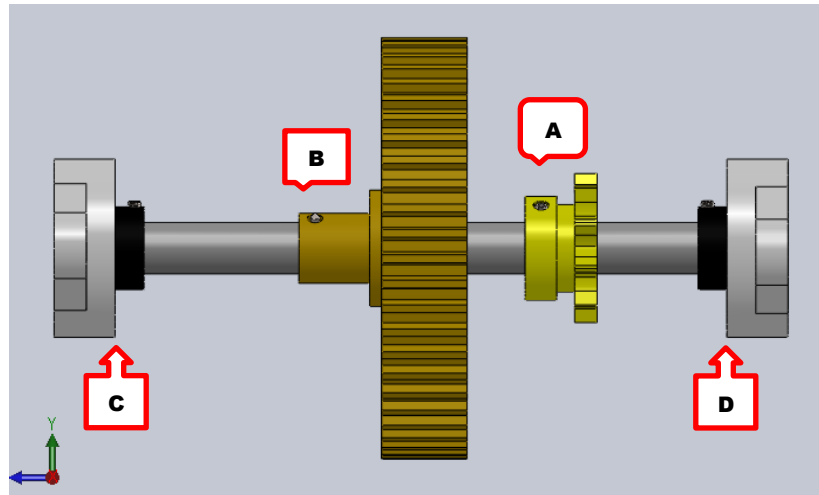
---

---

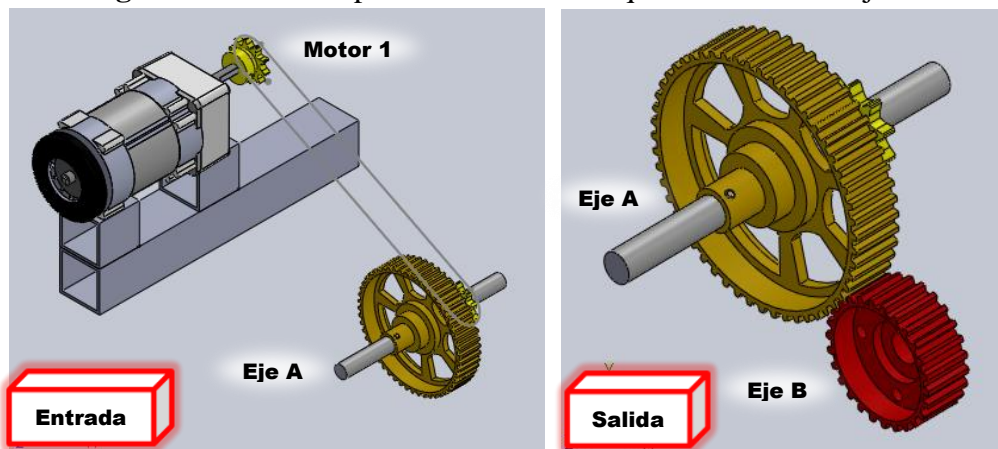
del movimiento se obtiene por medio del engrane de distribución, en transmisión 2:1, hacia el engrane montado en el eje de las llantas delanteras (eje B) (Figura III.18).



**Figura III.16.-** Ubicación del eje A en el vehículo



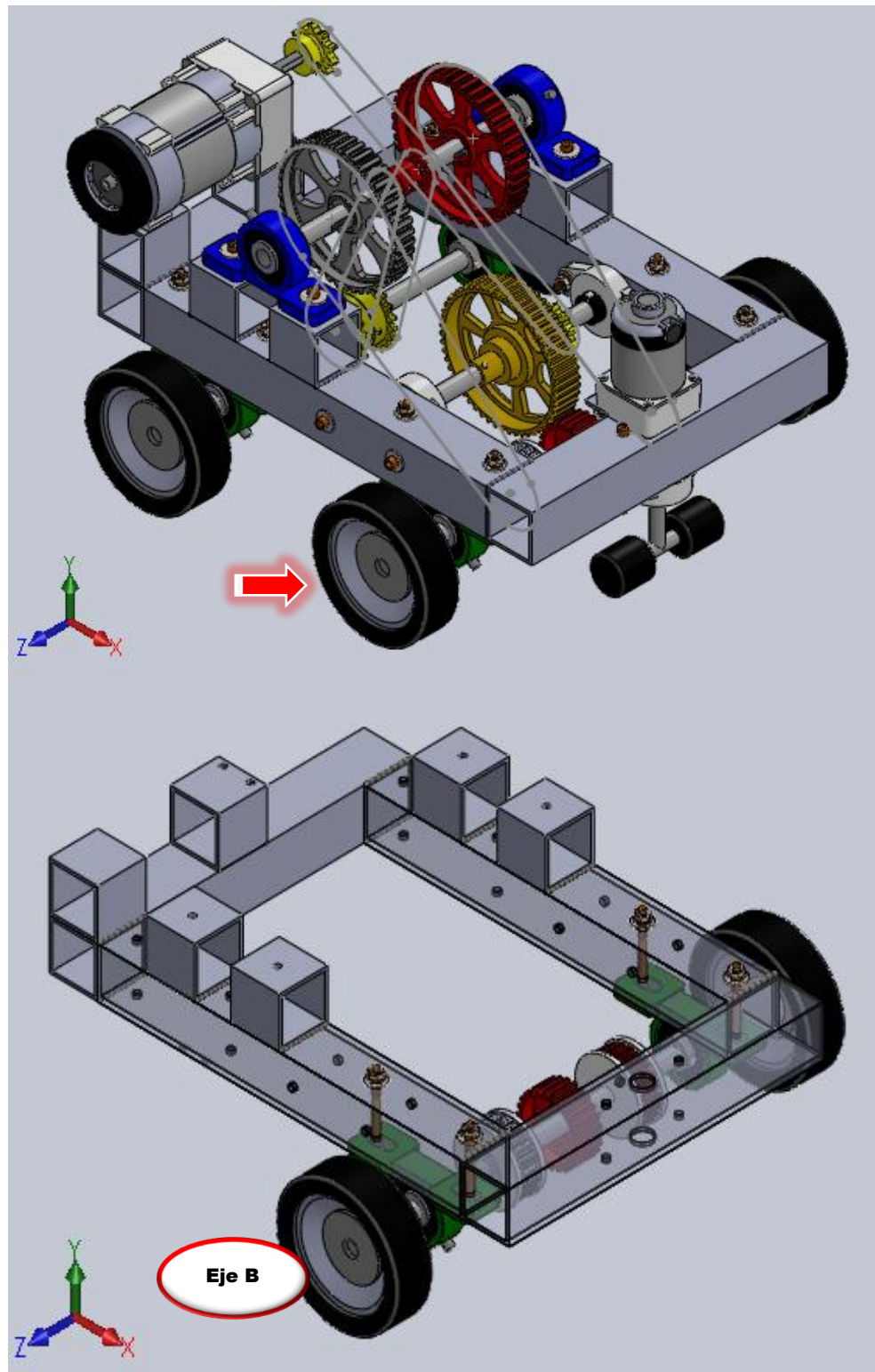
**Figura III.17.-** Componentes mecánicos que conforman el eje A



**Figura III.18.-** Entrada y salida del movimiento en el eje A

### III.6.2.- Diseño del eje de las llantas delanteras (eje B)

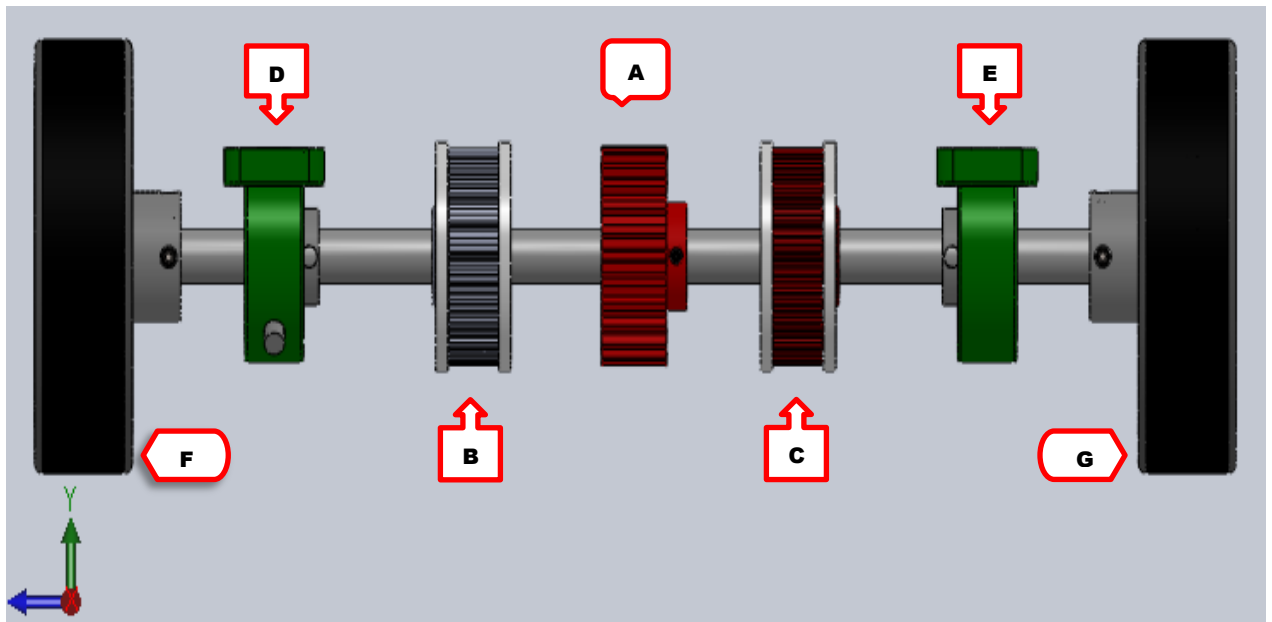
La Figura III.19 muestra el diseño del eje de las llantas delanteras (eje B) dentro del vehículo.



**Figura III.19.** Ubicación del eje B en el vehículo

El eje de las llantas delanteras (eje B) posee una longitud de 431.8 mm (17") y con 15.8 mm (5/8") de grosor. Esta sostenido por un par de chumaceras de piso que se encuentran atornilladas en la parte inferior del chasis del vehículo. En cada orilla del eje se monta una llanta de 127 mm (5") de diámetro y con una sección lateral de hule de 38.1 mm (1.5"). El eje B (Figura III.20) consta de los siguientes componentes mecánicos:

- a) Engrane recto conducido con 63.5 mm (2.5") de diámetro primitivo, ancho de cara de 25.4 mm (1") y 26 dientes.
- b) y c) Polea dentada (piñón de banda) con radio primitivo de 63.5 mm (2.5"), ancho de cara igual a 19 mm (3/4") y 22 dientes. (Para una respectiva banda síncrona tipo 'L' de neopreno, con 838.2 mm (33") de largo y 19 mm (3/4") de ancho).
- d) y e) Chumacera de piso de 15.8 mm (5/8") de diámetro interno.
- f) y g) Llanta de hule de 127 mm (5") de diámetro, con sección lateral de 38.1 mm (1.5").



**Figura III.20.-** Componentes mecánicos que conforman el eje B

Por lo anterior el diseño propone la entrada del movimiento en el eje B a través del engrane conductor montado en el eje central (eje A) en una relación 2:1. La salida del movimiento se da por medio de los piñones de banda, en transmisión 1:2 hacia el eje superior (eje C) (Figura III.21).



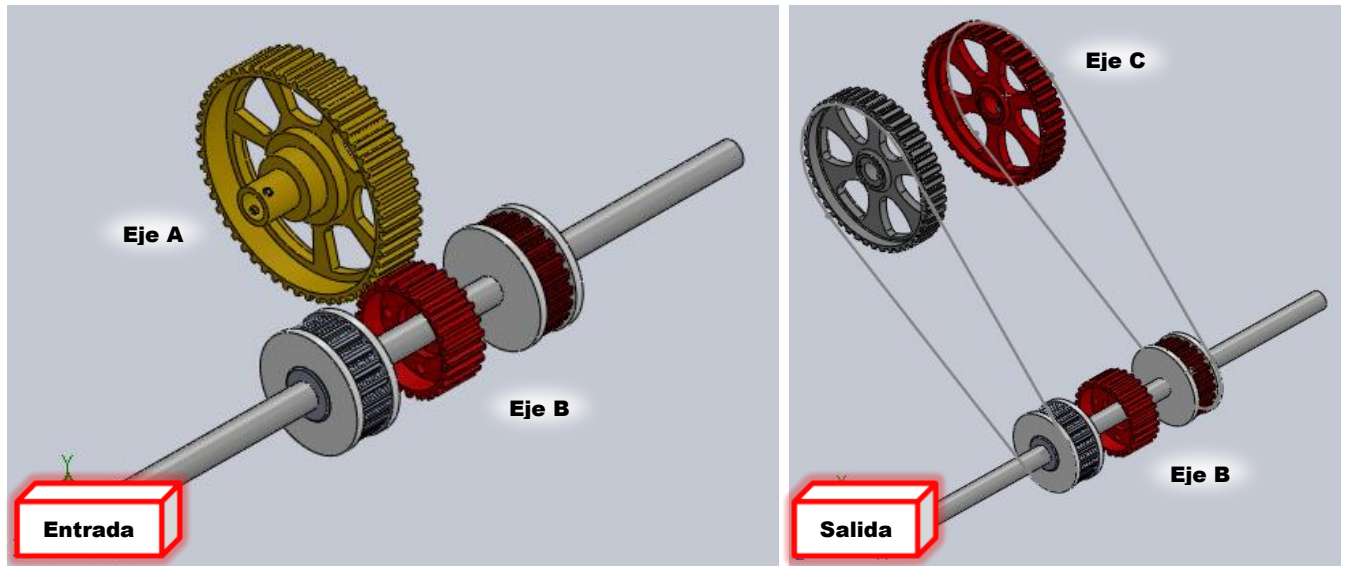


Figura III.21.- Entrada y salida del movimiento en el eje B.

### III.6.3.- Diseño del eje superior (eje C)

La Figura III.22 muestra el diseño del eje superior (eje C) en el vehículo.

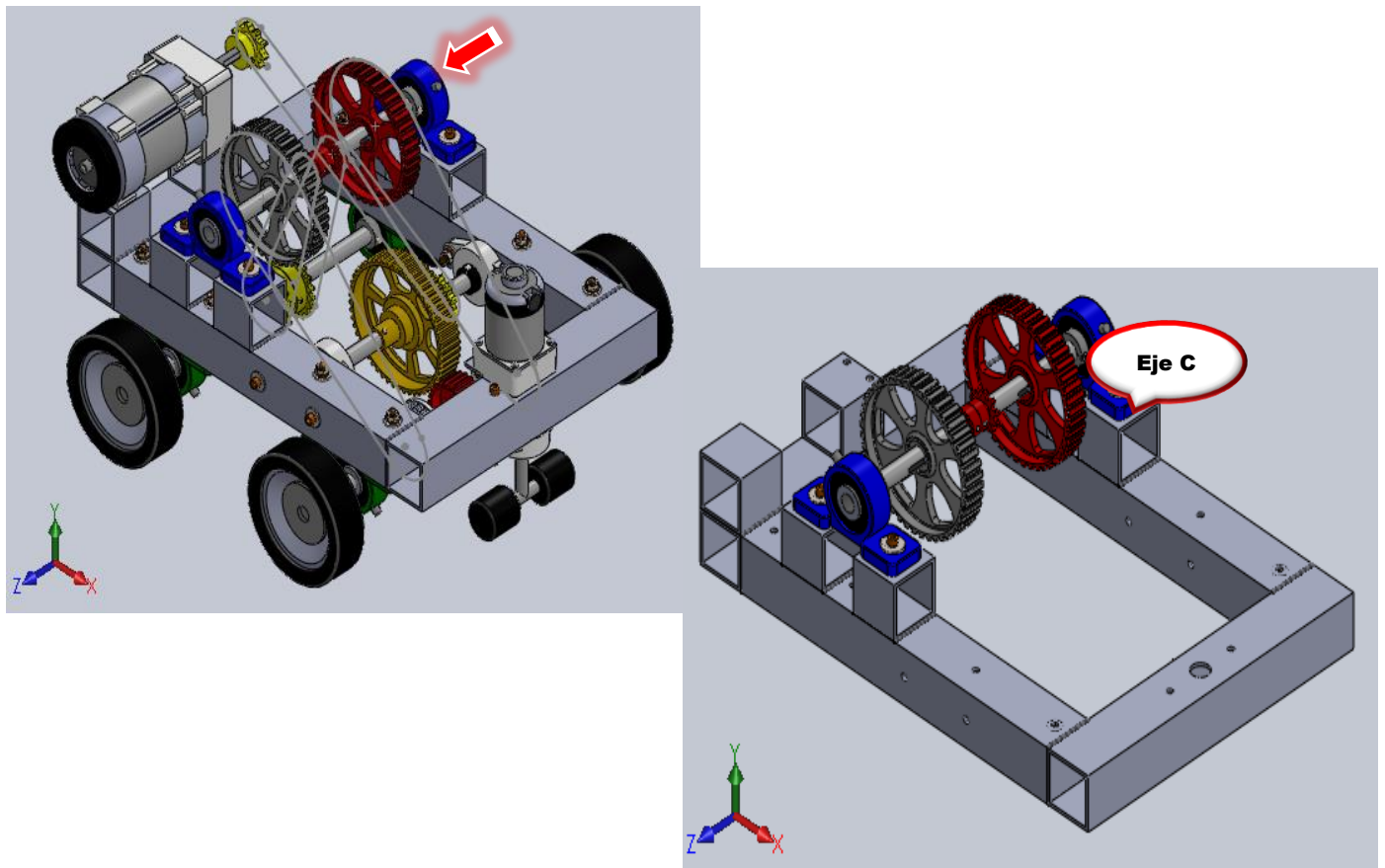


Figura III.22.- Ubicación del eje C en el vehículo





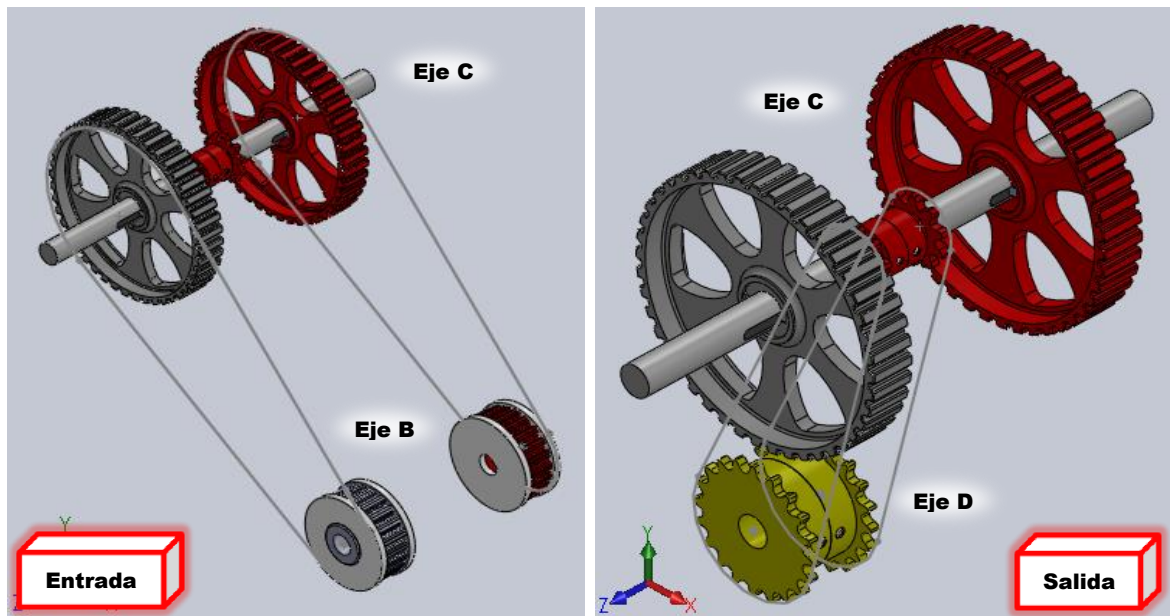


Figura III.24.- Entrada y salida del movimiento en el eje C

#### III.6.4.- Diseño del eje de las llantas traseras (eje D)

La Figura III.25 muestra el diseño del eje de las llantas traseras (eje D) en el vehículo.

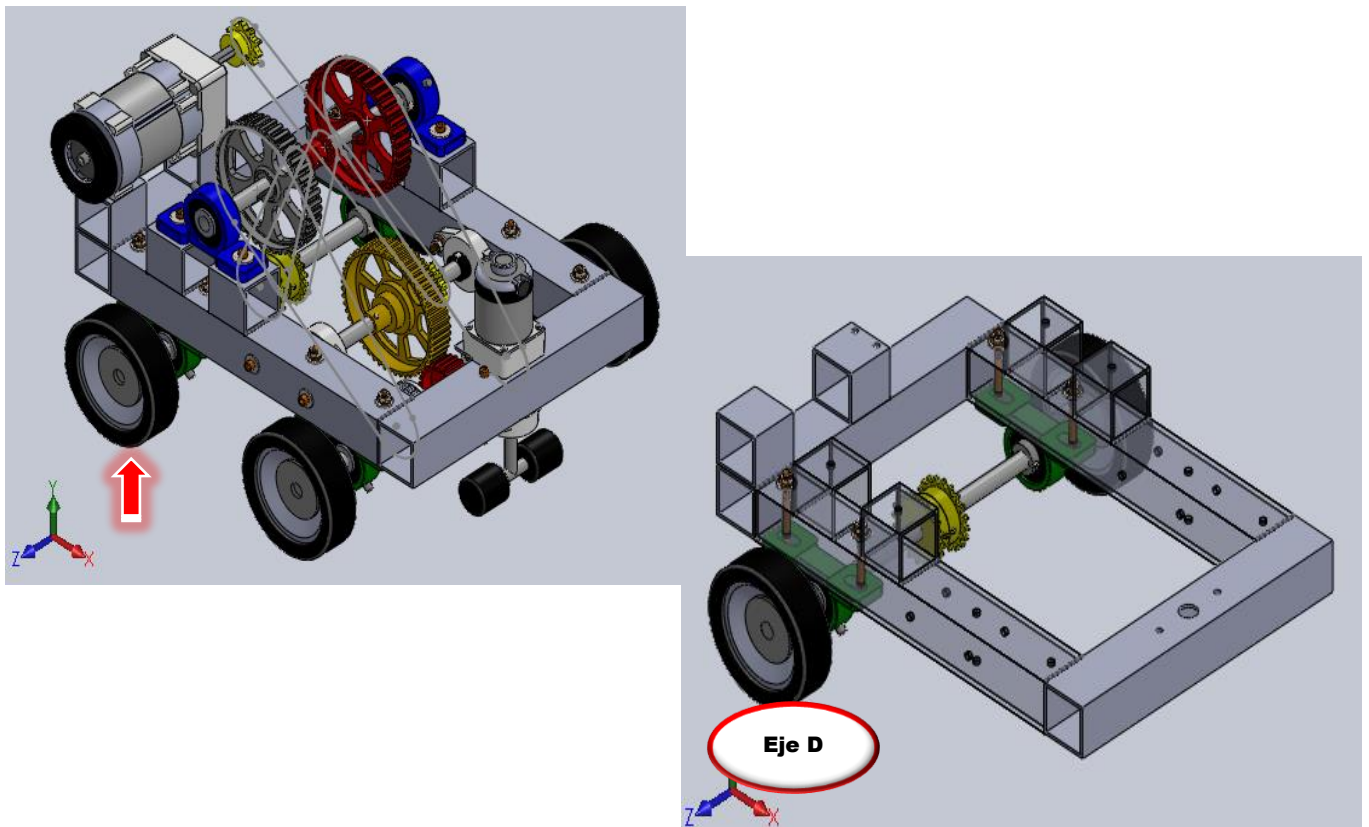
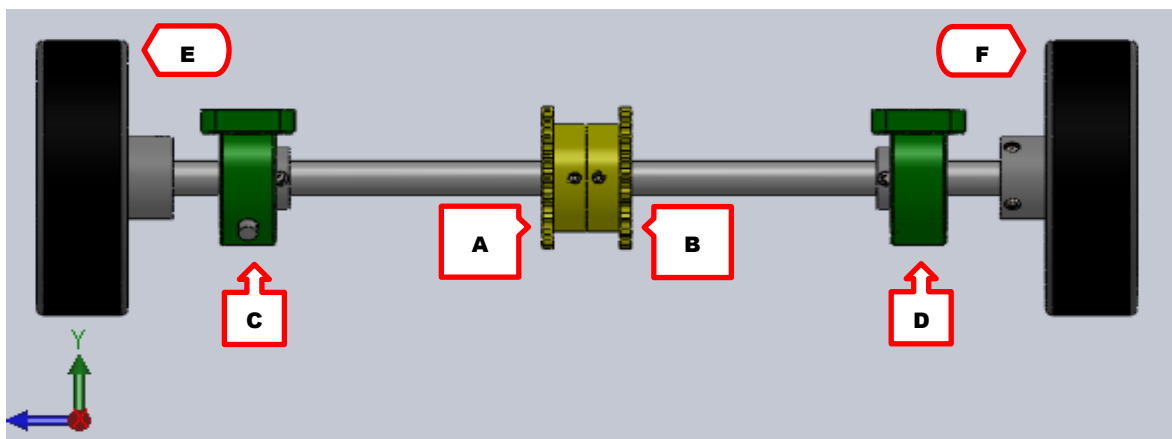


Figura III.25.- Ubicación del eje D en el vehículo

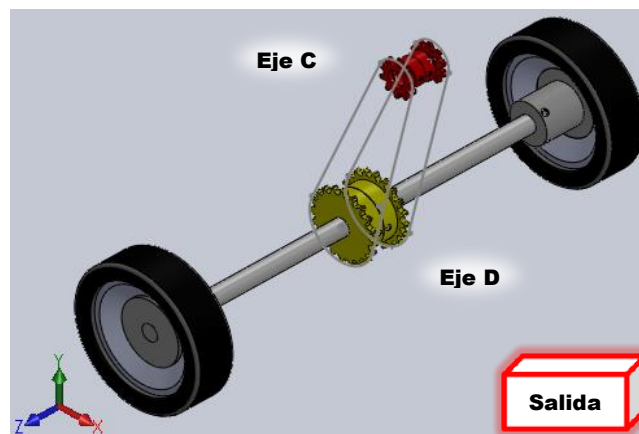
El eje de las llantas traseras (eje D) posee las mismas características que el eje B, esto es; longitud de 431.8 mm (17"), con 15.8 mm (5/8") de grosor. Al igual que en el eje B, en el eje D se montan llantas de 127 mm (5") a los extremos. Dicho eje también se encuentra sostenido por un par de chumaceras de piso, atornilladas en la parte inferior-trasera del chasis del vehículo terrestre. El eje D (Figura III.26) se compone de las siguientes piezas mecánicas:

- a) y b) Catarina de 20 dientes, paso 35.
- c) y d) Chumacera de piso de 15.8 mm (5/8") de diámetro interno.
- e) y f) Llanta de hule de 127 mm (5") de diámetro, con sección lateral de 38.1 mm (1.5").



**Figura III.26.-** Componentes mecánicos que conforman el eje D

El diseño plantea la entrada del movimiento en el eje de las llantas trasera (eje D) a través de las cadenas montadas sobre el par de catarinas ubicadas en el eje superior (eje C), en una relación 1:2. Esta última transmisión es la encargada de impulsar el movimiento en las llantas traseras del vehículo (Figura III.27).



**Figura III.27.-** Última transmisión de movimiento en el vehículo terrestre

### III.7.- Ensamble general y operación del vehículo

#### III.7.1.- Diseño del movimiento de translación del vehículo terrestre

El impulso necesario para trasladar el vehículo terrestre se obtiene del movimiento rotatorio proporcionado por el motor principal o 'M1' (Figura III.28).

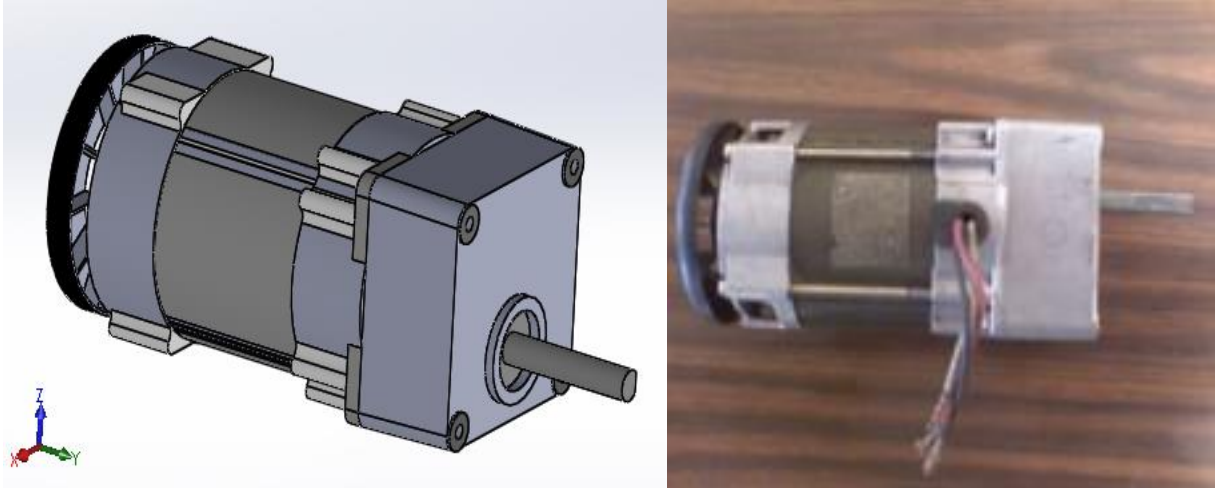


Figura III.28.- Motor principal (M1)

De acuerdo al diseño propuesto, el movimiento de translación del vehículo terrestre inicia cuando la flecha del motor principal (M1) se conecta con el eje A por medio de una transmisión catarina-cadena (Figura III.29).

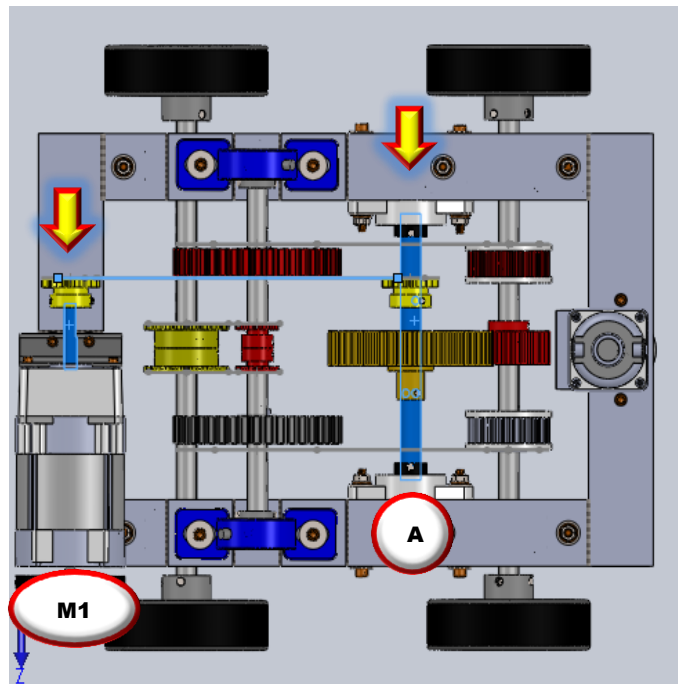
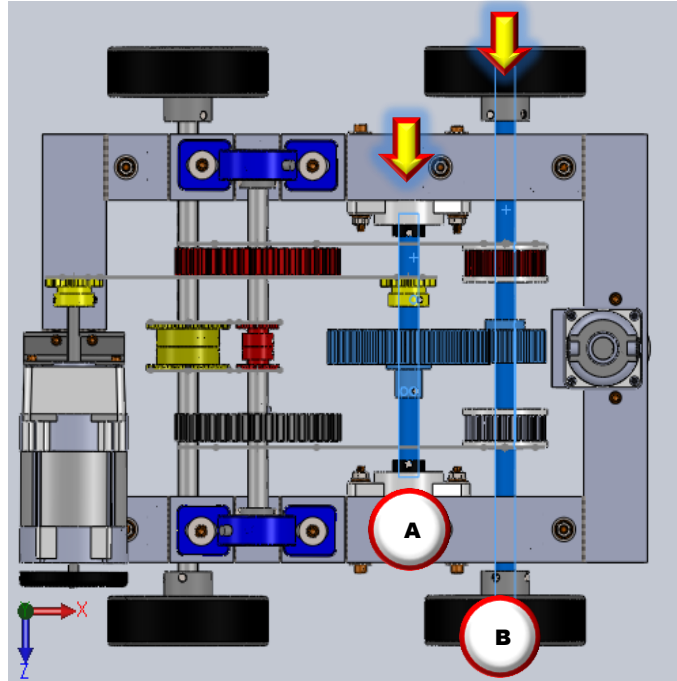
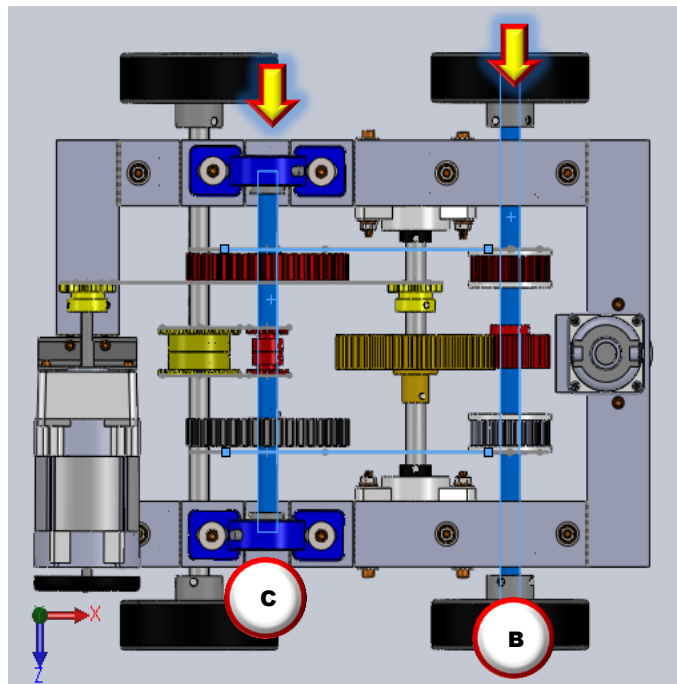


Figura III.29.- Transferencia de movimiento del motor principal hacia el eje A.

El movimiento se transmite entonces del eje A hacia el eje B, por una transmisión de engranes rectos (Figura III.30). A continuación el eje B se conecta con el eje C, por medio de una transmisión par del tipo patea dentada-banda síncrona (Figura III.31).

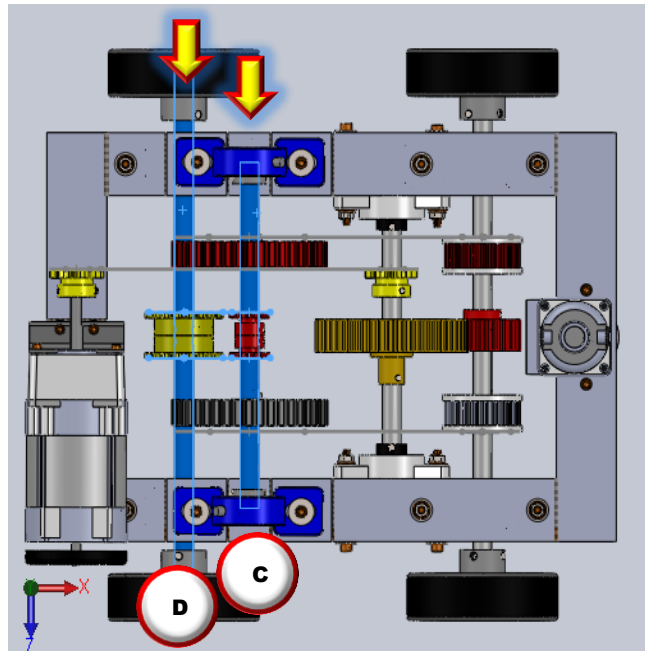


**Figura III.30.-** Transferencia de movimiento del eje A hacia el eje B



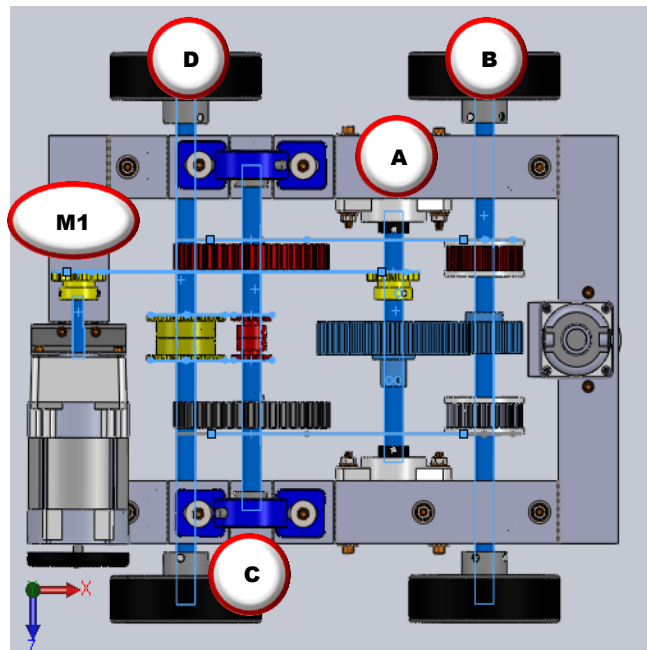
**Figura III.31.-** Transferencia de movimiento del eje B hacia el eje C

La última transmisión de movimiento tiene lugar, cuando por medio de un par de cadenas montadas sobre sus respectivas catarinas, se conecta al eje C con el eje D (Figura III.32).



**Figura III.32.-** Transferencia de movimiento final del eje C hacia el eje D

De esta manera se realiza la transferencia de movimiento por todo el sistema mecánico (Figura III.33.) permitiendo la translación del vehículo terrestre hacia adelante, o bien, hacia atrás.

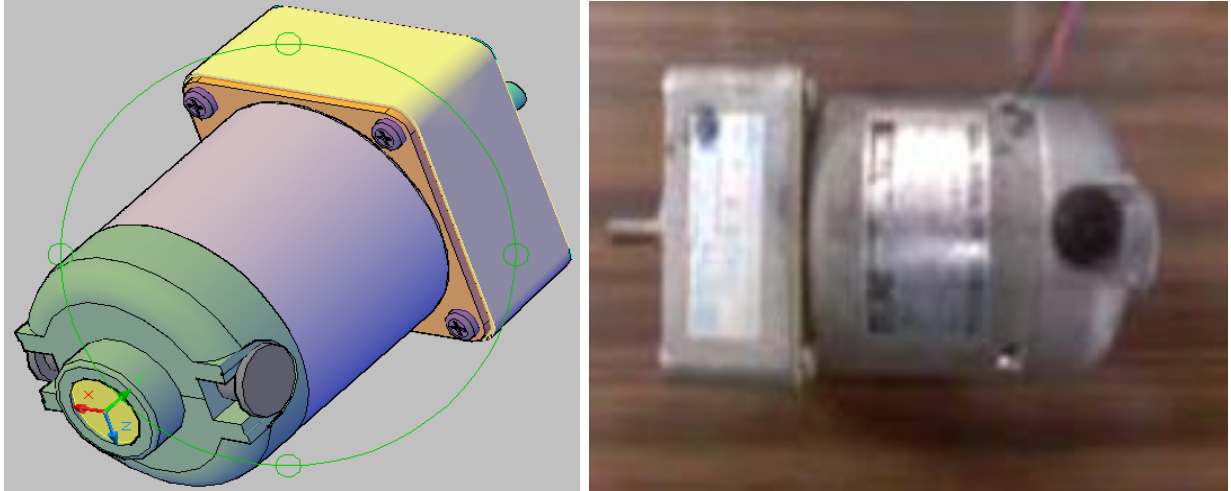


**Figura III.33.-** Transferencia de movimiento del sistema mecánico del vehículo terrestre

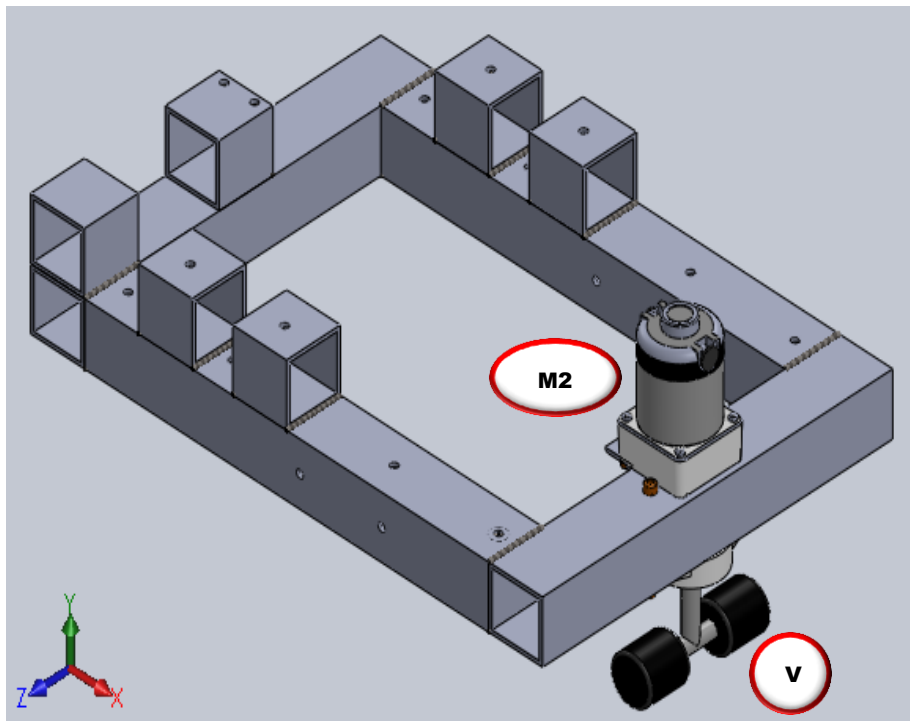


### III.7.2.- Diseño del movimiento de dirección o rotación del vehículo terrestre

El movimiento necesario para direccionar al vehículo terrestre lo proporciona el motor secundario o 'M2' (Figura III.34). El motor se encarga de controlar la rotación parcial (rotación menor a 45°) del mecanismo que direcciona al proyecto. El mecanismo (volante) se ubica en la parte delantera-central del vehículo (Figura III.35).



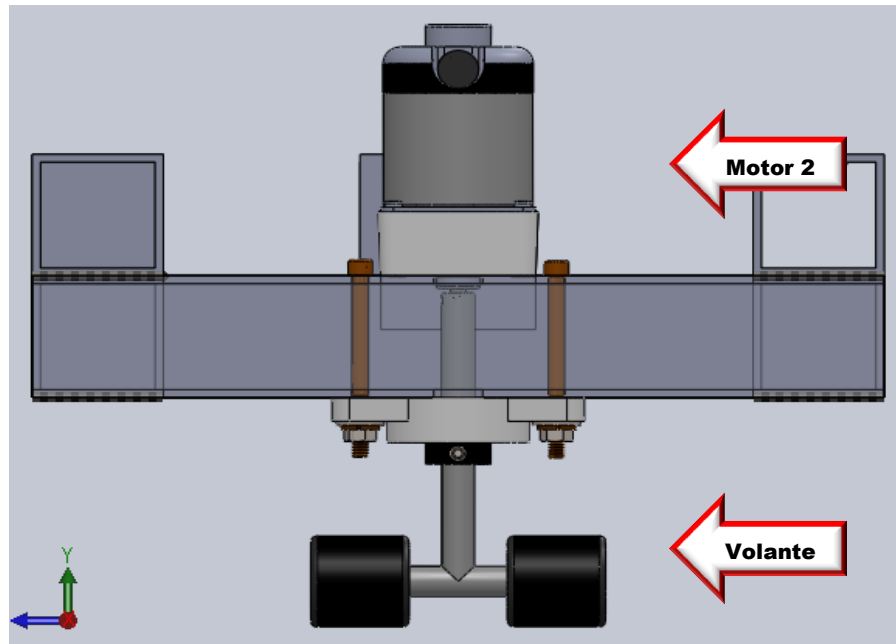
**Figura III.34.-** Motor secundario (M2)



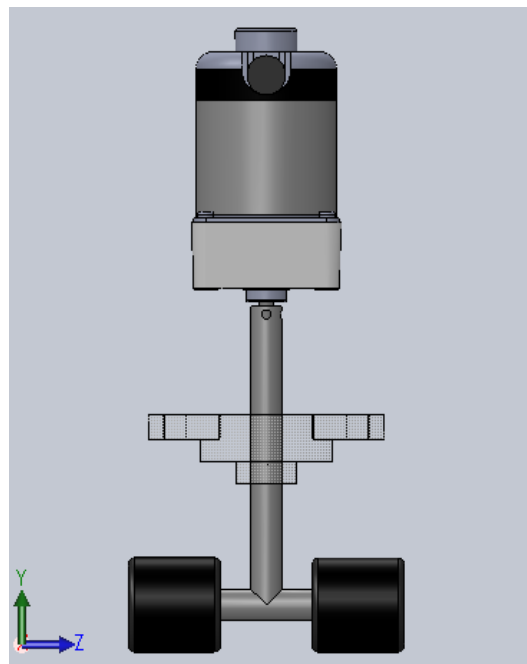
**Figura III.35.-** Ubicación del volante 'V' en el vehículo terrestre

Dicho volante cuenta con una longitud vertical de 101.6 mm (4") y una longitud horizontal de 38.1 mm (1.5"). Además de un par de ruedas de metal de 38.1 mm x 38.1 mm (1.5" x 1.5").

Se monta en el chasis del vehículo por medio de una chumacera tipo brida rómbica de 12.7 mm (1/2") de diámetro interno (Figura III.36). Por medio de este mecanismo (volante) el vehículo terrestre puede rotar hacia la izquierda, o bien, hacia la derecha (Figura III.37).



**Figura III.36.-** Componentes del volante montados en el chasis del vehículo terrestre



**Figura III.37.-** Mecanismo diseñado para la rotación del vehículo terrestre



### III.7.3.- Diseño mecánico final

El diseño mecánico final del vehículo terrestre se muestra en la Figura III.38. El movimiento del vehículo hacia adelante o hacia atrás inicia cuando la flecha del motor #1 hace girar todo el sistema, empezando por el eje A mediante una transmisión catarina-cadena (Figura III.39). El movimiento se transfiere entonces del eje A hacia el eje B, por una transmisión de engranes rectos, haciendo girar las llantas delanteras del vehículo. Inmediatamente después, el movimiento pasa del eje B hacia el eje C, por medio de una transmisión del tipo polea dentada-banda síncrona (Figura III.40). Por último, un par de cadenas montadas sobre sus respectivas catarinas conectan al eje C con el eje D, haciendo girar las llantas traseras del vehículo. Para rotar hacia la derecha, o bien, hacia la izquierda el vehículo utiliza un volante controlado por el motor #2 (Figura III.41).

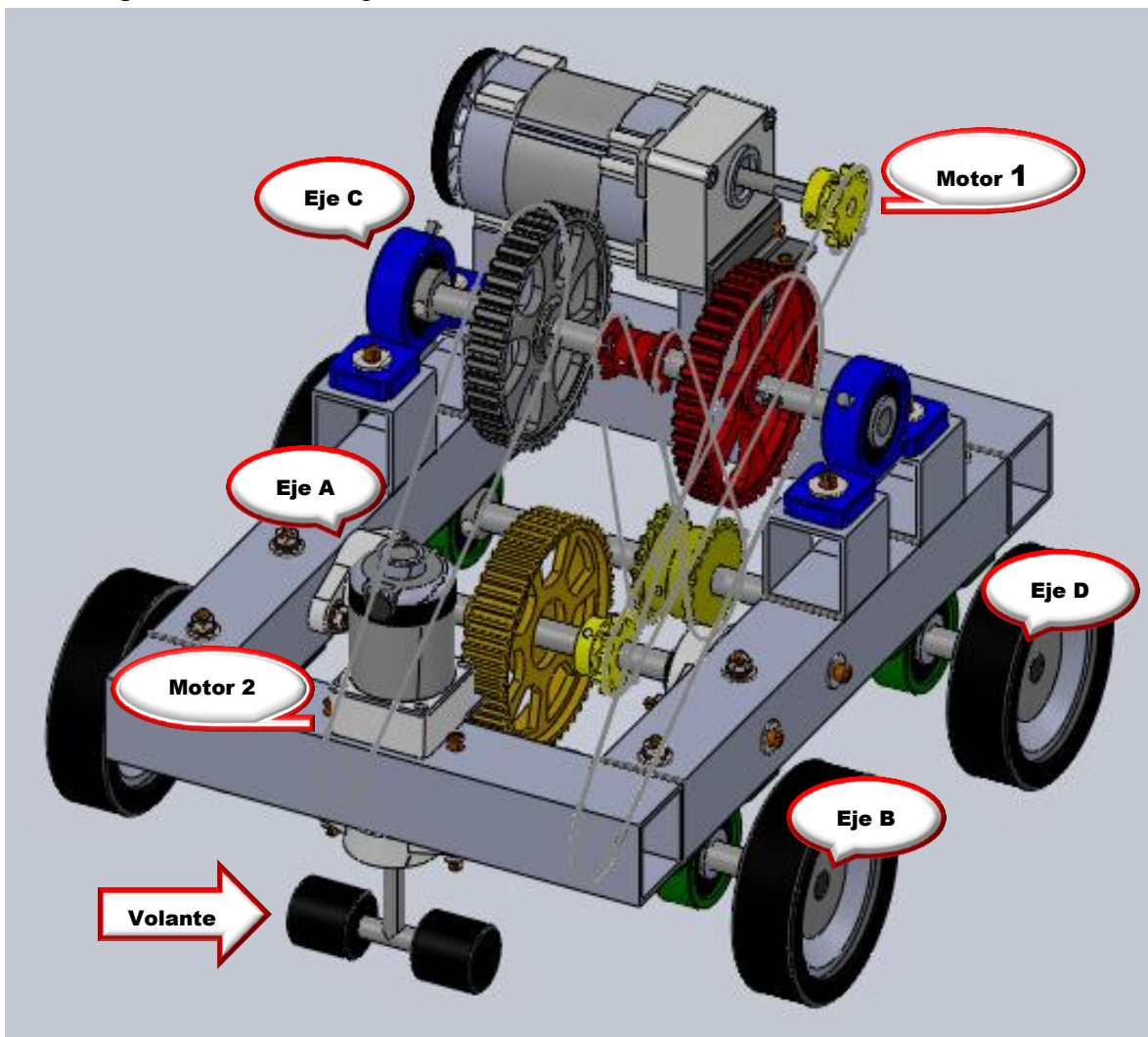
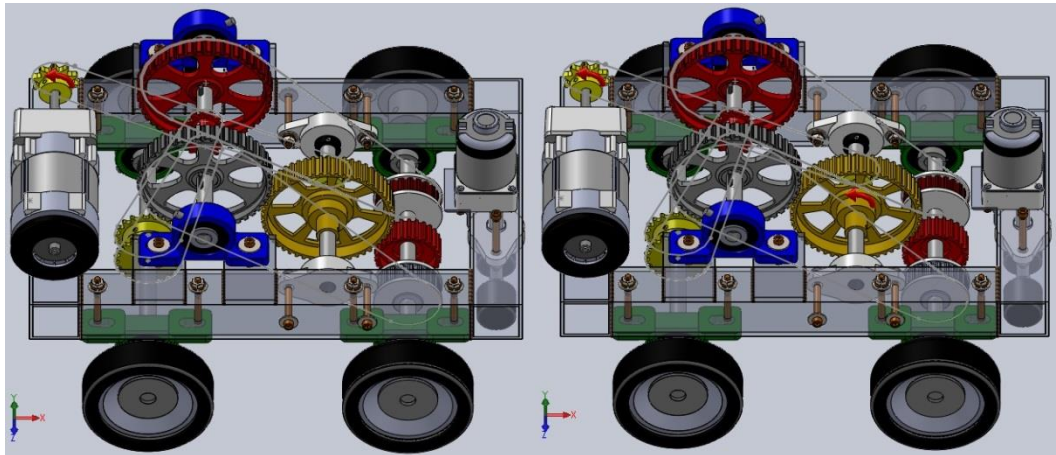
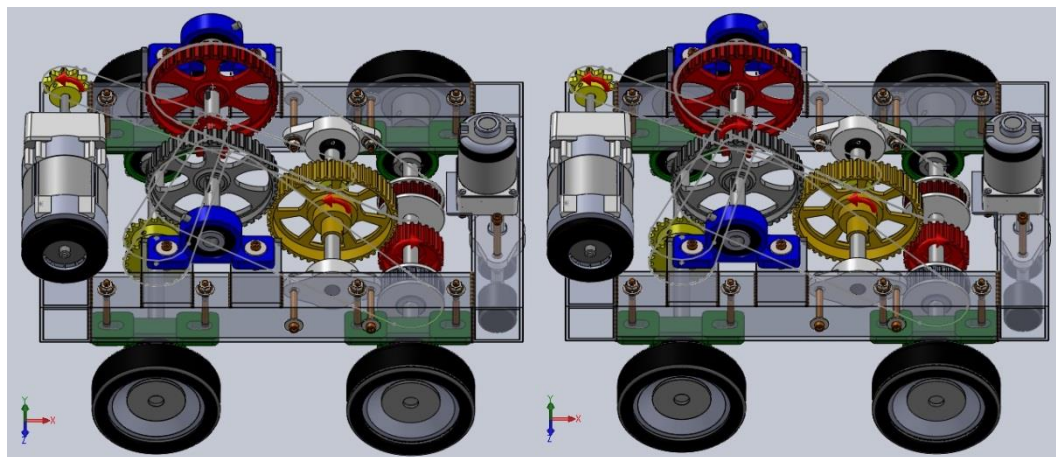


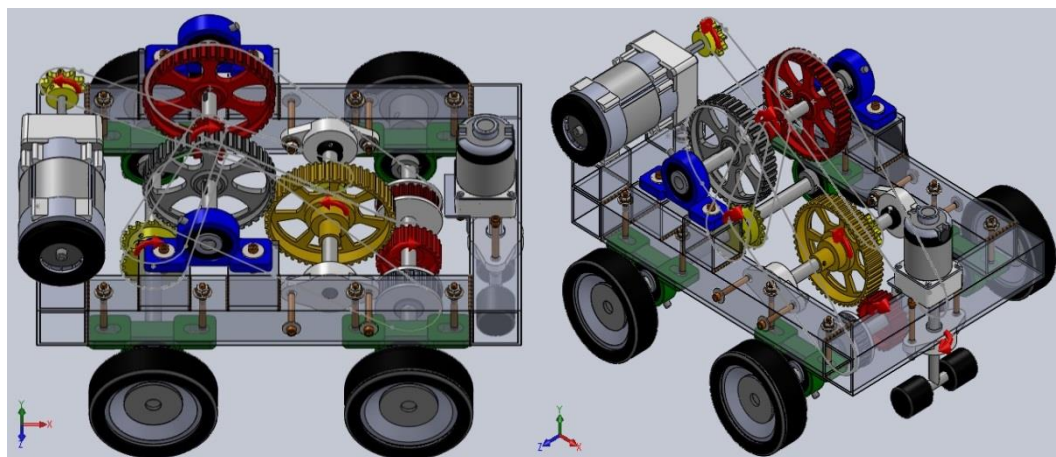
Figura III.38.- Diseño mecánico final



**Figura III.39.-** Flecha del motor #1 haciendo girar todo el sistema iniciando por el eje A, mediante una transmisión catarina-cadena



**Figura III.40.-** Transmisión del eje A hacia el eje B por engranes rectos y transferencia de movimiento del eje B hacia el eje C mediante poleas dentadas-bandas síncronas



**Figura III.41.-** Unión del eje C con el eje D mediante una transmisión catarina-cadena y movimiento del volante controlado por el motor #2

---

---

### III.8.- Sumario

El Capítulo III cita los diferentes diseños y mecanismos existentes para repeler fauna voladora en la actualidad. Así mismo, presenta las bases en control, electrónicas y mecánicas empleadas para el desarrollo del proyecto. Se propone el diseño del chasis, de los cuatro ejes y del volante, que conforman la esencia del vehículo terrestre expuesto en el presente trabajo de tesis.

### III.9.- Referencias

- 1.- Díaz del Castillo, F., *Diseño de Elementos de Máquinas*, FES-Cuautitlán, Departamento de Ingeniería, Cuautitlán Izcalli, pp. 1, México D.F., 2011
- 2.- Shigley, J. E., *Diseño en Ingeniería Mecánica*, Octava edición Ed. Mc Graw Hill, pp. 4 y 5, 2003
- 3.- Mattolini, M. A., *Elementos de máquinas & Máquinas y equipos industriales*, UTN, Facultad regional Mendoza, pp. 2, Argentina, 2004
- 4.- Sun Garden - Sistemas inteligentes para jardín, *Cañón de gas propano para el Control de Aves*, Bahía de banderas Nayarit, prolongación Brasil #50, mezcales Nayarit-México, <http://www.sungarden.com.mx/espantapajaros.html>
- 5.- Actualidad Aeroespacial, *Prueban halcones-robots para ahuyentar las aves en los aeropuertos*, C/ Ulises, 2 4ºD3, Madrid-España, Martes 2 de septiembre del 2014, <http://actualidadaeroespacial.com/default.aspx?where=6&id=1&n=13568>
- 6.- Guerrero, O., *Halcón robot espantará a las aves de las cercanías de aeropuerto de Río de Janeiro*, Aeronoticias, Miraflores - Lima 18, pp.1, Perú, Miércoles 17 de Marzo de 2010 05:53 p.m.
- 7.- Cabrera-Ruiz, E. J., *Aeropuerto de Mérida utiliza águilas para prevenir accidentes*, Periódico Excelsior, México D.F., 18 de Marzo de 2013 7:50 p.m., <http://www.excelsior.com.mx/nacional/2013/03/18/889635>
- 8.- Change-Hoi, K., Kyung-Min, J., Yong-Soo, Ch., Sung-Uk, L., Chang-Hwoi, K., Tae-won, J., *Design of the Unmanned Ground Vehicle for Bird Expellant in an Airport*, 11th International Conference on Control Automation and Systems, pp.1-3, Oct. 26-29 de 2011

- 
- 
- 9.- Change-Hoi, K., Kyung-Min, J., Tae-won, J., *Semi-autonomous Navigation of an Unmanned Ground Vehicle for Bird Expellant in an Airport*, 12th International Conference on Control Automation and Systems, pp.1 y 2, Jeju Island-Korea, Oct. 17-21 de 2012
  - 10.- Lazea, G., Lupu, E., *Aspects on path planning for mobile robots*, Technical University of Cluj-Napoca, Automation Department, pp.1, Rumania, 2001
  - 11.- Aguilera-Hernández, M. I., Bautista, M. A., Iruegas, J., *Diseño y Control de Robots Móviles*, Depto. de Ing. Eléctrica y Electrónica, Instituto Tecnológico de Nuevo Laredo, pp. 1-3, Tamaulipas-México, 2007
  - 12.- Flores-Cortez, O. O., *Batalla de microcontroladores ¿avr o pic?*, Escuela de Informática, Universidad Tecnológica de El Salvador UTEC, pp. 1-3, Salvador, Septiembre 2009
  - 13.- Contreras-Urgiles, M., Ayala-Rocafuerte, A., Valdivieso, C., *Diseño de plataforma de trabajo para microcontroladores Atmel con visualización de salidas en tercer estado (tri-state) para probar su arquitectura con elementos de entrada y salida*, Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación, Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), pp. 2. Guayaquil-Ecuador, Octubre de 2014
  - 14.- Herrera-Lozada, J. C., Rivera-Zárate, I., Olguín-Carbajal, M., *Computadoras de Bolsillo como una Alternativa para el Control de Servomotores en Robótica*, Polibits (38), CIDETEC-IPN, pp. 1, México D. F., 3 de noviembre del 2008
  - 15.- Carletti, E. J., *Baterías para alimentación de robots*, Robots Argentina, Buenos Aires-Argentina, [http://robots-argentina.com.ar/Energia\\_baterias.htm](http://robots-argentina.com.ar/Energia_baterias.htm), 2014

# Capítulo IV

## Análisis por el Método de Elemento Finito de los componentes mecánicos del vehículo terrestre

*El capítulo contiene las simulaciones en elemento finito del chasis del vehículo, de los ejes*

*motrices y de las*

*principales piezas*

*mecánicas que integran el*

*proyecto.*

*De esta forma, se*

*muestran los resultados*

*obtenidos en el análisis de*

*von Miseses, así como los*

*resultados para el*

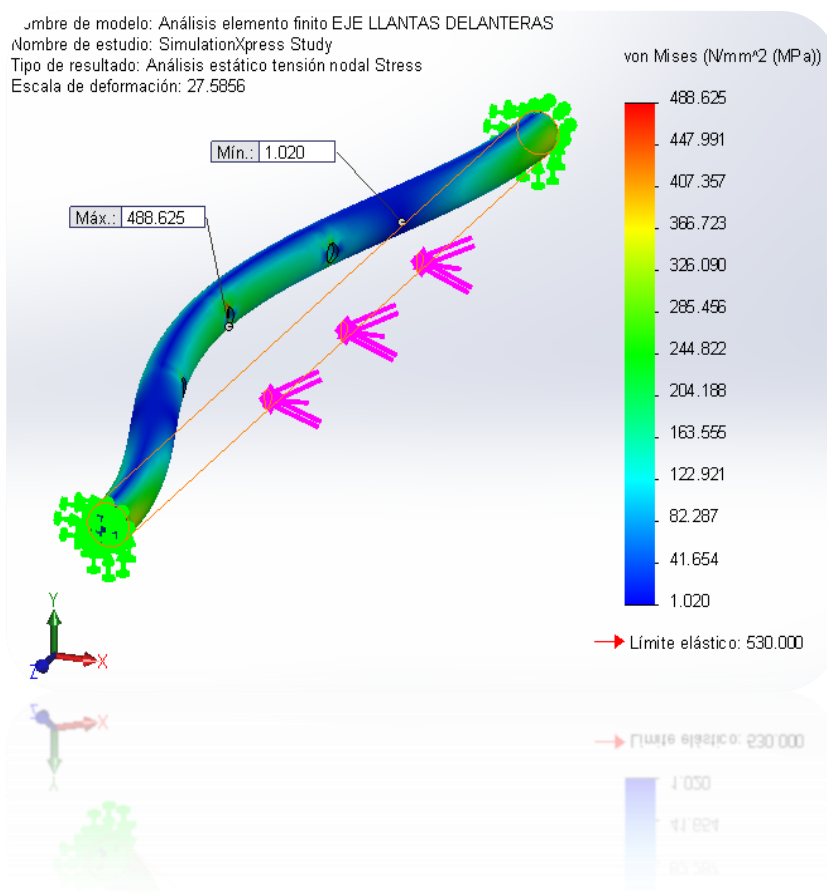
*desplazamiento y la*

*deformación en los*

*distintos elementos*

*mecánicas que conforman*

*el vehículo terrestre.*



---

---

#### **IV.1.- Introducción al Método de Elemento Finito**

El Método de Elemento Finito (*MEF*) ha evolucionado y avanzado mucho en los últimos años. *Zienkiewick* tiene una detallada revisión de ello, expresada en su gran cantidad de publicaciones [IV.1]. Así como, otros investigadores han establecido ecuaciones para sólidos, placas, placas delgadas y otras formas estructurales. Estos desarrollos en ingeniería mecánica han tenido un gran impacto en los programas de computadora [IV.2]. El uso de *software* en el *MEF* ha permitido optimizar diseños y emplear de mejor manera los materiales usados, reducir el peso de las estructuras y mejorar sus geometrías. Así como permitir el uso de nuevos materiales y prever su comportamiento [IV.3].

#### **IV.2.- Antecedentes generales sobre análisis con el Método de Elemento Finito**

La Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Unida Adolfo López Mateos (*Zacatenco, SEPI ESIME Zac*) posee una vasta experiencia en el análisis estructural de elementos mecánicos. Por esta razón se ha desarrollado una gran cantidad de proyectos enfocados al análisis de estructuras por el *Método de Elemento Finito* aplicado a vehículos terrestres.

Por ejemplo, *Víctor Guerra Loaeza* en 1996, presenta su trabajo titulado; *Aplicación del Método del Elemento Finito al análisis de esfuerzos de un semirremolque para tráiler tipo plataforma*. Este análisis se elabora de forma estática y de forma modal. Así mismo, se determinan los esfuerzos resultantes y se proponen modificaciones a la sección transversal de la viga examinada, con el fin de optimizarla [IV.4].

Para 1998, *Héctor Hugo Vázquez Mendoza* presenta; *Optimización del diseño estructural de una plataforma para tracto camión* [IV.5]. En esta tesis se realiza el análisis estático de una estructura para remolque tipo escalera. Así mismo, se busca la reducción del peso en la estructura, con la finalidad de tener un mejor rendimiento. Se realiza de dos maneras, en la primera se emplea la programación lineal junto con el *Método de Elemento Finito*. En la segunda se analizan las vigas con barrenos, las cuales están sometidas a flexión. De esta manera se retira material en la vecindad del eje neutro.



Mientras en el año 1999, se presenta la tesis de *Cervando Antonio Osuna Amparo* con el título: *Análisis estructural y optimización del chasis de un vehículo de tracción eléctrica*. En este trabajo se analiza la estructura de un automóvil eléctrico, con los casos de análisis estático, análisis de frenado, análisis de viraje y análisis modal. Además, se aplicó un espectro para realizar un análisis transitorio, realizándose también, un estudio de optimización de la estructura [IV.6].

En el año 2002, se presenta el trabajo de *Isabel Esteban Gámez Valenzuela*, con el título; *Análisis estructural del carro guiado de un autobús comercial* [IV.7]. En este análisis se evalúan los campos de esfuerzos de la estructura de un vehículo terrestre articulado que se emplea para el transporte público. Lo notable de esta tesis es que una unidad de este tipo puede sustituir fácilmente hasta seis microbuses.

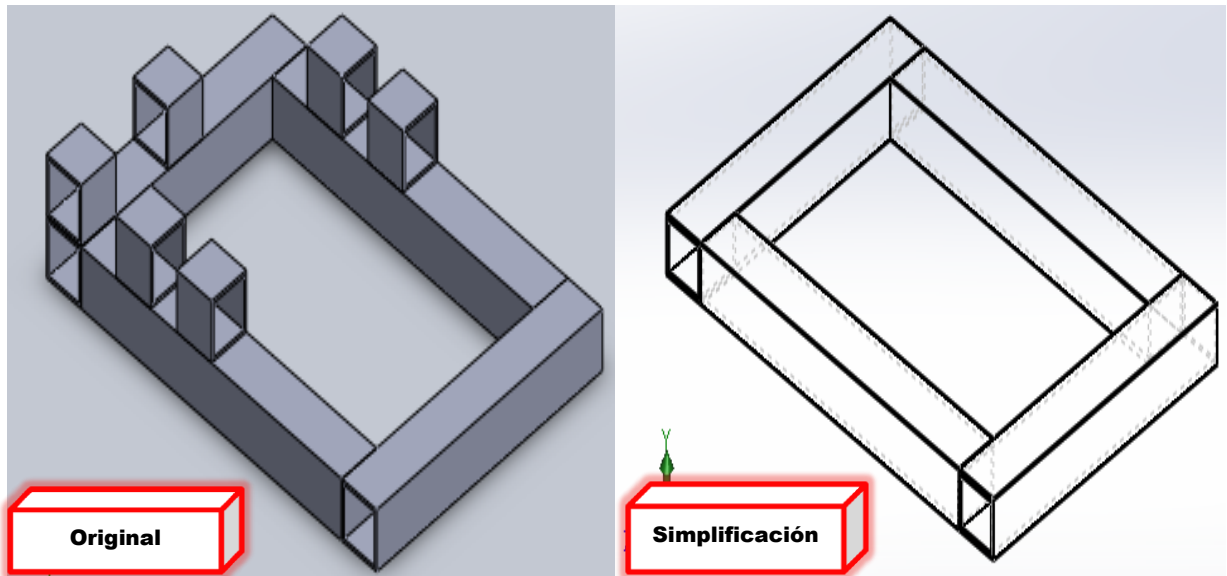
Asimismo, en el año 2002 *Luis Armando Flores Herrera* presenta su tesis titulada; *Análisis estructural de un autobús escolar*. Este trabajo logra aplicar el *Método de Elemento Finito* para mejorar la calidad en el diseño de la estructura de un vehículo terrestre escolar, pues permite observar la localización de los lugares clave en donde se encuentran los esfuerzos máximos en la estructura, que conforma el chasis del vehículo [IV.8].

### **IV.3.- Análisis por medio del *MEF* de la estructura base del vehículo (chasis)**

#### **IV.3.1.- Descripción general para el análisis para la estructura del chasis**

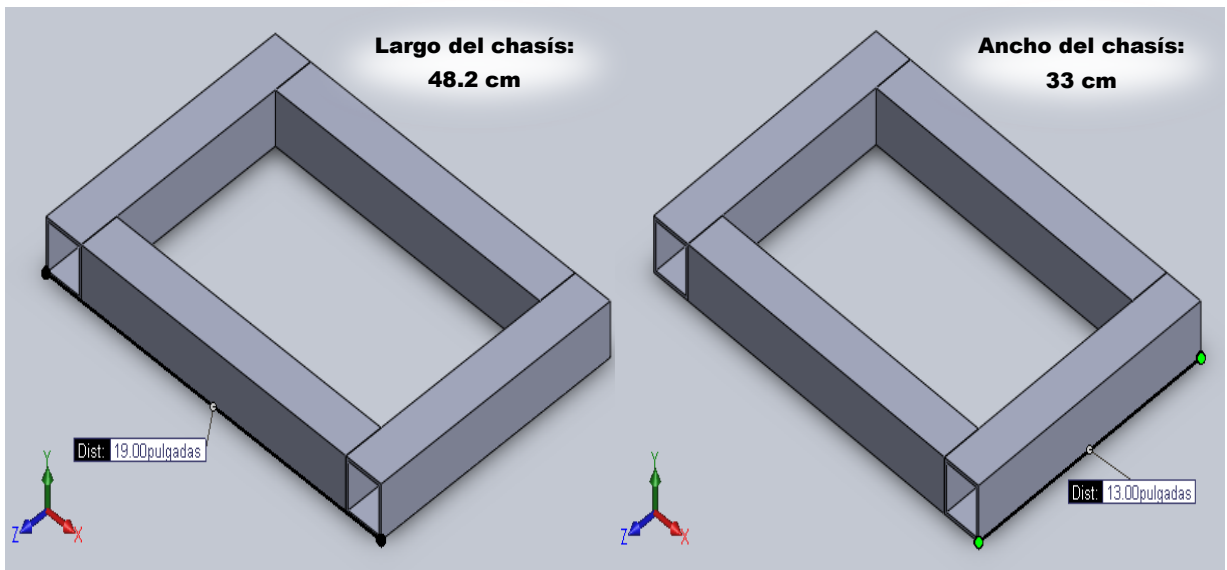
De acuerdo al diseño propuesto anteriormente (Capítulo III) se procedió a analizar por medio del *MEF* una simplificación de la estructura del proyecto (Figura IV.1).





**Figura IV.1.-** Estructura del proyecto y estructura simplificada para su análisis en MEF

Para el respectivo análisis se tomaron en cuenta solo las dimensiones del cuadro principal, que es la base del vehículo (Figura IV.2.) y que se encuentra formado por la unión de cuatro piezas soldadas de perfil *PTR* de acero *ASTM A-36*. Dos secciones de perfil estructural *PTR* de 381 mm (15") para el largo y dos de 330.2 mm (13") para el ancho forman el cuadro base.



**Figura IV.2.-** Dimensiones finales de la base analizada (Largo = 48.2 cm, Ancho = 33 cm)

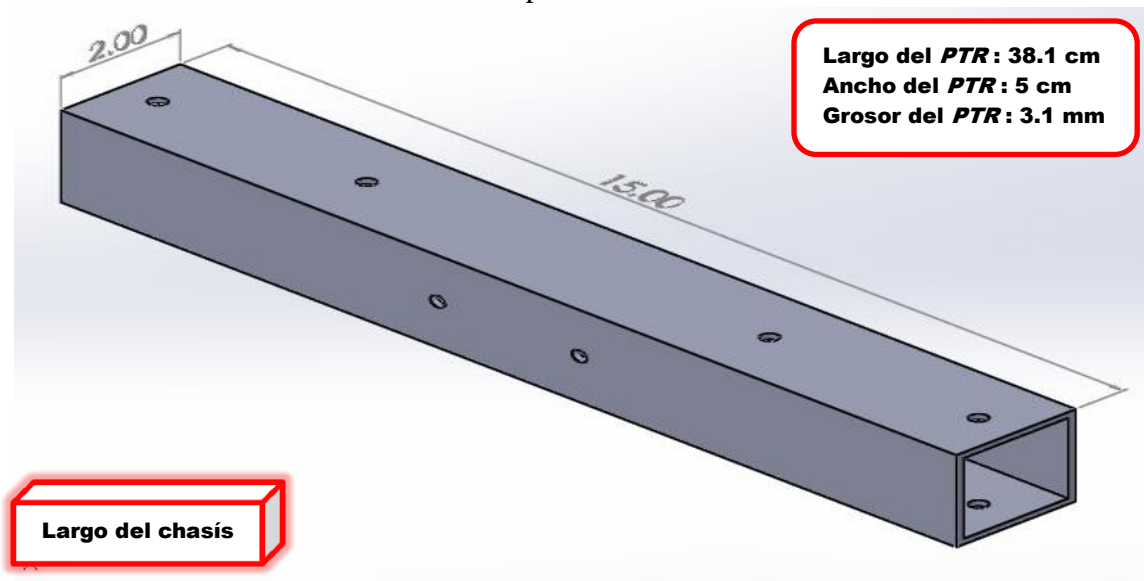
Se establece un análisis isotrópico, elástico y lineal, en donde en la Tabla IV.1 se muestran todos los datos considerados para este análisis.

**Tabla IV.1.- Propiedades del Acero ASTM A-36**

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	$200 \times 10^9$	N/m <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	0.26	--
Módulo cortante	$7.93 \times 10^{10}$	N/m <sup>2</sup>
Densidad	7850	km/m <sup>3</sup>
Tensión de rotura	$400 \times 10^6$	N/m <sup>2</sup>
Límite de compresión en X	--	N/m <sup>2</sup>
Límite elástico	$250 \times 10^6$	N/m <sup>2</sup>

#### IV.3.2.- Descripción del análisis para el largo del chasis

Se toma en cuenta para este análisis la sección de perfil *PTR* de 381 mm (15"), que conforma el largo del chasis (Figura IV.3). Se desprecia el peso de la soldadura y se incluye además en el modelo, los barrenos pasantes elaborados con el fin de sujetar los distintos tipos de componentes mecánicos a la base (en este caso chumaceras), consecuentes con el diseño mecánico elaborado anteriormente en el Capítulo III.



**Figura IV.3.-** Sección de perfil *PTR* de 381 mm (15")

#### IV.3.2.1.- Propiedades del análisis para el largo del chasis

Para el análisis en 3-D también se consideran datos como; Centro de masa (milímetros),  $X = 25.40$ ,  $Y = 25.40$ ,  $Z = 190.50$ . Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia (gramos x milímetros cuadrados). Medido desde el centro de masa:

$$I_x = (0.00, 0.00, 1.00) \quad P_x = 174311.88$$

$$I_y = (1.00, 0.00, 0.00) \quad P_y = 2859065.43$$

$$I_z = (0.00, 1.00, 0.00) \quad P_z = 2859292.81$$

Momentos de inercia (gramos x milímetros cuadrados). Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.

$$L_{xx} = 2859065.43 \quad L_{xy} = 0.00 \quad L_{xz} = 0.00$$

$$L_{yx} = 0.00 \quad L_{yy} = 2859292.81 \quad L_{yz} = 0.00$$

$$L_{zx} = 0.00 \quad L_{zy} = 0.00 \quad L_{zz} = 174311.88$$

Momentos de inercia (gramos x milímetros cuadrados). Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

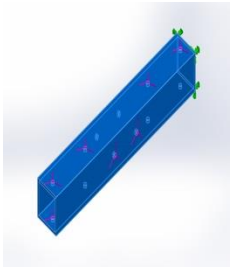
$$I_{xx} = 11326009.18 \quad I_{xy} = 147894.21 \quad I_{xz} = 1109206.61$$

$$I_{yx} = 147894.21 \quad I_{yy} = 11326236.57 \quad I_{yz} = 1109206.61$$

$$I_{zx} = 1109206.61 \quad I_{zy} = 1109206.61 \quad I_{zz} = 470100.30$$

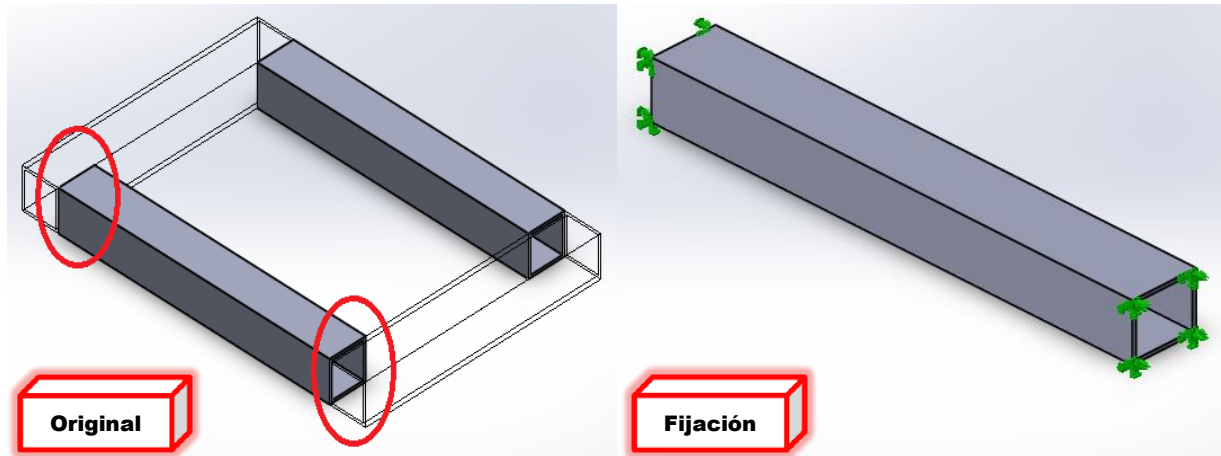
Las propiedades del análisis efectuado se muestran a continuación en la Tabla IV.2.

**Tabla IV.2.-** Propiedades del análisis para el largo de la estructura

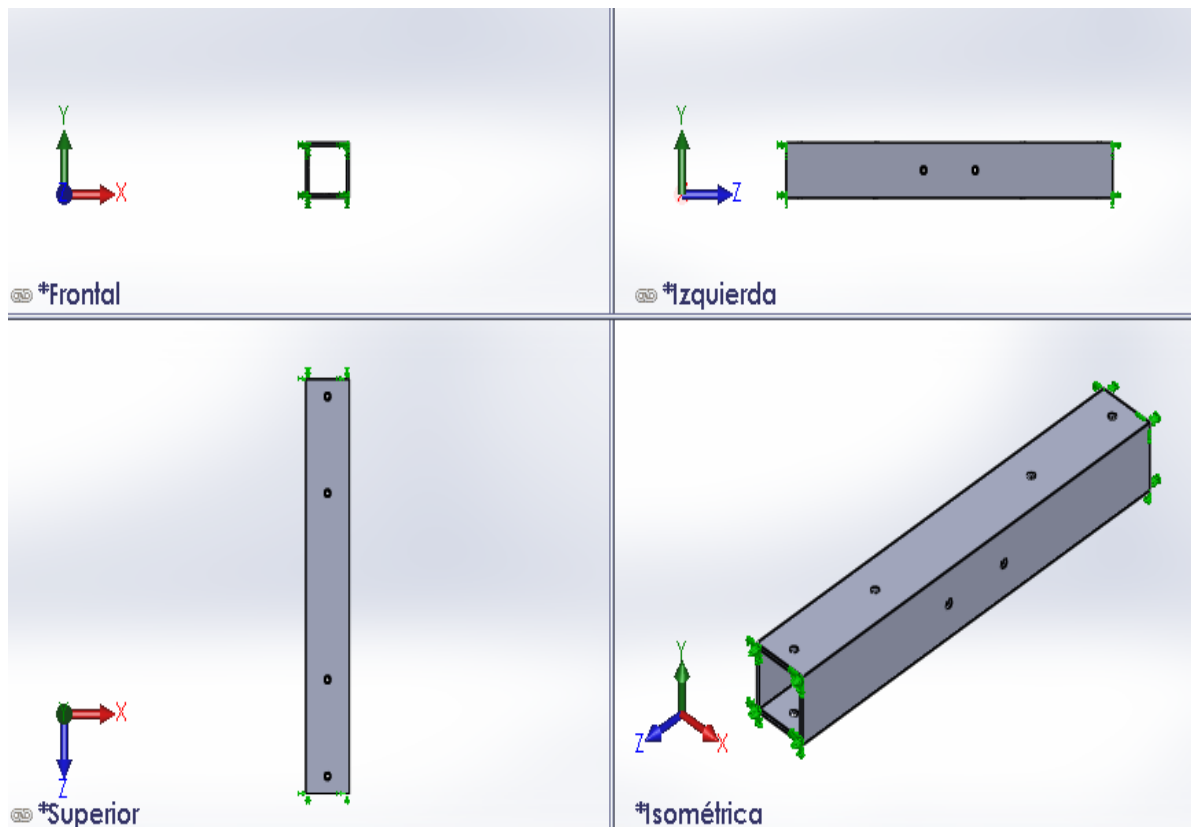
Modelo	Propiedades	Componente
	Material: Acero <i>ASTM A-36</i> Tipo de modelo: Isotrópico, elástico y lineal Criterio de error predeterminado: Tensión máxima de von Mises Límite elástico: 250 N/mm <sup>2</sup> Tensión de rotura: 400 N/mm <sup>2</sup>	Perfil <i>PTR</i> de 381 mm (Largo de la estructura)

### IV.3.2.2.- Fijación del largo del chasis

Para el análisis por el método del elemento finito del largo del chasis, se procedió a tomar una sección que forma el largo de la base y fijarla por los extremos. Tal y como se muestra en la Figura IV.4. Se puede distinguir la fijación de la pieza ya barrenada desde sus distintas perspectivas en la Figura IV.5.



**Figura IV.4.-** Fijación por los extremos de la sección *PTR* que conforma el largo del chasis



**Figura IV.5.-** Diversas vistas sobre la fijación del perfil usado para formar el largo del chasis

### IV.3.2.3.- Aplicación de la carga en el largo del chasis

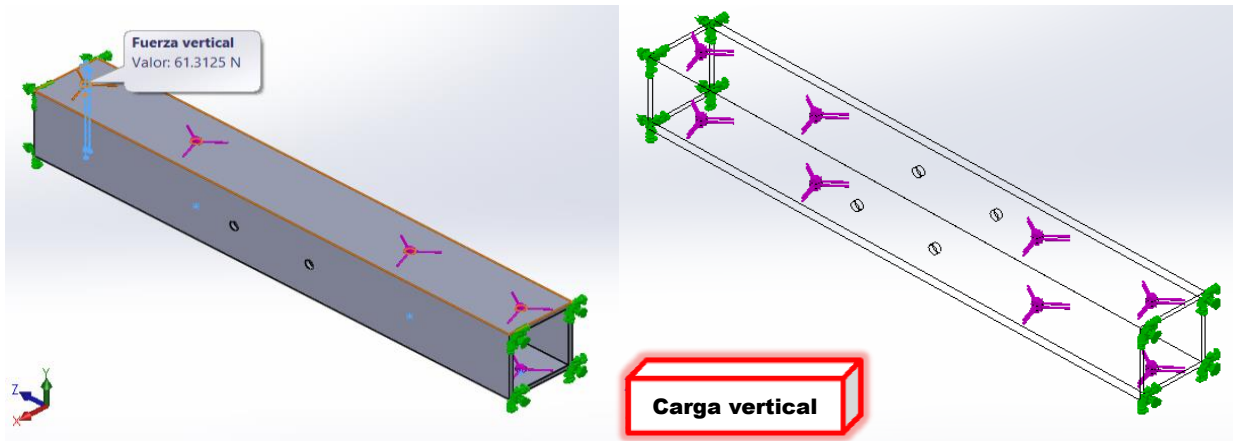
Se plantea una masa del vehículo;  $m < 101 \text{ kg}$ , como la masa está repartida en 2 ejes (4 llantas);  $\frac{m}{4} = \frac{100 \text{ kg}}{4} = 25 \text{ kg}$ . Se tiene 25 kg en cada llanta. Estos 25 kg se dividen entre los cuatro barrenos pasantes;  $m = \frac{25}{4} = 6.25 \text{ kg}$ , Aplicando ahora la segunda ley de Newton:

$$F = m * a \quad \text{IV.1}$$

$$F = (6.25 \text{ kg}) * (9.81 \text{ m/s}^2)$$

$$F = 61.3125 \text{ N}$$

Por lo tanto cargamos el material con una fuerza vertical de 61.3125 N tal y como se muestra en la Figura IV.6.

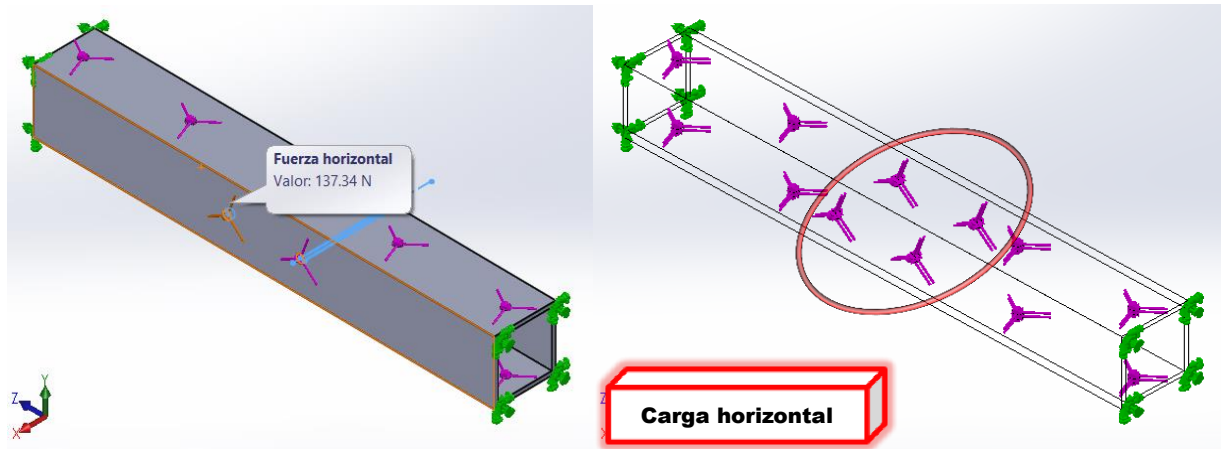


**Figura IV.6.-** Aplicación de la fuerza vertical de 61.3125 N al perfil PTR de 381 mm

Sin embargo la pieza también recibe fuerza horizontal, teniendo una masa de  $m = 112 \text{ kg}$ , como la masa está repartida en 2 secciones que forman el largo del chasis  $\frac{m}{2} = \frac{112 \text{ kg}}{2} = 56 \text{ kg}$ . Se tiene 56 kg en cada una de las dos secciones. Estos 56 kg se dividen entre los cuatro barrenos pasantes  $m = \frac{56}{4} = 14 \text{ kg}$ . Aplicando ahora la segunda ley de Newton:

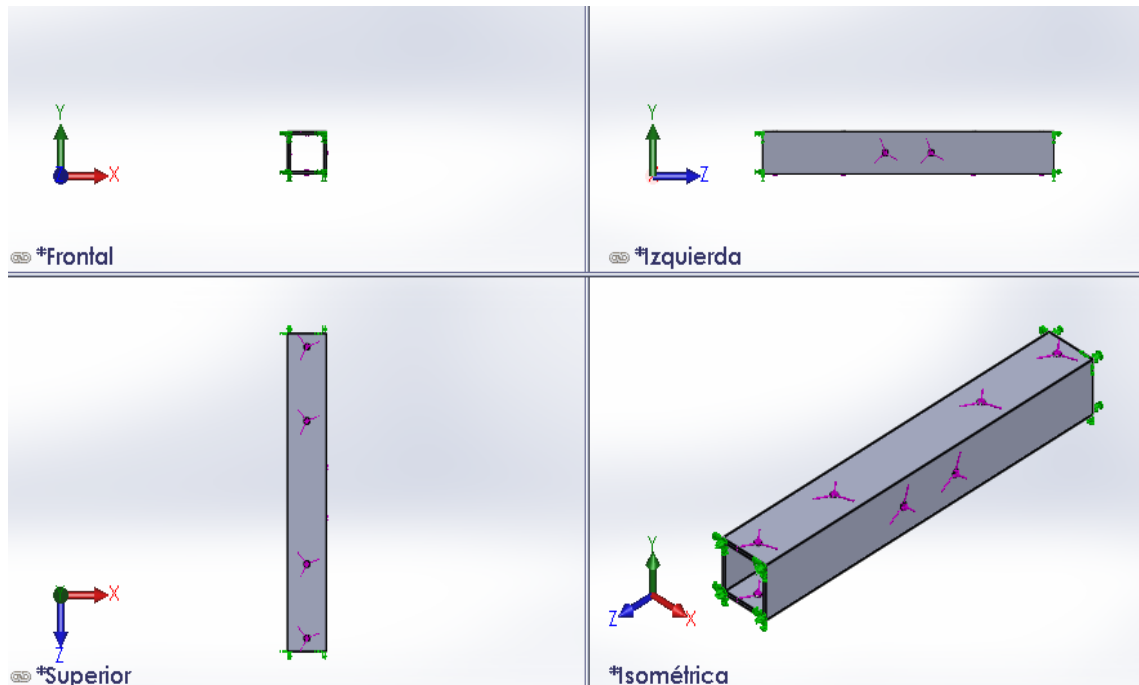
$$F = (14 \text{ kg}) * (9.81 \text{ m/s}^2) = 137.34 \text{ N}$$

Por lo tanto se carga el material con una fuerza horizontal de 137.34 N (Figura IV.7).



**Figura IV.7.-** Aplicación de la fuerza horizontal de 137.34 N al perfil *PTR* de 381 mm

Se puede observar la aplicación de la fuerza en la pieza mecánica, desde sus distintas perspectivas (Figura IV.8).



**Figura IV.8.-** Diversas vistas sobre la fijación y carga del perfil para formar el largo del chasis

#### IV.3.2.4.- Discretización del modelo para el largo del chasis

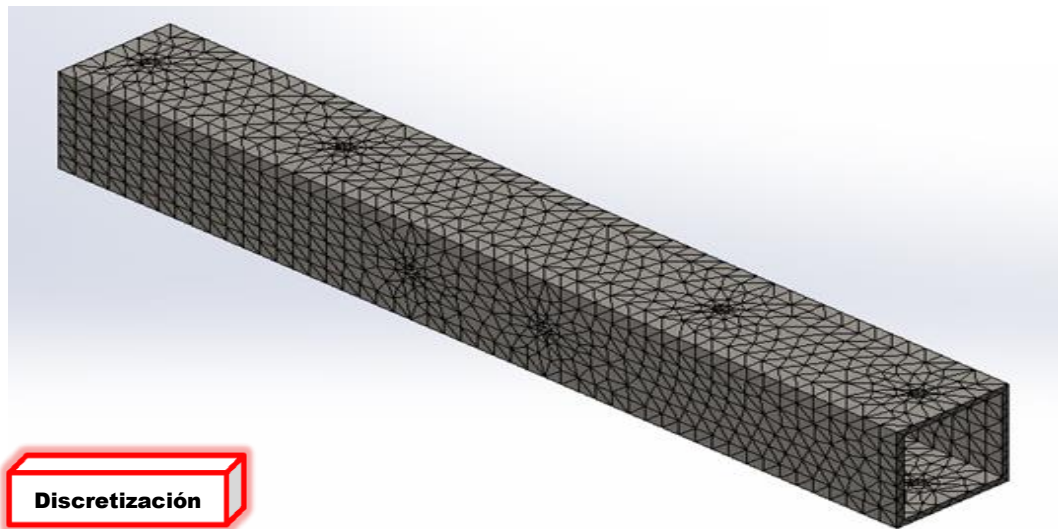
Se procedió al discretizado de la pieza con las características que aparecen en la Tabla IV.3. Mientras los detalles de malla se muestran en la Tabla IV.4. El resultado es un discretizado con elementos cuadráticos de alto orden (Figura IV.9).

**Tabla IV.3.-** Características de la malla utilizada en el análisis del largo del chasis

<b>Características del discretizado</b>	
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla estándar
Puntos Jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	7.6516738 mm
Tolerancia	0.38258496 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

**Tabla IV.4.-** Detalles de la malla utilizada en el análisis del largo del chasis

<b>Detalles del discretizado</b>	
Número total de nodos	17868
Número total de elementos	8784
Cociente máximo de aspecto	6.7319
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	96.8

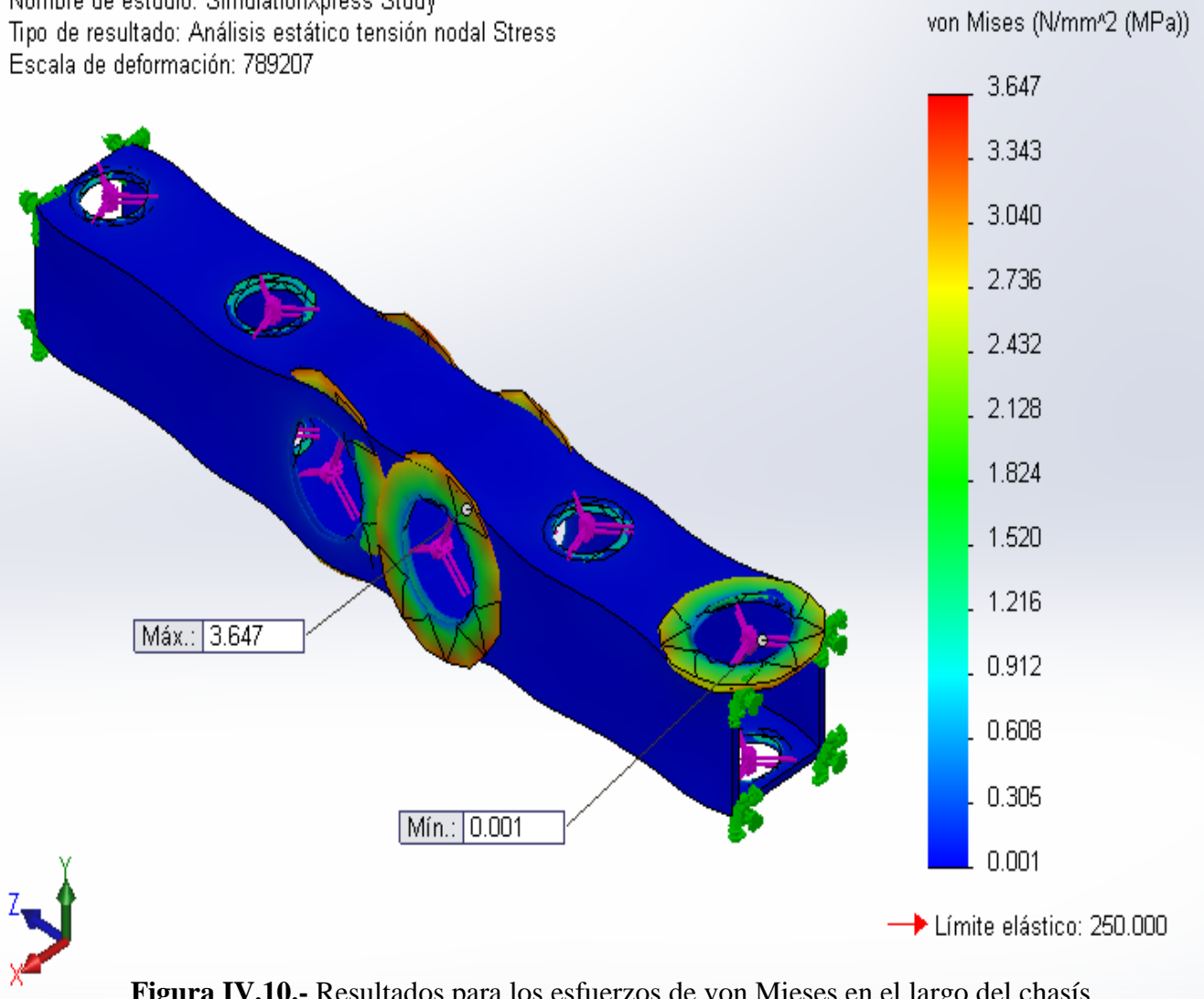
**Figura IV.9.-** Discretizado en el perfil que conforma el largo del chasis



#### IV.3.2.5.- Resultados para los esfuerzos de von Mises en el largo del chasis

El análisis estático del esfuerzo a tensión nodal va de un mínimo de 0.000686823 N/mm<sup>2</sup> (MPa) en el nodo 14661 a un máximo de 3.64726 N/mm<sup>2</sup> (MPa) en el nodo 17641. Para una escala de deformación de 789 207 (Figura IV.10).

Nombre de modelo: Análisis elemento finito CHASÍS (Largo)  
 Nombre de estudio: SimulationXpress Study  
 Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Stress  
 Escala de deformación: 789207

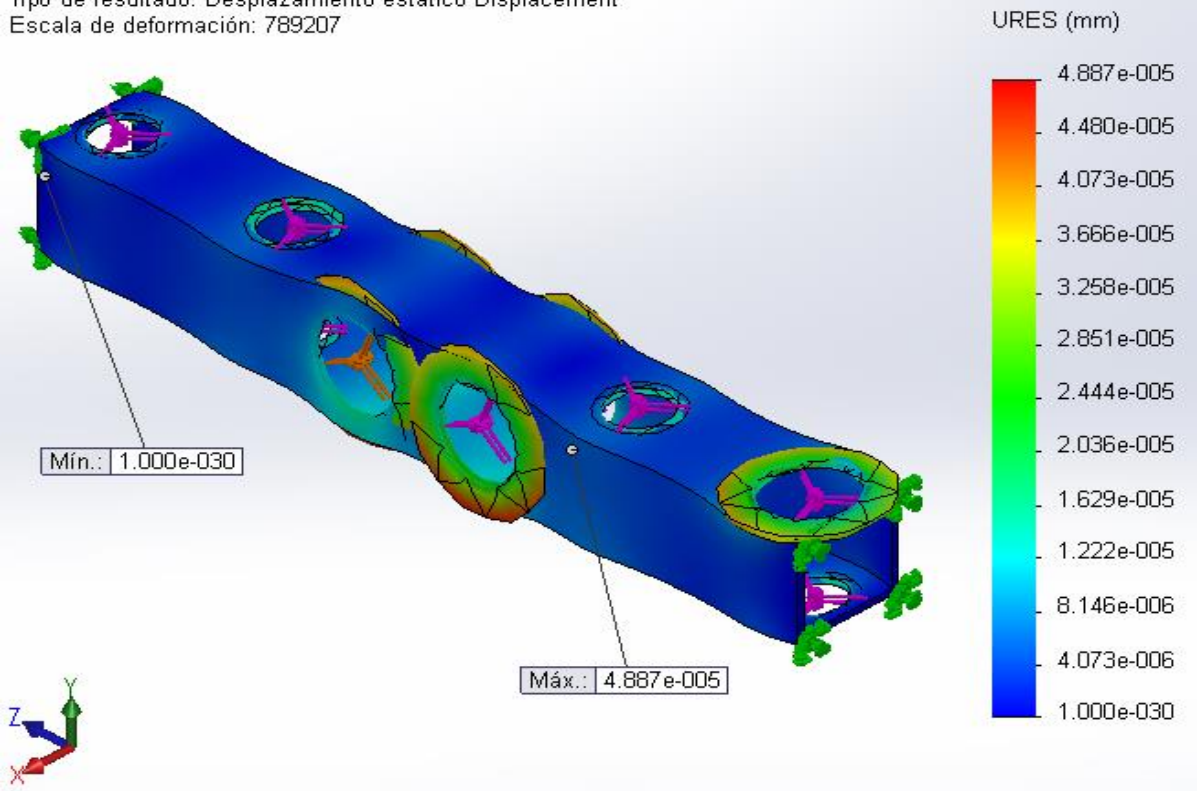


**Figura IV.10.-** Resultados para los esfuerzos de von Mises en el largo del chasis

#### IV.3.2.6.- Resultados para el desplazamiento en el largo del chasis

El desplazamiento resultante en el eje se origina de un punto mínimo en el nodo 169 (partiendo desde cero) hasta un punto máximo en el nodo 17856 (a los  $4.88738 \times 10^{-5}$  milímetros) (Figura IV.11). Finalmente en la Figura IV.12 se aprecia la deformación que sufre el elemento.

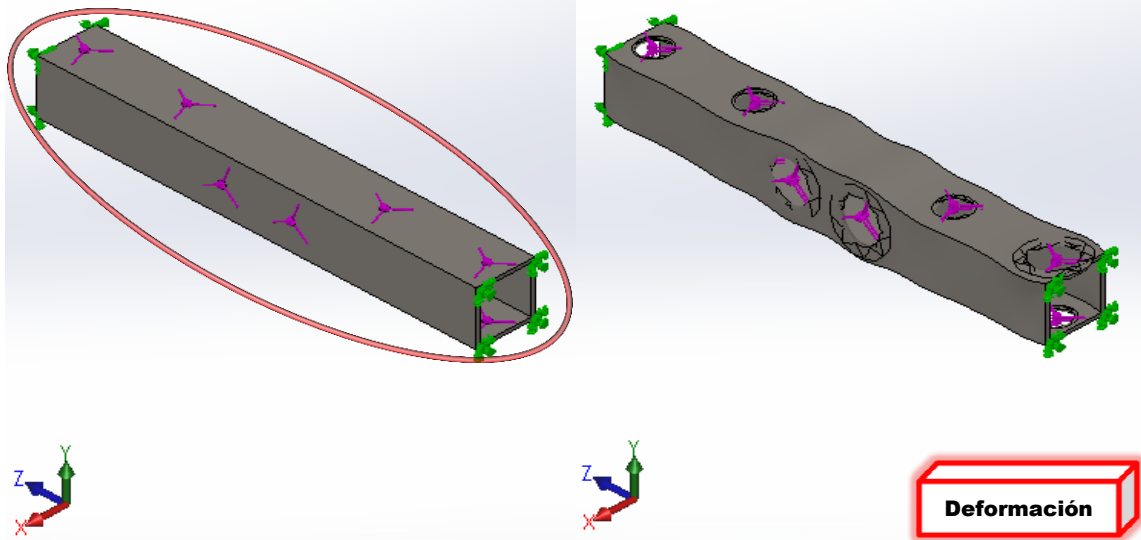
Nombre de modelo: Análisis elemento finito CHASÍS (Largo)  
 Nombre de estudio: SimulationXpress Study  
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Displacement  
 Escala de deformación: 789207



**Figura IV.11.-** Desplazamiento resultante en el perfil que conforma el largo del chasis

Nombre de modelo: Análisis elemento finito CHASÍS (Largo)  
 Nombre de estudio: SimulationXpress Study  
 Tipo de resultado: Forma deformada Deformation  
 Escala de deformación: 789207

Nombre de modelo: Análisis elemento finito CHASÍS (Largo)  
 Nombre de estudio: SimulationXpress Study  
 Tipo de resultado: Forma deformada Deformation  
 Escala de deformación: 789207



**Figura IV.12.-** Deformación resultante en el perfil que conforma el largo del chasis

### IV.3.3.- Descripción del análisis para el ancho del chasis

Las especificaciones de la sollicitación anterior son muy similares para este nuevo análisis (Figura IV.13).

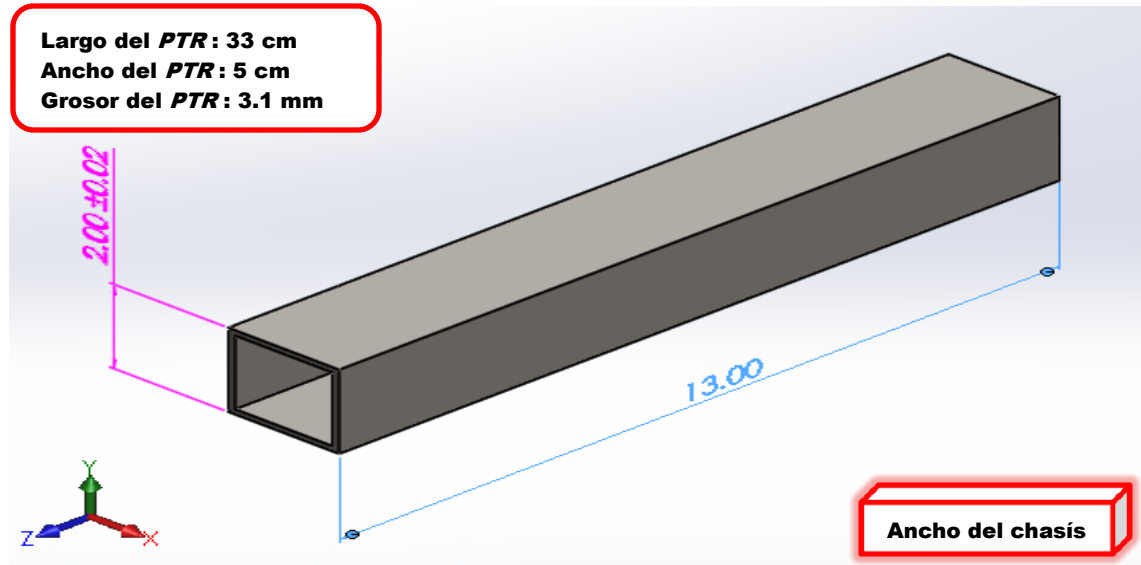


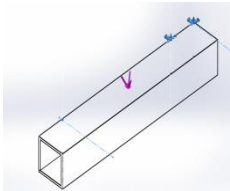
Figura IV.13.- Sección de perfil PTR de 330.2 mm (13'')

Sin embargo, al ser ahora un elemento de menor longitud existen cambios en algunos valores, entre los que se encuentran; masa 1.5677 kg, volumen 0.000199707 m<sup>3</sup>, densidad 7850 kg/m<sup>3</sup>, peso 15.3635 N.

#### IV.3.3.1.- Propiedades del análisis para el ancho del chasis

Las propiedades del análisis realizado en el ancho del chasis se muestran en la Tabla IV.5.

Tabla IV.5.- Propiedades del análisis para el ancho del chasis

Referencia de modelo	Propiedades	Componente
	Material: Acero <i>ASTM A-36</i>  Tipo de modelo: Isotrópico, elástico y lineal  Criterio de error predeterminado: Tensión máxima de von Mises	Perfil PTR de 330.2 mm  (Ancho de la estructura)

	Límite elástico:	250 N/mm <sup>2</sup>	
	Tensión de rotura:	400 N/mm <sup>2</sup>	

#### IV.3.3.2.- Fijación del ancho del chasis

Para el análisis del ancho del chasis se procedió a tomar una sección que forma el ancho de la base y se realizó la sujeción justo donde el elemento va soldado por los extremos (Figura IV.14). Se puede distinguir la fijación de la pieza desde sus diferentes perspectivas en la Figura IV.15.

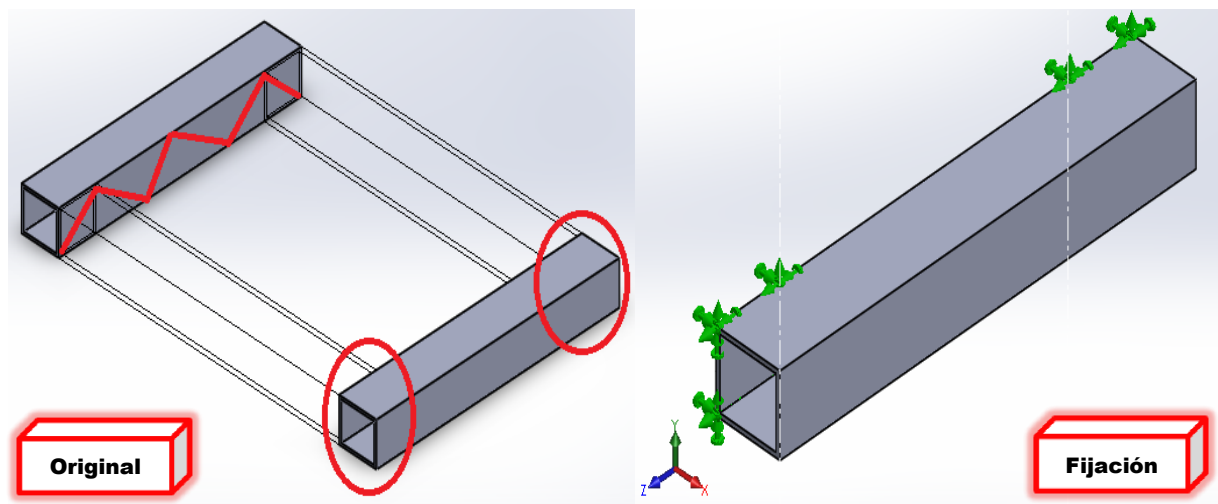


Figura IV.14.- Fijación del perfil *PTR* de 330.2 mm (13'')

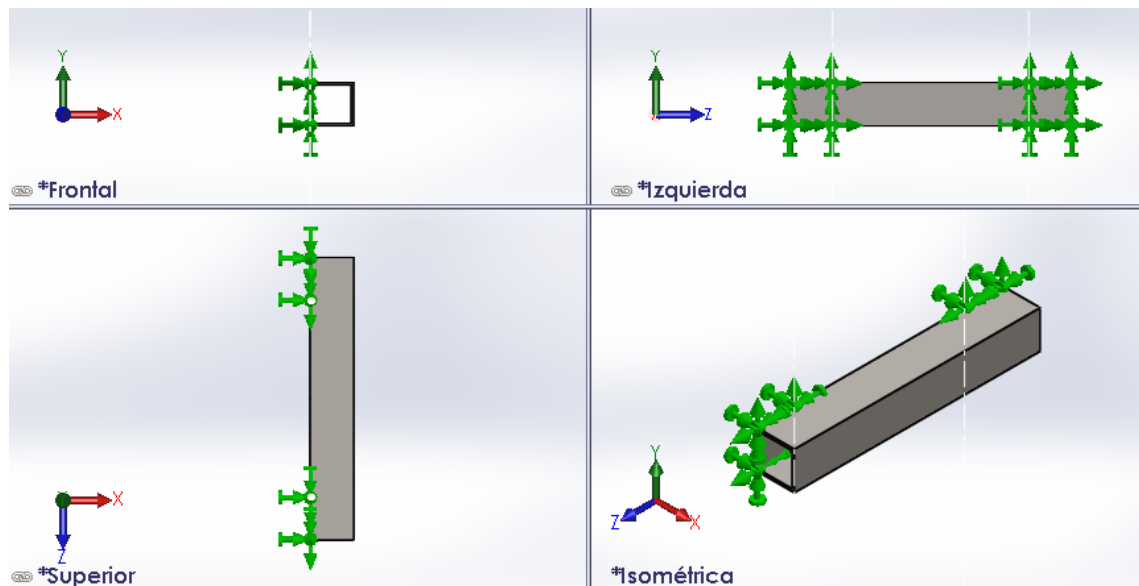
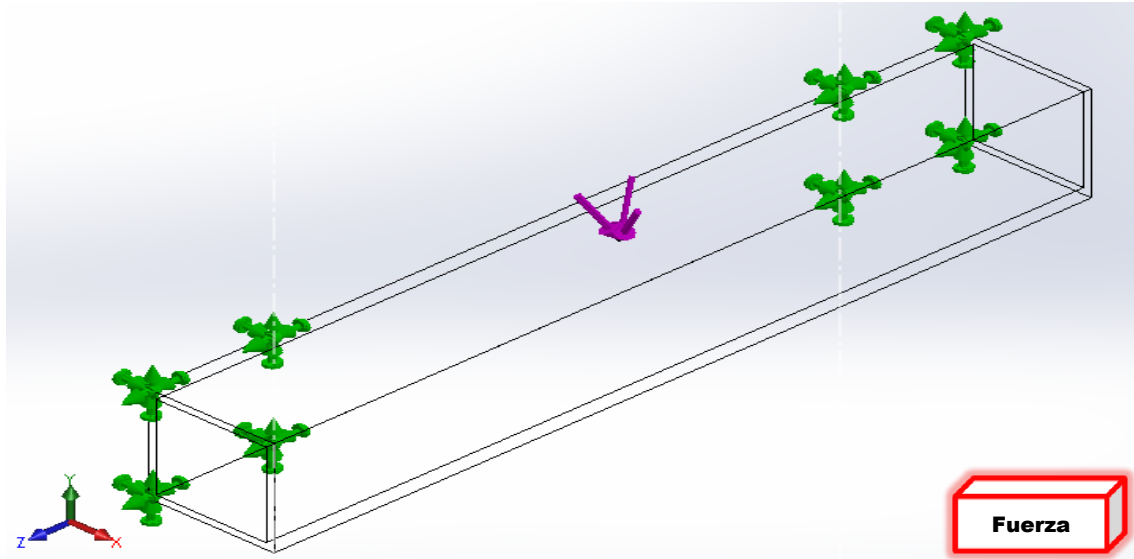


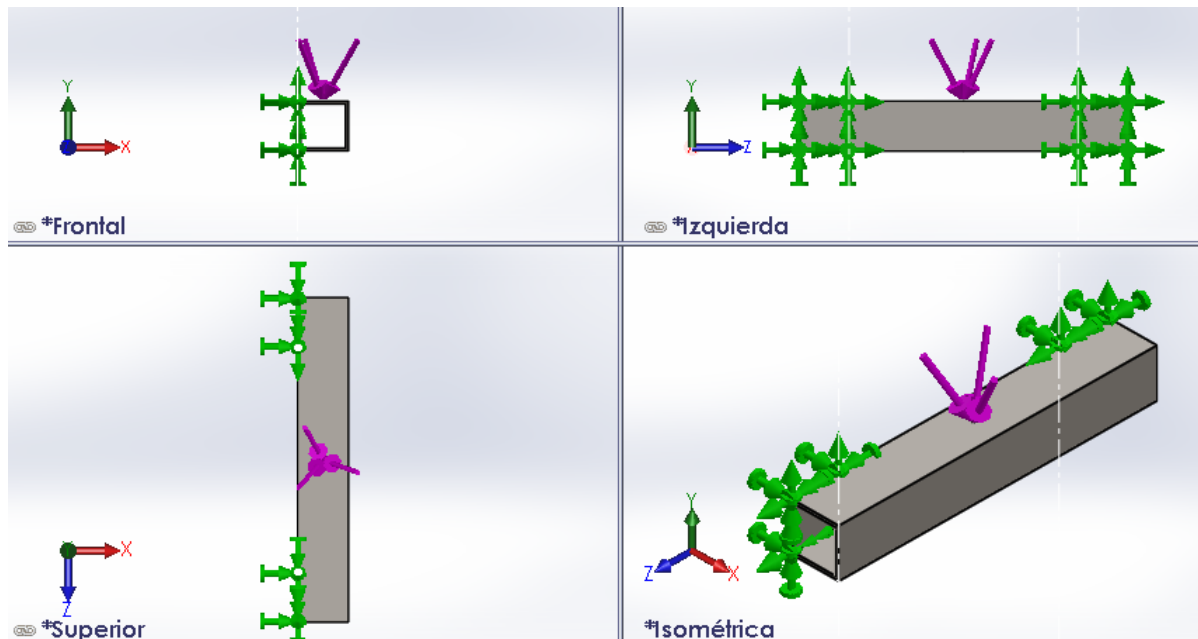
Figura IV.15.- Diversa vistas sobre la fijación del perfil usado para formar el ancho del chasis

### IV.3.3.3.- Aplicación de la carga en el ancho del chasis

Con la finalidad de comprobar si el componente mecánico resistirá las exigencias a las que será sometido, se procedió a cargar el perfil *PTR* con una fuerza vertical de 981 N (misma que en la sollicitación anterior). La fuerza es aplicada justo en el centro de la pieza, pues es aquí donde teóricamente se presenta el mayor campo de esfuerzos (Figura IV.16). Se puede observar la aplicación de la fuerza en la pieza mecánica, desde sus distintas perspectivas. Ver Figura IV.17.



**Figura IV.16.-** Aplicación de la fuerza vertical en el centro del perfil *PTR* de 330.2 mm



**Figura IV.17.-** Diversa vistas sobre fijación y carga del perfil para formar el ancho del chasis

#### IV.3.3.4.- Discretización del modelo para el ancho del chasis

El tipo de malla es distinto que el empleado en la solicitud anterior, los parámetros que cambian se observan en la Tabla IV.6 y Tabla IV.7.

**Tabla IV.6.-** Características de la discretización utilizada en el análisis del ancho del chasis

<b>Características de la discretización</b>	
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura
Puntos Jacobianos	4 Puntos
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

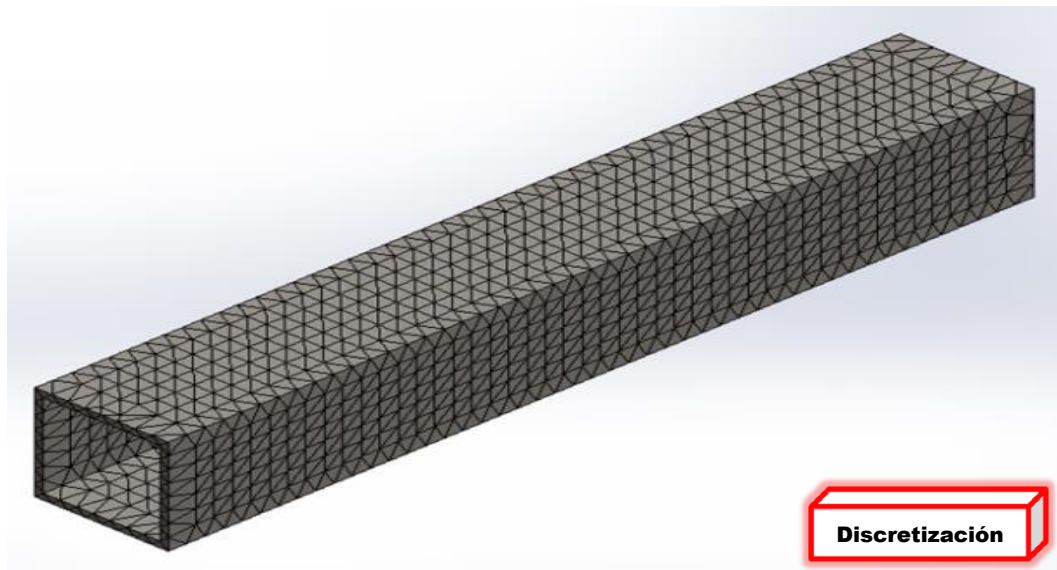
**Tabla IV.7.-** Detalles de la malla implementada en el análisis para el ancho del chasis

<b>Detalles de la discretización</b>	
Número total de nodos	79714
Número total de elementos	44736
Cociente máximo de aspecto	411.11
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	97.1
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0.248

El resultado de la discretización con elementos cuadráticos de alto orden se puede apreciar en la Figura IV.18.

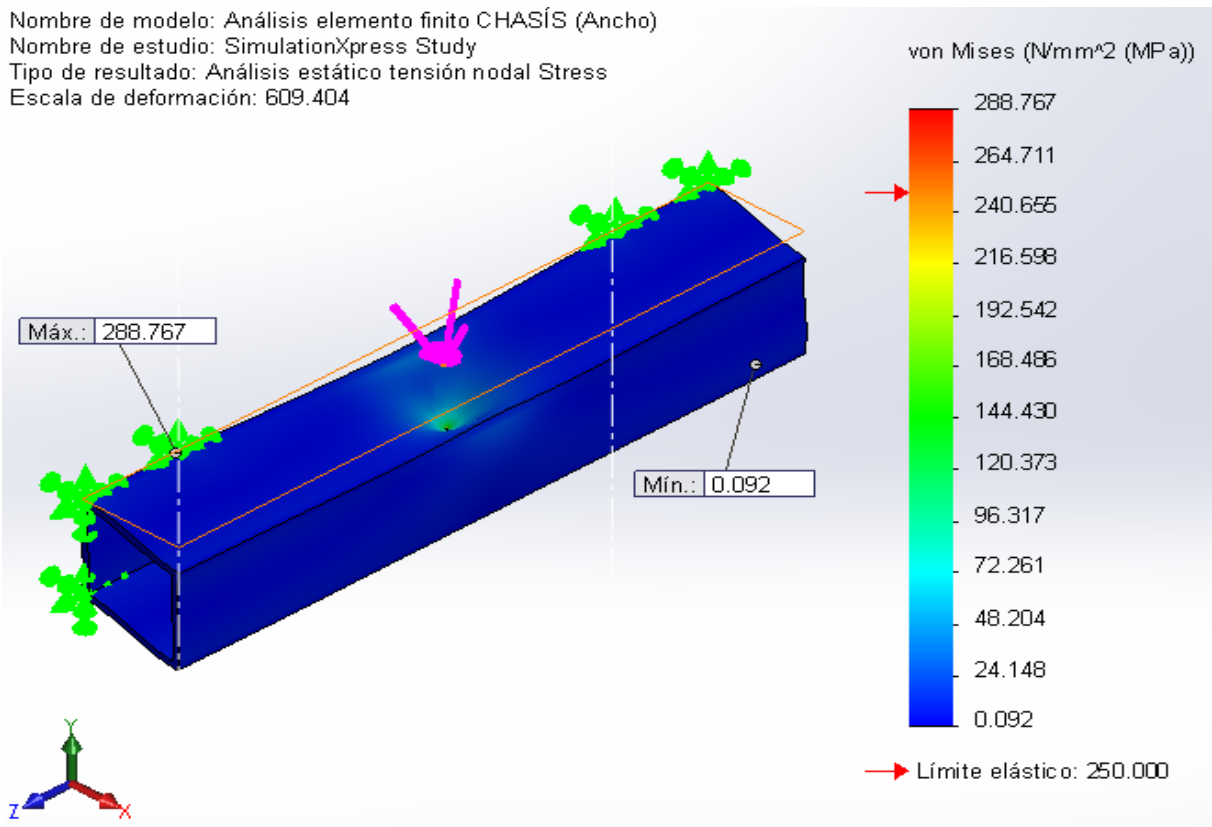
#### IV.3.3.5.- Resultados para los esfuerzos de von Mises en el ancho del chasis

El análisis estático del esfuerzo a tensión nodal va de un mínimo de 0.0916485 N/mm<sup>2</sup> en el nodo 58414 a un máximo de 288.767 N/mm<sup>2</sup> en el nodo 16859. Para una escala de deformación de 609.404 (Figura IV.19).



**Figura IV.18.-** Discretización de la pieza que conforma el ancho del chasis

Nombre de modelo: Análisis elemento finito CHASÍS (Ancho)  
 Nombre de estudio: SimulationXpress Study  
 Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Stress  
 Escala de deformación: 609.404



**Figura IV.19.-** Resultados para los esfuerzos de von Mises en el ancho del chasis

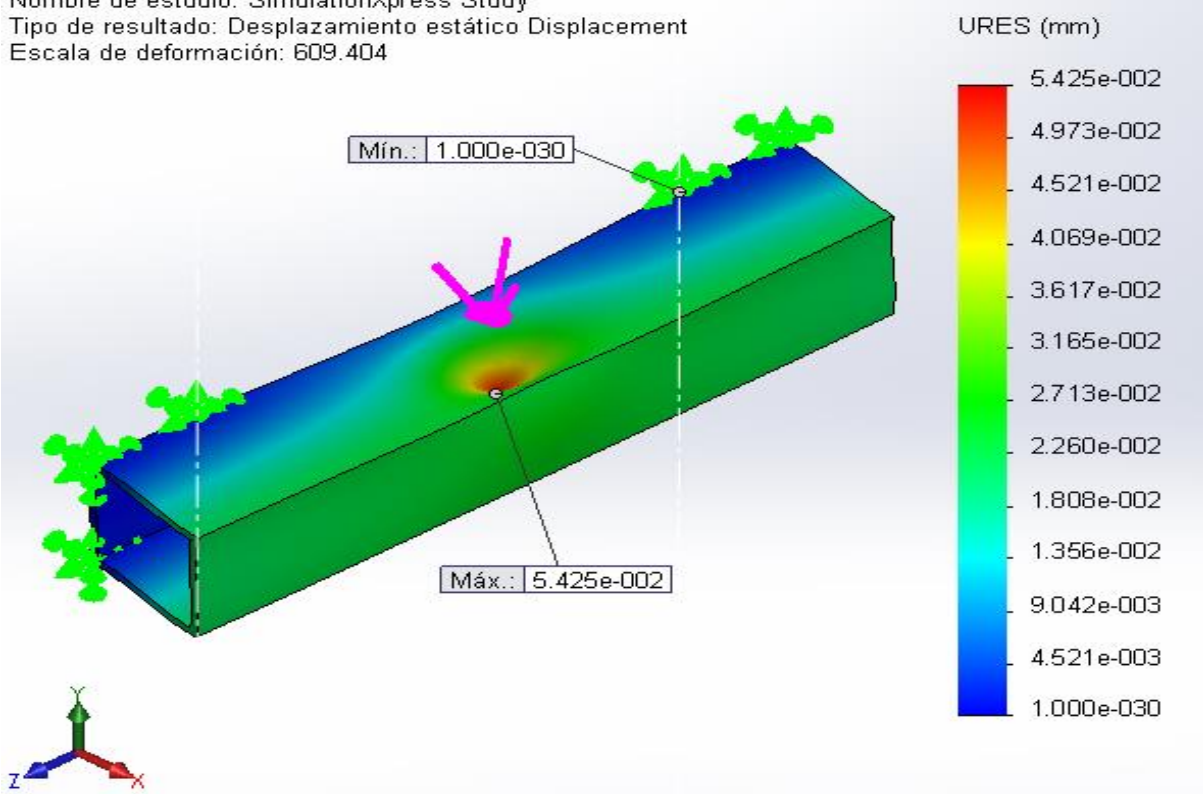
#### IV.3.3.6.- Resultados para el desplazamiento en el ancho del chasis

El desplazamiento resultante se origina de un punto mínimo en el nodo 16 (partiendo desde cero) hasta un punto máximo en el nodo 79632 (a los 0.0542508 milímetros) (Figura IV.20).



Finalmente en la Figura IV.21 se puede apreciar la deformación que sufre la pieza, observada desde la vista frontal.

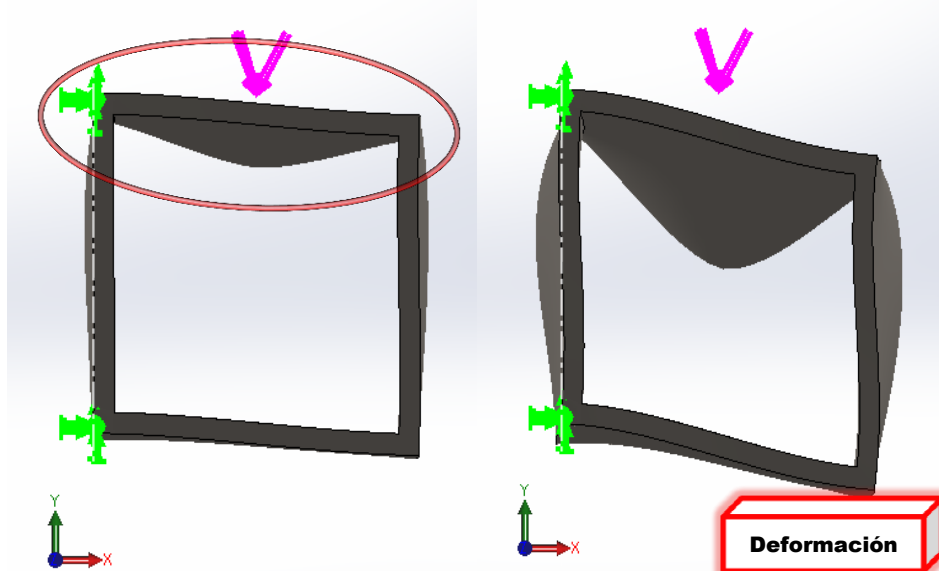
Nombre de modelo: Análisis elemento finito CHASÍS (Ancho)  
 Nombre de estudio: SimulationXpress Study  
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Displacement  
 Escala de deformación: 609.404



**Figura IV.20.-** Desplazamiento resultante en el perfil que conforma el ancho del chasis

Nombre de modelo: Análisis elemento finito CHASÍS (Ancho)  
 Nombre de estudio: SimulationXpress Study  
 Tipo de resultado: Forma deformada Deformation  
 Escala de deformación: 609.404

Nombre de modelo: Análisis elemento finito CHASÍS (Ancho)  
 Nombre de estudio: SimulationXpress Study  
 Tipo de resultado: Forma deformada Deformation  
 Escala de deformación: 609.404

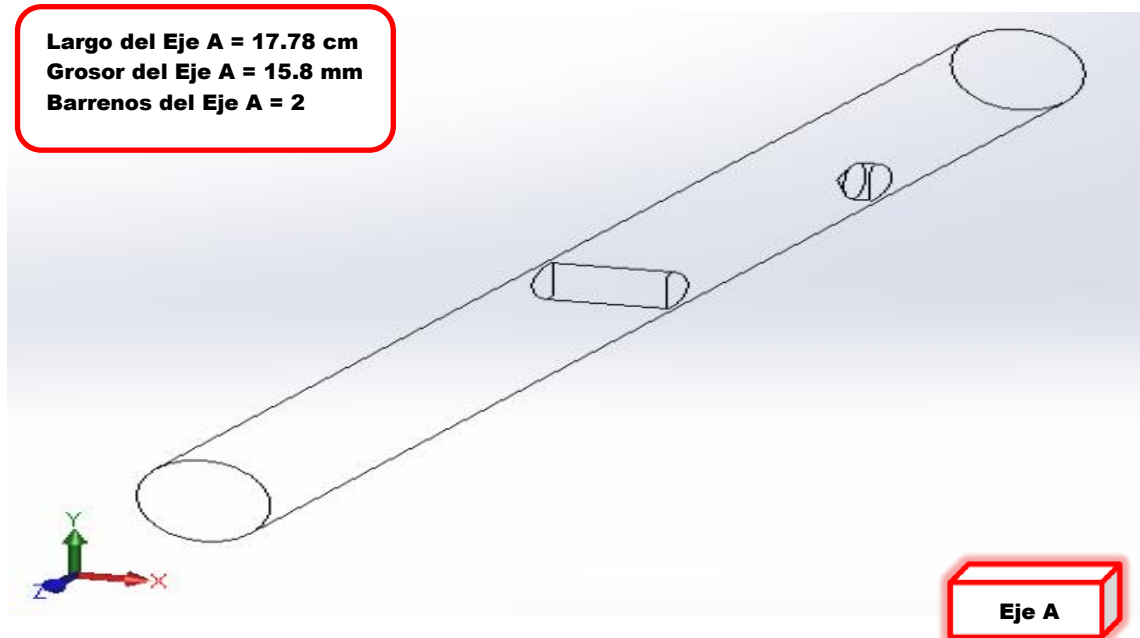


**Figura IV.21.-** Vista frontal de la deformación resultante en el ancho del chasis

#### IV.4.- Análisis numérico de ejes

##### IV.4.1.- Descripción del análisis en el eje central

Se analizó el eje central del vehículo por medio del *MEF* y en la Figura IV.22 se presentan sus dimensiones generales.



**Figura IV.22.-** Condiciones iniciales del eje central

El eje central (eje A) se diseñó en Acero *AISI 1045 cold-rolled*, tiene una longitud de 17.78 cm (7") y un espesor de 15.8 mm (5/8"). Cuenta con un barreno pasante de 6.3 mm (1/4"), y con un barreno ciego también de 6.3 mm (1/4") con penetración de 6.3 mm (1/4"). Las dos perforaciones en la flecha tienen como propósito la sujeción de las piezas mecánicas montadas sobre esta. (Para más información sobre la ubicación y tolerancias exactas de los barrenos en el eje A, consúltese el apéndice Dibujos).

##### IV.4.1.1.- Especificaciones del análisis en el eje central

Para el análisis correspondiente se empleó Acero *AISI 1045* estriado en frío (*cold rolled*), este material se emplea en la elaboración de flechas mecánicas con buena calidad y bajo costo. Todos los ejes del vehículo están manufacturados en este material. La Tabla IV.8 muestra los datos del material considerados en el análisis isotrópico, elástico y lineal del eje.

**Tabla IV.8.-** Propiedades del Acero *AISI 1045*

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Módulo elástico	$2.05 \times 10^{11}$	N/m <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	0.29	--
Módulo cortante	$8 \times 10^{10}$	N/m <sup>2</sup>
Densidad	7850	kg/m <sup>3</sup>
Tensión de rotura	$625 \times 10^6$	N/m <sup>2</sup>
Límite elástico	$530 \times 10^6$	N/m <sup>2</sup>
Coefficiente de expansión térmica	$1.15 \times 10^{-5}$	/K
Conductividad térmica	49.8	W/(m*K)
Calor específico	486	J/(kg*K)

Para el análisis en 3-D también se consideran datos como; centro de masa (milímetros) X = -0.02, Y = -0.00, Z = 89.04. Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia (gramos x milímetros cuadrados). Medido desde el centro de masa:

$$I_x = (0.00, 0.00, 1.00) \quad P_x = 1070.33$$

$$I_y = (-0.00, -1.00, 0.00) \quad P_y = 92178.56$$

$$I_z = (1.00, -0.00, -0.00) \quad P_z = 92192.32$$

Momentos de inercia (gramos x milímetros cuadrados). Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.

$$L_{xx} = 92192.31 \quad L_{xy} = 0.01 \quad L_{xz} = 28.75$$

$$L_{yx} = 0.01 \quad L_{yy} = 92178.56 \quad L_{yz} = 0.01$$

$$L_{zx} = 28.75 \quad L_{zy} = 0.01 \quad L_{zz} = 1070.34$$

Momentos de inercia: (gramos x milímetros cuadrados). Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

$$\begin{array}{lll}
 I_{xx} = 363149.93 & I_{xy} = 0.01 & I_{xz} = -38.95 \\
 I_{yx} = 0.01 & I_{yy} = 363136.20 & I_{yz} = 0.00 \\
 I_{zx} = -38.95 & I_{zy} = 0.00 & I_{zz} = 1070.36
 \end{array}$$

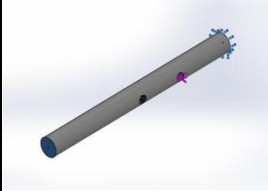
#### IV.4.1.2.- Información adicional del análisis en el eje central

Se toma en cuenta un sólido y se consideran datos del modelo como; masa 0.268305 kg, volumen  $3.4179 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ , densidad  $7850 \text{ kg/m}^3$ , peso 2.62939 N.

#### IV.4.1.3.- Propiedades del análisis en el eje central

Las propiedades del análisis se muestran en la Tabla IV.9.

**Tabla IV.9.-** Propiedades del análisis en el eje central

Referencia	Propiedades	Componente
	Material; <i>AISI 1045</i> , Acero estirado en frío	Barra solida de 15.8 mm (Eje central)
	Tipo de modelo; Isotrópico, elástico y lineal	
	Criterio de error predeterminado: Tensión máxima de von Mises	
	Límite elástico: $530 \text{ N/mm}^2$	
	Tensión de rotura: $625 \text{ N/mm}^2$	

#### IV.4.1.4.- Sujeción y carga del eje central

En el análisis se procedió a fijar el eje central del vehículo por los extremos, simulando su posición inicial. Tal y como se muestra en la Figura IV.23. Se aplicó la fuerza en la zona donde ingresa el movimiento al eje central (proveniente del motor principal). Así como la fuerza de salida (hacia el eje de las llantas delanteras). En la Figura IV.24 se puede apreciar la

aplicación de la fuerza en la flecha. La fuerza está calculada para una masa de 112 kg. Por segunda ley de Newton  $F = (112 \text{ kg}) * (9.81 \text{ m/s}^2)$ , Con lo que resulta una fuerza aplicada en la flecha de  $F = 1098.72 \text{ N}$  (Figura IV.25).

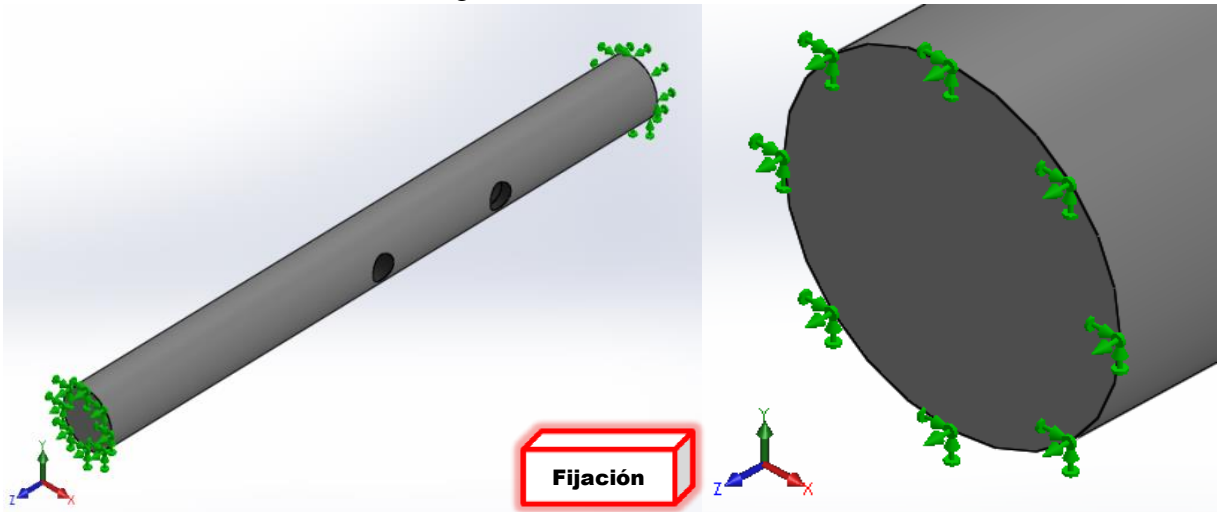


Figura IV.23.- Fijación del eje central

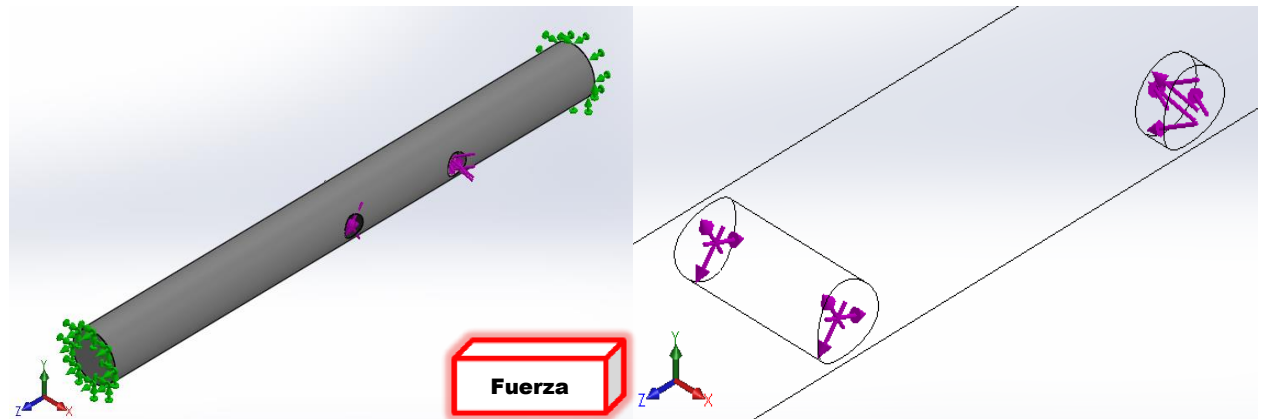


Figura IV.24.- Aplicación de la fuerza en el eje central

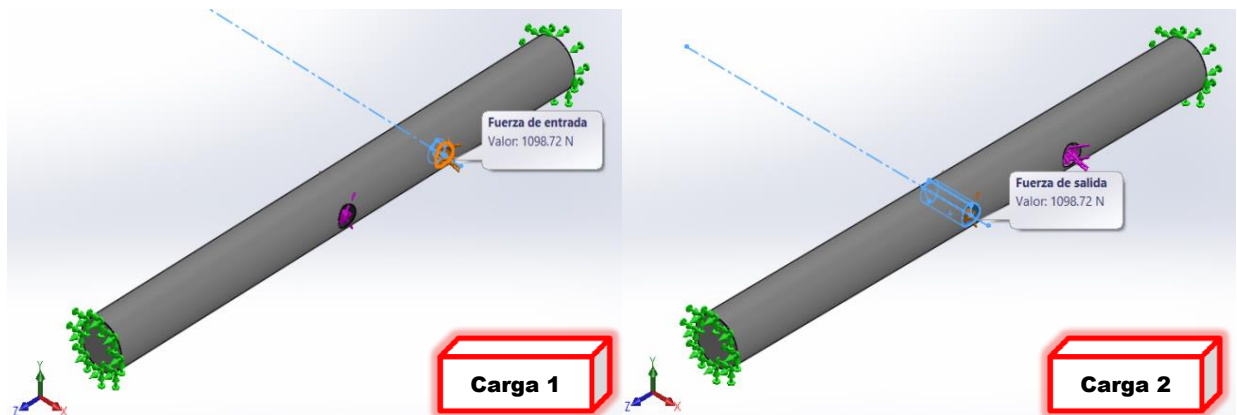
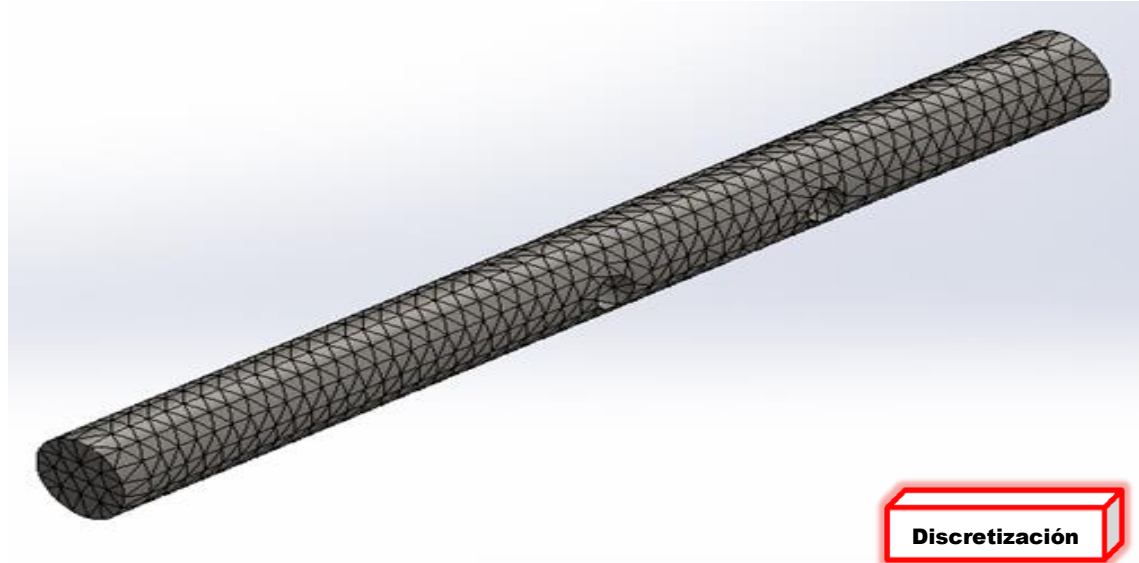


Figura IV.25.- Fuerza de 1098.72 N aplicada en el eje central

#### IV.4.1.5.- Discretizado del eje central

Posteriormente se realizó el discretizado de la flecha analizada (Figura IV.26). La Tabla IV.10 y IV.11 muestran las propiedades del discretizado utilizado para el análisis de la pieza. Así como sus detalles específicos.



**Figura IV.26.-** Discretizado en el eje central

**Tabla IV.10.-** Características de la malla utilizada en el análisis del eje central

<b>Características del discretizado</b>	
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura
Puntos Jacobianos	4 Puntos
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

**Tabla IV.11.-** Detalles específicos de la malla implementada en el análisis del eje central

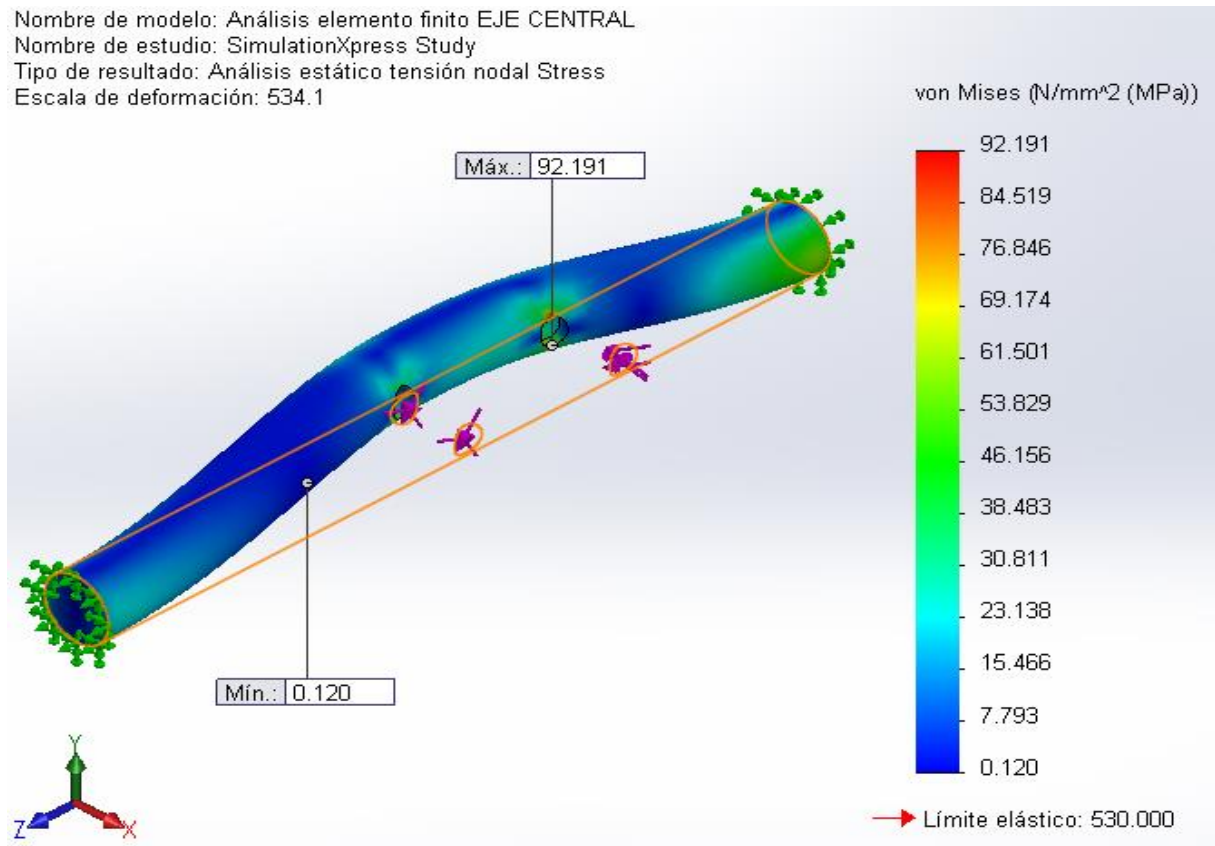
<b>Detalles del discretizado</b>	
Número total de nodos	11115
Número total de elementos	6911

Cociente máximo de aspecto	3.1429
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	100

#### IV.4.1.6.- Resultados para el esfuerzo von Mises en el eje central

El análisis estático de la tensión nodal va de un mínimo de  $0.120418 \text{ N/mm}^2$  (MPa) en el nodo 8991 a un máximo de  $92.1915 \text{ N/mm}^2$  (MPa) en el nodo 10980. Para una escala de deformación de 534.1 (Figura IV.27).

Nombre de modelo: Análisis elemento finito EJE CENTRAL  
 Nombre de estudio: SimulationXpress Study  
 Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Stress  
 Escala de deformación: 534.1

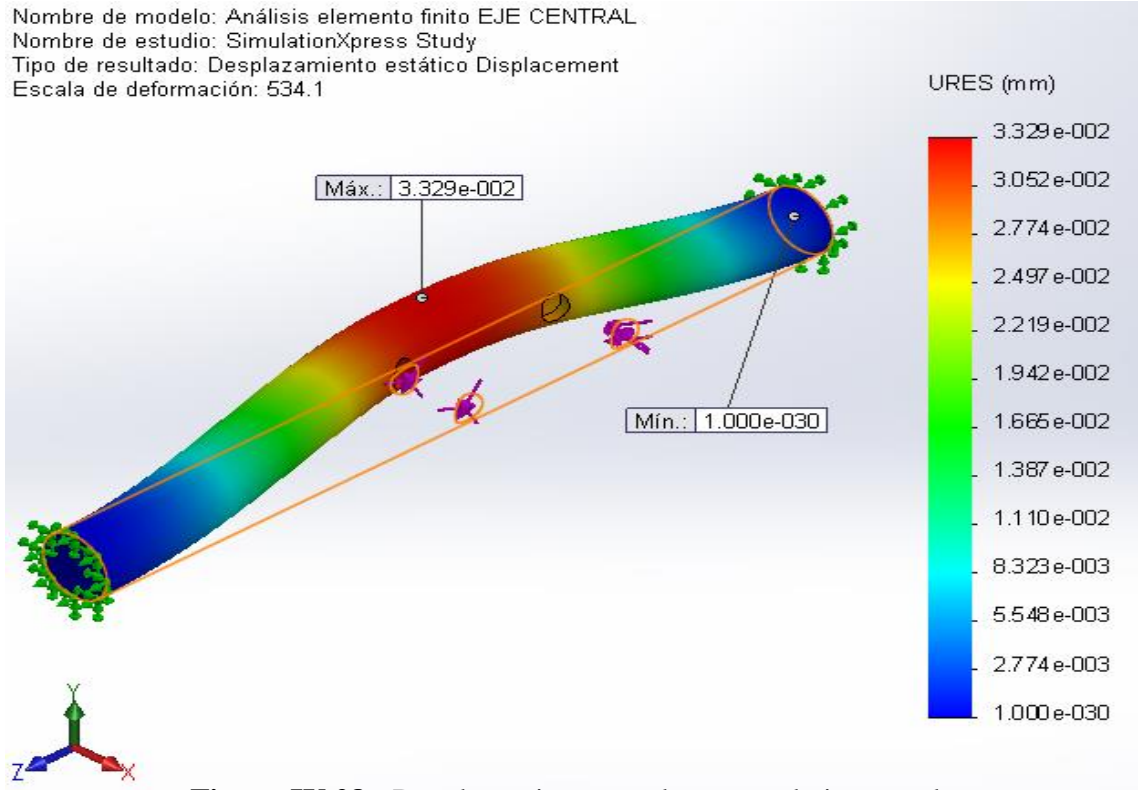


**Figura 1V.27.** Resultados para el esfuerzo von Mises en el eje central

#### IV.4.1.7.- Resultados para el desplazamiento en el eje central

El desplazamiento resultante en el análisis estático se origina de un punto mínimo en el nodo 55 (partiendo desde cero) hasta un punto máximo en el nodo 8020 (a los  $0.0332901$  milímetros) (Figura IV.28).

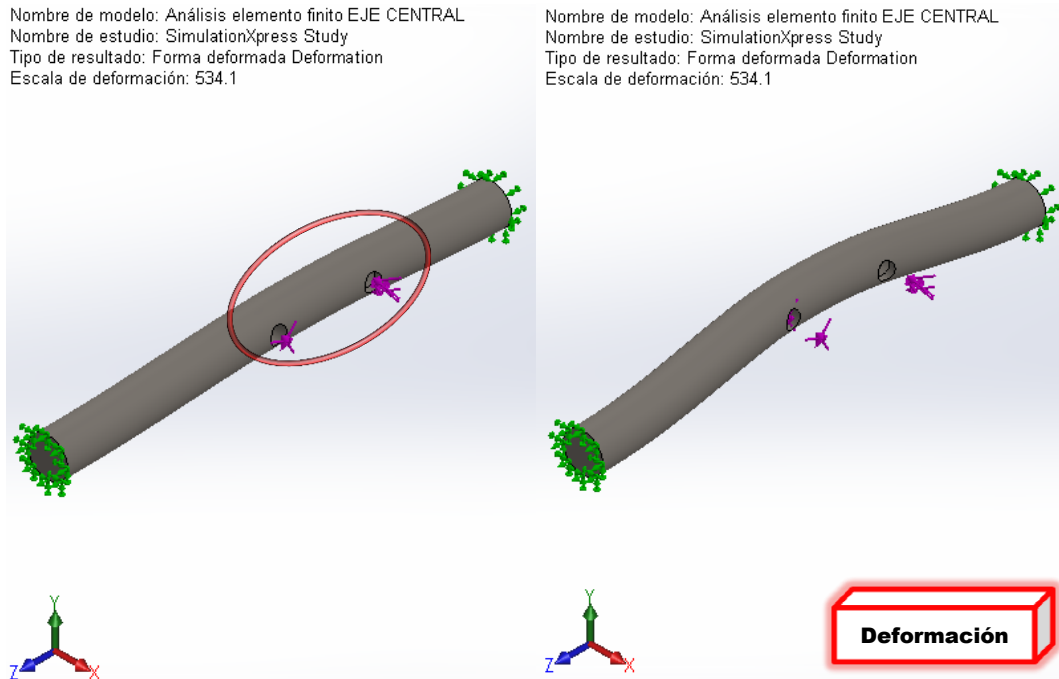




**Figura IV.28.-** Desplazamiento resultante en el eje central

**IV.4.1.8.- Deformación total en el eje central**

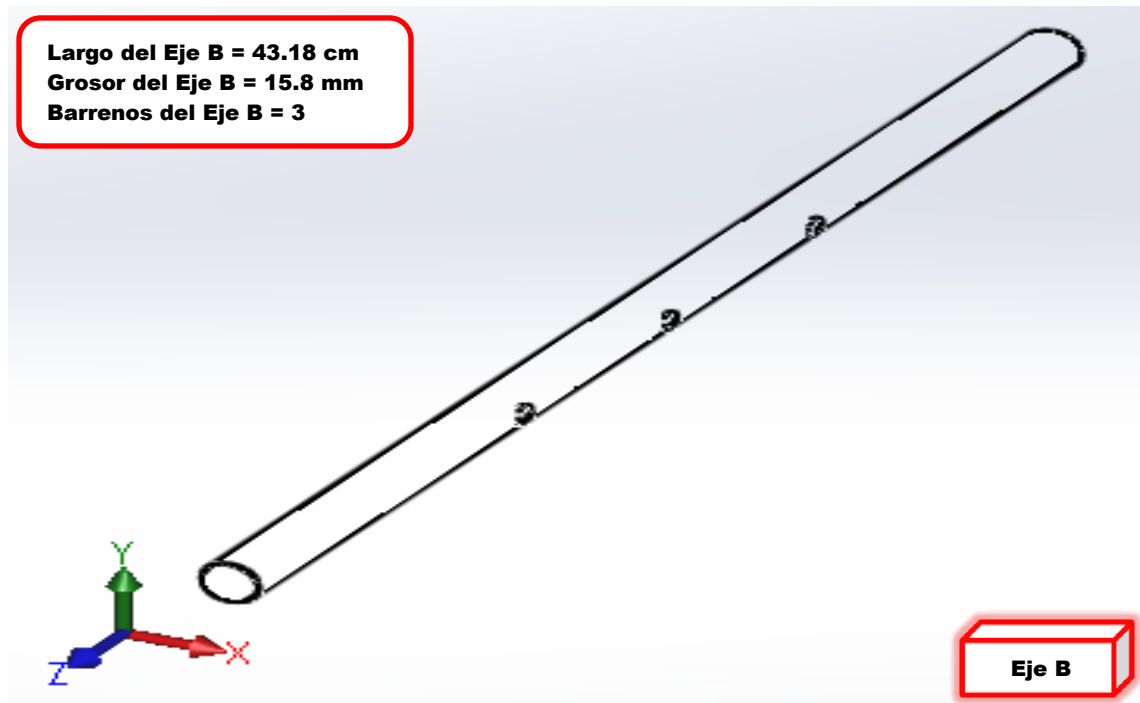
Se aprecia finalmente la deformación que sufre el elemento en la Figura IV.29.



**Figura IV.29.-** Deformación resultante en el eje central

#### IV.4.2.- Descripción del análisis del eje de las llantas delanteras

Se analizó el eje de las llantas delanteras por medio del Método de Elemento Finito (Figura IV.30).



**Figura IV.30.-** Representación del eje de las llantas delanteras

El eje de las llantas delanteras (eje B) está diseñado en acero *AISI 1045 cold-rolled*, tiene una longitud de 43.18 cm (17") y un espesor de 15.8 mm (5/8"). Cuenta con tres barrenos ciegos de 6.3 mm (1/4"), con penetración también de 6.3 mm (1/4"). Las tres perforaciones en la flecha tienen como propósito la sujeción de las piezas mecánicas montadas sobre esta. (Para más información sobre la ubicación y tolerancias exactas de los barrenos en el eje B, consúltese el apéndice Dibujos).

##### IV.4.2.1.- Especificaciones del análisis en el eje de las llantas delanteras

Para el análisis correspondiente en este eje se empleó nuevamente Acero *AISI 1045* estirado en frío (*Cold Rolled*). Todos los ejes del vehículo están fabricados en este material. La Tabla IV.8 (mostrada con anterioridad varias páginas atrás) proporciona los datos del material considerados en el análisis isotrópico, elástico y lineal de este elemento.

Para el análisis en 3-D también se consideran datos como; Centro de masa (milímetros)  $X = -0.02$ ,  $Y = -0.00$ ,  $Z = 215.90$ . Los ejes principales de inercia y momentos principales de inercia (gramos x milímetros cuadrados). Medido desde el centro de masa:

$$\begin{aligned} I_x &= (0.00, -0.00, 1.00) & P_x &= 2629.95 \\ I_y &= (0.00, -1.00, -0.00) & P_y &= 1315709.01 \\ I_z &= (1.00, 0.00, 0.00) & P_z &= 1315719.66 \end{aligned}$$

Momentos de inercia (gramos x milímetros cuadrados). Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.

$$\begin{aligned} L_{xx} &= 1315719.66 & L_{xy} &= -0.05 & L_{xz} &= 0.27 \\ L_{yx} &= -0.05 & L_{yy} &= 1315709.01 & L_{yz} &= -2.79 \\ L_{zx} &= 0.27 & L_{zy} &= -2.79 & L_{zz} &= 2629.95 \end{aligned}$$

Momentos de inercia: (gramos x milímetros cuadrados). Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

$$\begin{aligned} I_{xx} &= 5249566.99 & I_{xy} &= -0.05 & I_{xz} &= -371.52 \\ I_{yx} &= -0.05 & I_{yy} &= 5249556.37 & I_{yz} &= -4.96 \\ I_{zx} &= -371.52 & I_{zy} &= -4.96 & I_{zz} &= 2629.99 \end{aligned}$$


#### **IV.4.2.2.- Información adicional del análisis en el eje de las llantas delanteras**

Se toma en cuenta un sólido y se consideran datos del modelo como; masa 0.662491 kg, volumen  $8.43938 \times 10^5 \text{ m}^3$ , densidad:  $7850 \text{ kg/m}^3$ , peso: 6.49241 N

#### **IV.4.2.3.- Propiedades del análisis en el eje de las llantas delanteras**

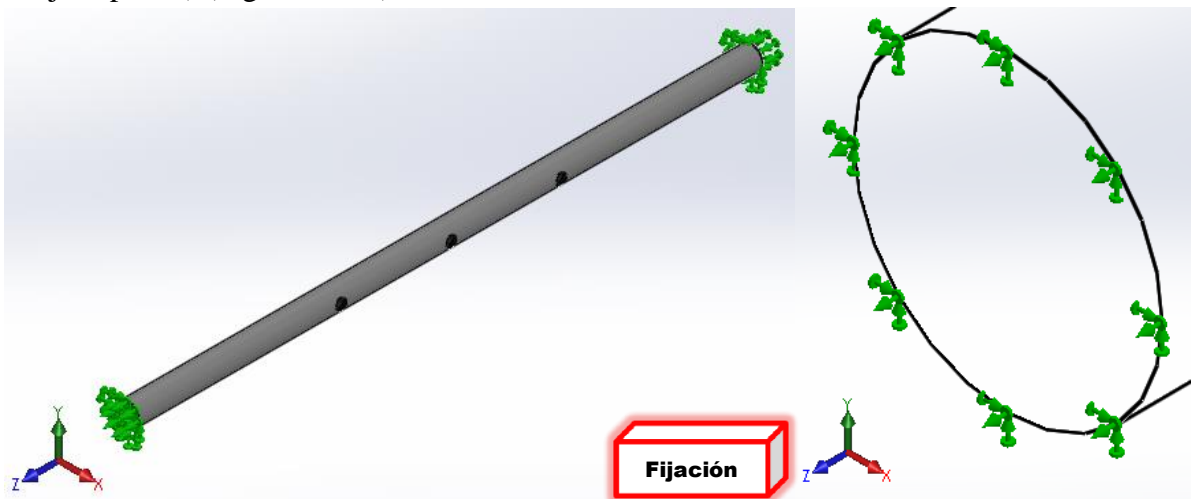
Las propiedades del análisis se muestran en la Tabla IV.12.

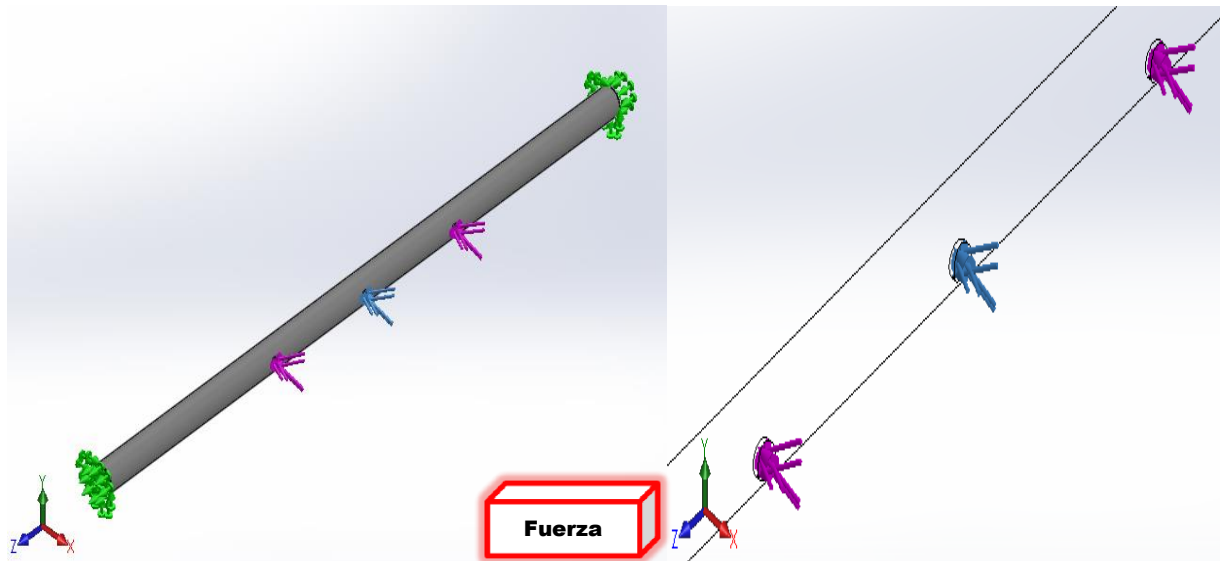
**Tabla IV.12.-** Propiedades del análisis en el eje de las llantas delanteras

Modelo	Propiedades	Componente
	Material: <i>AISI 1045</i> , Acero estirado en frío  Tipo de modelo: Isotrópico, elástico y lineal  Criterio de error predeterminado: Tensión máxima de von Mises  Límite elástico: 530 N/mm <sup>2</sup>  Tensión de rotura: 625 N/mm <sup>2</sup>	Barra solida de 15.8 mm  (Eje de las llantas delanteras)

#### IV.4.2.4.- Sujeción y carga del eje de las llantas delanteras

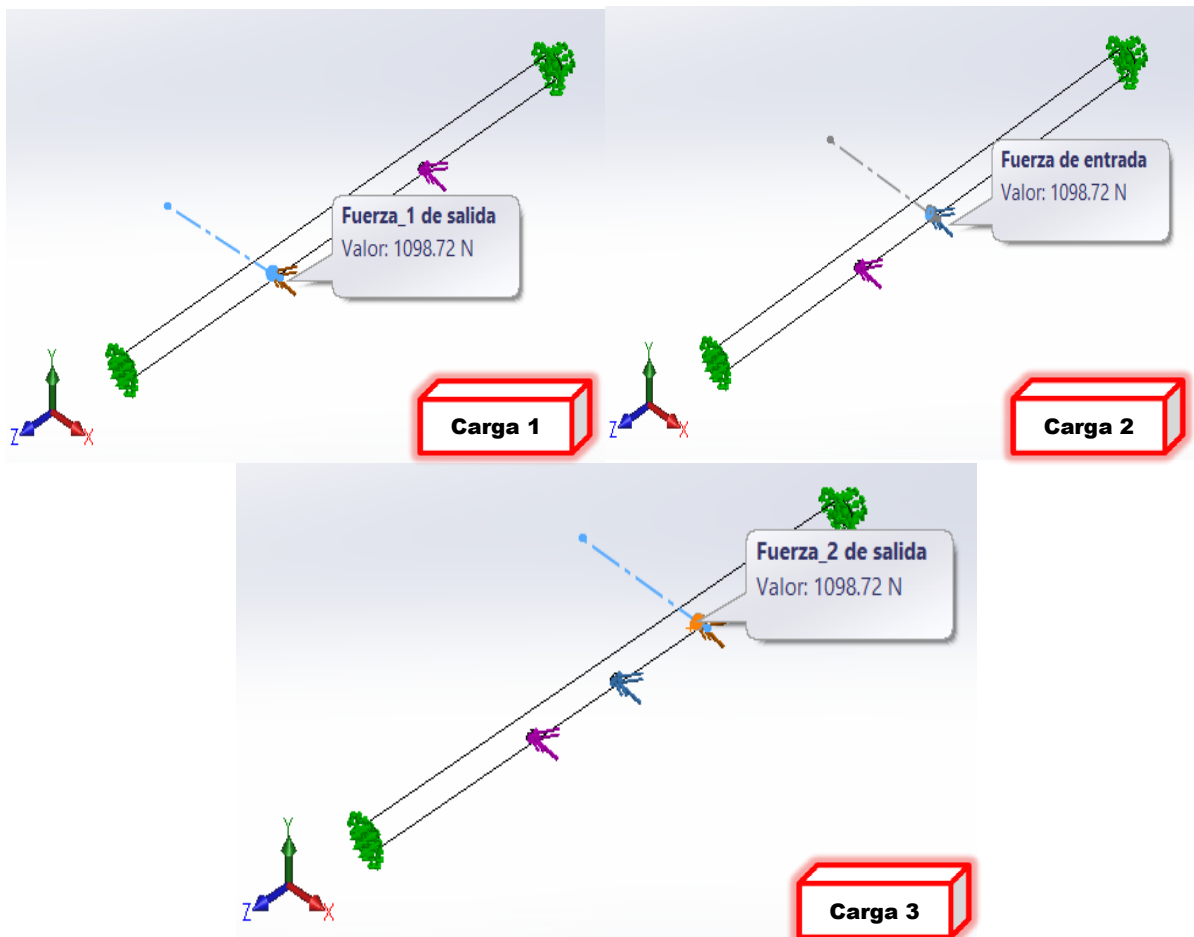
En el análisis se procedió a fijar el eje de las llantas delanteras por los extremos, simulando su posición ordinaria (Figura IV.31). Se aplicó la fuerza en el lugar donde ingresa el movimiento al eje de las llantas delanteras (proveniente del eje central). Así como la fuerza de salida (hacia el eje superior) (Figura IV.32).

**Figura IV.31.-** Fijación del eje de las llantas delanteras



**Figura IV.32.-** Aplicación de la fuerza en el eje de las llantas delanteras

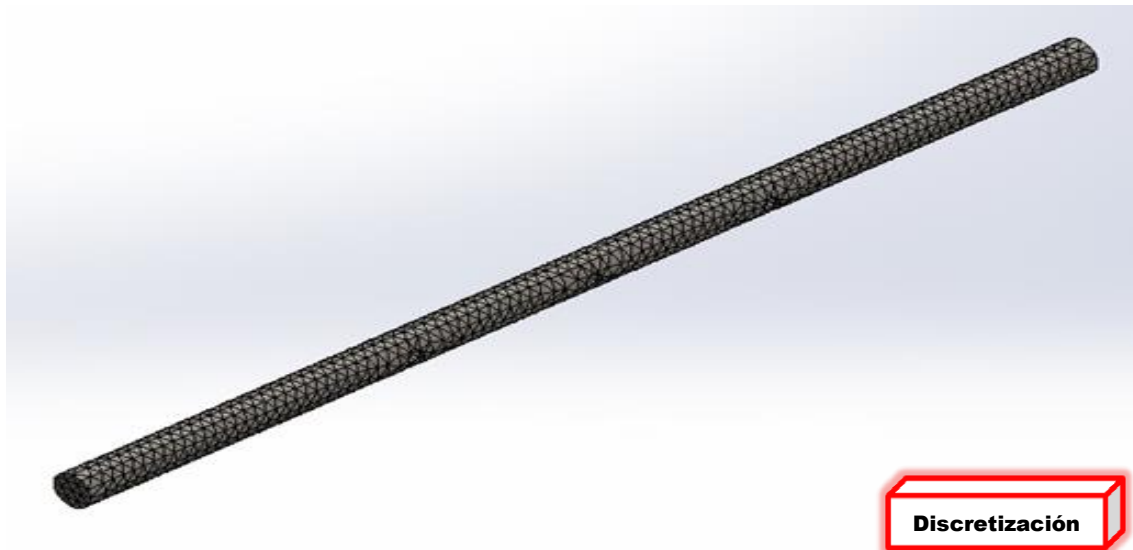
Como en las demás solicitaciones de flechas la fuerza aplicada es de  $F = 1098.72 \text{ N}$ .



**Figura IV.33.-** Fuerza de 1098.72 N aplicada en el eje de las llantas delanteras

#### IV.4.2.5.- Discretizado para el eje de las llantas delanteras

Posteriormente se realizó el discretizado del componente mecánico (Figura IV.34). La Tabla IV.13 y IV.14 muestran las propiedades de la malla utilizada para el análisis de la pieza.



**Figura IV.34.-** Discretizado en el eje de las llantas delanteras

**Tabla IV.13.-** Características del discretizado para el análisis del eje de las llantas delanteras

<b>Características del mallado</b>	
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura
Puntos Jacobianos	4 Puntos
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

**Tabla IV.14.-** Detalles específicos del discretizado para el eje de las llantas delanteras

<b>Detalles del mallado</b>	
Número total de nodos	13550
Número total de elementos	8166
Cociente máximo de aspecto	7.1147
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	98.9

#### IV.4.2.6.- Resultados para esfuerzo de von Mises en el eje de las llantas delanteras

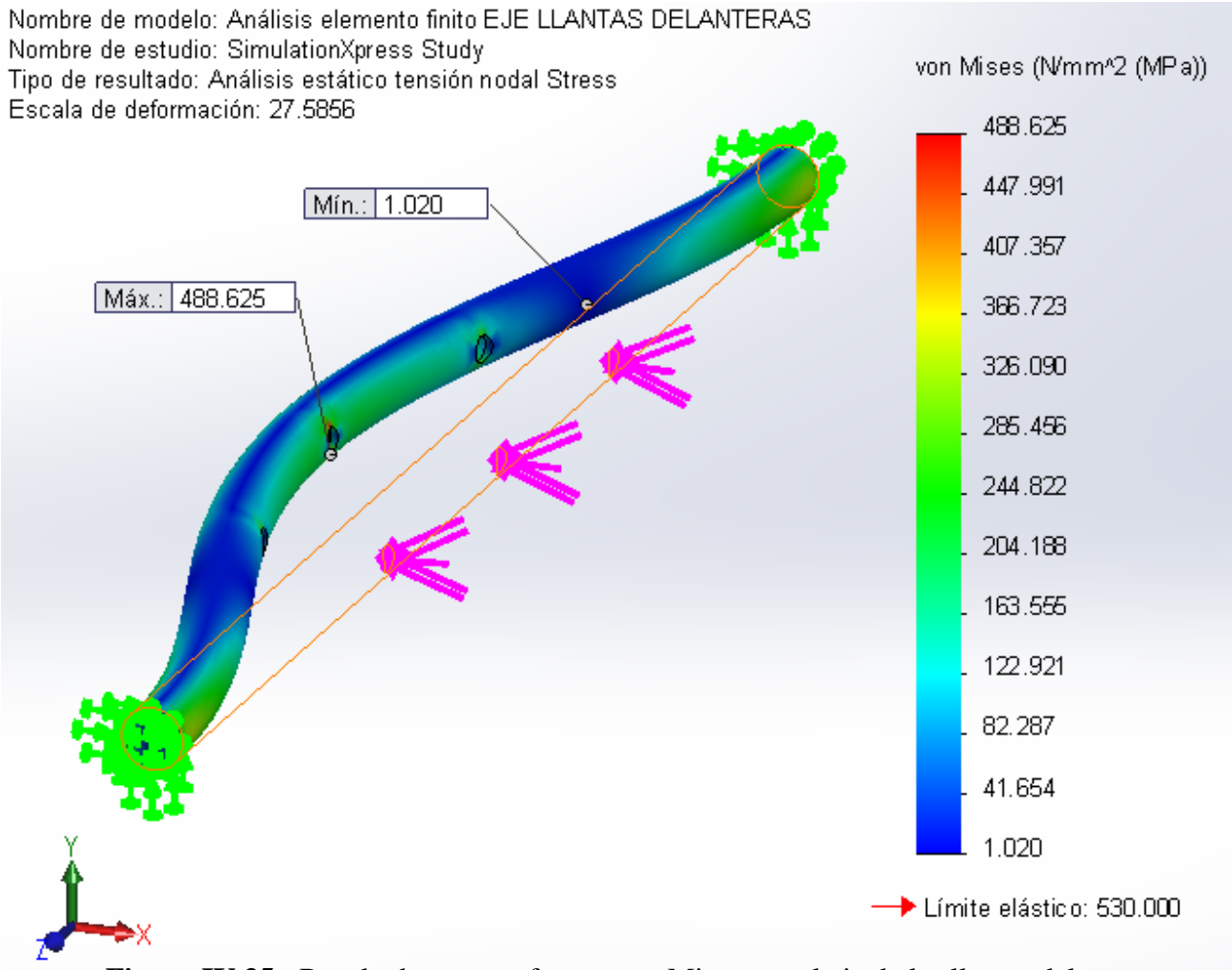
El análisis estático de esfuerzos nodal va de un mínimo de  $1.01983 \text{ N/mm}^2$  (MPa) en el nodo 10968 a un máximo de  $488.625 \text{ N/mm}^2$  (MPa) en el nodo 13343. Para una escala de deformación de 27.5856 (Figura IV.35).

#### IV.4.2.7.- Resultados para el desplazamiento en el eje de las llantas delanteras

El desplazamiento resultante en el análisis estático se origina de un punto mínimo en el nodo 52 (partiendo desde cero) hasta un punto máximo en el nodo 636 (a los 1.56533 milímetros) (Figura IV.36).

#### IV.4.2.8.- Deformación total en el eje de las llantas delanteras

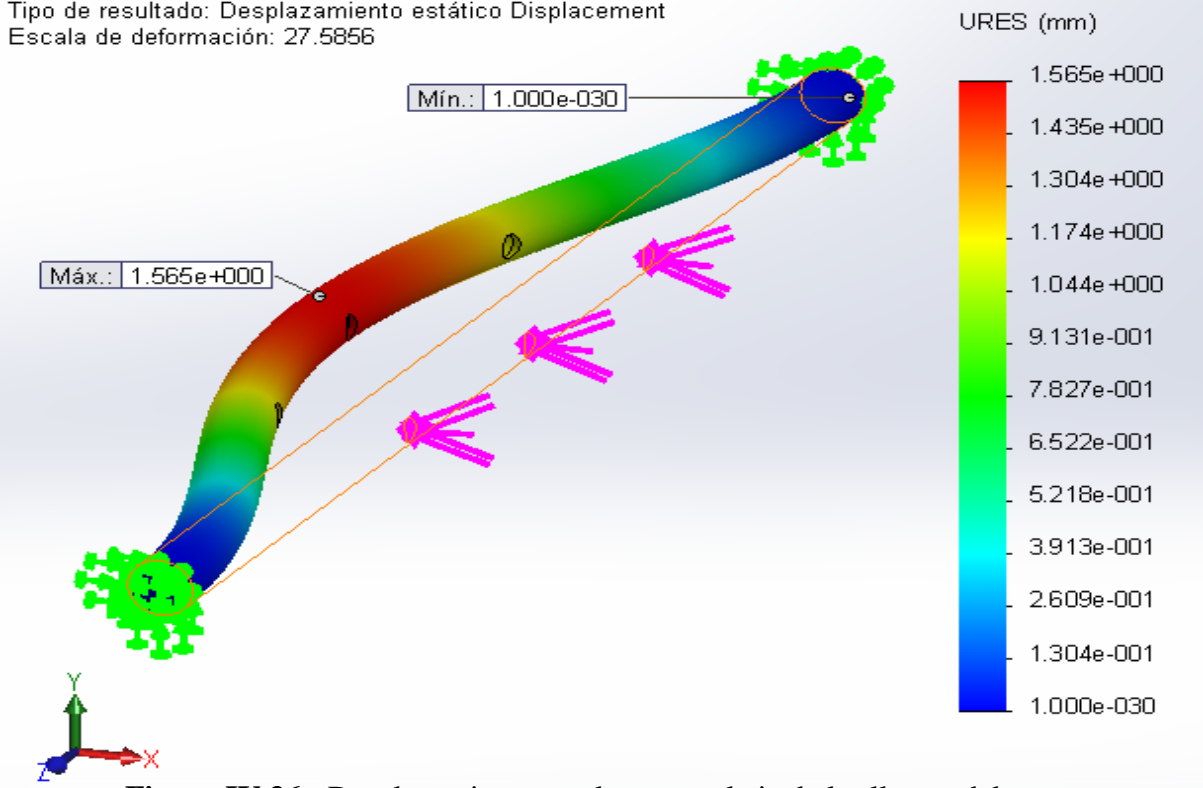
Se aprecia finalmente la deformación que sufre el elemento en la Figura IV.37.



**Figura IV.35.-** Resultados para esfuerzo von Mises en el eje de las llantas delanteras



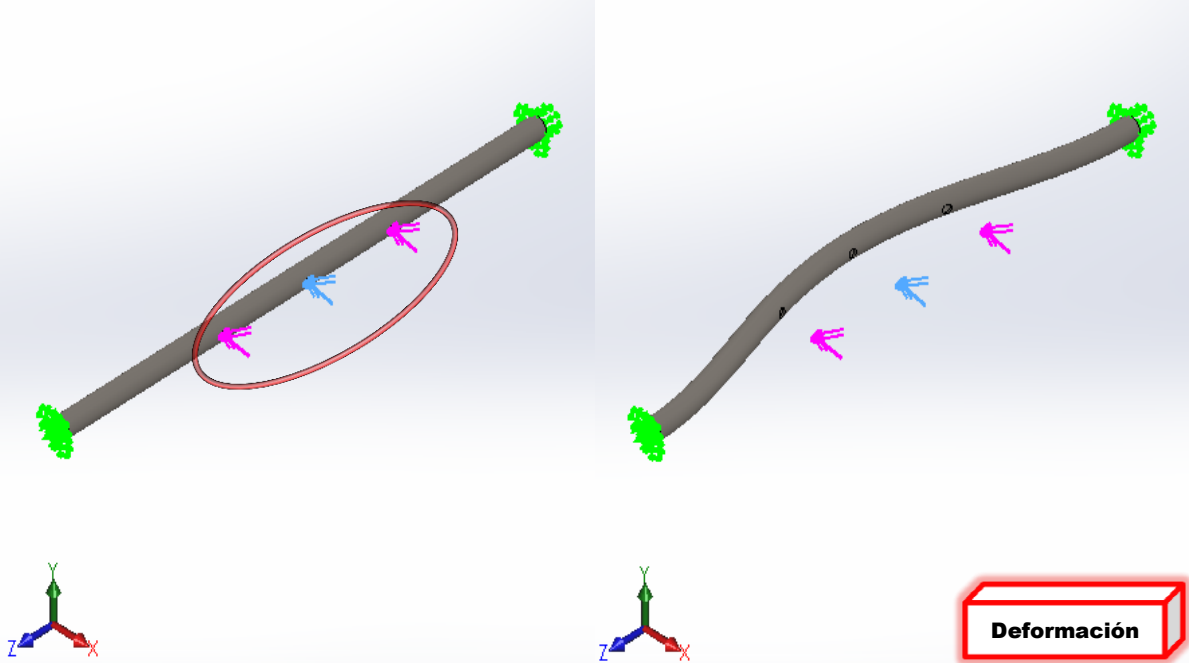
Nombre de modelo: Análisis elemento finito EJE LLANTAS DELANTERAS  
 Nombre de estudio: SimulationXpress Study  
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Displacement  
 Escala de deformación: 27.5856



**Figura IV.36.-** Desplazamiento resultante en el eje de las llantas delanteras

Nombre de modelo: Análisis elemento finito EJE LLANTAS DELANTERAS  
 Nombre de estudio: SimulationXpress Study  
 Tipo de resultado: Forma deformada Deformation  
 Escala de deformación: 27.5856

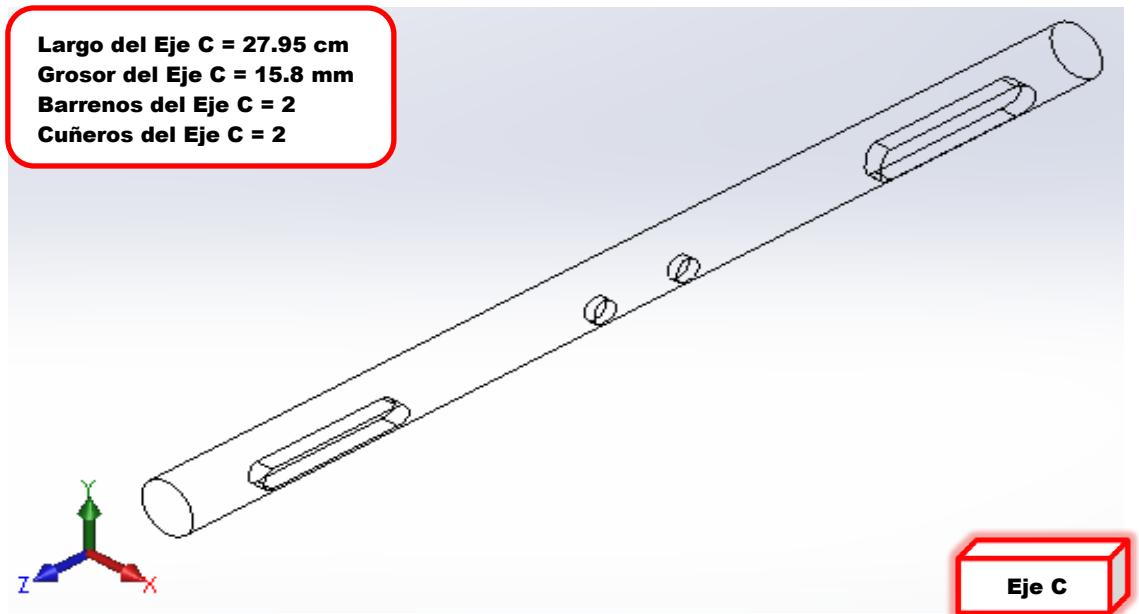
Nombre de modelo: Análisis elemento finito EJE LLANTAS DELANTERAS  
 Nombre de estudio: SimulationXpress Study  
 Tipo de resultado: Forma deformada Deformation  
 Escala de deformación: 27.5856



**Figura IV.37.-** Deformación en el eje de las llantas delanteras

#### IV.4.3.- Descripción del análisis en el eje superior

Se analizó el eje superior del vehículo por medio del Método del Elemento Finito (Figura IV.38).



**Figura IV.38.-** Esquematización del eje superior

El eje superior (eje C) está diseñado en acero *AISI 1045 cold-rolled*, tiene una longitud de 27.95 cm (11") y un espesor de 15.8 mm (5/8"). Cuenta con dos barrenos ciegos de 6.3 mm (1/4") con penetración de 6.3 mm (1/4"), y con dos ranuras rectas (cuñeros) de 4 cm (1.57") con penetración de 6.3 mm (1/4"). (Para más información sobre la ubicación y tolerancias exactas de las ranuras y perforaciones en el eje C, consúltese el apéndice Dibujos).

##### IV.4.3.1.- Especificaciones del análisis en el eje superior

Para el análisis correspondiente se empleó Acero *AISI 1045*, el mismo material de todos los demás ejes en el vehículo. La Tabla IV.8 mostrada anteriormente proporciona los datos del material considerados para el análisis isotrópico, elástico y lineal de este eje. Para el análisis en 3-D también se consideran datos como; centro de masa (milímetros)  $X = -0.36$ ,  $Y = 0.00$ ,  $Z = 141.05$ . Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia (gramos x milímetros cuadrados). Medido desde el centro de masa.

$$I_x = (0.00, 0.00, 1.00) \quad P_x = 1590.59$$

$$I_y = (-0.00, -1.00, 0.00) \quad P_y = 317567.68$$

$$I_z = (1.00, -0.00, -0.00) \quad P_z = 317651.49$$

Momentos de inercia (gramos x milímetros cuadrados). Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.

$$\begin{array}{lll} L_{xx} = 317651.25 & L_{xy} = 0.04 & L_{xz} = 273.94 \\ L_{yx} = 0.04 & L_{yy} = 317567.68 & L_{yz} = 0.04 \\ L_{zx} = 273.94 & L_{zy} = 0.04 & L_{zz} = 1590.83 \end{array}$$

Momentos de inercia (gramos x milímetros cuadrados). Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

$$\begin{array}{lll} I_{xx} = 1315453.15 & I_{xy} = 0.04 & I_{xz} = -2295.57 \\ I_{yx} = 0.04 & I_{yy} = 1315376.18 & I_{yz} = 1.16 \\ I_{zx} = -2295.57 & I_{zy} = 1.16 & I_{zz} = 1597.45 \end{array}$$

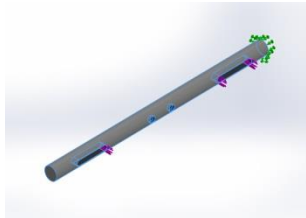
#### IV.4.3.2.- Información adicional del análisis en el eje superior

Se toma en cuenta un sólido y se consideran datos del modelo como; masa 0.393724 kg, volumen  $5.01559 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ , densidad:  $7850 \text{ kg/m}^3$ , peso: 3.85849 N.

#### IV.4.3.3.- Propiedades del análisis en el eje superior

Las propiedades del análisis se muestran en la Tabla IV.15.

**Tabla IV.15.-** Propiedades del análisis en el eje superior

Modelo	Propiedades	Componente
	Material: <i>AISI 1045</i> , Acero estirado en frío  Tipo de modelo: Isotrópico, elástico y lineal  Criterio de error: Tensión máxima de	Barra solida de 15.8 mm  (Eje superior)

	predeterminado:	von Mises	
	Límite elástico:	530 N/mm <sup>2</sup>	
	Tensión de rotura:	625 N/mm <sup>2</sup>	

#### IV.4.3.4.- Sujeción y carga del eje superior

Para el análisis se procedió a fijar el eje superior del vehículo por los extremos, simulando su posición inicial (Figura IV.39). La fuerza se asignó a la flecha en la zona donde entra el movimiento al eje superior (proveniente del eje de las llantas delanteras) y la fuerza de salida (hacia el eje de las llantas traseras) (Figura IV.40).

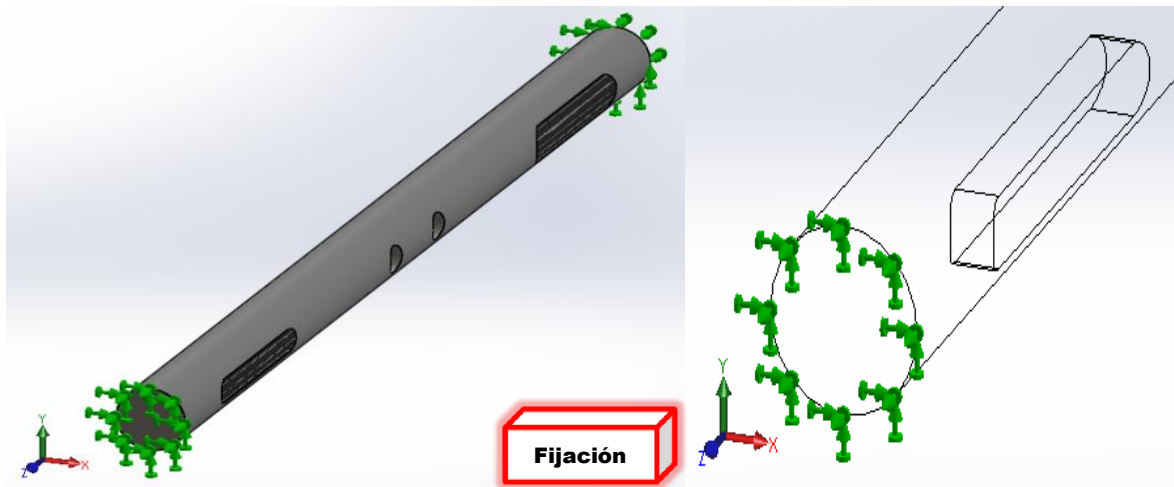


Figura IV.39.- Fijación del eje superior

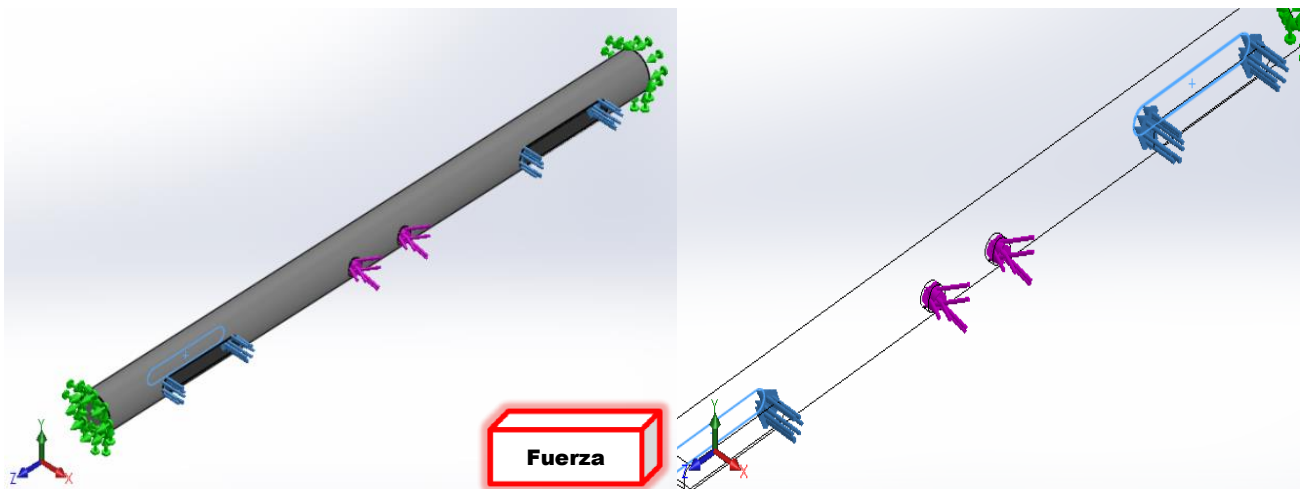
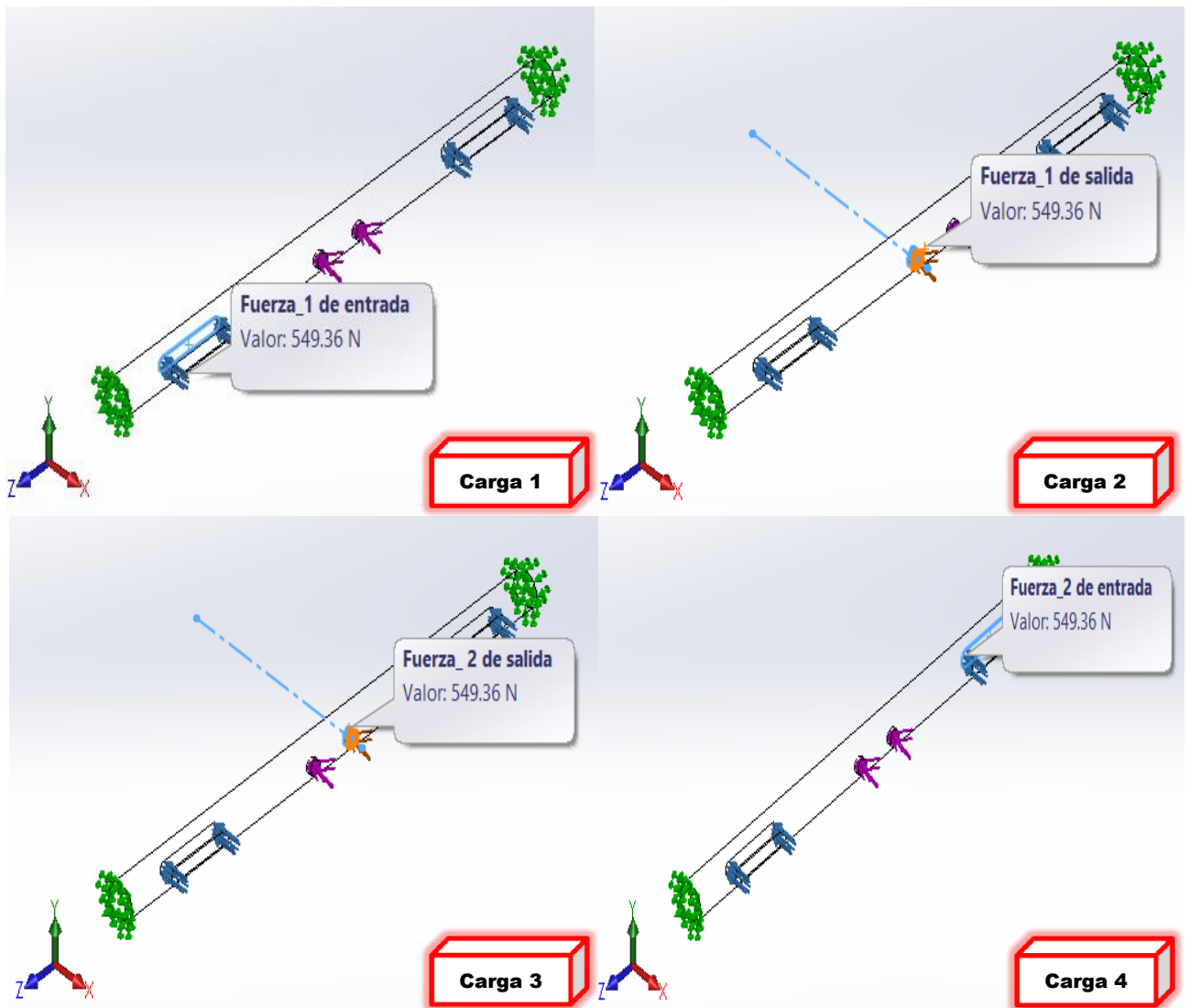


Figura IV.40.- Aplicación de la fuerza en el eje superior

Como en las demás solicitaciones la fuerza aplicada en el eje superior es de 1098.72 N,  $F_1 = 549.36 \text{ N}$  y  $F_2 = 549.36 \text{ N}$  de salida y de entrada (Figura IV.41).



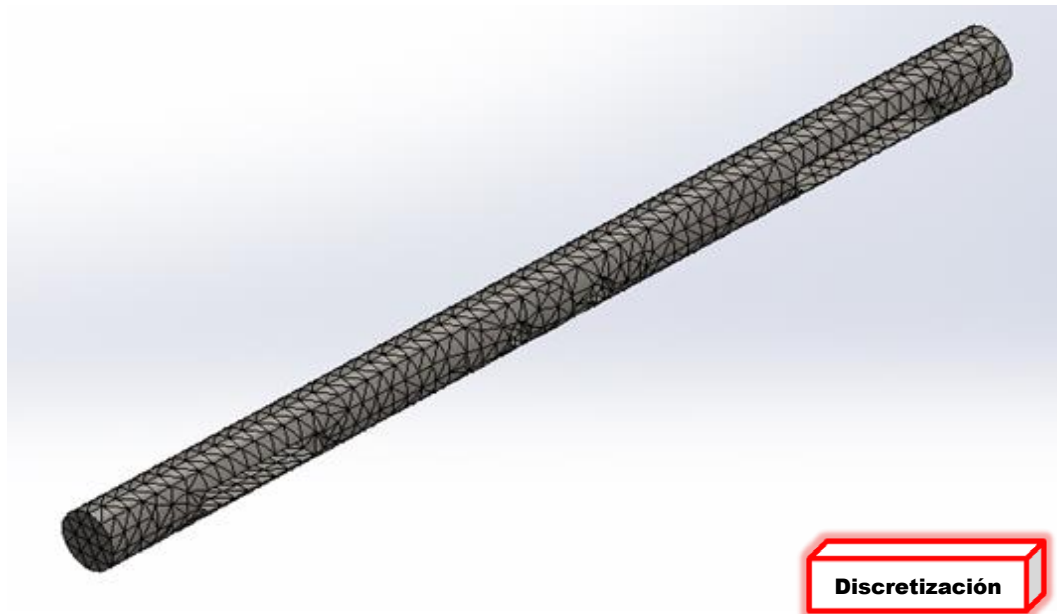
**Figura IV.41.-** Fuerza de 1098.72 N aplicada en el eje superior

#### IV.4.3.5.- Discretizado del eje superior

Posteriormente se realizó el mallado de la flecha analizada (Figura IV.42). La Tabla IV.16 y IV.17 muestran las propiedades de la malla utilizada para el análisis de la flecha.

**Tabla IV.16.-** Características de la malla implementada en el análisis del eje superior

<b>Características del discretizado</b>	
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura
Puntos Jacobianos	4 Puntos
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

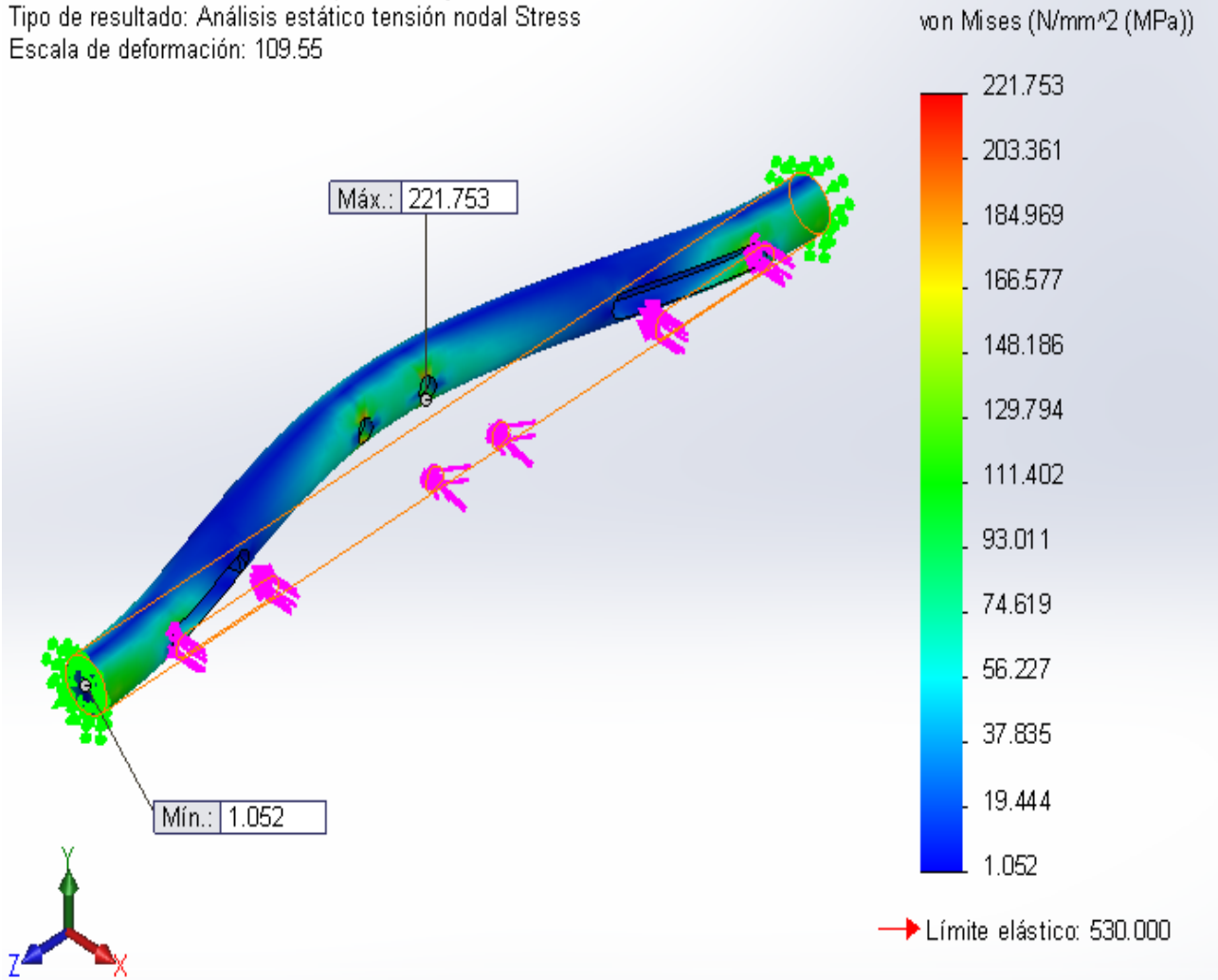
**Figura IV.42.-** Discretizado del eje superior**Tabla IV.17.-** Detalles específicos de la malla implementada en el análisis del eje superior

<b>Detalles del discretizado</b>	
Número total de nodos	8629
Número total de elementos	5014
Cociente máximo de aspecto	5.2855
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99.2

#### IV.4.3.6.- Resultados para los esfuerzos de von Mises en el eje superior

El análisis estático del esfuerzo nodal va de un mínimo de  $1.05193 \text{ N/mm}^2$  (MPa) en el nodo 821 a un máximo de  $221.753 \text{ N/mm}^2$  (MPa) en el nodo 8249. Para una escala de deformación de 109.55 (Figura IV.43).

Nombre de modelo: Análisis elemento finito EJE SUPERIOR  
 Nombre de estudio: SimulationXpress Study  
 Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Stress  
 Escala de deformación: 109.55

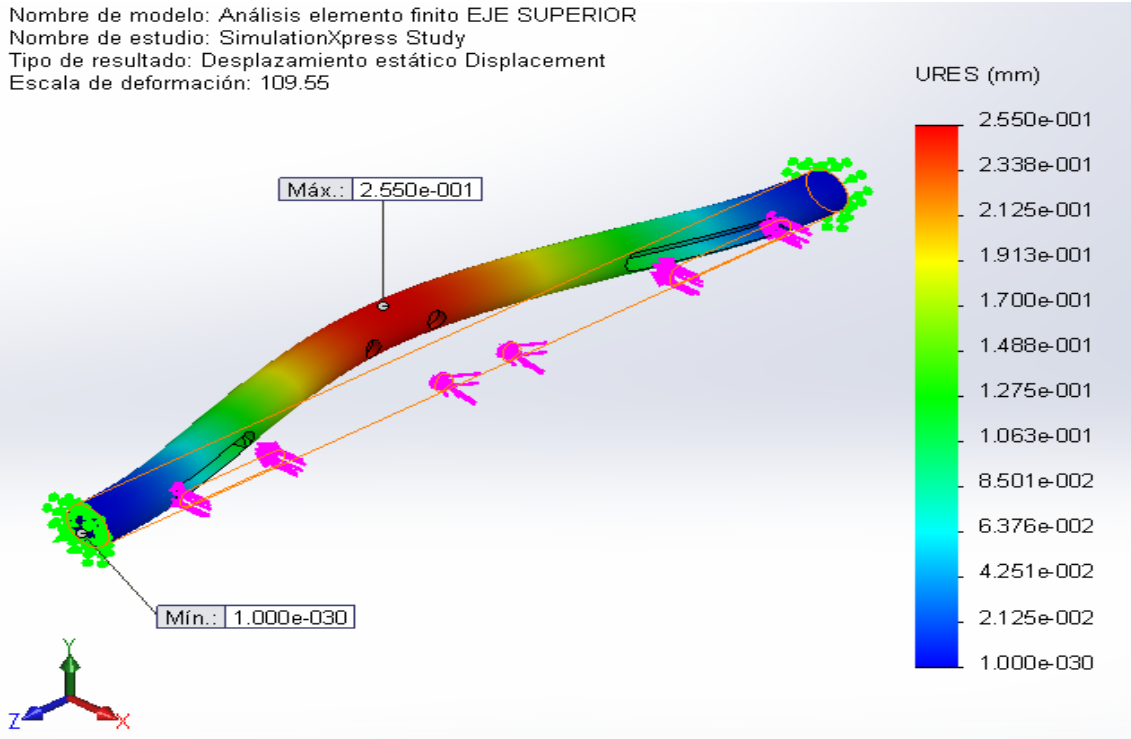


**Figura IV.43.-** Resultados para los esfuerzos de von Mises en el eje superior del proyecto

#### IV.4.3.7.- Resultados para el desplazamiento en el eje superior

El desplazamiento resultante en el análisis estático se origina de un punto mínimo en el nodo 105 (partiendo desde cero) hasta un punto máximo en el nodo 438 (a los  $0.255045$  milímetros). Los resultados se muestran en la Figura IV.44.

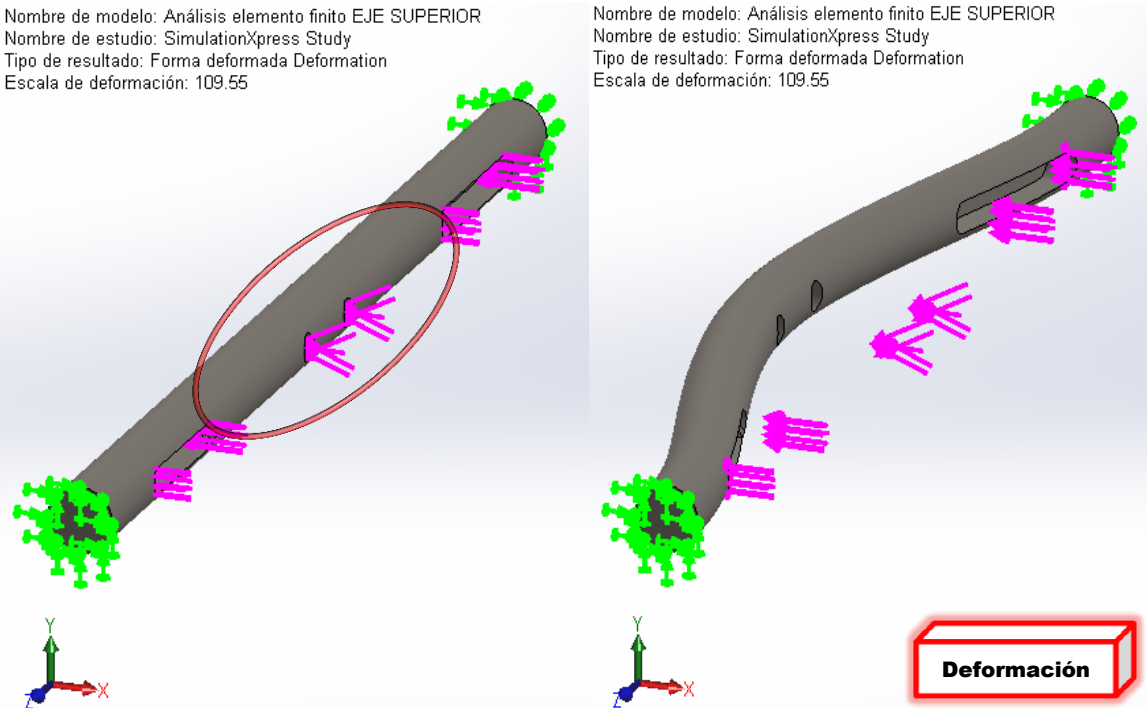




**Figura IV.44.-** Desplazamiento resultante en el eje superior del proyecto

**IV.4.3.8.- Deformación total en el eje superior**

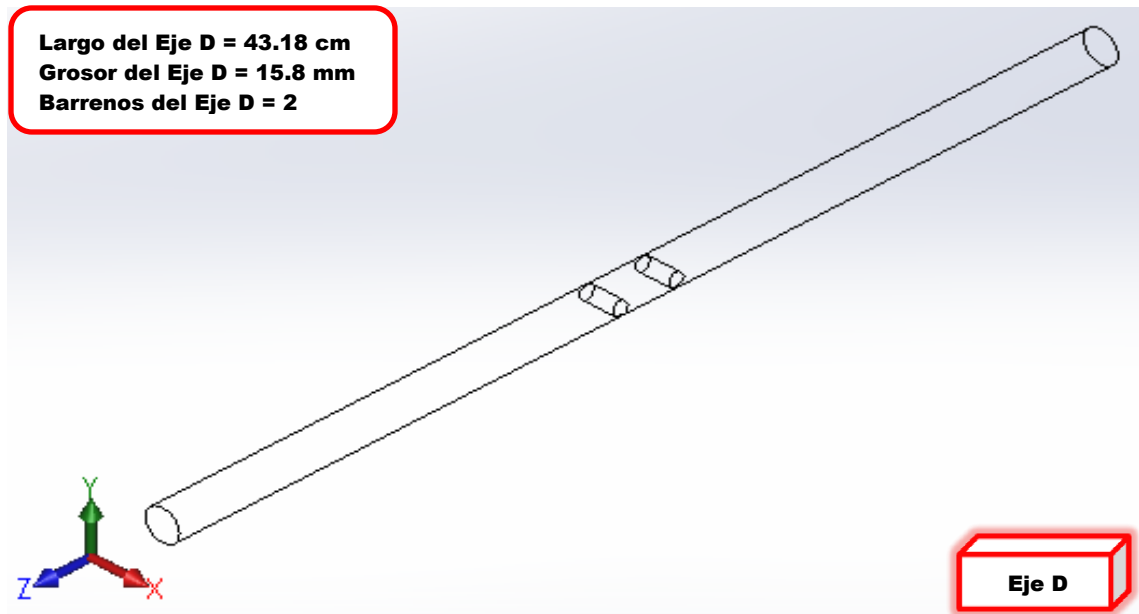
Finalmente se aprecia la deformación que sufre la flecha en la Figura IV.45.



**Figura IV.45.-** Deformación en el eje superior

#### IV.4.4.- Descripción del análisis en el eje de las llantas traseras

Se realizó el análisis en el eje de las llantas traseras por medio del Método de Elemento Finito (Figura IV.46).



**Figura IV.46.-** Eje de las llantas traseras

El eje de las llantas traseras (eje D) está diseñado en Acero *AISI 1045 cold-rolled*, posee una longitud de 43.18 cm (17") y un espesor de 15.8 mm (5/8"). Cuenta con dos barrenos pasantes de 6.3 mm (1/4"). Las dos perforaciones en la flecha tienen como objetivo la fijación de las catarinas montadas sobre esta. (Para más información sobre la ubicación y tolerancias exactas de los barrenos en el eje D, consúltese el apéndice Dibujos).

##### IV.4.4.1.- Especificaciones del análisis en el eje de las llantas traseras

Una vez más se empleó Acero *AISI 1045 (Cold Rolled)* al igual que en todos los demás ejes del vehículo. El análisis es isotrópico, elástico y lineal. La Tabla IV.8 mostrada anteriormente (paginas atrás) donde los datos del material considerados en el análisis. Para el análisis en 3-D también se consideran datos como; centro de masa (milímetros)  $X = -0.00$ ,  $Y = -0.00$ ,  $Z = 215.90$ . Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia (gramos x milímetros cuadrados). Medido desde el centro de masa:  $I_x = (0.00, 0.00, 1.00)$   $P_x = 2616.84$ ,  $I_y = (-0.00, -1.00, 0.00)$   $P_y = 1316560.98$ ,  $I_z = (1.00, -0.00, 0.00)$   $P_z = 1316579.77$ .

Momentos de inercia (gramos x milímetros cuadrados). Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.

$$\begin{array}{lll} L_{xx} = 1316579.77 & L_{xy} = 0.06 & L_{xz} = -0.79 \\ L_{yx} = 0.06 & L_{yy} = 1316560.98 & L_{yz} = -0.05 \\ L_{zx} = -0.79 & L_{zy} = -0.05 & L_{zz} = 2616.84 \end{array}$$

Momentos de inercia (gramos x milímetros cuadrados). Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

$$\begin{array}{lll} I_{xx} = 5211409.65 & I_{xy} = 0.06 & I_{xz} = -2.74 \\ I_{yx} = 0.06 & I_{yy} = 5211390.86 & I_{yz} = -0.19 \\ I_{zx} = -2.74 & I_{zy} = -0.19 & I_{zz} = 2616.84 \end{array}$$


#### IV.4.4.2.- Información adicional del análisis en el eje de las llantas traseras

Se toma en cuenta un sólido y se consideran datos del modelo como; masa 0.655917 kg, volumen  $8.35564 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ , densidad:  $7850 \text{ kg/m}^3$ , peso: 6.42799 N.

#### IV.4.4.3.- Propiedades del análisis en el eje de las llantas traseras

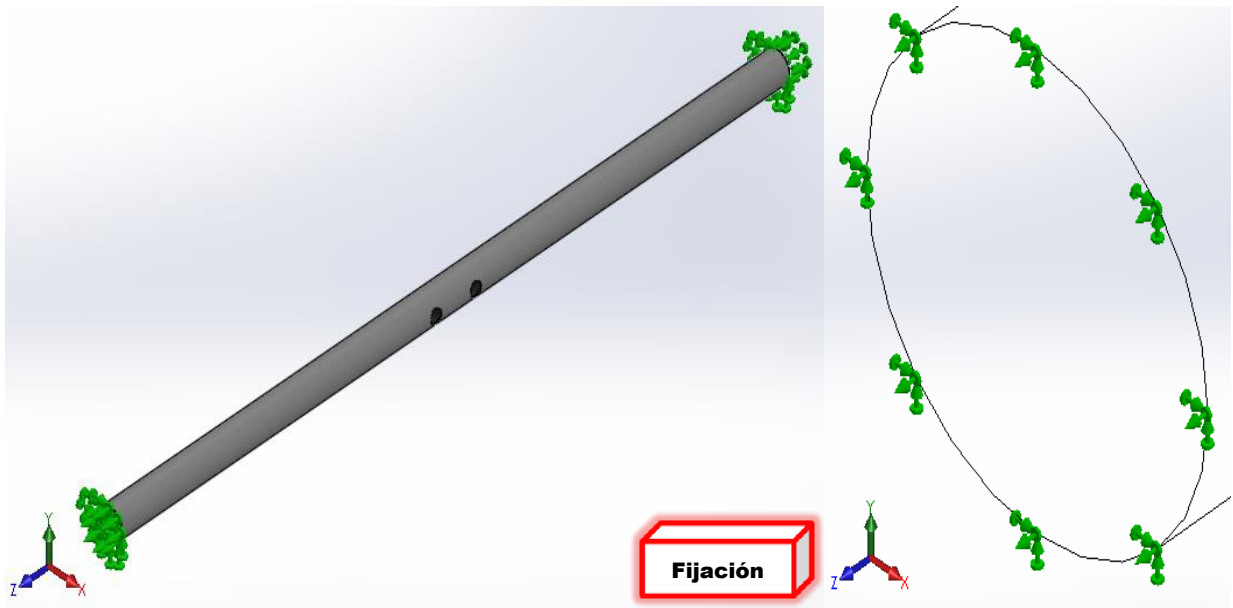
Las propiedades del análisis en el eje se muestran en la Tabla IV.18.

**Tabla IV.18.-** Propiedades del análisis en el eje de las llantas traseras

Modelo	Propiedades	Componente
	Material: <i>AISI 1045</i> , Acero estirado en frío	Barra solida de 15.8 mm  (Eje de las llantas traseras)
	Tipo de modelo: Isotrópico, elástico y lineal	
	Criterio de error predeterminado: Esfuerzo máximo de von Mises	
	Límite elástico: $530 \text{ N/m}^2$	
	Tensión de rotura: $625 \text{ N/m}^2$	

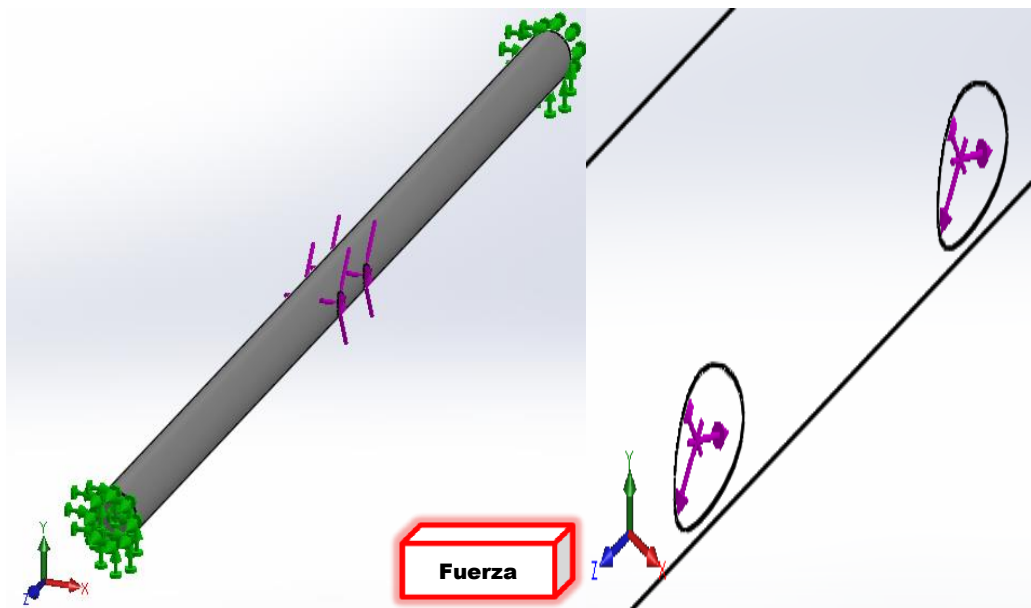
#### IV.4.4.4.- Sujeción y carga del eje de las llantas traseras

Para el análisis se procedió a fijar el eje de las llantas traseras por sus extremos, simulando su posición habitual (Figura IV.47).



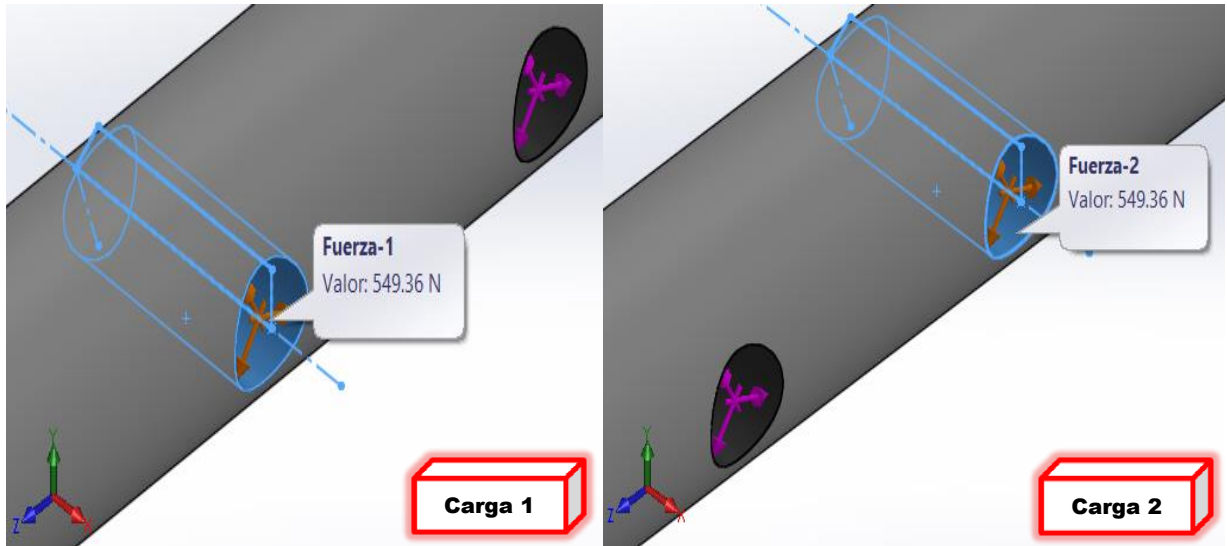
**Figura IV.47.-** Fijación del eje de las llantas traseras

Se aplicó después la fuerza, en la sección barrenada donde entra el movimiento al eje de las llantas traseras (proveniente del eje superior), como se puede apreciar en la Figura IV.48.



**Figura IV.48.-** Aplicación de la fuerza en el eje de las llantas traseras

Como en los demás solicitaciones la fuerza aplicada es de 1098.72 N.  $F_1 = 549.36 \text{ N}$  y  $F_2 = 549.36 \text{ N}$  (Figura IV.49).



**Figura IV.49.-** Fuerza de 1098.72 N aplicada en el eje de las llantas traseras

#### IV.4.4.5.- Discretizado del eje de las llantas traseras

Posteriormente se realizó el discretizado de la flecha (Figura IV.50). La Tabla IV.19 y IV.20 muestran las propiedades de la malla utilizada para el análisis de la pieza, así como sus detalles específicos.



**Figura IV.50.-** Discretizado del eje de las llantas traseras

**Tabla IV.19.-** Características de la malla utilizada en el análisis del eje de las llantas traseras

<b>Características del discretizado</b>	
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla estándar
Puntos Jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	4.37317 mm
Tolerancia	0.218658 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

**Tabla IV.20.-** Detalles específicos de la malla implementada en el eje de las llantas traseras

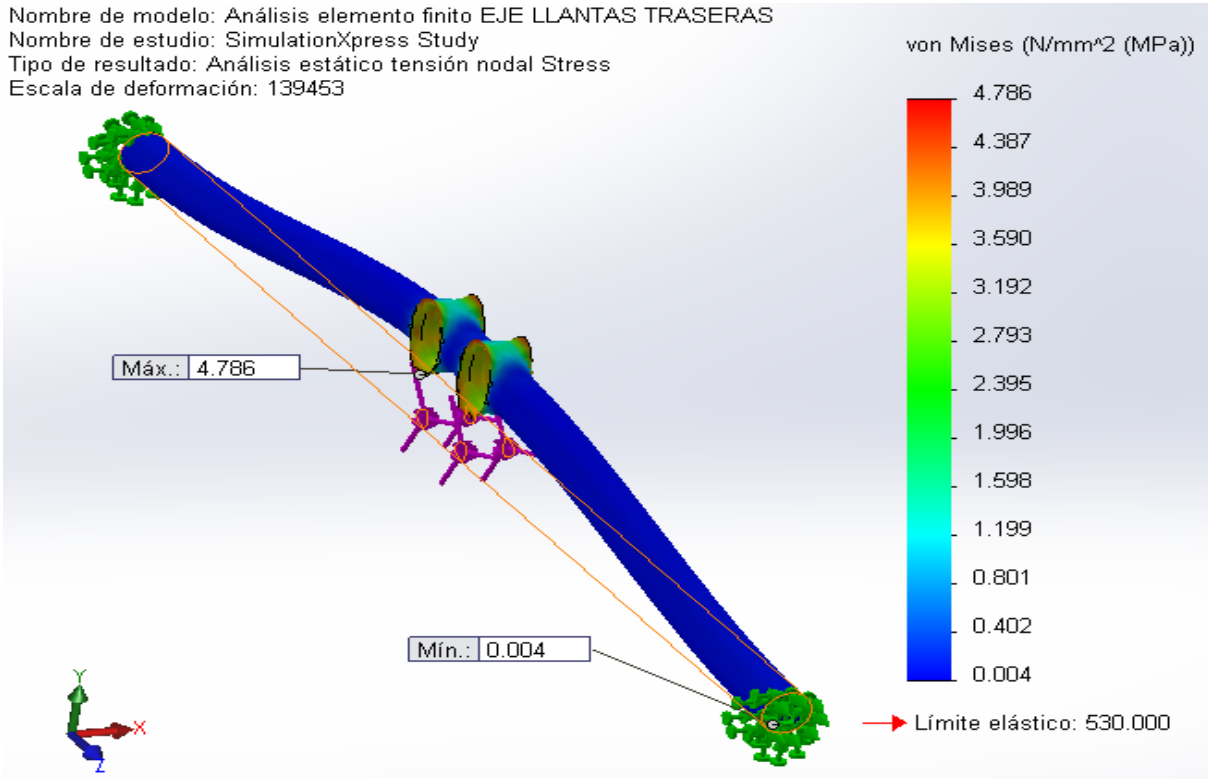
<b>Detalles del discretizado</b>	
Número total de nodos	12088
Número total de elementos	7040
Cociente máximo de aspecto	3.2112
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99.9

**IV.4.4.6.- Resultados para esfuerzos von Mises en el eje de las llantas traseras**

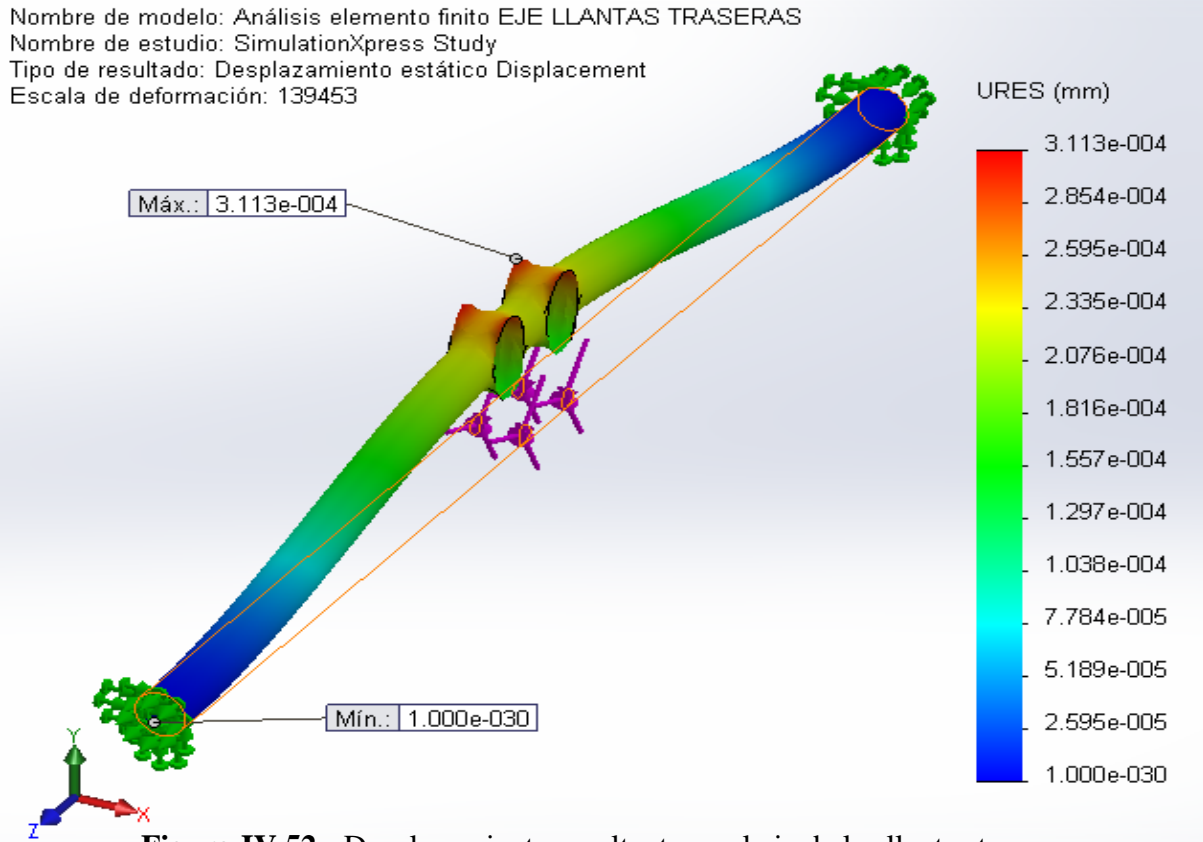
El análisis estático del esfuerzo nodal va de un mínimo de  $0.00400296 \text{ N/mm}^2$  (MPa) en el nodo 1227 a un máximo de  $4.78588 \text{ N/mm}^2$  (MPa) en el nodo 11960. Para una escala de deformación de 139453 (Figura IV.51).

**IV.4.4.7.- Resultados para el desplazamiento en el eje de las llantas traseras**

El desplazamiento resultante en el análisis estático se origina de un punto mínimo en el nodo 63 (partiendo desde cero) hasta un punto máximo en el nodo 13 (a los  $0.000311343$  milímetros). Los resultados se muestran en la Figura IV.52.



**Figura IV.51.-** Resultados para esfuerzos von Mises en el eje de las llantas traseras



**Figura IV.52.-** Desplazamiento resultante en el eje de las llantas traseras

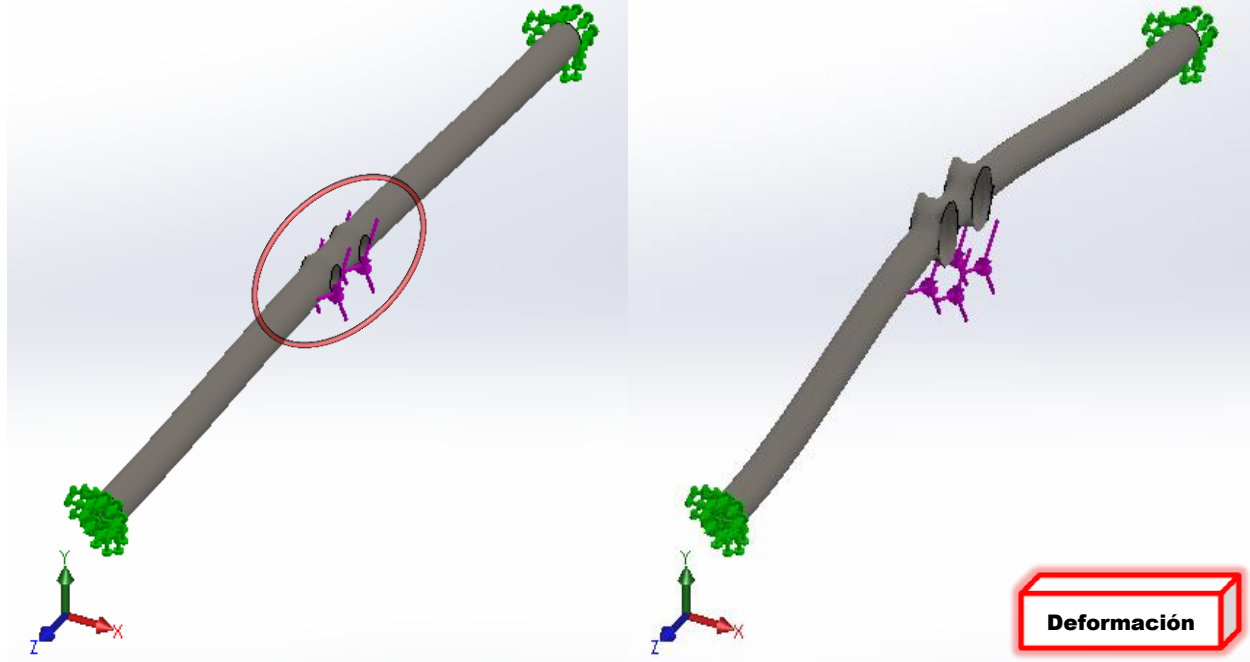


#### IV.4.4.8.- Deformación total en el eje de las llantas traseras

Se aprecia finalmente la deformación que sufre el elemento en la Figura IV.53.

Nombre de modelo: Análisis elemento finito EJE LLANTAS TRASERAS  
 Nombre de estudio: SimulationXpress Study  
 Tipo de resultado: Forma deformada Deformation  
 Escala de deformación: 139453

Nombre de modelo: Análisis elemento finito EJE LLANTAS TRASERAS  
 Nombre de estudio: SimulationXpress Study  
 Tipo de resultado: Forma deformada Deformation  
 Escala de deformación: 139453

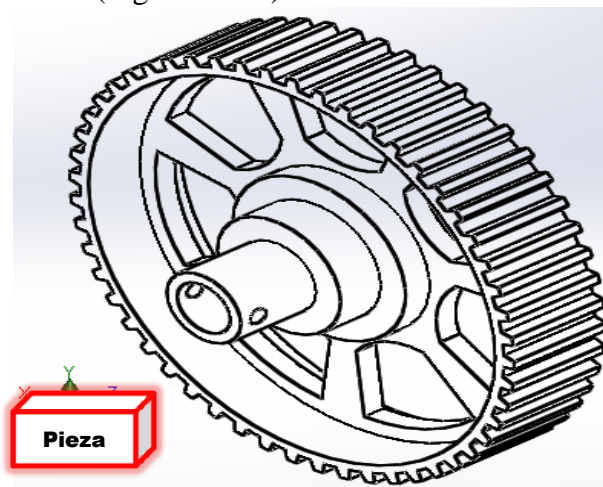


**Figura IV.53.-** Deformación en el eje de las llantas traseras

#### IV.5.- Análisis numérico de los diversos componentes dentados del vehículo

##### IV.5.1.- Descripción del análisis en el engrane de distribución

Por medio del método de elemento finito se procedió al análisis de la rueda dentada usada como engrane de distribución (Figura IV.54).



**Figura IV.54.-** Engrane de distribución analizado

#### IV.5.1.1.- Especificaciones del análisis en el engrane de distribución

Para el análisis correspondiente se empleó el material plástico-mecánico conocido como Nylamid (también llamado comúnmente *Nylacero* o *Nylon 6*). En la Tabla IV.21 se muestran más datos del material considerados en el análisis isotrópico, elástico y lineal.

**Tabla IV.21.-** Propiedades del Nylamid 6/6

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	$83 \times 10^8$	N/m <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	0.28	--
Densidad	1150	kg/m <sup>3</sup>
Tensión de rotura	142559000	N/m <sup>2</sup>
Límite elástico	139043000	N/m <sup>2</sup>
Coefficiente de expansión térmica	$3 \times 10^{-5}$	/K
Conductividad térmica	0.53	W/(m*K)
Calor específico	1500	J/(kg*K)

Para el análisis en 3-D también se consideran datos como; centro de masa (milímetros) X = 0.00, Y = 0.00, Z = 12.10. Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia (gramos \* milímetros cuadrados), medido desde el centro de masa.

$$I_x = (-0.00, 1.00, 0.00) \quad P_x = 111698.98$$

$$I_y = (-1.00, -0.00, 0.00) \quad P_y = 111707.84$$

$$I_z = (0.00, 0.00, 1.00) \quad P_z = 208853.22$$

Momentos de inercia (gramos x milímetros cuadrados). Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.

$$\begin{array}{lll}
 L_{xx} = 111707.84 & L_{xy} = -0.00 & L_{xz} = -0.01 \\
 L_{yx} = -0.00 & L_{yy} = 111698.98 & L_{yz} = 0.00 \\
 L_{zx} = -0.01 & L_{zy} = 0.00 & L_{zz} = 208853
 \end{array}$$


#### IV.5.1.2.- Información adicional del análisis en el engrane de distribución

Se toma en cuenta un sólido y se consideran datos del modelo como; masa 0.129862 kg, volumen  $9.27589 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ , densidad  $1400 \text{ kg/m}^3$ , peso: 1.27265 N.

#### IV.5.1.3.- Propiedades del análisis en el engrane de distribución

Las propiedades del análisis se muestran en la Tabla IV.22.

**Tabla IV.22.-** Propiedades del análisis en el engrane de distribución

Modelo	Propiedades	Componente
	Material: Nylamid 6/6	Rueda dentada de 52 dientes  (Engrane de distribución)
	Tipo de modelo: Isotrópico, elástico y lineal	
	Criterio de error predeterminado: Esfuerzo máximo de von Mises	
	Límite elástico: $139.043 \text{ N/mm}^2$	
	Tensión de rotura: $142.559 \text{ N/mm}^2$	

#### IV.5.1.4.- Sujeción y carga del engrane de distribución

Para el análisis se fijó el engrane por medio de los barrenos pasantes ubicados en la parte interna del cuadro, en la que el elemento va asegurado al eje con la ayuda de opresores, como se muestra en la Figura IV.55. Se procede entonces a aplicar la fuerza en un costado del diente que es donde tiene acción el contacto con el otro elemento (engrane conducido) (Figura IV.56). La fuerza aplicada es de  $F = 1098.72 \text{ N}$  (Figura IV.57).

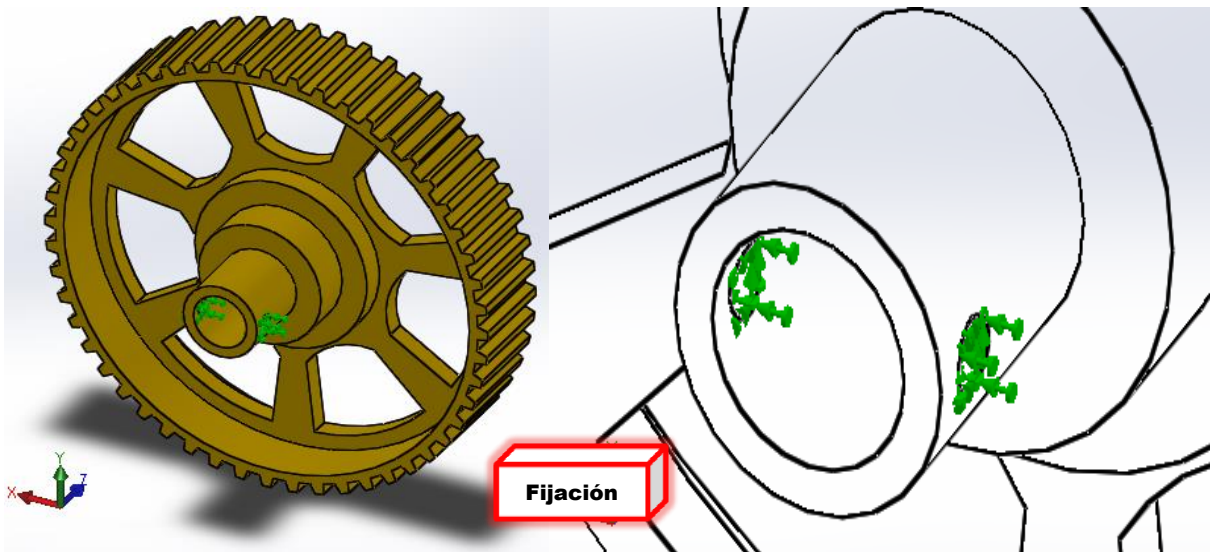


Figura IV.55.- Fijación en la parte interna del engrane de distribución

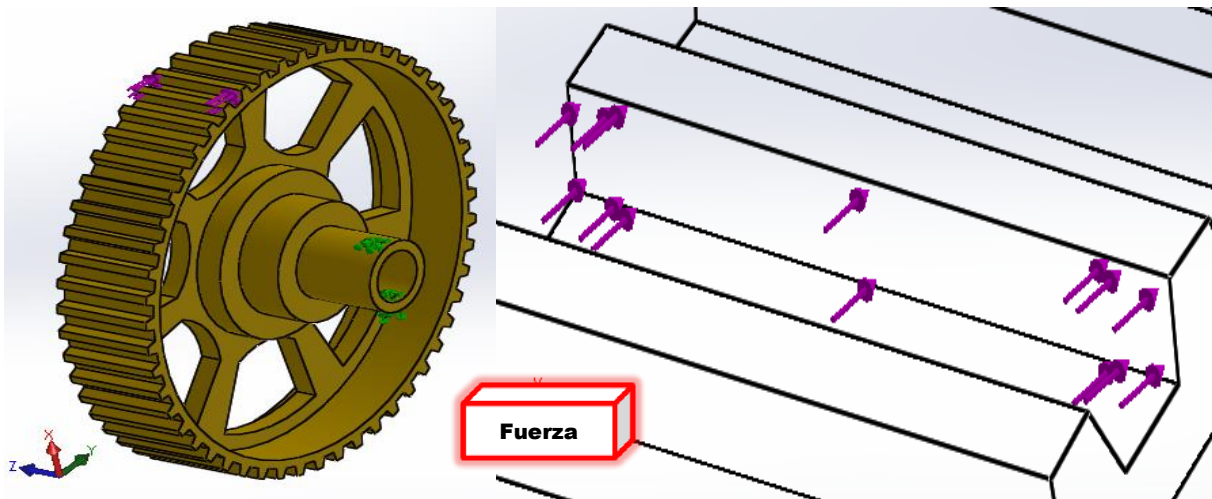


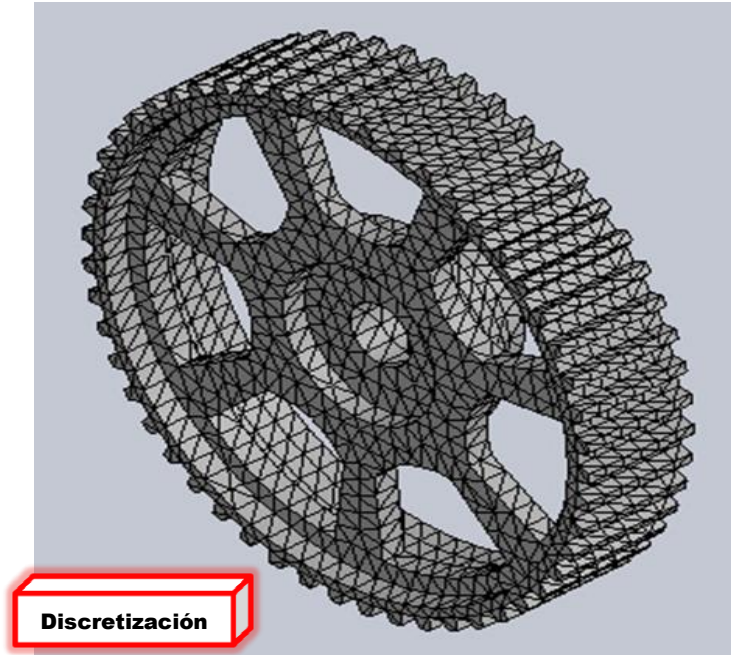
Figura IV.56.- Aplicación de la fuerza en el diente del engrane de distribución



Figura IV.57.- Fuerza de 1098.72 N aplicada en el diente del engrane de distribución

#### IV.5.1.5.- Discretizado del engrane de distribución

Posteriormente se procede al discretizado de la pieza (Figura IV.58). La Tabla IV.23 y la Tabla IV.24 muestran las propiedades de la malla utilizada para el análisis de la pieza, así como sus detalles específicos.



**Figura IV.58.-** Discretizado del engrane de distribución

**Tabla IV.23.-** Características de la malla utilizada en el análisis del engrane de distribución

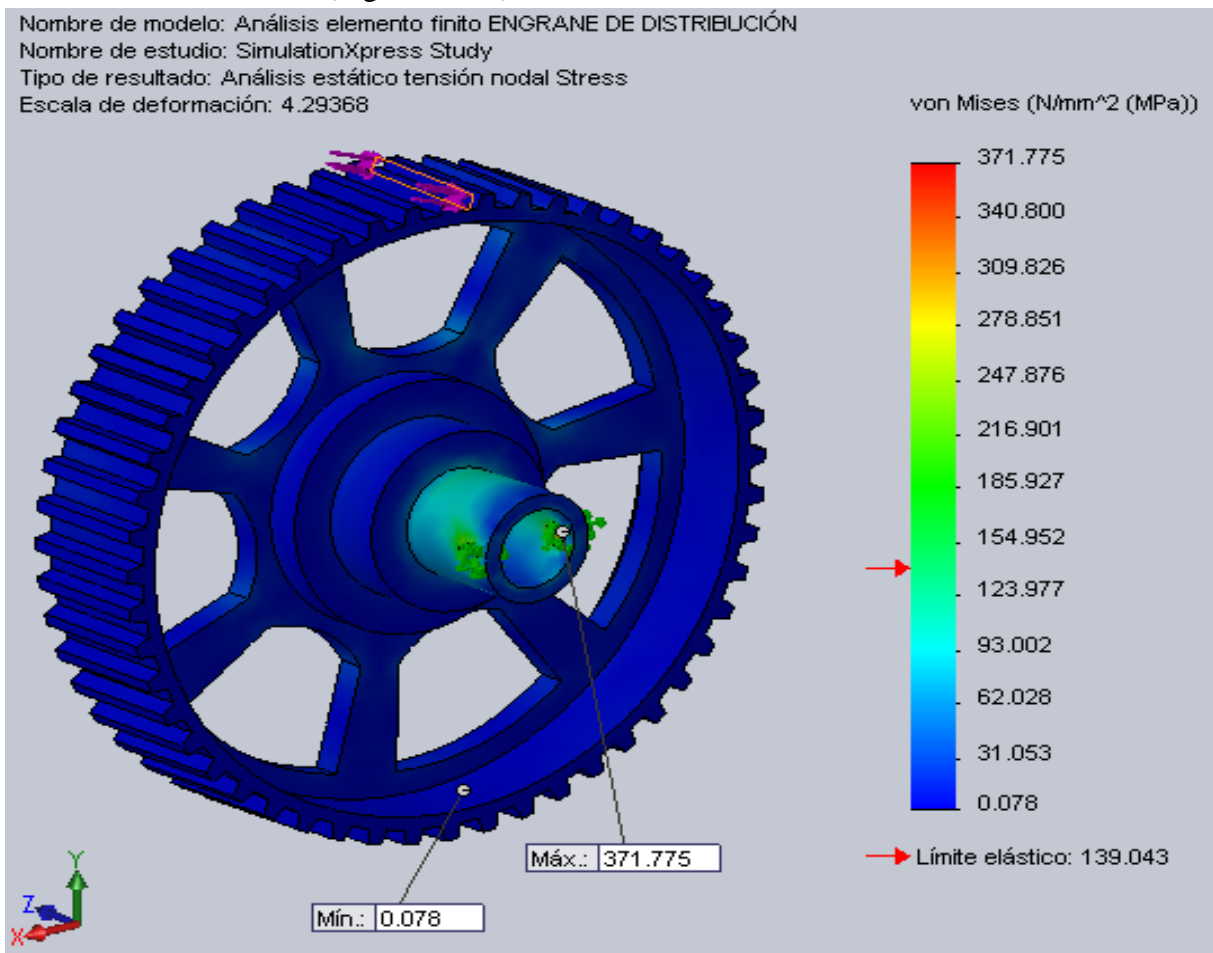
<b>Características del discretizado</b>	
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla estándar
Puntos Jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	4.52814 mm
Tolerancia	0.226407 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

**Tabla IV.24.-** Detalles específicos en el mallado del engrane de distribución

Detalles del discretizado	
Número total de nodos	21222
Número total de elementos	11020
Cociente máximo de aspecto	8.2304
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	93.9

#### IV.5.1.6.- Resultados para esfuerzo von Mises en el engrane de distribución

El análisis estático de la tensión nodal va de un mínimo de  $0.0780883 \text{ N/mm}^2$  (MPa) en el nodo 10472 a un máximo de  $371.775 \text{ N/mm}^2$  (MPa) en el nodo 9. Para una escala de deformación de 4.29368 (Figura IV.59).

**Figura IV.59.-** Resultados del esfuerzo von Mises en el engrane de distribución



#### IV.5.1.7.- Resultados para el desplazamiento en el engrane de distribución

El desplazamiento resultante se origina en el nodo 1 (partiendo desde cero) hasta el nodo 1222 (a los 3.17273 milímetros). (Figura IV.60).

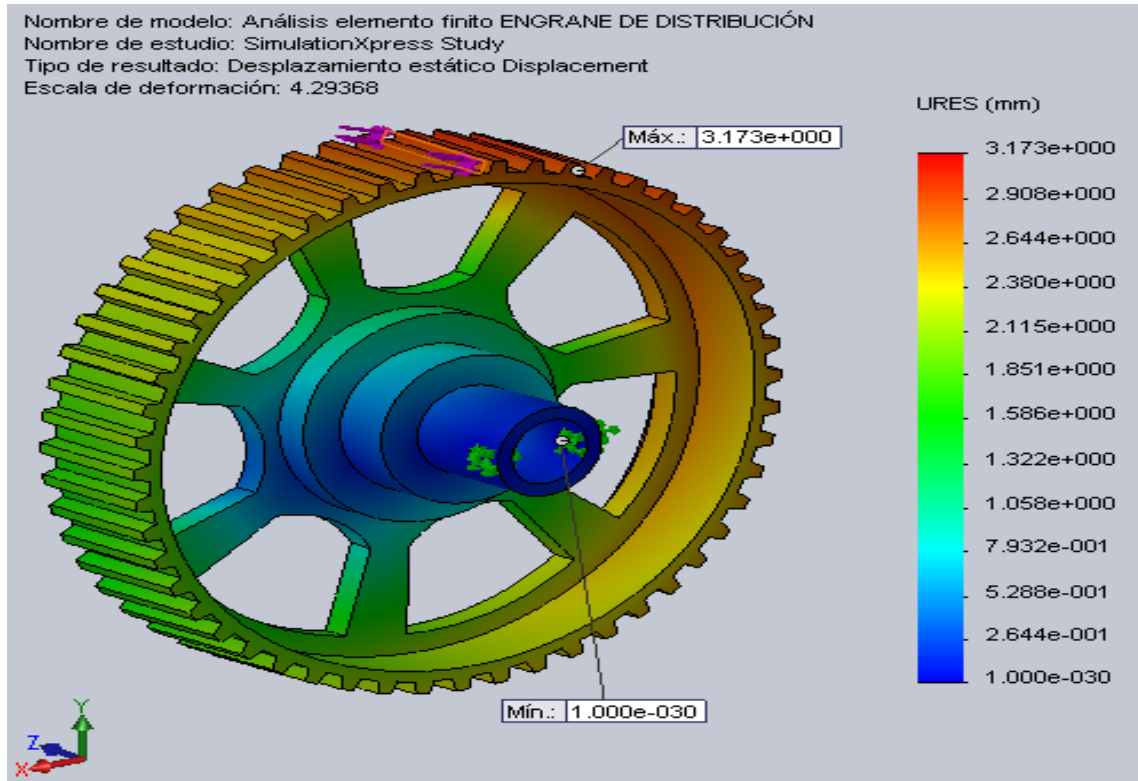


Figura IV.60.- Desplazamiento resultante en el engrane de distribución

#### IV.5.1.8.- Deformación total en el engrane de distribución

Finalmente se aprecia la deformación que sufre la pieza en la Figura IV.61.

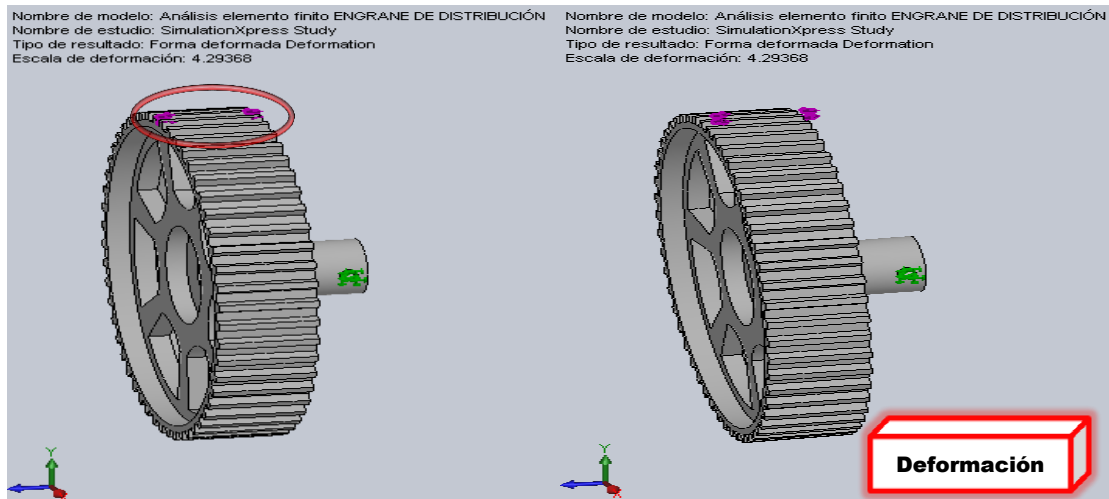


Figura IV.61.- Deformación en el engrane de distribución



#### IV.5.2.- Descripción del análisis en el engrane conducido

Se analizó la rueda dentada tipo engrane que se muestra en la Figura IV.62.

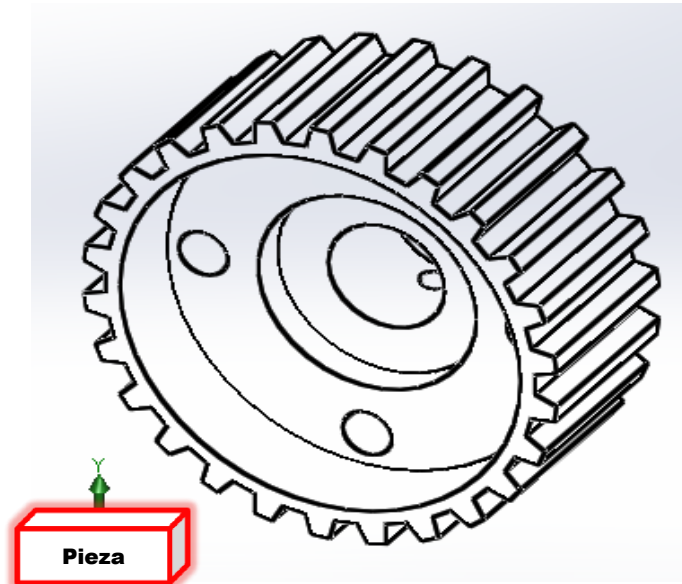


Figura IV.62.- Engrane conducido analizado por *MEF*

##### IV.5.2.1.- Especificaciones del análisis en el engrane conducido

Se empleó Acero *AISI 1020*, ya que se buscaba cierta flexibilidad en los dientes, pues como se fundamentó en el Capítulo III al implementar por ejemplo un Acero *AISI 1045* los dientes serían mucho más duros, pero quebradizos. En la Tabla IV.25 se muestran más datos del material considerados en el análisis isotrópico, elástico y lineal de este elemento.

Tabla IV.25.- Propiedades del Acero *AISI 1020*

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	$2 \times 10^{11}$	N/m <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	0.29	--
Módulo cortante	$7.7 \times 10^{10}$	N/m <sup>2</sup>
Densidad	7900	kg/m <sup>3</sup>
Tensión de rotura	420507000	N/m <sup>2</sup>

Límite elástico	351571000	N/m <sup>2</sup>
Coefficiente de expansión térmica	1.5 x 10 <sup>-5</sup>	/K
Conductividad térmica	47	W/(m*K)
Calor específico	420	J/(kg*K)

Para el análisis en 3-D se consideran datos como; centro de masa (milímetros) X = 0.00, Y = 0.00, Z = 8.26. Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia (gramos x milímetros cuadrados). Medido desde el centro de masa.

$$I_x = (1.00, -0.00, 0.00) \quad P_x = 15425.25$$

$$I_y = (0.00, 1.00, 0.00) \quad P_y = 15457.85$$

$$I_z = (0.00, 0.00, 1.00) \quad P_z = 26110.26$$

Momentos de inercia (gramos x milímetros cuadrados). Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.

$$L_{xx} = 15425.25 \quad L_{xy} = -0.00 \quad L_{xz} = 0.00$$

$$L_{yx} = -0.00 \quad L_{yy} = 15457.85 \quad L_{yz} = -0.00$$

$$L_{zx} = 0.00 \quad L_{zy} = -0.00 \quad L_{zz} = 26110.26$$

Momentos de inercia (gramos x milímetros cuadrados). Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

$$I_{xx} = 18590.55 \quad I_{xy} = -0.00 \quad I_{xz} = -0.00$$

$$I_{yx} = -0.00 \quad I_{yy} = 18623.15 \quad I_{yz} = -0.00$$

$$I_{zx} = -0.00 \quad I_{zy} = -0.00 \quad I_{zz} = 26110.26$$

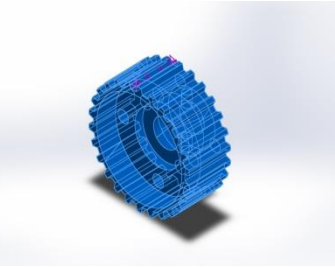
#### IV.5.2.2.- Información adicional del análisis en el engrane conducido

Se toma en cuenta un sólido y se consideran datos del modelo como; masa 0.366883 kg, volumen  $4.64408 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ , densidad  $7900 \text{ kg/m}^3$ , peso 3.59545 N.

#### IV.5.2.3.- Propiedades del análisis en el engrane conducido

Las propiedades del análisis se muestran en la Tabla IV.26.

**Tabla IV.26.-** Propiedades del análisis en el engrane conducido

Modelo	Propiedades	Componente
	Material: <i>Acero, AISI 1020</i>  Tipo de modelo: Isotrópico, elástico y lineal  Criterio de error predeterminado: Esfuerzo máximo de von Mises  Límite elástico: $351.571 \text{ N/mm}^2$  Tensión de rotura: $420.507 \text{ N/mm}^2$	Rueda dentada de 26 dientes (Engrane conducido)

#### IV.5.2.4.- Sujeción y carga del engrane conducido

Para realizar el análisis se procedió a fijar el engrane conducido por los barrenos pasantes que atraviesan transversalmente el cubo, pues es en este lugar donde la rueda dentada se fija al eje de las llantas delanteras, por medio de un par de opresores (Figura IV.63).

Se aplicó la fuerza al costado del diente, que es donde tiene contacto el engrane conducido con el engrane conductor. La fuerza aplicada se puede apreciar en la Figura IV.64. Como el movimiento se transmite del engrane conductor montado en el eje central, entonces, la fuerza aplicada en el diente del engrane conducido es de  $F = 1098.72 \text{ N}$  (Figura IV.65).

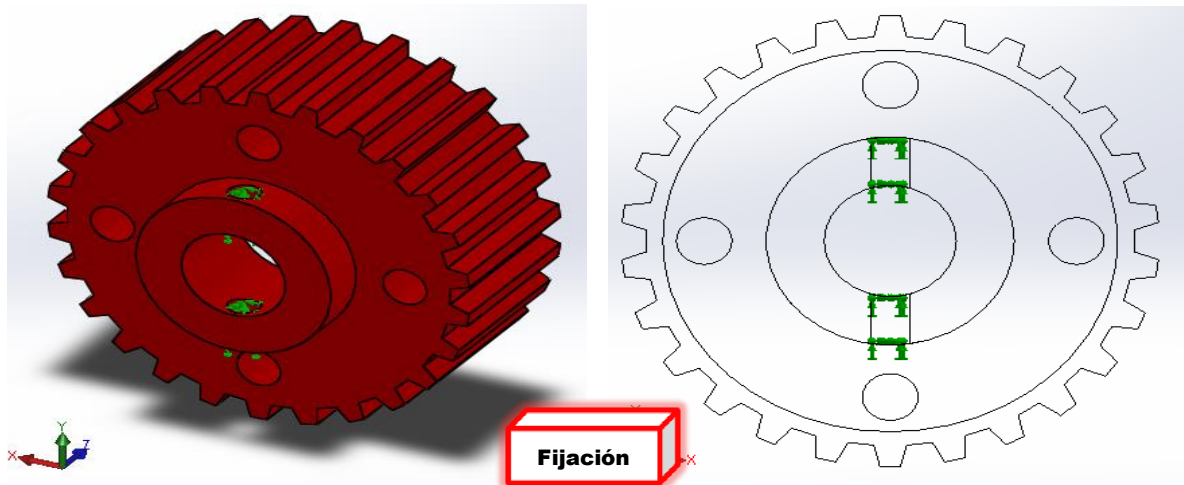


Figura IV.63.- Fijación del engrane conducido en los barrenos pasantes de su cubo

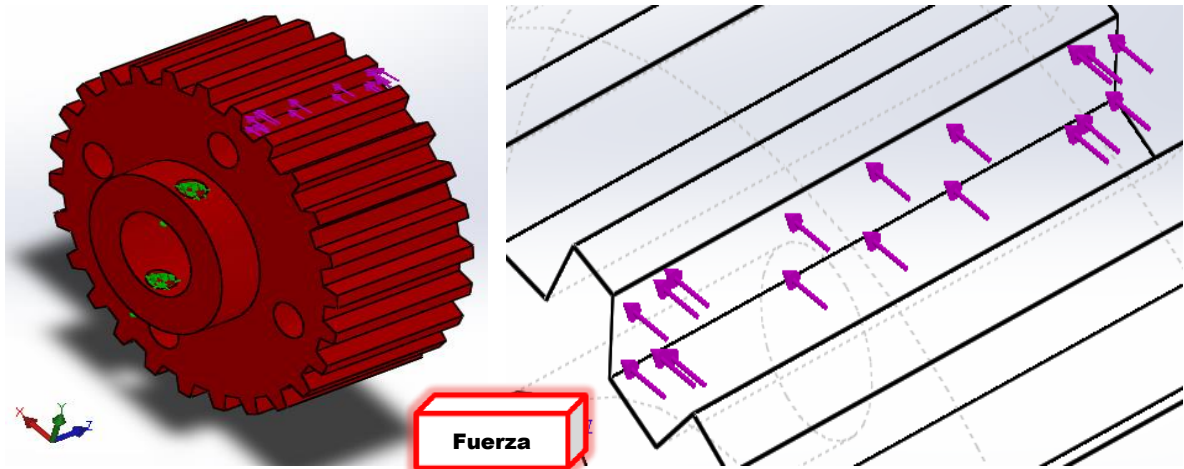


Figura IV.64.- Aplicación de la fuerza en el diente del engrane conducido

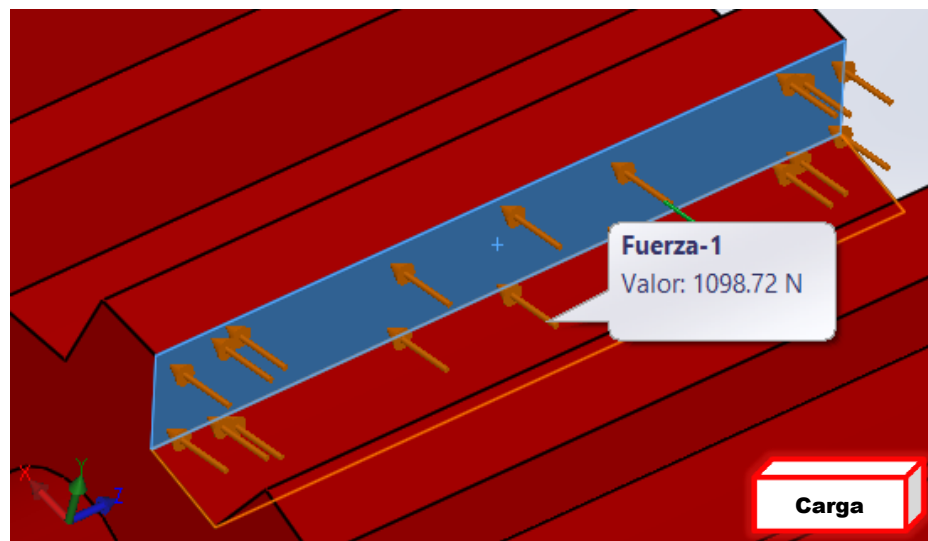


Figura IV.65.- Fuerza de 1098.72 N aplicada en el diente del engrane conducido

#### IV.5.2.5.- Discretizado del engrane conducido

Posteriormente se realizó el discretizado (Figura IV.66).



**Discretización**

**Figura IV.66.-** Discretizado del engrane conducido

La Tabla IV.27 y la IV.28 muestran las propiedades de la malla utilizada para el análisis de la pieza, así como sus detalles específicos.

**Tabla IV.27.-** Características de la malla utilizada en el análisis del engrane conducido

<b>Características del discretizado</b>	
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla estándar
Puntos Jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	3.59566 mm
Tolerancia	0.179783 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

**Tabla IV.28.-** Detalles específicos de la malla implementada en el análisis

Detalles del discretizado	
Número total de nodos	16225
Número total de elementos	9430
Cociente máximo de aspecto	6.4347
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	98.7

#### IV.5.2.6.- Resultados para esfuerzo von Mises en el engrane conducido

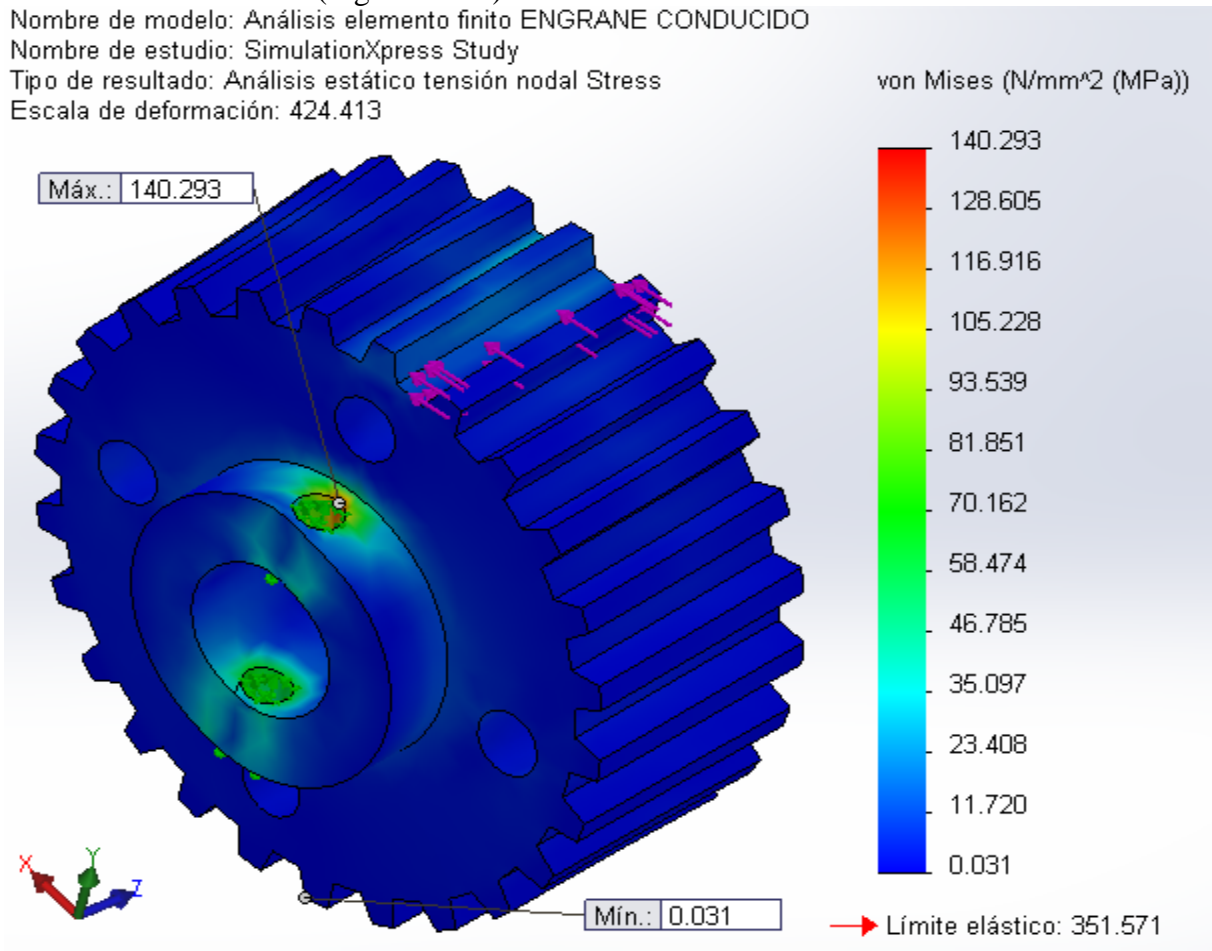
El análisis estático del esfuerzo nodal va de un mínimo de 0.0311809 N/mm<sup>2</sup> (MPa) en el nodo 511 a un máximo de 140.293 N/mm<sup>2</sup> (MPa) en el nodo 28. Para una escala de deformación de 424.413 (Figura IV.67).

Nombre de modelo: Análisis elemento finito ENGRANE CONDUcido

Nombre de estudio: SimulationXpress Study

Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Stress

Escala de deformación: 424.413

**Figura IV.67.-** Resultados para esfuerzo von Mises en el engrane conducido



#### IV.5.2.7.- Resultados para el desplazamiento en el engrane conducido

El desplazamiento resultante en el análisis estático se origina de un punto mínimo en el nodo 1 (partiendo desde cero) hasta un punto máximo en el nodo 1410 (a los 0.0165078 milímetros).

Los resultados se muestran en la Figura IV.68.

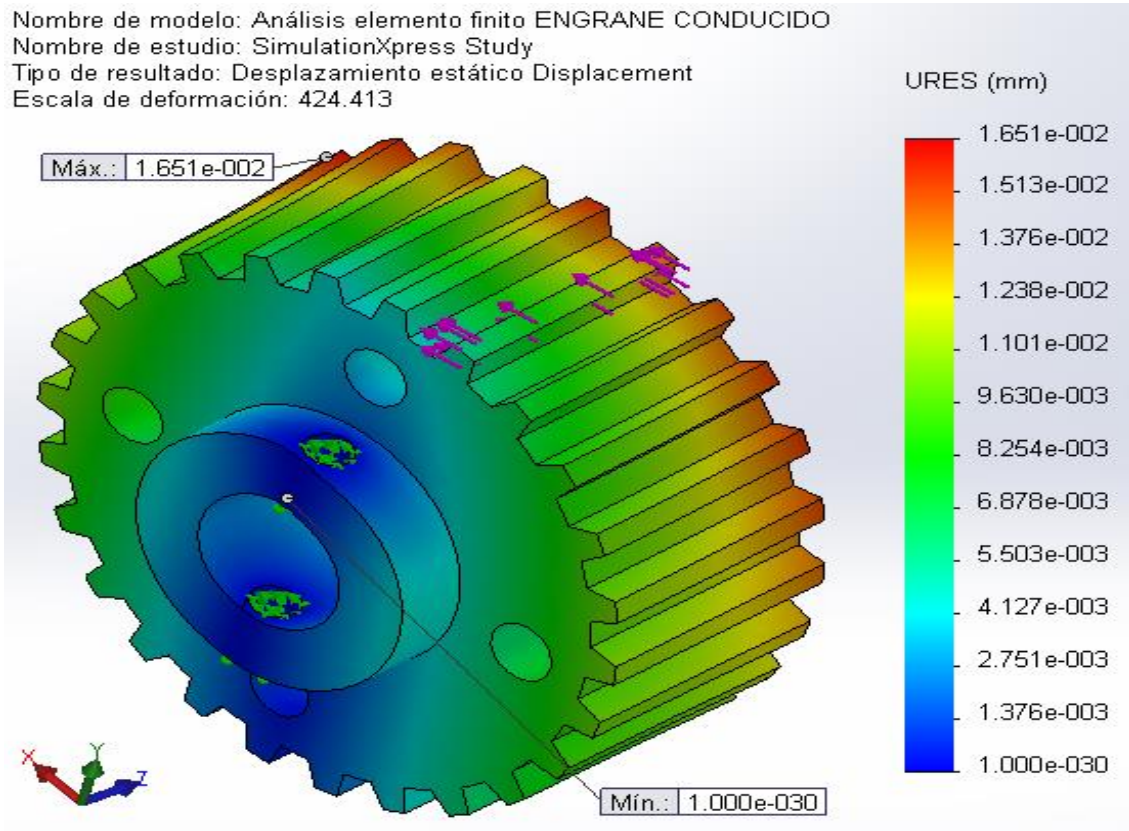


Figura IV.68.- Desplazamiento resultante en el engrane conducido

#### IV.5.2.8.- Deformación total en el engrane conducido

Se aprecia finalmente la deformación que sufre el elemento en la Figura IV.69.

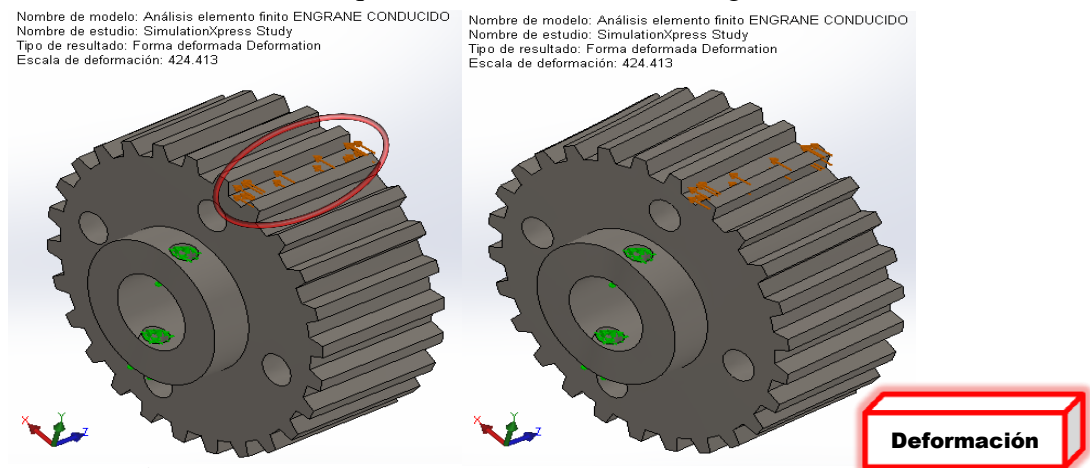
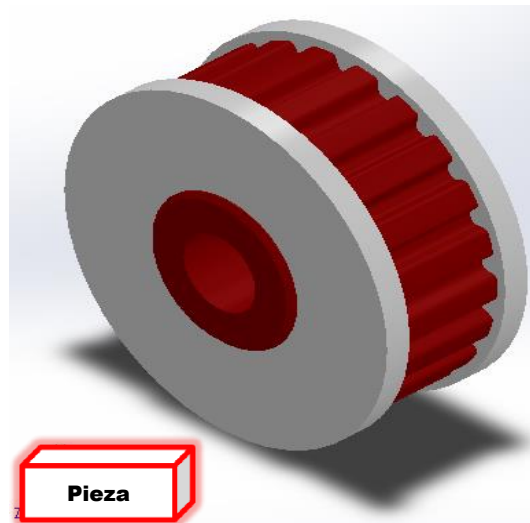


Figura IV.69.- Deformación en el engrane conducido



### IV.5.3.- Descripción del análisis en la polea dentada piñón

Se analizó la polea dentada piñón mostrada en la Figura IV.70 por el Método del Elemento Finito.



**Figura IV.70.-** Polea dentada piñón analizada por MEF

#### IV.5.3.1.- Especificaciones del análisis en la polea dentada piñón

Para el análisis correspondiente se empleó Aluminio aleación 6063 - T5. En la Tabla IV.29 se muestran los datos del material considerados en el análisis isotrópico, elástico y lineal de este elemento.

**Tabla IV.29.-** Propiedades del Aluminio aleación 6063 - T5

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	$6.9 \times 10^{10}$	N/m <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	0.33	--
Densidad	2700	kg/m <sup>3</sup>
Módulo cortante	$2.58 \times 10^{10}$	kg/m <sup>3</sup>
Tensión de rotura	185000000	N/m <sup>2</sup>
Límite elástico	145000000	N/m <sup>2</sup>
Coefficiente de expansión térmica	$2.34 \times 10^{-5}$	/K

Conductividad térmica	209	W/(m*K)
Calor específico	900	J/(kg*K)

Para el análisis en 3-D también se consideran datos como; centro de masa (milímetros)  $X = 234.23$ ,  $Y = 172.33$ ,  $Z = 61.87$ . Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia (gramos \* milímetros cuadrados). Medido desde el centro de masa.

$$I_x = (1.00, 0.00, 0.00) \quad P_x = 26307.01$$

$$I_y = (0.00, 1.00, 0.00) \quad P_y = 26307.01$$

$$I_z = (0.00, 0.00, 1.00) \quad P_z = 40559.21$$

Momentos de inercia (gramos x milímetros cuadrados). Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.

$$L_{xx} = 26307.01 \quad L_{xy} = 0.00 \quad L_{xz} = 0.00$$

$$L_{yx} = 0.00 \quad L_{yy} = 26307.01 \quad L_{yz} = 0.00$$

$$L_{zx} = 0.00 \quad L_{zy} = 0.00 \quad L_{zz} = 40559.21$$

Momentos de inercia: (gramos x milímetros cuadrados). Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

$$I_{xx} = 2372047.54 \quad I_{xy} = 2824219.38 \quad I_{xz} = 1014031.54$$

$$I_{yx} = 2824219.38 \quad I_{yy} = 4132826.51 \quad I_{yz} = 746056.06$$

$$I_{zx} = 1014031.54 \quad I_{zy} = 746056.06 \quad I_{zz} = 5957078.72$$

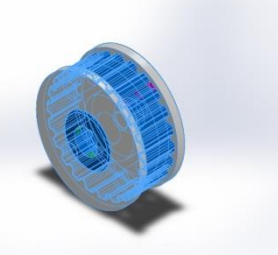
#### IV.5.3.2.- Información adicional del análisis en la polea dentada piñón

Se toma en cuenta un sólido y se consideran datos del modelo como; masa 0.188912 kg, volumen  $6.99674 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ , densidad  $2700 \text{ kg/m}^3$ , peso 1.85134 N.

#### IV.5.3.3.- Propiedades del análisis en la polea dentada piñón

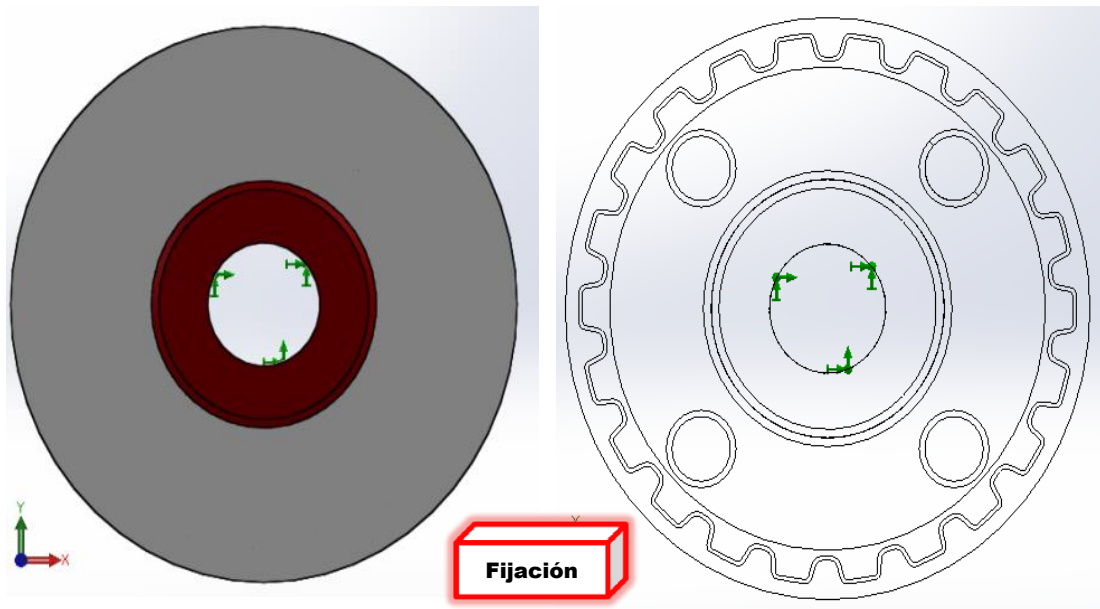
Las propiedades del análisis se muestran en la Tabla IV.30.

**Tabla IV.30.-** Propiedades del análisis en la polea dentada piñón

Referencia de modelo	Propiedades	Componente
	Material:	Aluminio, aleación 6063 – T5
	Tipo de modelo:	Isotrópico, elástico y lineal
	Criterio de error predeterminado:	Esfuerzo máximo de von Mises
	Límite elástico:	145 N/mm <sup>2</sup>
	Tensión de rotura:	185 N/mm <sup>2</sup>
		Rueda dentada de 22 dientes  (Polea dentada piñón)

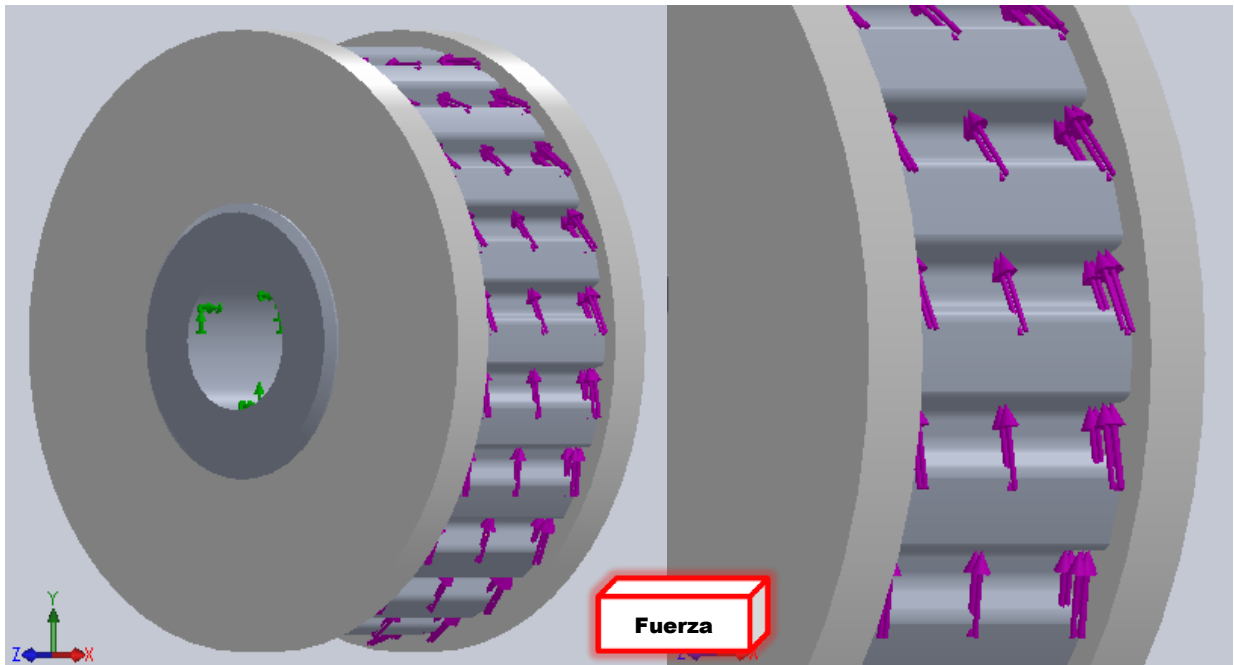
#### IV.5.3.4.- Sujeción y carga de la polea dentada piñón

Para el análisis se procedió a fijar la polea dentada piñón en la parte interna del cubo. Tal y como se muestra en la Figura IV.71.



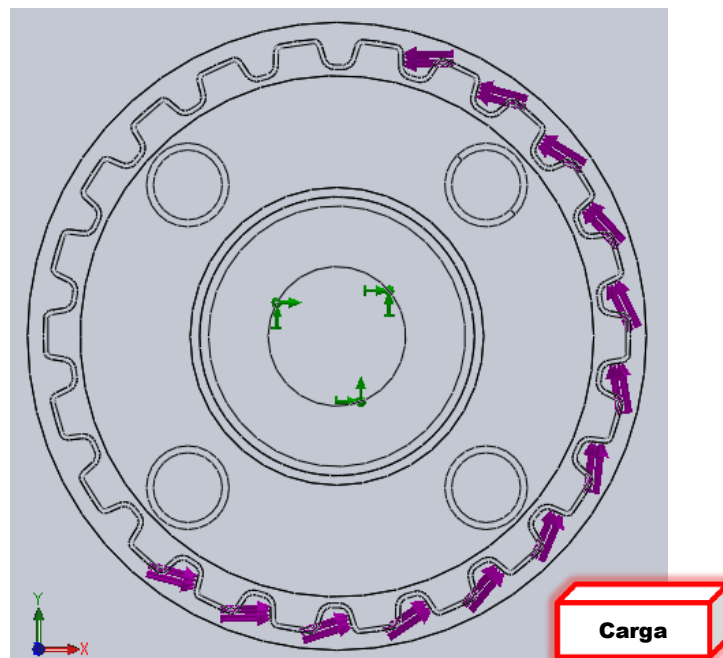
**Figura IV.71.-** Fijación de la polea dentada piñón

Se aplicó la fuerza en los costados del diente, pues es donde tienen contacto la polea dentada y la banda síncrona de neopreno. La fuerza aplicada se aprecia en la Figura IV.72.



**Figura IV.72.-** Aplicación de la fuerza en los distintos dientes de la polea dentada piñón

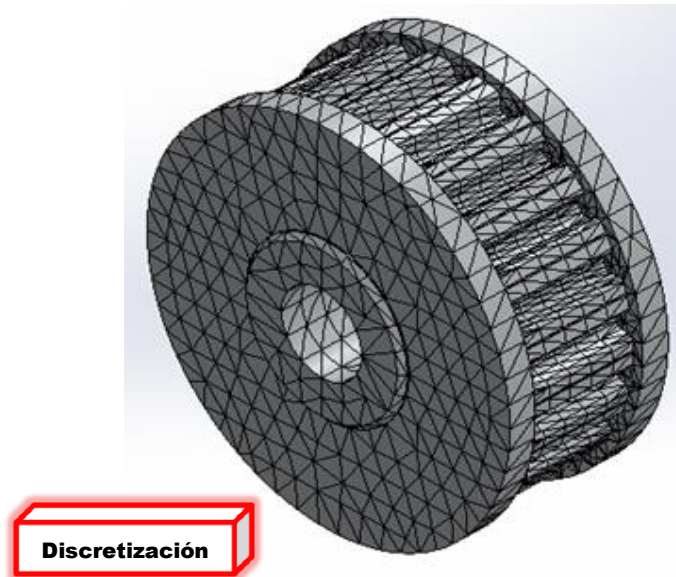
La fuerza aplicada está dividida entre 13, pues es el número de dientes que tienen contacto con la correa de distribución, lo que nos da  $F = 1098.72/13 = 84.5169 \text{ N}$  (Figura IV.73).



**Figura IV.73.-** Fuerza de 84.5169 N aplicada en cada diente de la polea dentada piñón

#### IV.5.3.5.- Discretizado en la polea dentada piñón

Posteriormente se realizó el mallado del elemento, tal y como se ilustra en la Figura IV.74.



**Figura IV.74.-** Discretizado en la polea dentada piñón

La Tabla IV.31 y IV.32 muestran las propiedades del discretizado utilizado para el análisis de la pieza, así como sus detalles específicos.

**Tabla IV.31.-** Características de la malla utilizada en el análisis de la polea dentada piñón

<b>Características del discretizado</b>	
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla estándar
Puntos Jacobianos	4 Puntos
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

**Tabla IV.32.-** Detalles específicos del discretizado para el análisis la polea dentada piñón

<b>Detalles del discretizado</b>	
Número total de nodos	43890
Número total de elementos	27976

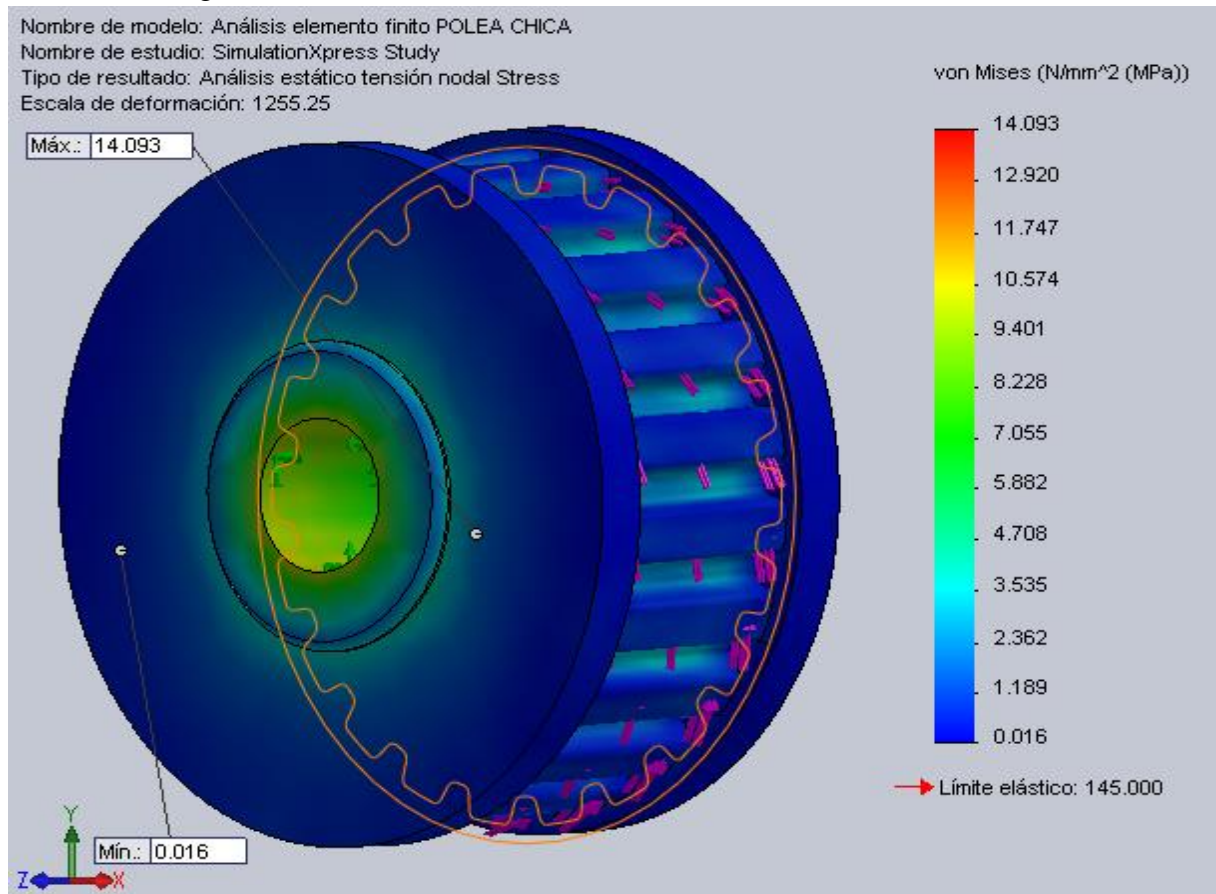
Cociente máximo de aspecto	26.799
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	74.2
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	1.29

#### IV.5.3.6.- Resultados para esfuerzos von Mises en la polea dentada piñón

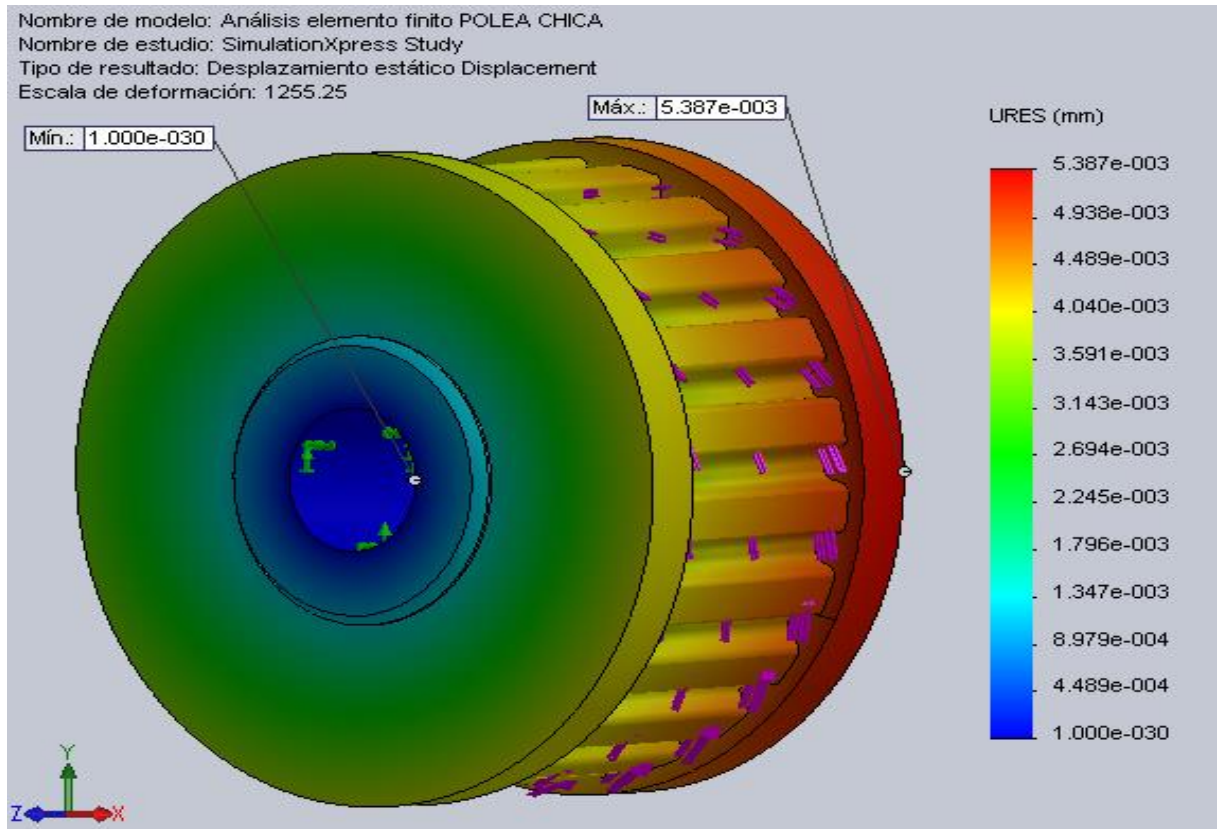
El análisis estático de esfuerzo nodal va de un mínimo de 0.0158598 N/mm<sup>2</sup> (MPa) en el nodo 1663 a un máximo de 14.0934 N/mm<sup>2</sup> (MPa) en el nodo 39131. Para una escala de deformación de 1255.25 (Figura IV.75).

#### IV.5.3.7.- Resultados para el desplazamiento en la polea dentada piñón

El desplazamiento resultante en el análisis estático se origina de un punto mínimo en el nodo 480 (partiendo desde cero) hasta un punto máximo en el nodo 74 (a los 0.00538719 milímetros) (Figura IV.76).



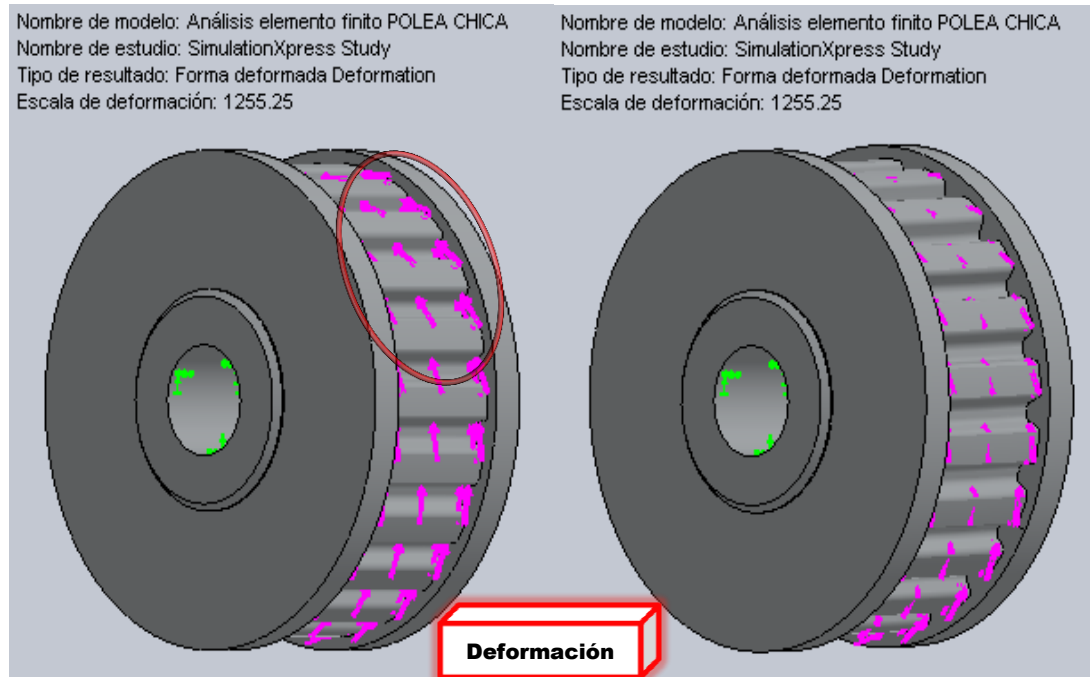
**Figura IV.75.-** Resultados para esfuerzos de von Mises en la polea dentada piñón



**Figura IV.76.-** Desplazamiento resultante en la polea dentada piñón.

#### IV.5.3.8.- Deformación total en la polea dentada piñón

Se aprecia finalmente la deformación que sufre el elemento en la Figura IV.77.

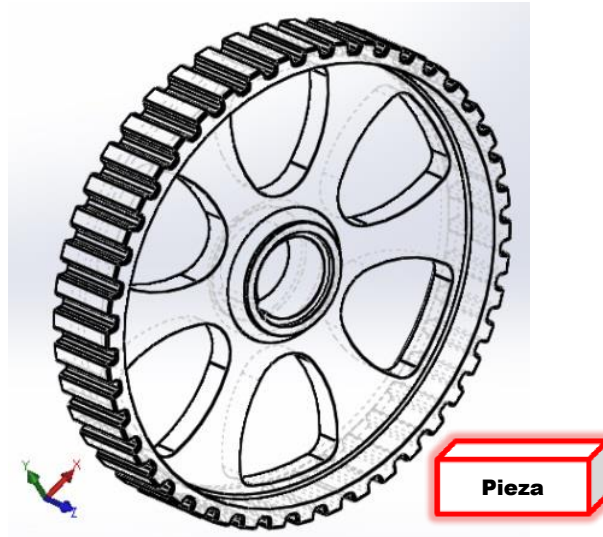


**Figura IV.77.-** Deformación en la rueda dentada piñón



#### IV.5.4.- Descripción del análisis en la polea dentada conducida

Se analizó la polea dentada conducida mostrada en la Figura IV.78 por el *MEF*.



**Figura IV.78.-** Polea dentada conducida analizada por *MEF*

##### IV.5.4.1.- Especificaciones del análisis en la polea dentada conducida

Para el análisis correspondiente se empleó el material plástico-mecánico conocido como Nylamid (también llamado comúnmente *Nylacero* o *Nylon 6*). En la Tabla IV.21 vista anteriormente paginas atrás, se muestran los datos del material considerados en el análisis isotrópico, elástico y lineal de la rueda dentada. Para el análisis en 3-D también se consideran datos como; centro de masa (milímetros),  $X = 299.76$ ,  $Y = 176.99$ ,  $Z = 8.80$ . Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia (gramos x milímetros cuadrados). Medido desde el centro de masa.

$$\begin{aligned} I_x &= (-0.06, 1.00, 0.00) & P_x &= 113584.27 \\ I_y &= (-1.00, -0.06, 0.00) & P_y &= 113590.38 \\ I_z &= (0.00, 0.00, 1.00) & P_z &= 223640.65 \end{aligned}$$

Momentos de inercia (gramos x milímetros cuadrados). Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.

$$\begin{array}{lll}
 L_{xx} = 113590.36 & L_{xy} = -0.36 & L_{xz} = -2.82 \\
 L_{yx} = -0.36 & L_{yy} = 113584.29 & L_{yz} = -0.03 \\
 L_{zx} = -2.82 & L_{zy} = -0.03 & L_{zz} = 223640.65
 \end{array}$$

Momentos de inercia: (gramos x milímetros cuadrados). Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

$$\begin{array}{lll}
 I_{xx} = 2632087.81 & I_{xy} = 4254791.82 & I_{xz} = 211619.45 \\
 I_{yx} = 4254791.82 & I_{yy} = 7325699.07 & I_{yz} = 124954.36 \\
 I_{zx} = 211619.45 & I_{zy} = 124954.36 & I_{zz} = 9941823.07
 \end{array}$$


#### IV.5.4.2.- Información adicional del análisis en la polea dentada conducida

Se toma en cuenta un sólido y se consideran datos del modelo como; masa 0.112273 kg, volumen  $8.01949 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ , densidad  $1400 \text{ kg/m}^3$ , peso 1.10027 N.

#### IV.5.4.3.- Propiedades del análisis en la polea dentada conducida

Las propiedades del análisis se muestran en la Tabla IV.33.

**Tabla IV.33.-** Propiedades del análisis en la polea dentada conducida

Modelo	Propiedades	Componente
	Material: Nylamid 6/6 Tipo de modelo: Isotrópico, elástico y lineal Criterio de error predeterminado: Esfuerzo máximo de von Mises Límite elástico: $139.043 \text{ N/mm}^2$ Tensión de rotura: $142.559 \text{ N/mm}^2$	Rueda síncrona de 44 dientes (Polea dentada conducida)

#### IV.5.4.4.- Sujeción y carga de la polea dentada conducida

En el análisis se procedió a fijar la polea dentada en la parte del cuñero, pues en este lugar la rodaja se fija a la flecha por medio de una chaveta (cuña) (Figura IV.79). Se aplicó la fuerza a los dientes que tiene contacto con la banda síncrona, como se puede apreciar en la Figura IV.80.

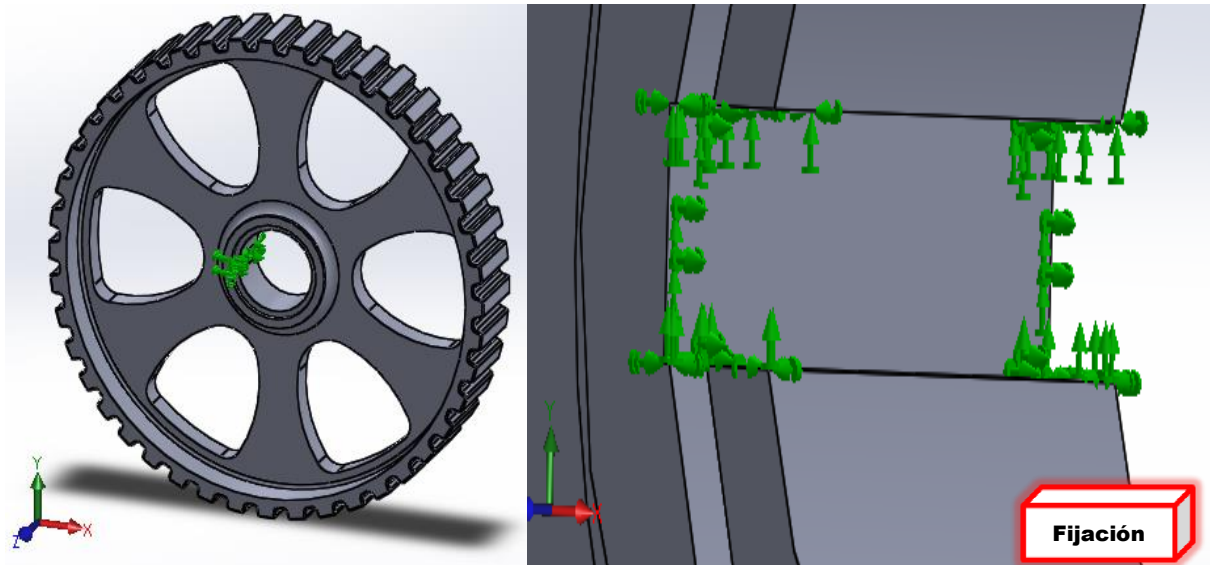


Figura IV.79.- Fijación de la polea dentada conducida en el cuñero

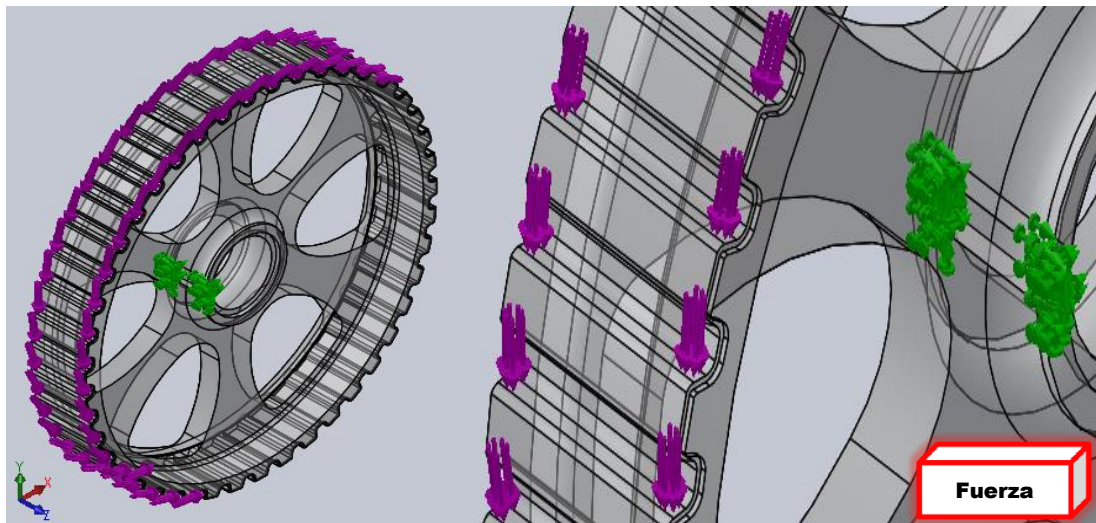
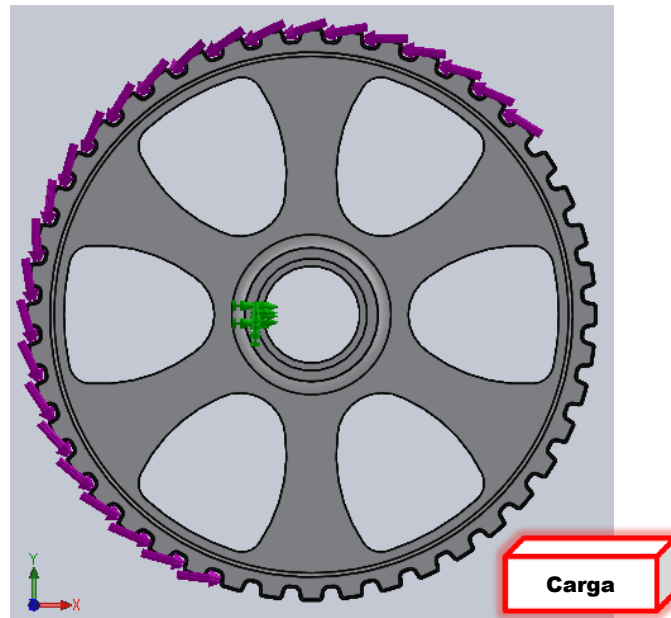


Figura IV.80.- Aplicación de la fuerza en los dientes de la polea dentada conducida

Como en los demás elementos mecánicos dentados la fuerza aplicada es de  $F = 1098.72 \text{ N}$  dividida entre 26, pues es el número de dientes que hacen contacto con la banda síncrona. Por lo que nos queda  $F = 1098.72/26 = 42.2584 \text{ N}$  (Figura IV.81).



**Figura IV.81.-** Fuerza de 42.2584 N aplicada en cada diente de la polea dentada conducida que hace contacto con la banda

#### **IV.5.4.5.- Discretizado de la polea dentada conducida**

Posteriormente se realizó el mallado del elemento, tal y como se ilustra en la Figura IV.82. La Tabla IV.34 y IV.35 muestran las propiedades de la malla utilizada para el análisis de la pieza, así como sus detalles específicos.



**Figura IV.82.-** Discretizado en la polea dentada conducida

**Tabla IV.34.-** Características de la discretizado en el análisis de la polea dentada conducida

<b>Características del discretizado</b>	
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla estándar
Tamaño de elementos	4.31354 mm
Tolerancia	0.215677 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

**Tabla IV.35.-** Detalles específicos de la discretizado implementado

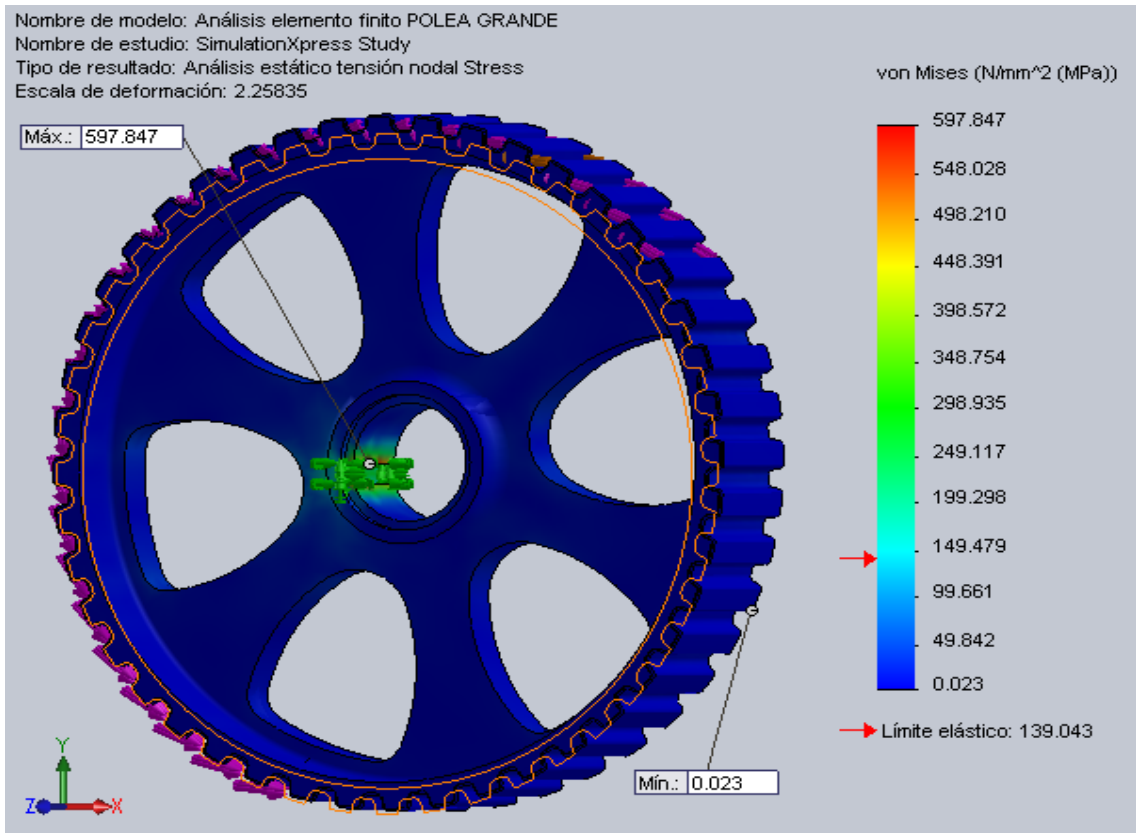
<b>Detalles del discretizado</b>	
Número total de nodos	44907
Número total de elementos	25455
Cociente máximo de aspecto	18.369
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	62
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0.232

**IV.5.4.6.- Resultados para el esfuerzo de von Miseses en la polea dentada conducida**

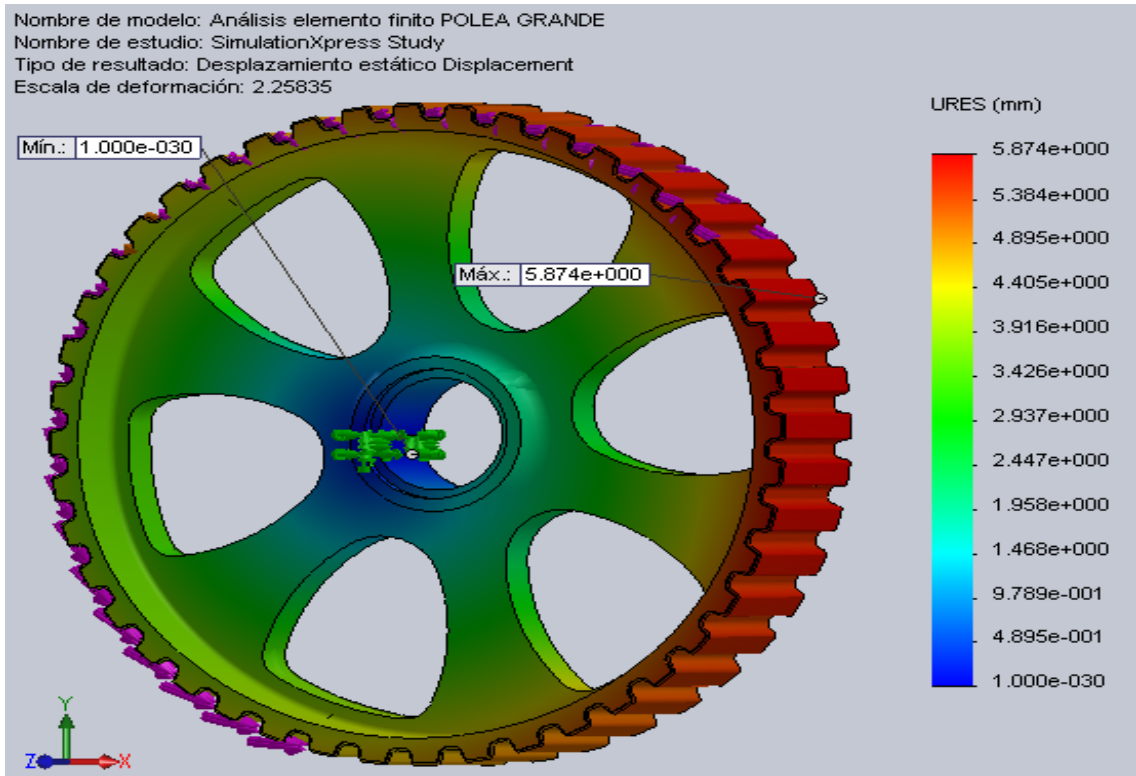
El análisis estático de la tensión nodal va de un mínimo de 0.0232407 N/mm<sup>2</sup> (MPa) en el nodo 27436 a un máximo de 597.847 N/mm<sup>2</sup> (MPa) en el nodo 19074. Para una escala de deformación de 2.25835 (Figura IV.83).

**IV.5.4.7.- Resultados para el desplazamiento en la polea dentada conducida**

El desplazamiento resultante en el análisis estático se origina de un punto mínimo en el nodo 579 (partiendo desde cero) hasta un punto máximo en el nodo 3497 (a los 5.87354 milímetros). Los resultados se muestran en la Figura IV.84.



**Figura IV.83.-** Resultados para esfuerzos de von Mises en la polea dentada conducida



**Figura IV.84.-** Desplazamiento resultante en la polea dentada conducida



#### IV.5.4.8.- Deformación total en la polea dentada conducida

Se aprecia finalmente la deformación que sufre el elemento en la Figura IV.855.

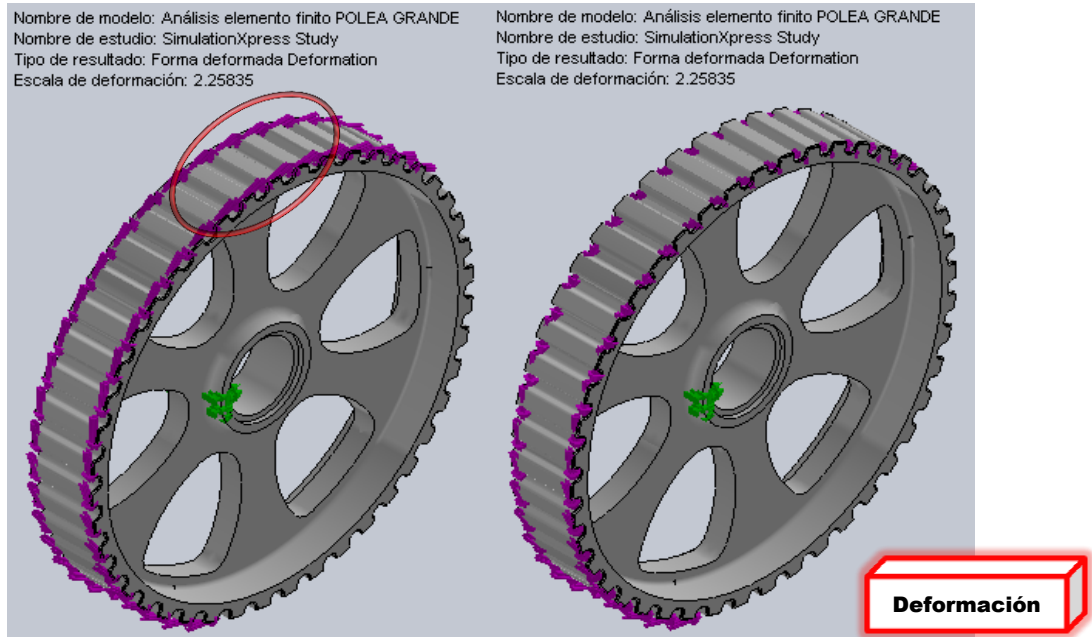


Figura IV.85.- Deformación en la polea dentada conducida

#### IV.5.5.- Descripción en el análisis de la catarina del eje trasero

Por medio del *MEF* se procedió al análisis de la catarina montada en el eje trasero del vehículo (Figura IV.86).

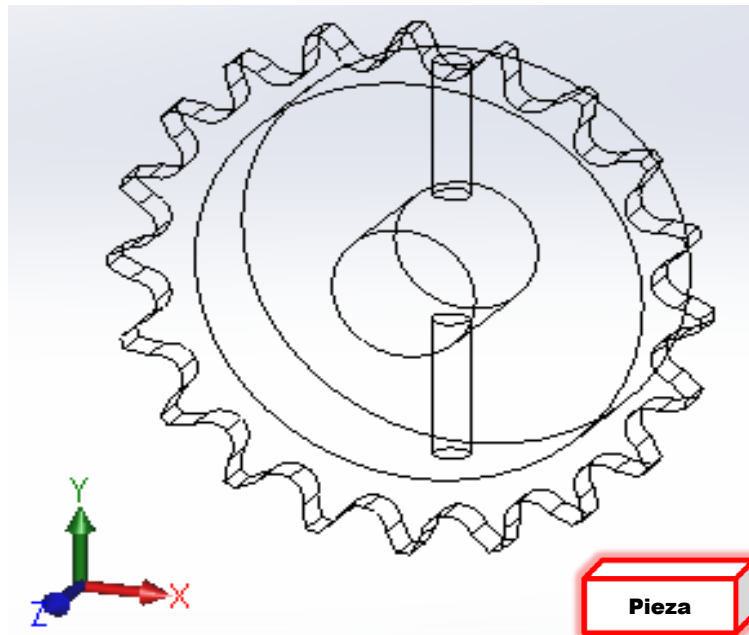


Figura IV.86.- Catarina analizada por medio del método de elemento finito



#### IV.5.5.1.- Especificaciones en el análisis de la catarina del eje trasero

El material de las catarinas es Acero *AISI 1018*, determinado como Acero rolando en frío (*Cold Rolled*). Es un análisis isotrópico, elástico y lineal (para más datos del material considerados en el análisis ver la Tabla IV.36).

**Tabla IV.36.-** Propiedades del Acero *AISI 1018*

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	$2.05 \times 10^{11}$	N/m <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	0.29	--
Módulo cortante	$8 \times 10^{10}$	N/m <sup>2</sup>
Densidad de masa	7870	kg/m <sup>3</sup>
Tensión de rotura	385000000	N/m <sup>2</sup>
Límite elástico	325000000	N/m <sup>2</sup>
Coefficiente de expansión térmica	$1.2 \times 10^{-5}$	/K
Conductividad térmica	52	W/(m*K)
Calor específico	486	J/(kg*K)

Para el análisis en 3-D también se consideran datos como el Centro de masa (milímetros); X = 0.00, Y = 0.00, Z = 10.08. Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos \* milímetros cuadrados) Medido desde el centro de masa.

$$I_x = (1.00, 0.00, 0.00) \quad P_x = 8173.65$$

$$I_y = (0.00, 1.00, 0.00) \quad P_y = 8293.40$$

$$I_z = (0.00, 0.00, 1.00) \quad P_z = 14271.93$$

Momentos de inercia (gramos x milímetros cuadrados). Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.

$$\begin{array}{lll}
 L_{xx} = 8173.65 & L_{xy} = -0.00 & L_{xz} = 0.00 \\
 L_{yx} = -0.00 & L_{yy} = 8293.40 & L_{yz} = -0.00 \\
 L_{zx} = 0.00 & L_{zy} = -0.00 & L_{zz} = 14271.93
 \end{array}$$

Momentos de inercia (gramos x milímetros cuadrados). Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

$$\begin{array}{lll}
 I_{xx} = 11850.71 & I_{xy} = -0.00 & I_{xz} = -0.00 \\
 I_{yx} = -0.00 & I_{yy} = 11970.46 & I_{yz} = -0.00 \\
 I_{zx} = -0.00 & I_{zy} = -0.00 & I_{zz} = 14271.93
 \end{array}$$


#### IV.5.5.2.- Información adicional en el análisis de la catarina del eje trasero

Se toma en cuenta un sólido y se consideran datos del modelo como masa 0.284876 kg, volumen  $3.61978 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ , densidad:  $7870 \text{ kg/m}^3$ , peso 2.79179 N.

#### IV.5.5.3.- Propiedades del análisis en la catarina del eje trasero

Las propiedades del análisis se muestran en la Tabla IV.37.

**Tabla IV.37.-** Propiedades del análisis en la catarina del eje trasero

Modelo	Propiedades	Componente
	Material: Acero <i>AISI 1018</i> , (Acero estirado en frío)	Rueda dentada de 20 dientes  (Catarina del eje trasero)
	Tipo de modelo: Isotrópico, elástico y lineal	
	Criterio de error predeterminado: Esfuerzo máximo de von Mises	
	Límite elástico: $325 \text{ N/mm}^2$	
	Tensión de rotura: $385 \text{ N/mm}^2$	

#### IV.5.5.4.- Sujeción y carga de la catarina del eje trasero

Para el análisis se fijó la catarina en el barreno pasante que atraviesa de un lado a otro el mamelón, en donde el elemento va sujeto por medio de un perno al eje de las llantas traseras del vehículo (Figura IV.87). Se procedió entonces a la aplicación de la fuerza en donde tiene acción el contacto entre el elemento y la cadena (ver Figura IV.88). La fuerza aplicada en el diente está calculada como en solicitaciones anteriores para una masa de 112 kg con lo que nos resulta una  $F = 1098.72 \text{ N}$ . La fuerza se divide entre 10, pues es el número de pernos de la cadena que inciden directamente en la pieza, por lo que nos queda una  $F = 1098.72/10 = 109.872 \text{ N}$  (Figura IV.89).

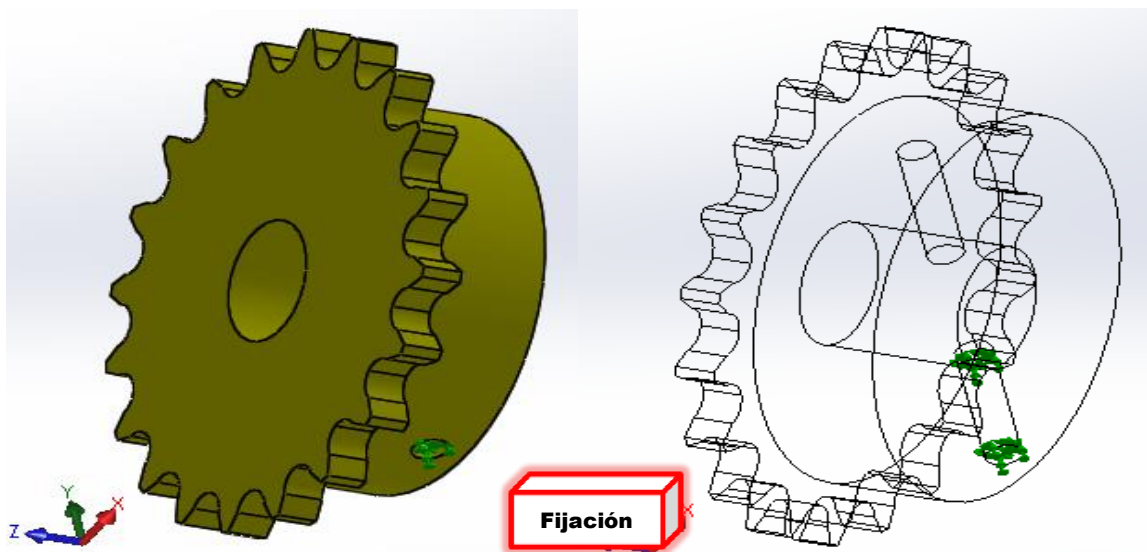


Figura IV.87.- Fijación en la parte interna de la catarina

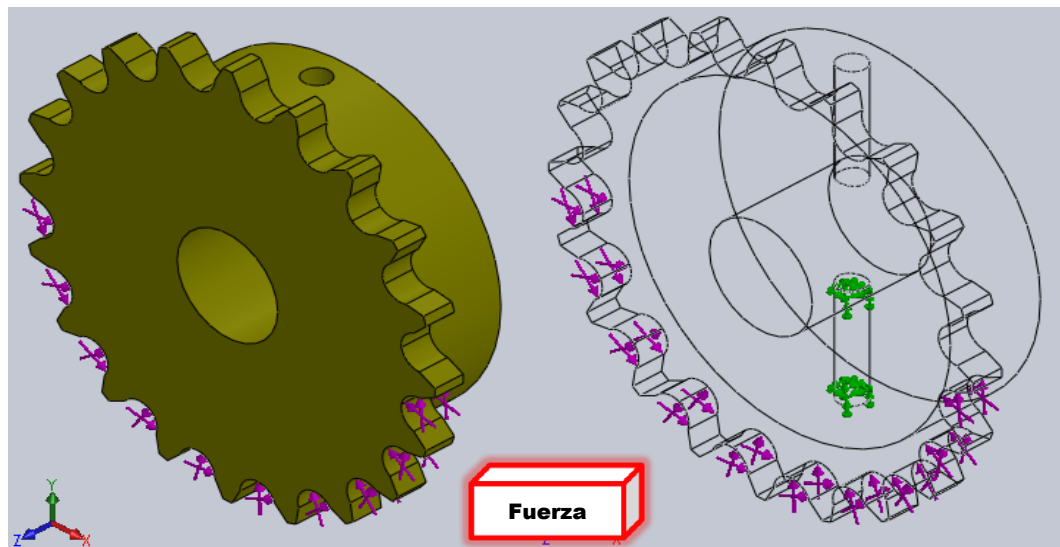
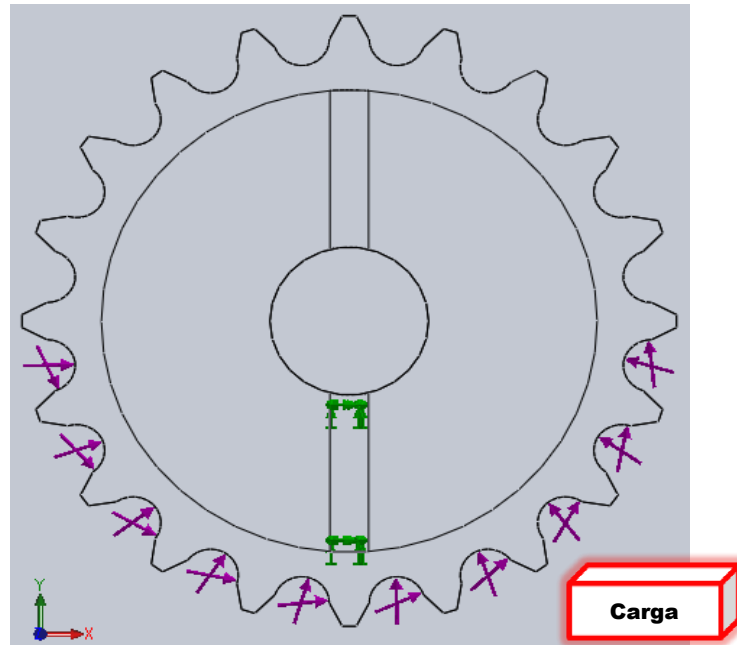


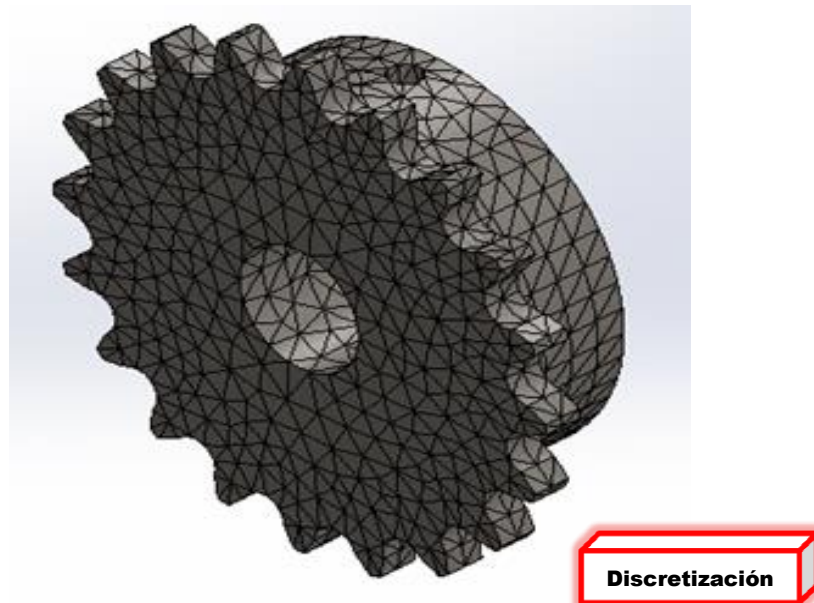
Figura IV.88.- Aplicación de las fuerzas en la catarina del eje trasero



**Figura IV.89.-** Fuerza de 109.872 N aplicada en los puntos donde tiene lugar el contacto entre la cadena y la catarina

#### IV.5.5.5.- Discretizado de la catarina del eje trasero

Posteriormente se procede al mallado de la pieza, como se muestra en la Figura IV.90.



**Figura IV.90.-** Discretizado de la catarina del eje trasero

En la Tabla IV.38 y IV.39 se muestran las propiedades del discretizado usado para el análisis de la catarina, así como sus detalles específicos.

**Tabla IV.38.-** Características de la malla utilizada en el análisis de la catarina del eje trasero

<b>Características del discretizado</b>	
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla estándar
Puntos Jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	3.3091 mm
Tolerancia	0.165455 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

**Tabla IV.39.-** Detalles específicos de la malla de la catarina del eje trasero

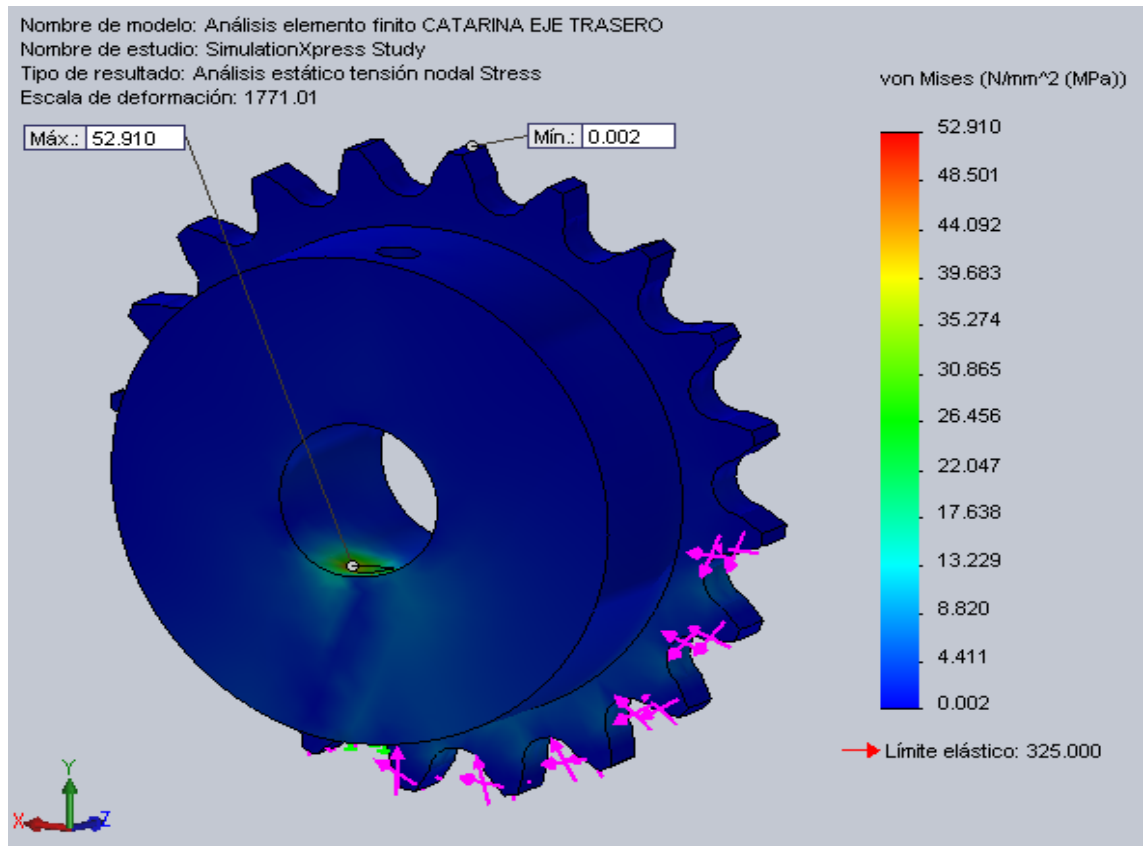
<b>Detalles del discretizado</b>	
Número total de nodos	15125
Número total de elementos	9399
Cociente máximo de aspecto	4.1393
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99.6

**IV.5.5.6.- Resultados para esfuerzo von Mises en la catarina del eje trasero**

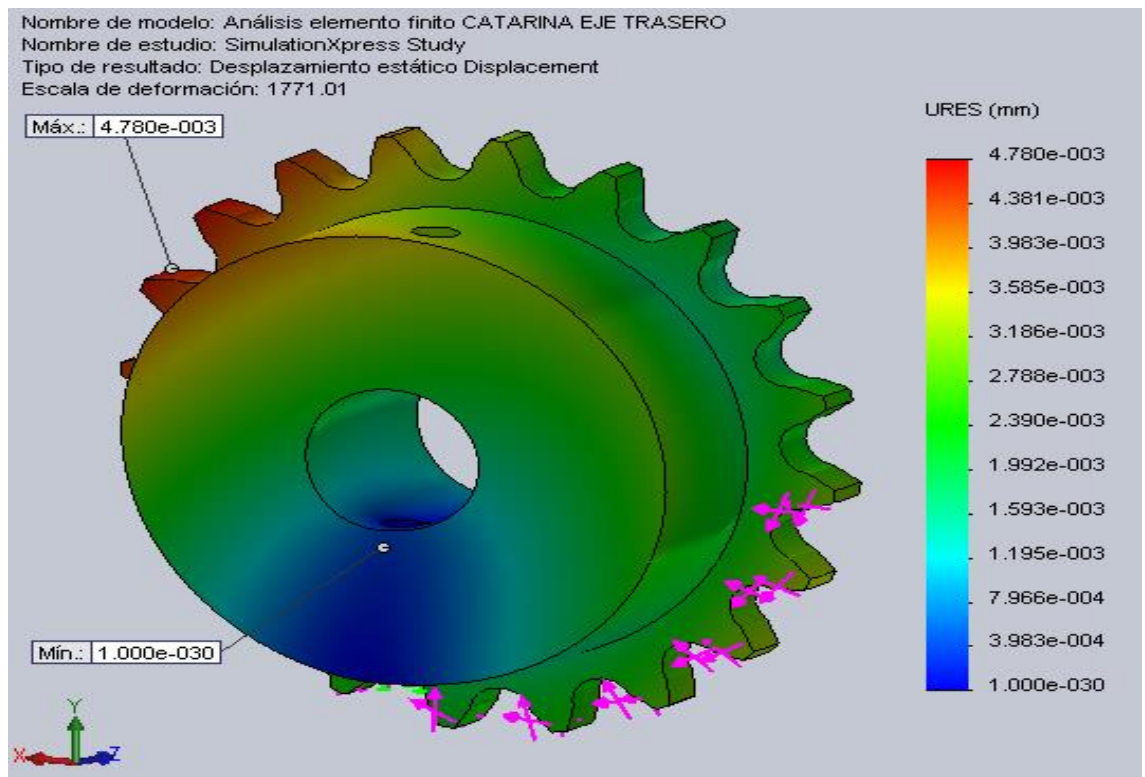
El análisis estático de la tensión nodal va de un mínimo de 0.00209801 N/mm<sup>2</sup> (MPa) en el nodo 10153 a un máximo de 52.9099 N/mm<sup>2</sup> (MPa) en el nodo 14865. Para una escala de deformación de 1771.01 (Figura IV.91).

**IV.5.5.7.- Resultados para el desplazamiento en la catarina del eje trasero**

El desplazamiento resultante en el análisis estático se origina de un punto mínimo en el nodo 1 (partiendo desde cero) hasta un punto máximo en el nodo 930 (a los 0.00477968 milímetros). Los resultados se muestran en la Figura IV.92.



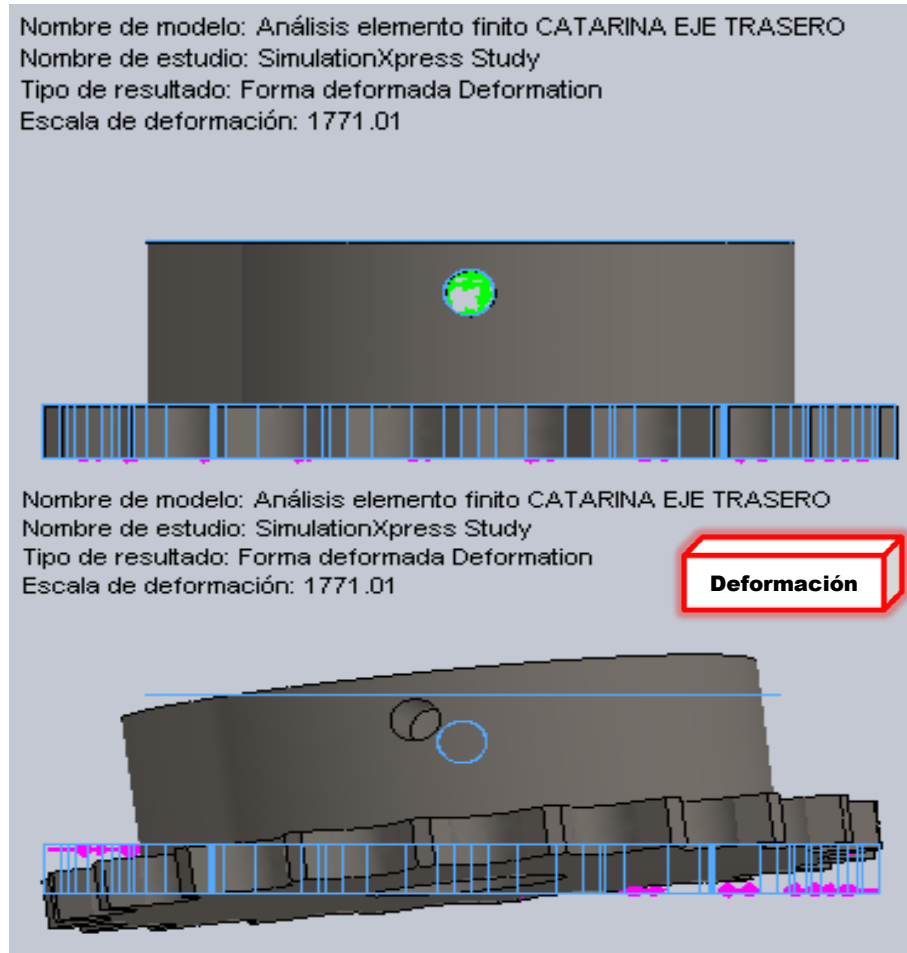
**Figura IV.91.-** Resultados para el esfuerzo von Mises en la catarina del eje trasero



**Figura IV.92.-** Desplazamiento resultante en la catarina del eje trasero

#### IV.5.5.8.- Deformación total en la catarina del eje trasero

Finalmente se aprecia la deformación que sufre la catarina en la Figura IV.93.



**Figura IV.93.-** Deformación en la catarina del eje trasero

#### IV.6- Sumario

El Capítulo IV muestra el Análisis en Elemento Finito de todos los componentes mecánicos que integran el proyecto.

Inicia con el cálculo de las piezas mecánicas que integran el chasis, procediendo después a examinar el comportamiento estático de los cuatro ejes motrices. Por último, analiza por *MEF* todos los elementos dentados que transmiten movimiento en el vehículo terrestre.

#### IV.7.- Referencias

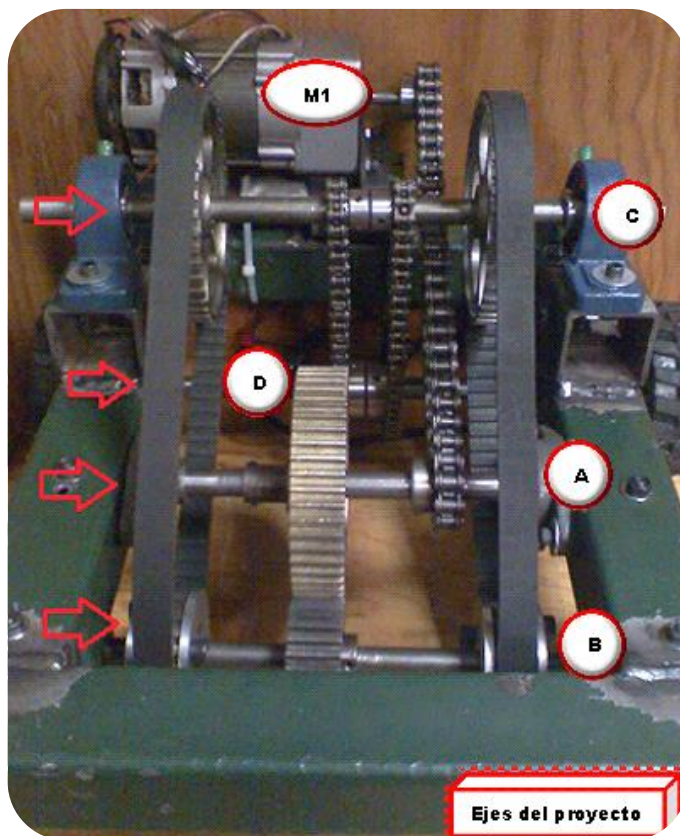
- 1.- Zienkiewick, O.C., Taylor, R. L., *The finite element method*, Mc Graw Hill, Volume 2 - Fifth Edition, pp.413, 2000



- 
- 
- 2.- Gibson, J. E., *Introduction to engineering design*, Oakland University, Holt Rinehart and Winston, pp. 5 y 6, 1998
  - 3.- Bathe, K. J., *Finite element procedures*, Massachusetts statute of Technology, Prentice Hall, pp. 1, 11, 14, 1996
  - 4.- Guerra-Loeza, V., *Aplicación del MEF al análisis de esfuerzos de un semirremolque para tráiler tipo plataforma*, Tesis de maestría, México SEPI-ESIME- IPN, 1996
  - 5.- Vázquez-Mendoza, H. H., *Optimización del diseño estructural de una plataforma para tractocamión*, Tesis de maestría, México SEPI-ESIME- IPN, 1998
  - 6.- Osuna-Amparo, C. A., *Análisis estructural y optimización del chasis de un vehículo de tracción eléctrica*, Tesis de maestría, México SEPI-ESIME- IPN, 1999
  - 7.- Gámez-Valenzuela, I. E., *Análisis estructural del carro guiado de un autobús comercial*, Tesis de maestría, México SEPI-ESIME- IPN, 2002
  - 8.- Flores-Herrera, L. A., *Análisis estructural de un autobús escolar*, Tesis de maestría, México SEPI-ESIME- IPN, 2002

# Capítulo V

## Construcción del vehículo terrestre para la expulsión de fauna voladora en los aeropuertos



*El capítulo contiene el proceso de manufactura, armado mecánico y montaje de los distintos mecanismos que conforman el vehículo terrestre, así como las correcciones, adecuaciones y modificaciones necesarias cuanto se implementa un proyecto de diseño mecánico al proceso final de ensamblado. También muestra el montaje realizado para los circuitos de control y electrónicos necesarios para el funcionamiento y óptimo desempeño del prototipo.*

### V.1.- Manufactura del chasis

Las dimensiones del armazón del carro (chasis) son las mismas propuestas anteriormente en el Capítulo III. Largo 381 mm (15") y ancho 330.2 mm (13"). El perfil es de magnitud 50.8 mm  $\times$  50.8 mm (2"  $\times$  2") por lado y un calibre 11 de espesor (pared de 3mm, casi 1/8") en acero *ASTM A-36*. Dicho material está unido en las esquinas por medio de un cordón de soldadura de electrodo, también conocida como soldadura manual de arco metálico (Figura V.1).



**Figura V.1.-** Base soldada del vehículo

Para el montaje y fijación de las distintas piezas en el chasis se emplearon barrenos pasantes de 6.3 mm (1/4"), dispuestos para tornillos *Allen* de dicha medida, con un largo de 63.5 mm (2.5"). La siguiente tabla muestra los diferentes tamaños de tornillo usados en el proyecto. Para la fijación de todas las ruedas dentadas se implementaron opresores *Allen*. La Tabla V.2 muestra las dimensiones de las piezas usadas en el proyecto.

**Tabla V.1.-** Medidas de los tornillos usados en el proyecto

Ubicación en el proyecto	Diámetro	3/16	1/4
	Largo		
Fijación del Motor 1	3/4	×	

Eje C	1		×
Chasis	2 1/2		×

**Tabla V.2.-** Medidas de los opresores usados en el proyecto

Ubicación en el proyecto	Diámetro	1/8	5/32	3/16	1/4	5/16
	Largo					
Ejes A, B y C	3/16	×		×		
Eje D	5/16			×		
Base de las llantas	1					×

### V.1.2.- Justificación

Para la construcción del chasis se tomaron en cuenta tres parámetros fundamentales [V.1]:

- Ligereza.-** Buscando mejorar en gran medida el torque y consumo de corriente en el motor principal.
- Rigidez.-** Se planteó la construcción de una estructura resistente y adecuada, que pudiera soportar el peso de los diversos componentes sin afectar el desempeño del vehículo.
- Economía.-** La fabricación se planteó como objetivo principal el ser económicamente viable. *La gran gama en modelos de chasis que usan presupuestos elevados únicamente se emplean cuando se busca alcanzar la mayor velocidad posible en los vehículos (prototipos monoplaça, formula SAE, etc.).*

La principal causa de seleccionar tornillos *Allen* en lugar de otro tipo de tornillos (*Hexagonales, Torx, Phillips*, etc.) fue que estos, permiten una mayor facilidad en el apriete. Sin embargo, se pudieron haber implementado tornillos más cortos en lugar de los tornillos usados de 6.3 mm × 63.5 mm (1/4" × 2 1/2"). Para esto, se tendría que haber roscado con un machuelo en barrenos de 5.5 mm (7/32") en lugar de los barrenos a 6.3 mm (1/4") que se utilizaron. Realizando esta acción se hubiera conseguido abatir costos, ya que los tornillos más cortos (del mismo tipo y del mismo material, por supuesto) tienen por lo general un precio más bajo.

## V.2.- Ensamble de los ejes del proyecto

### V.2.1.- Descripción

Para la elaboración y ensamble de todas las flechas del proyecto, se usaron barras solidas de Acero 1045 tipo *Cold-rolled* con 15.8 mm ( $5/8''$  o 0.625 plg) de grosor. Las barras se rebajaron en los bordes con ayuda del torno, teniendo una tolerancia de -0.2 mm (casi -  $1/128''$ ) para los codos. En total se cuenta con cuatro flechas (Figura V.2).

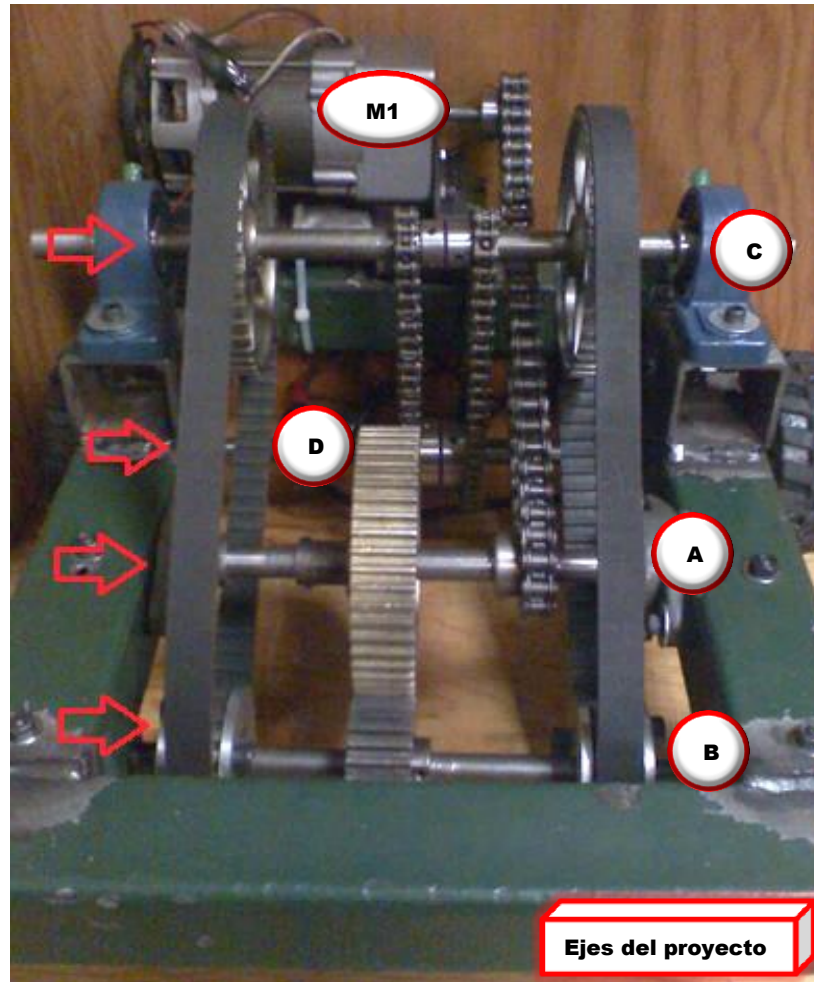
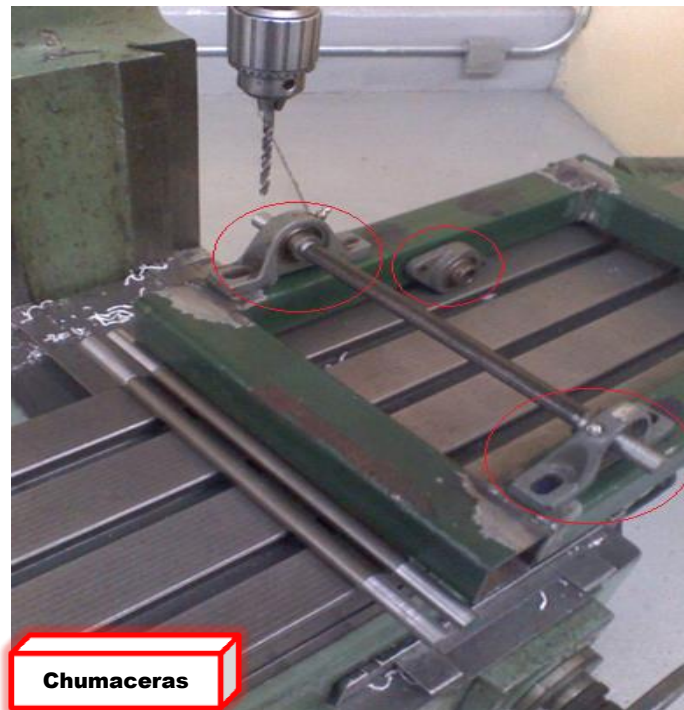


Figura V.2.- Ubicación de las 4 flechas en el proyecto

### V.2.2.- Rodamientos

Los rodamientos que sujetaran a dichas flechas son de dos tipos; chumaceras de piso (6 piezas, UCP202-10 Marca *OAMBO*) y un par de chumaceras tipo brida de 2 tornillos (también conocidas como chumaceras de cocol, UCFL- 208- 25 Marca *NBI*) (Figura V.3).





**Figura V.3.-** Ubicación de chumaceras (de piso y de cocol) en la parte posterior del vehículo

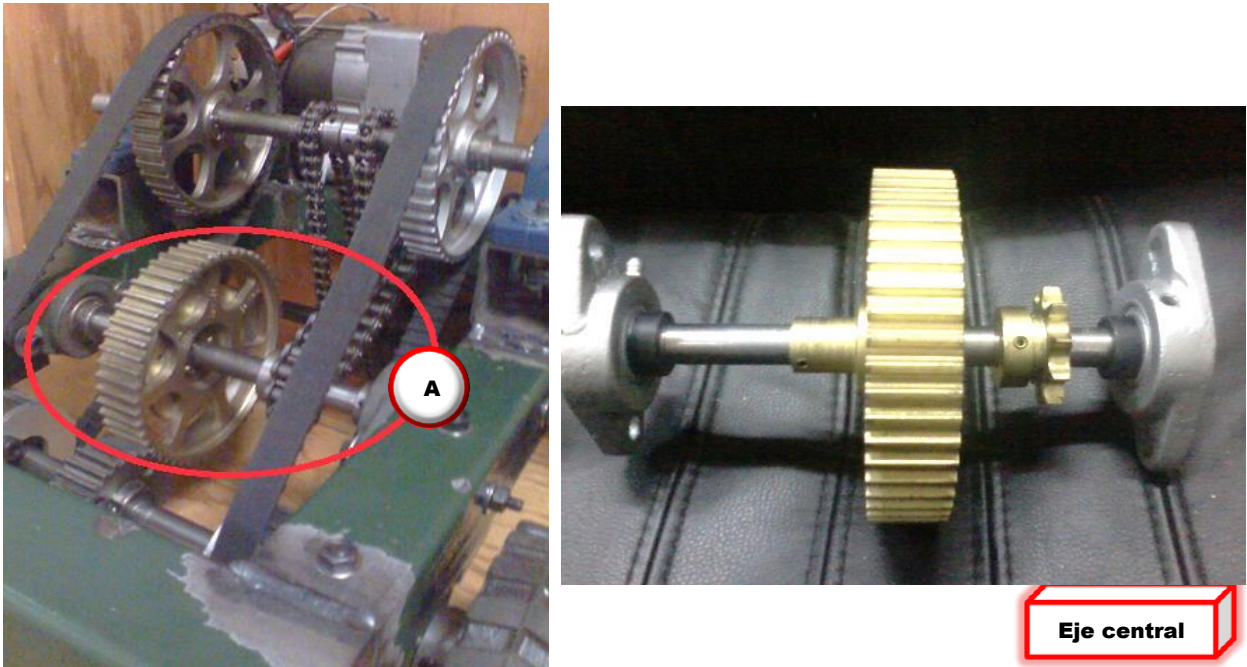
### V.2.3.- Justificación

La razón de emplear Acero 1045 es debido a las excelentes propiedades mecánicas que presenta el material para su implementación en ejes; *El 1045 es conocido por una resistencia bastante buena y por sus propiedades de impacto. Tiene buenas cualidades de mecanización, así como cualidades de soldadura de reparación, ya sea en la condición de laminado o normalizado, la resistencia de tensión del Acero 1045 normalizado es de 540 MPa. El límite elástico medido en MPa es de 410. La elongación, basada en 2 pulgadas (50.8 mm), es 22" (558.8 mm)* [V.2]. Al elegir rodamientos de diversos catálogos (que no fueran de la reconocida marca *SKF*) se logró reducir los costos. Se observó que, en general (para rodamientos de las mismas dimensiones), las chumaceras de brida rómbica tienen un precio más elevado que las chumaceras de piso.

### V.3.- Manufactura del eje A (eje central)

La Figura V.4 muestra el montaje de la flecha central dentro del vehículo. De acuerdo a las especificaciones implementadas previamente en el diseño mecánico, el engrane recto cuenta con un diámetro primitivo de 127 mm (5") y 52 dientes, con un ancho de cara igual a 25.4 mm

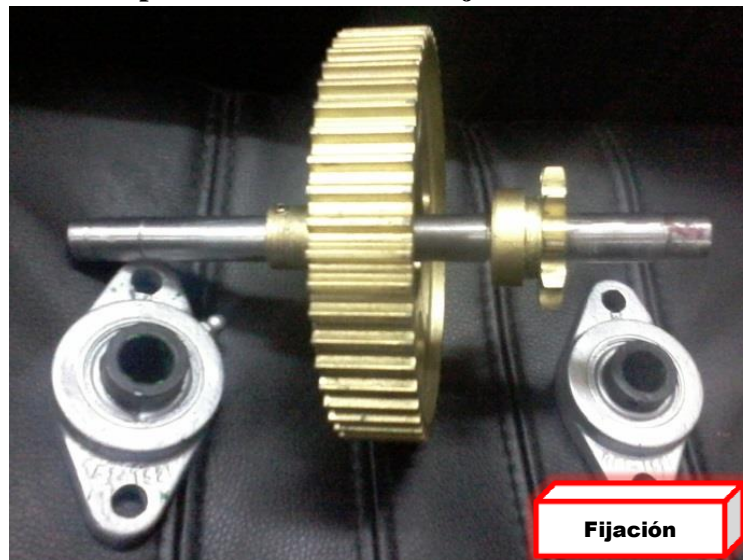
(1"). Este engrane se conecta en transmisión 1 a 2 con otro, montado en el eje de la llanta delantera.



**Figura V.4.-** Ubicación de la flecha en el vehículo y sus componentes

El eje también cuenta con el montaje de una catarina de 10 dientes en transmisión 1:1 (esto indica que la catarina proveniente del eje del motor principal también cuenta con 10 dientes).

### V.3.1.- Fijación de los componentes mecánicos al eje central



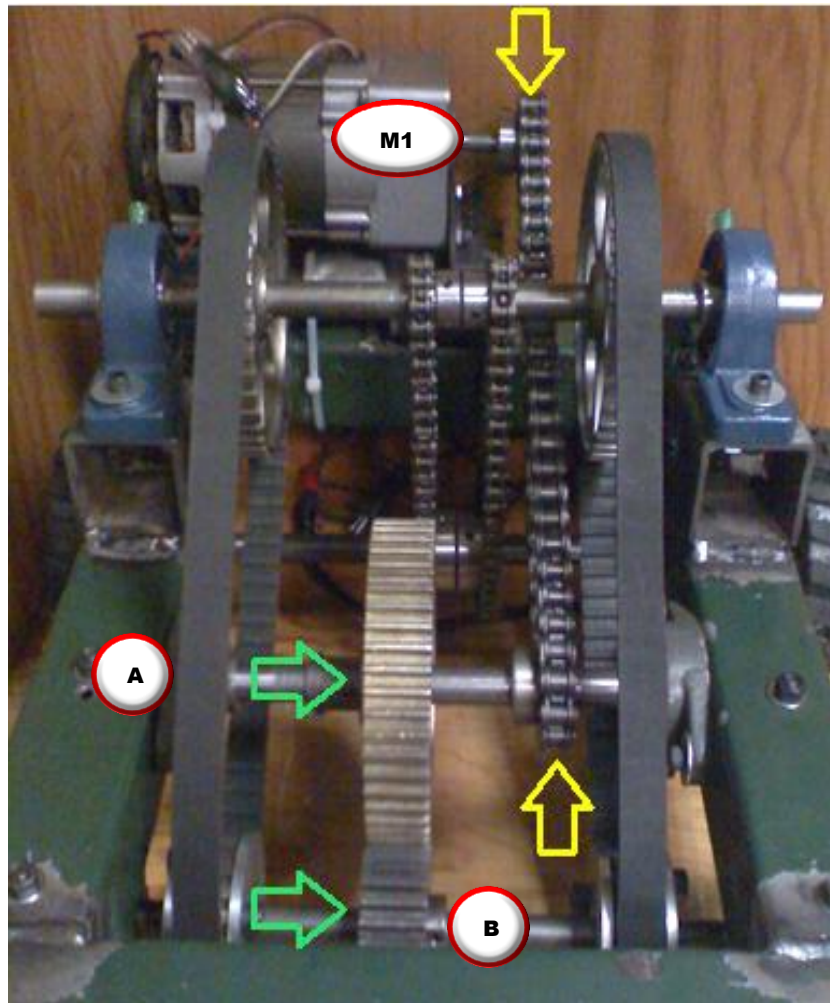
**Figura V.5.-** Fijación de los componentes mecánicos al eje central



Para el engrane se elaboraron un par de barrenos pasantes de 3.9 mm ( $5/32''$ ) en la parte transversal del cubo, con la finalidad de realizar una cuerda estándar (cuerda de 24 hilos) y poderlos fijar al eje con dos opresores *Allen*. De la misma forma se realizó esto en el mamelón de la catarina, para opresores con una medida de 4.7 mm  $\times$  4.7 mm ( $3/16'' \times 3/16''$ ). Los rodamientos son los definidos anteriormente (Figura V.5).

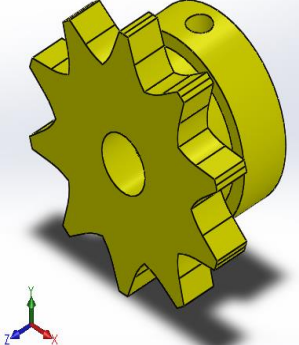
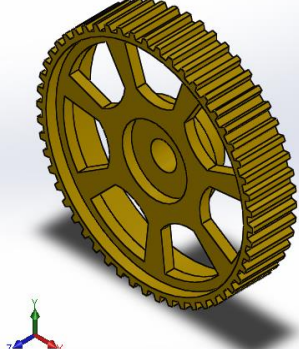
### V.3.2.- Acoplamiento para la transmisión de movimiento en el eje A

En la Figura V.6 se puede apreciar los componentes mecánicos que intervienen cuando se propaga el movimiento hacia el eje central. El movimiento entra al eje central por medio de la catarina del motor principal y sale del eje hacia el engrane conducido, propulsando el movimiento en las llantas delanteras. Se muestran las características de la transmisión del movimiento en la Tabla V.3:



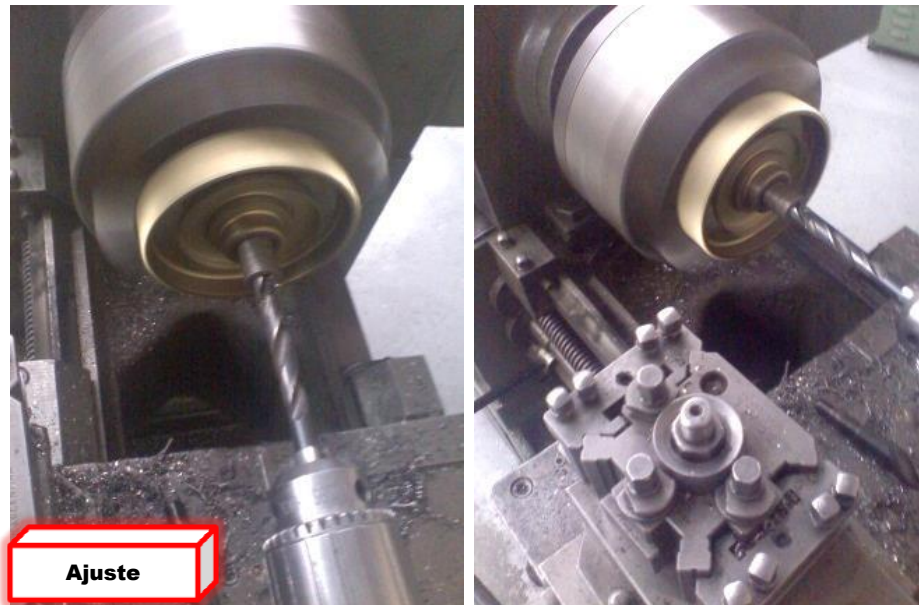
**Figura V.6.-** Transmisión de movimiento en el eje central

**Tabla V.3.-** Características de la transmisión de movimiento en el eje central

Imagen	Componente transmisor de movimiento	Ejes con los que se conecta	Detalles de la transmisión de movimiento	Tipo de movimiento
	Catarina central	Flecha del motor principal	Transmisión 1 a 1 (10 dientes a 10 dientes)	Movimiento de entrada
	Engrane (conductor)	Eje de las llantas delanteras	Transmisión 1 a 2 (52 dientes a 26 dientes)	Movimiento de salida

### V.3.3.- Ajustes y tolerancias

Todos los diámetros internos de las ruedas dentadas que conforman el eje central (engrane recto y catarina) se abocardaron en el torno. Esto con el fin de poder contener en su interior el eje de 15.8 mm (5/8") (Figura V.7). Aunque la fijación se realizó por medio de opresores (en lugar de pernos o chavetas), en el punto donde se hace contacto el opresor con el eje se elaboró un barreno ciego, de 6.3 mm (1/4") de ancho (tolerancia suficiente para un opresor de 3.1 mm o 1/8") y una penetración de 2.3 mm (3/32"). Esta pequeña muesca en el eje realizada con una broca (muesca también conocida como "pulga") permite un mejor contacto del opresor, con lo que la fijación resulta más efectiva. Las ruedas dentadas montadas de esta manera en la flecha se aprecian (Figura V.8).



**Figura V.7.-** Abocardado en el torno del engrane de distribución a 15.8 mm (5/8")

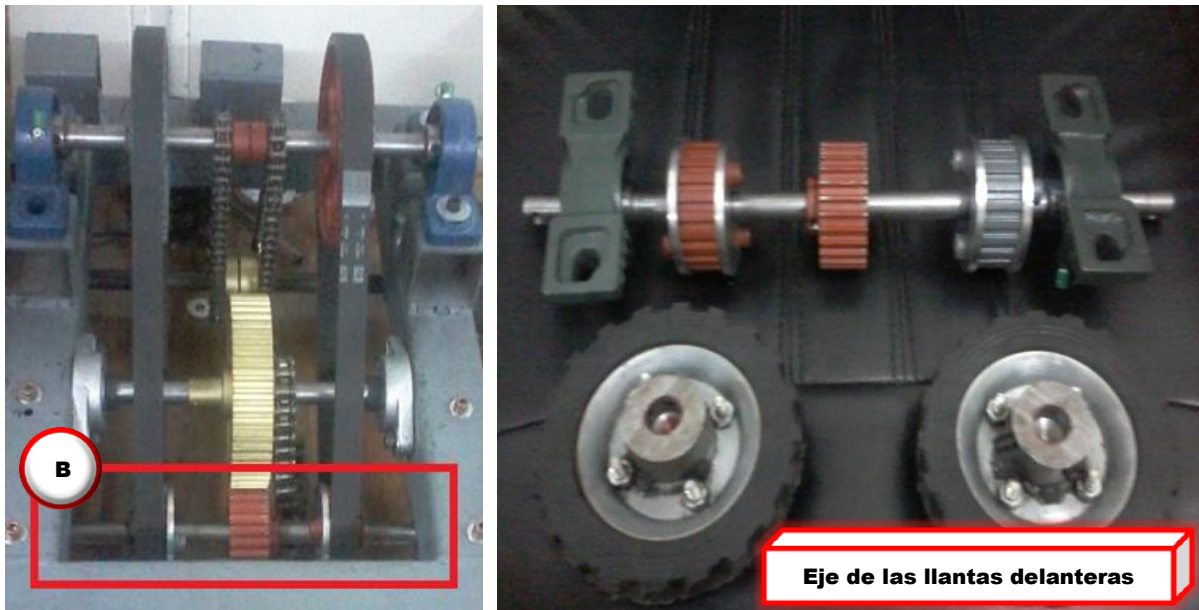


**Figura V.8.-** Esquema del ajuste realizado a las ruedas dentadas para su correcta fijación

#### **V.4.- Manufactura del eje B (eje de las llantas delanteras)**

La Figura V.9 muestra la localización de la flecha encargada de proporcionar movimiento a las llantas delanteras del vehículo. De acuerdo a las determinaciones estipuladas previamente (Capítulo III) el eje A se monta con un engrane conducido de 26 dientes, encargado de propiciar el movimiento en toda la flecha. Las poleas dentadas (piñones) cuentan con un radio primitivo de 63.5 mm (2.5") y 22 dientes. Estas son las encargadas de conectar el eje A con el eje B. Por último, las llantas miden 127 mm (5") de diámetro con una sección lateral de hule de 38.1 mm (1.5") y se calzan en ambos costados de dicho eje.





**Figura V.9.-** Ubicación del eje de las llantas delanteras en el vehículo y sus componentes.

#### V.4.1.- Fijación de los componentes mecánicos al eje B

La fijación del engrane conducido se realizó empleando opresores de  $4.7 \text{ mm} \times 4.7 \text{ mm}$  ( $3/16'' \times 3/16''$ ). En ambos piñones se realizaron (en la parte transversal de su respectivo cubo) un par de barrenos de  $2.3 \text{ mm}$  ( $3/32''$ ), ideales para la cuerda estándar (40 hilos) de un opresor *Allen* de  $3.1 \text{ mm}$  ( $1/8''$ ). Con el cual se fijó eficazmente la rueda dentada a la flecha (Figura V.10).

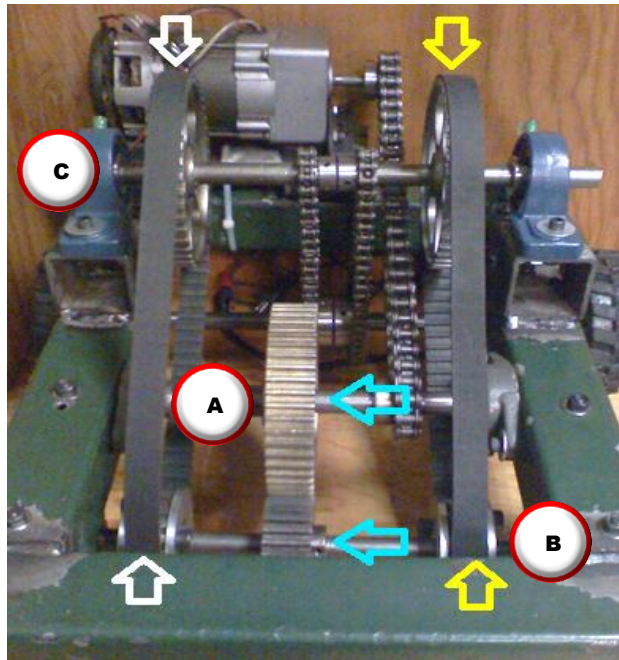


**Figura V.10.-** Ruedas dentadas afianzadas al eje B

#### V.4.2.- Acoplamiento para la transmisión de movimiento en el eje B

En la Figura V.11 se puede apreciar los componentes mecánicos que intervienen cuando se propaga el movimiento en el eje de las llantas delanteras. El movimiento entra al eje que

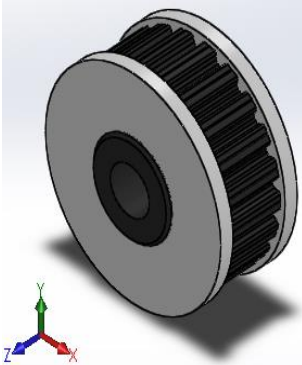
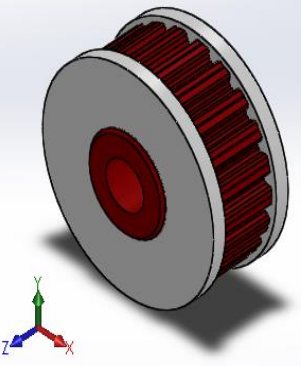
soporta las llantas delanteras por medio del contacto entre el engrane conductor y el engrane conducido, en una relación 1 a 2. Con esto el movimiento de rotación proveniente del eje central incrementa al doble la velocidad en la flecha de las llantas delanteras. El movimiento se transmite al eje superior por medio de la rotación de un par de poleas dentadas (piñones de banda) montados en el eje de las llantas delanteras. Se muestran las características de la transmisión del movimiento en la Tabla V.4.



**Figura V.11.-** Transmisión de movimiento en el eje de las llantas delanteras

**Tabla V.4.-** Características de la transmisión del movimiento en el eje de las llantas delanteras

Imagen	Componente transmisor de movimiento	Ejes con los que se conecta	Detalles de la transmisión de movimiento	Tipo de movimiento
	Engrane (conducido)	Eje central	Transmisión 1 a 2 (52 dientes a 26 dientes)	Movimiento de entrada

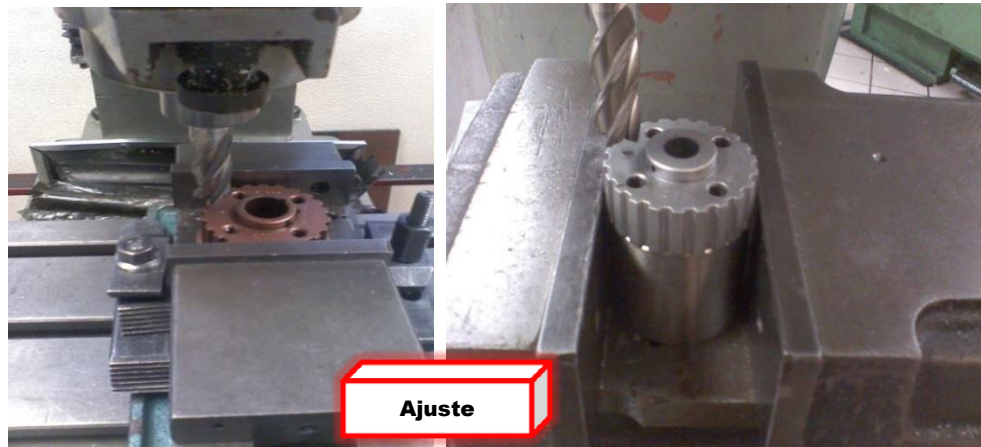
	Polea dentada (piñón gris)	Eje superior	Transmisión 2 a 1 (22 dientes a 44 dientes)	Movimiento de salida
	Polea dentada (piñón rojo)	Eje superior	Transmisión 2 a 1 (22 dientes a 44 dientes)	Movimiento de salida

Se acopla en ambos piñones conducidos una banda síncrona de neopreno, especificada en catálogo como: ‘Banda tipo L’. Con un grosor de 19 mm (3/4”) y un largo de 838.2 mm (33”).

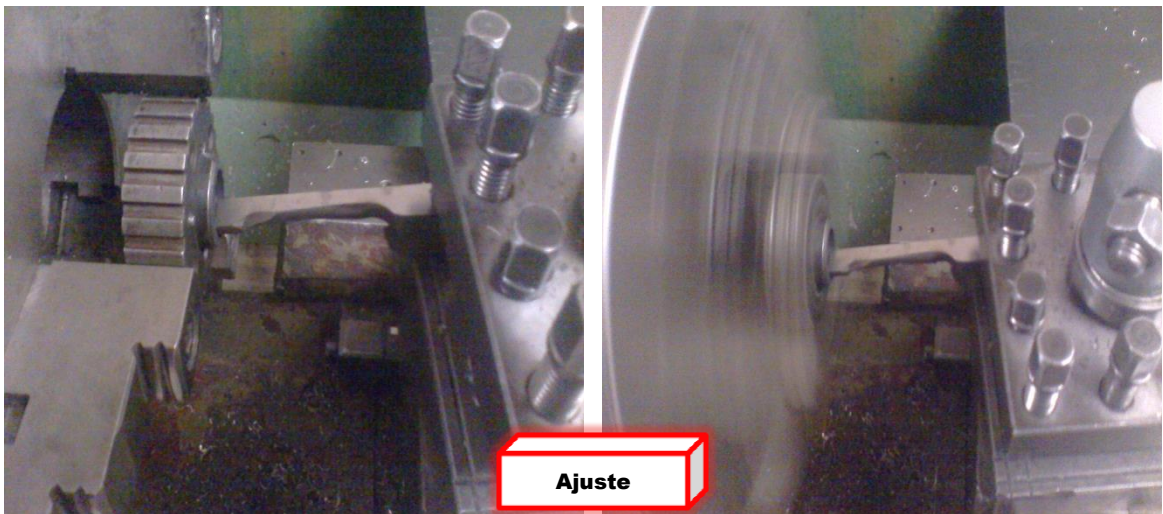
#### V.4.3.- Ajustes e implementaciones

Las poleas dentadas conductoras tuvieron que ser ajustadas en sus dimensiones, para su implementación en el vehículo. Se ocupó tanto la fresadora como en el torno (Figura V.12 a Figura V.13). Debido a que no se ajusta la tensión en la banda dentada usando una polea de apriete (polea tensora) se implementó un modo en que la banda no se desplazara de su posición. Para hacer esto, se manufacturaron dos pares de tapas con un diámetro interno de 30.1 mm (1 3/16”) y diámetro externo de 69.8 mm (2 3/4”), en aluminio (aleación 6063 - T5) de 3.1 mm (1/8”) de espesor. Las tapas se fijan a la polea dentada por medio de dos tornillos de cabeza Allen de 8mm (Figura V.14 a Figura V.16). Para la manufactura de este eje se maquinaron además 4 bases de acero 1018, que fueron soldadas a la base del rin de las llantas. Estas bases de 50.8 mm (2”) se barrenaron en un costado a 6.3 mm (1/4”), para que una vez terminada la cuerda estándar (18 hilos) se colocara un opresor Allen de 7.9 mm (5/16”). Son las encargadas de conectar el rin de la llantas con los extremos del eje B (Figura V.17).

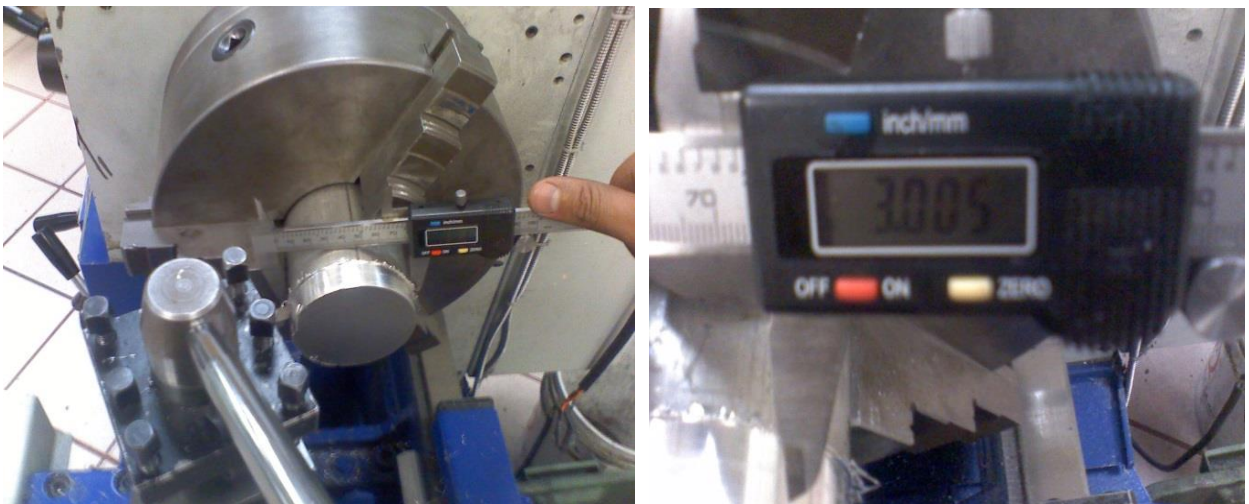




**Figura V.12.-** Ajuste de caras a las poleas dentadas (piñones) con el cortador de 4 gavilanes

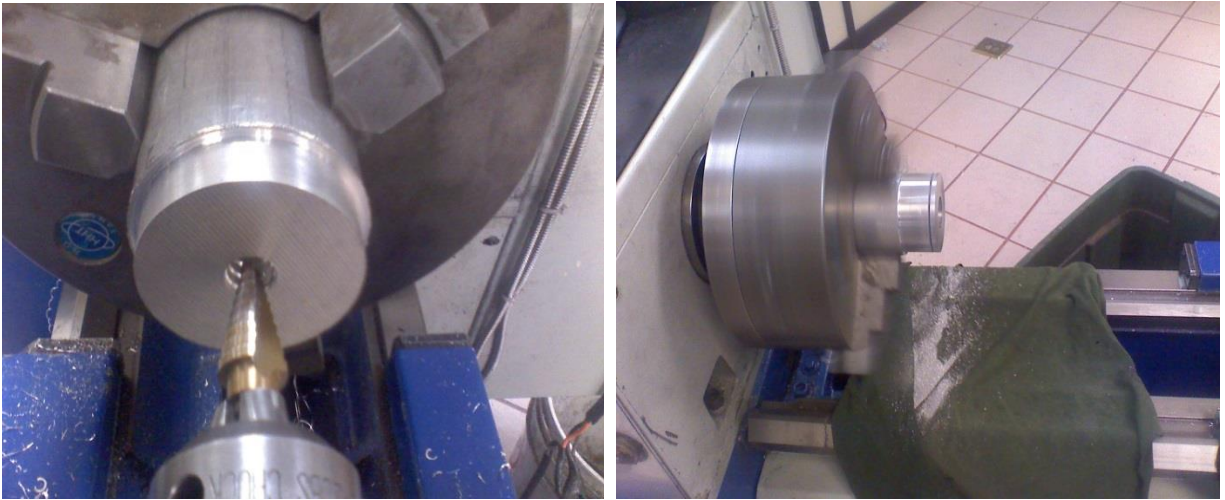


**Figura V.13.-** Ajuste del radio interno en la polea con el buril de interiores

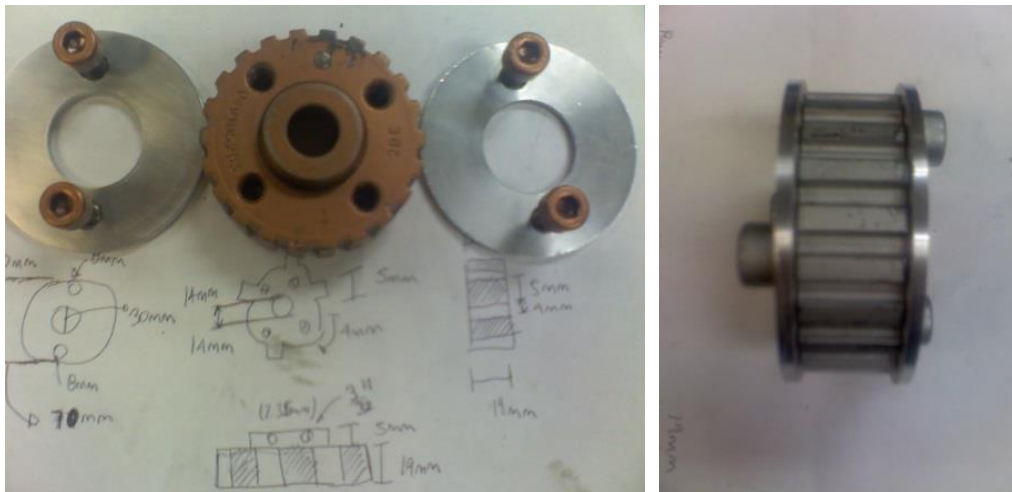


**Figura V.14.-** Maquinado en Aluminio para las tapas de la polea dentada piñón





**Figura V.15.-** Tapas de Aluminio barrenadas en el radio interior y cortadas



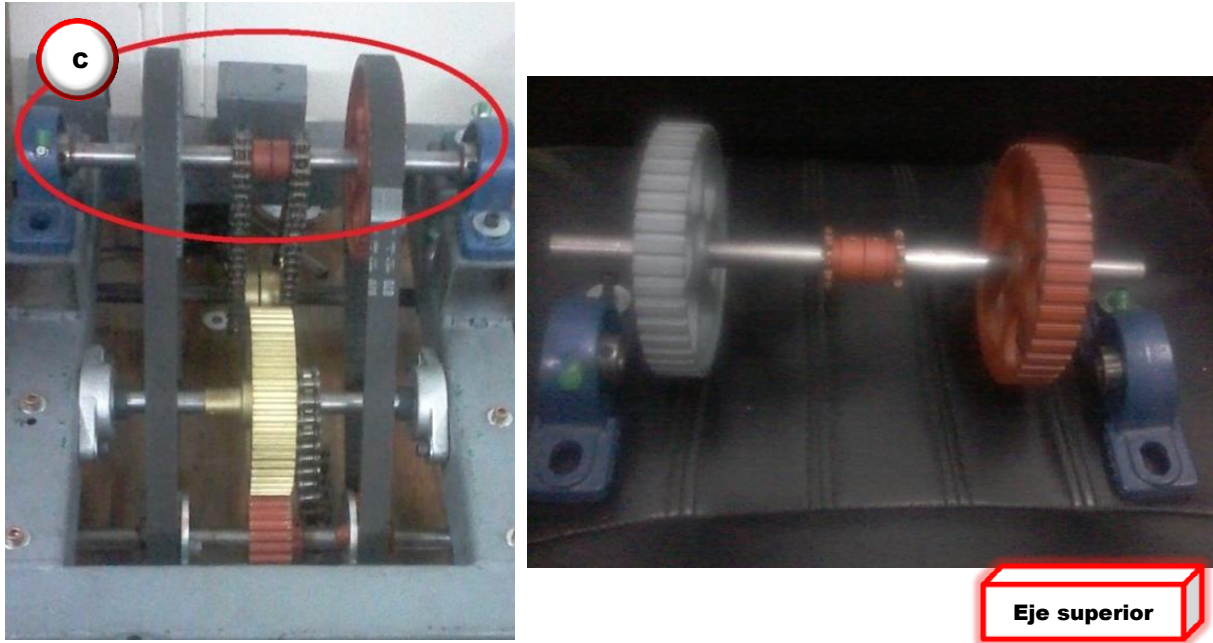
**Figura V.16.-** Componentes de la polea dentada y pieza final ensamblada



**Figura V.17.-** Bases de acero soldadas al rin de las llantas

### V.5.- Manufactura del eje C (eje superior)

La Figura V.18 muestra los componentes mecánicos en el eje superior del vehículo.



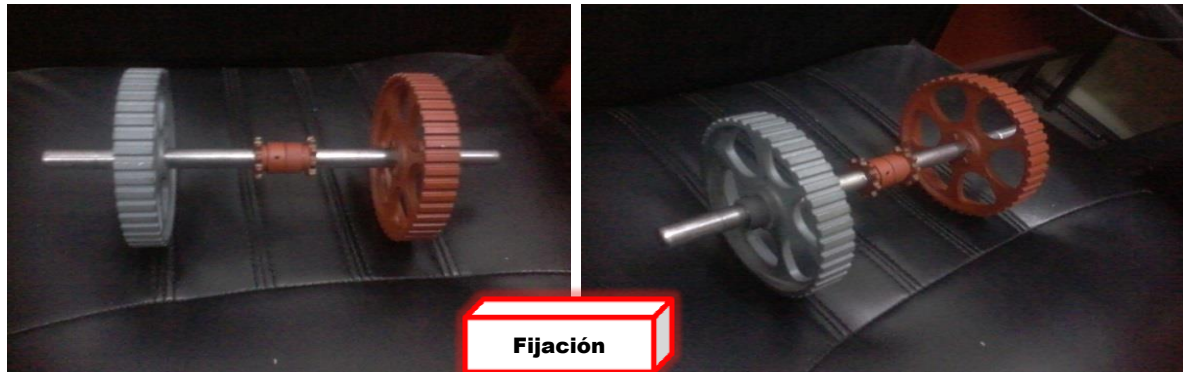
**Figura V.18.-** Ubicación de la flecha superior en el vehículo y sus componentes

En consecuencia al diseño previo las poleas dentadas conducidas cuentan con un diámetro primitivo de 127 mm (5") y 44 dientes (transmisión 2 a 1 con las poleas instaladas en el eje de las llantas delanteras). Tienen un ancho de cara de 19 mm (3/4") con una tolerancia de +2 mm (+5/64") para la banda dentada. Como se mencionó anteriormente ambas poleas están unidas por una correa de distribución (banda síncrona) hecha de neopreno, denominada por su tipo de diente, *banda tipo L*, con 838.2 mm (33") de largo y un ancho de 19 mm (3/4"). En cuanto a las catarinas montadas en este eje, tienen 10 dientes y son de paso 35.

#### V.5.1.- Fijación de los componentes mecánicos al eje C

Tanto las poleas dentadas conducidas como los piñones de catarinas se fijaron a la flecha por medio de opresores (cuerda estándar de 24 hilos) con dimensiones de 4.7 mm × 3.1 mm (3/16" × 1/8") (Figura V.19). Se implementó este tipo de fijación debido a que dentro de las instalaciones del taller de la ESIME-Zacatenco, no se cuenta con máquinas que se encarguen de realizar los cuñeros (también llamados chaveteros) a los elementos giratorios. Razón por la

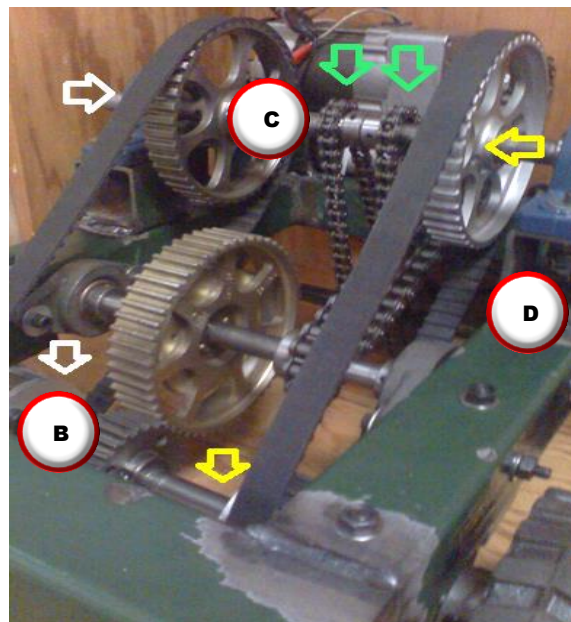
cual se tuvo que realizar la fijación rueda dentada-eje por medio de opresores en lugar de la tradicional (y más eficiente) fijación por cuña.



**Figura V.19.-** Vista frontal e isométrica de las ruedas dentadas afianzadas en el eje C

### V.5.2.- Acoplamiento para la transmisión de movimiento en el eje C


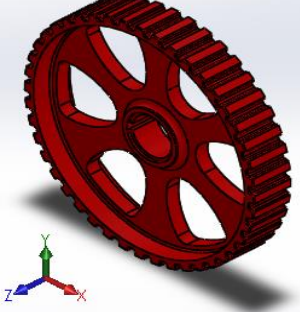
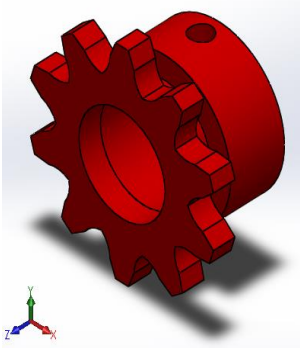
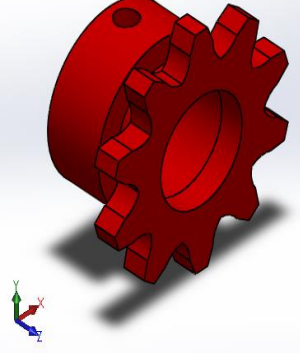
Se puede apreciar en la Figura V.20 los componentes mecánicos que intervienen cuando se transmite el movimiento en el eje superior. El movimiento entra al eje superior por medio del par de poleas dentadas colocadas en el eje de las llantas delanteras. Esto hace girar a las poleas dentadas conducidas montadas en el eje superior transmitiendo el movimiento al par de piñones catarina. De esta manera incrementamos el torque al doble. La salida genera el movimiento en las llantas traseras del vehículo mediante las cadenas montadas sobre el par de catarinas.



**Figura V.20.-** Transmisión de movimiento en el eje superior



**Tabla V.5.-** Características de la transmisión de movimiento en la flecha superior del vehículo

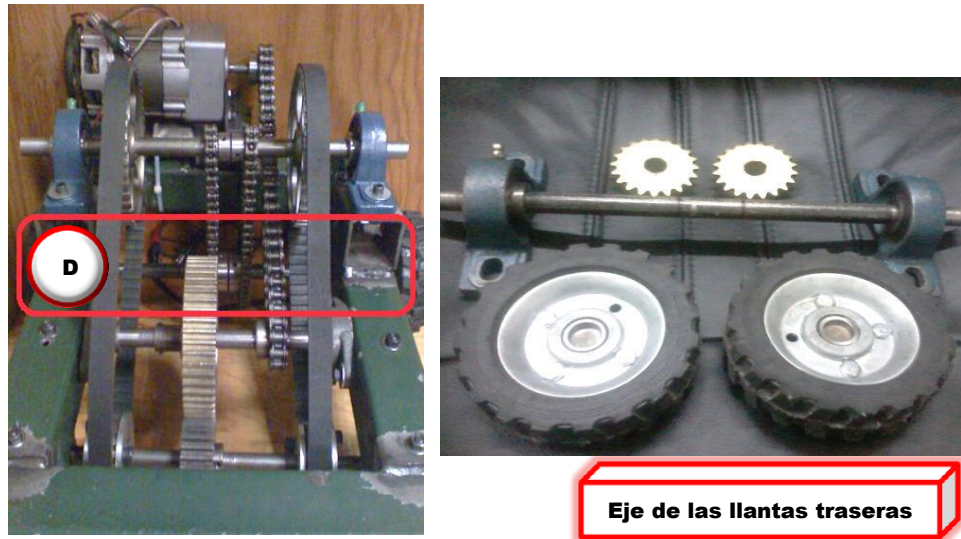
Imagen	Componente transmisor de movimiento	Ejes con los que se conecta	Detalles de la transmisión de movimiento	Tipo de movimiento
	Polea dentada (conducida gris)	Eje de las llantas delanteras	Transmisión 2 a 1 (22 dientes a 44 dientes)	Movimiento de entrada
	Polea dentada (conducida roja)	Eje de las llantas delanteras	Transmisión 2 a 1 (22 dientes a 44 dientes)	Movimiento de entrada
	Catarina (piñón 1)	Eje de las llantas traseras	Transmisión 2 a 1 (10 dientes a 20 dientes)	Movimiento de salida
	Catarina (piñón 2)	Eje de las llantas traseras	Transmisión 2 a 1 (10 dientes a 20 dientes)	Movimiento de salida

### V.5.3.- Implementaciones

Para modificar el diámetro interno en la rueda dentada y adaptarlo al tamaño necesario en el proyecto (15.8 mm o 5/8") se implementó una forma para cambiar el cubo de la pieza (esta forma de alterar el diámetro en una rueda dentada es conocida con el nombre de *chaleco*). Para hacer el nuevo cubo en el elemento giratorio se procedió a soldar un barra solida de Acero 1018 de tipo Cold-rolled, dicha barra se rebajó con ayuda del torno de 25.4 mm (1") hasta 22.2 mm (7/8"). De esta manera al montarse en el torno la rueda dentada y barrenar se consiguió hacer más pequeño el diámetro interno, hasta obtener la medida deseada (en este caso 15.8 mm).

### V.6.- Manufactura del eje D (eje de las llantas traseras)

La Figura V.21 muestra la localización del eje que proporciona movimiento a las llantas traseras en el vehículo, las piezas del eje están montadas de acuerdo a las especificaciones de diseño visto en el Capítulo III y su objetivo es transmitir una mayor potencia en la parte trasera del vehículo.



**Figura V.21.-** Ubicación del eje de las llantas traseras en el vehículo y sus componentes.

El par de catarinas conducidas están montadas justo a la mitad del eje, ambas tienen 20 dientes y son de paso 35. Las chumaceras de piso van atornilladas a la estructura. En los extremos del eje se colocan las llantas traseras, con las mismas dimensiones y de las mismas características

que las usadas en la parte delantera del vehículo (127 mm de diámetro con espesor de 38.1 mm) (Figura V.22).

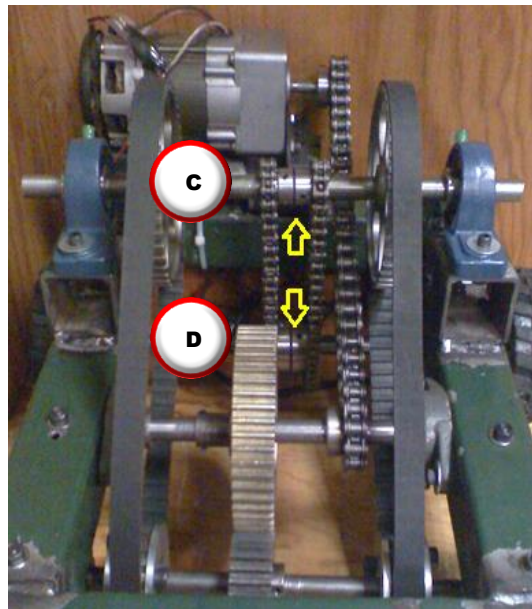


**Figura V.22.-** Eje que impulsa las llantas traseras del vehículo

#### **V.6.1.- Fijación de los componentes mecánicos al eje D**

Al igual que los piñones, las catarinas conducidas se fijan a la flecha por medio de opresores estándar de 4.7 mm (3/16”), solo que en este caso los opresores cuentan con una longitud mayor: 7.9 mm (5/16”). Esto debido a que al ser de mayor tamaño las catarinas del eje trasero, la dimensión del Mamelón aumenta.

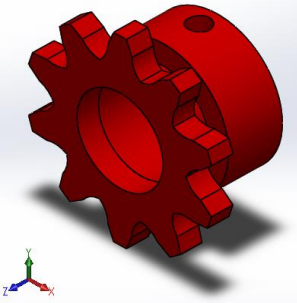
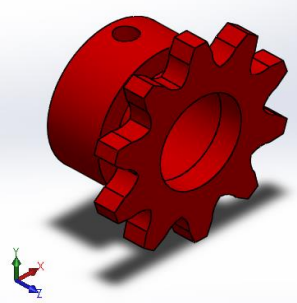
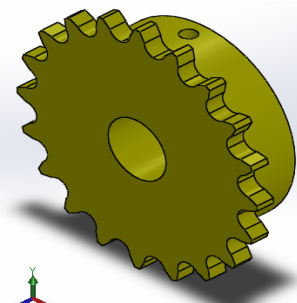
#### **V.6.2.- Acoplamiento para la transmisión de movimiento en el eje D**



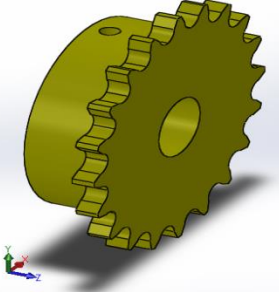
**Figura V.23.-** Transmisión de movimiento en el eje de las llantas traseras

En la Figura V.23 se observa las distintas partes mecánicas que intervienen cuando se propaga el movimiento a lo largo del eje de las llantas traseras. El movimiento entra al eje trasero por medio de un par de cadenas de 26 eslabones paso 35, montadas sobre un par de piñones provenientes del eje superior hacia las catarinas conducidas, montadas en el eje de las llantas traseras. Esta última transmisión propulsa el movimiento en la parte posterior del vehículo. Se muestran las características de la transmisión final de movimiento en la Tabla V.6.

**Tabla V.6.-** Características de la transmisión de movimiento en el eje de las llantas traseras

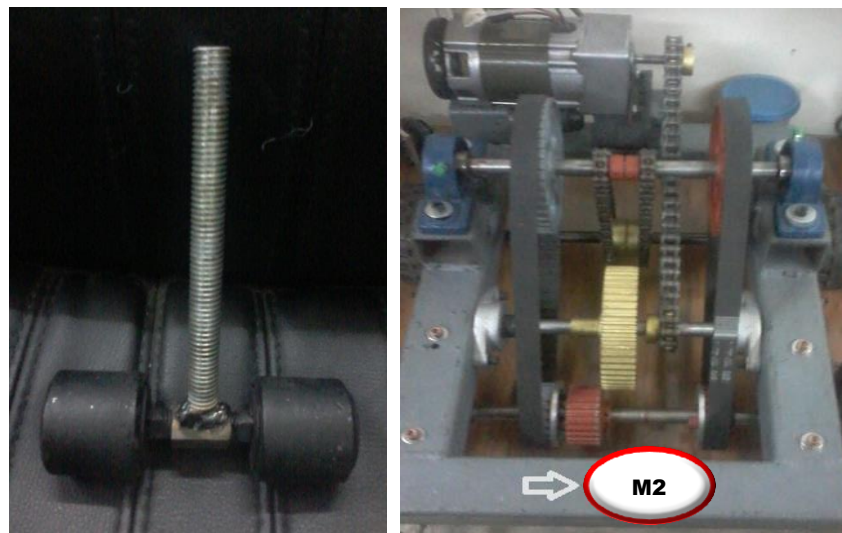
Imagen	Componente transmisor de movimiento	Ejes con los que se conecta	Detalles de la transmisión de movimiento	Tipo de movimiento
	Catarina (piñón 1)	Eje de las llantas traseras	Transmisión 2 a 1 (10 dientes a 20 dientes)	Movimiento de entrada
	Catarina (piñón 2)	Eje de las llantas traseras	Transmisión 2 a 1 (10 dientes a 20 dientes)	Movimiento de entrada
	Catarina (conducido 1)	Eje superior	Transmisión 2 a 1 (10 dientes a 20 dientes)	Movimiento de salida final



	<p>Catarina (conducido 2)</p>	<p>Eje superior</p>	<p>Transmisión 2 a 1 (10 dientes a 20 dientes)</p>	<p>Movimiento de salida final</p>
---	-----------------------------------	---------------------	--	---------------------------------------

### V.7.- Manufactura del volante del vehículo

La Figura V.24 muestra el volante del vehículo. El volante está hecho de una varilla roscada soldada a un cople que une a un par de ruedas de metal de 38.1 mm (1.5”) de diámetro. Este volante se coloca exactamente a la mitad, en la parte delantera del vehículo, atraviesa de un lado a otro el perfil *PTR* frontal y se fija a la estructura por medio de una chumacera tipo brida de dos tornillo de 12.7 mm (1/2”). El motor 2 controla la posición de giro del volante. Por lo que el vehículo puede girar hacia la izquierda o hacia la derecha.



**Figura V.24.-** Volante del vehículo y su ubicación

#### V.7.1.- Justificación

Este mecanismo es necesario para dar dirección o sentido de giro al vehículo terrestre. También es posible utilizar una barra lisa de acero o un esparrago, en lugar de la varilla roscada que se implementó en el proyecto. Además se emplearon mecanismo muy comunes y de bajo precio para la manufactura del volante, con lo que se consigue reducir costos.

---

---

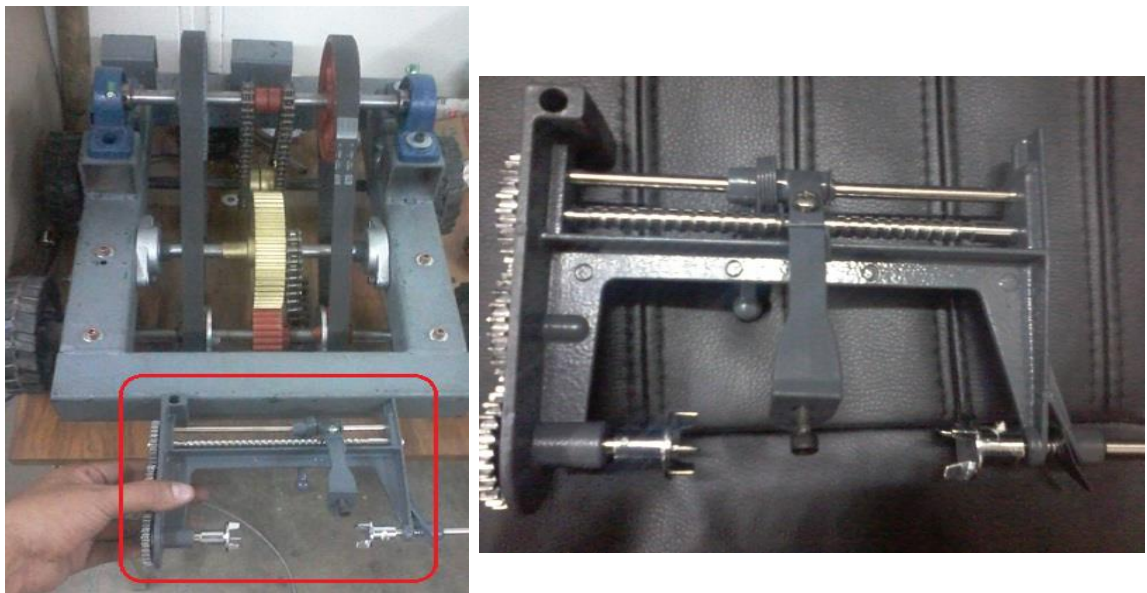
## V.8.- Descripción de la manufactura de componentes mecánicos adicionales

### V.8.1.- Manufactura del mecanismo ahuyentador de aves

El mecanismo para ahuyentar aves consiste en un armazón de metal que contiene un movimiento lineal mediante un tornillo sin fin. Un motor hace girar el tornillo, con lo que la palanca curva se desliza sobre una barra guía, de manera horizontal. La palanca curva puede ir de derecha a izquierda o de izquierda a derecha dependiendo del sentido de giro del motor (motor 3). Los engranes transmiten el movimiento a la parte delantera donde hay un par de tenazas que giran rápidamente simulando alas (Figura V.25). Mientras la Figura V.26 muestra la ubicación del mecanismo en el vehículo.



**Figura V.25.-** Mecanismo ahuyentador de aves



**Figura V.26.-** Ubicación del mecanismo ahuyentador de aves en el vehículo

### V.8.1.1.- Justificación

La manufactura de un mecanismo rotatorio de intimidación es una propuesta fácil, barata y eficiente, pues su funcionamiento requiere el montaje de pocas piezas mecánicas y un motor de pequeñas proporciones.

### V.9.1.- Manufactura de la barra porta circuitos

Para fijar los circuitos electrónicos del vehículo se implementó un travesaño de Aluminio. El travesaño se construyó usando perfil *IPS* de Aluminio de 28 mm × 28 mm (aleación 6063 - T5). Los postes miden 177.8 mm (7") y el larguero 558.8 mm (22"). Para las uniones se usaron tornillos *Allen* de 6.3 mm (1/4").

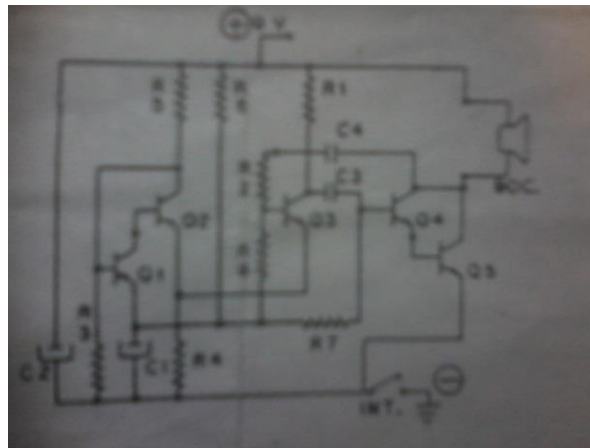
### V.9.1.1.- Justificación

La fabricación de este travesaño asegura una manera rápida de montar las placas fenólicas de los distintos circuitos electrónicos y de control, que integran el proyecto. Es posible también atornillar una caja de plástico al travesaño. Este estuche contendría en su interior a todos los montajes electrónicos, asegurando una protección más eficiente de los circuitos.

### V.10.- Manufactura de los *PCB*'s del vehículo terrestre

#### V.10.1.- Descripción de bocina ahuyentadora

El diseño de este circuito electrónico tiene como propósito generar un ruido desagradable que sirva como repelente de aves.



**Figura V.27.-** Diagrama electrónico de la bocina ahuyentadora



**Tabla V.8.-** Datos técnicos más relevantes del reproductor de voz

Especificaciones electrónicas	
Tiempo de grabación	20 segundos
Tensión nominal	6 V (C.D.)
Consumo de corriente activado	80 mA
Consumo de corriente sin activar	0 mA

### V.10.3.- Descripción del desplgado de mensajes de luz en un LCD

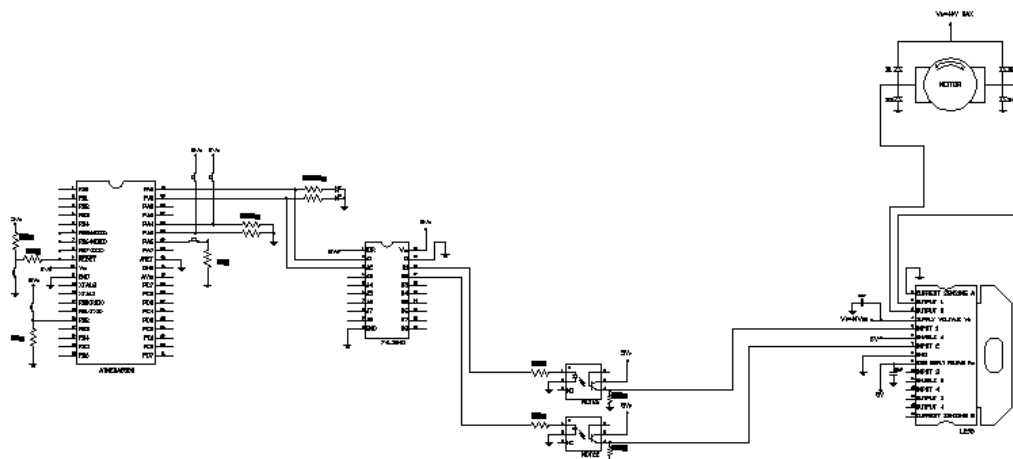
Se despliega un mensaje de luz intermitente, cuya intención es mandar destellos de luz molestos a la vista. Esto aumentara la eficacia del prototipo al intentar expulsar a la fauna voladora (Ver Anexo).

#### V.10.3.1.- Código del programa

El código en lenguaje ensamblador del programa, que permite desplegar 2 mensajes en el display de cristal líquido (*LCD*) se muestra en el Anexo.

### V.10.4.- Descripción del control de los motores *CD*

Para el control de los motores se emplean un microcontrolador *AVR* que se conecta en la salida a un *74LS2245*. Este integrado se conecta a su vez con un *MCT2E*. La salida resultante se une a la etapa de potencia implementado el integrado *L298*. Por último todo el sistema de conexiones se vincula directamente al motor correspondiente (Figura V.29).

**Figura V.29.-** Diagrama electrónico de control para los motores *CD*

### V.10.4.1. - Función del AVR ATMEGA8535

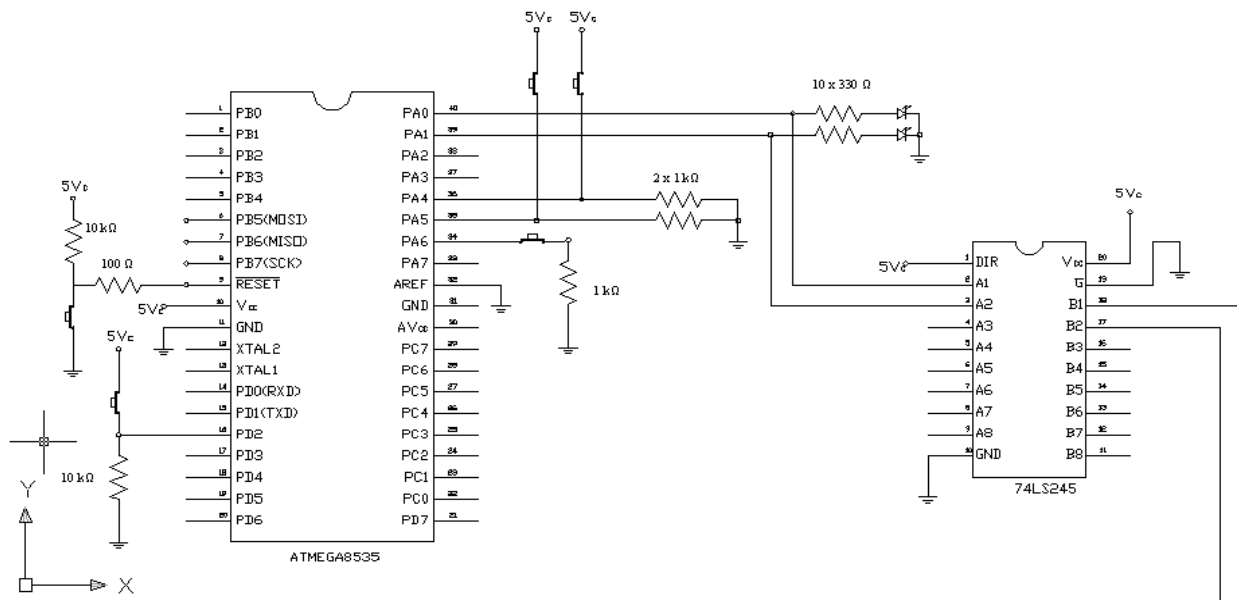
Este microcontrolador cuenta con memoria flash programable, un encapsulado de 40 pines, un conjunto de instrucciones extendido y además un amplio conjunto de periféricos de *E/S*. La señal de control está programada para salir por *PA0* y *PA1* (pines 40 y 39 respectivamente), y su configuración de operaciones es la siguiente:

- La entrada en *PA4* (pin 36) hace girar al motor en sentido de las manecillas del reloj.
- La entrada en *PA5* (pin 35) hace girar al motor en sentido contrario de las manecillas del reloj.
- El pulsador colocado en el pin 9 resetea el microcontrolador y hace que el motor detenga su giro.

El microcontrolador AVR modelo *ATMEGA8535* es el encargado de controlar el giro de los motores en el proyecto. Se agrega además al circuito un led indicador.

### V.10.4.2.- Función del 74LS245

Una vez que se establece la salida de control en el microcontrolador esta señal se conecta a un circuito integrado *74LS245* (Figura V.30).



**Figura V.30.-** Diagrama de conexiones entre el *ATMEGA8535* y el *74LS245*

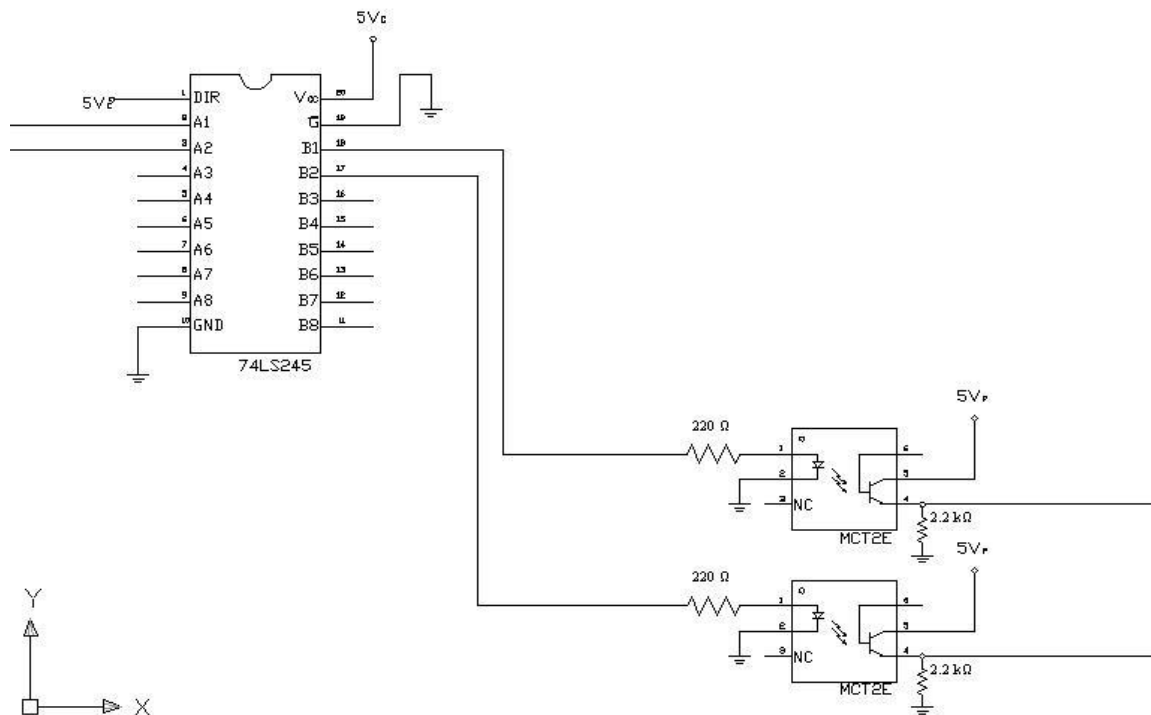
El *74LS245* es un bus de ocho bits bidireccionales para comunicaciones (que cuenta además con entradas con histéresis, salidas no inversoras tri-estado, tecnología *TTL Low Schottky*, encapsulado *DIP* de 20 pines y un voltaje de alimentación de 4.75 V a 5.25 V). La entrada en el *74LS245* nos da como salida:

- La salida B1 (pin 18) se conecta a la entrada del primer *MCT2E*.
- La salida B2 (pin 17) se conecta a la entrada del segundo *MCT2E*.

El circuito integrado *74LS245* permite que la salida del microcontrolador se mantenga constante y no tenga variaciones.

#### V.10.4.3.- Función del *MCT2E*

Después de obtener la salida en el *74LS245* la señal resultante se conecta al integrado *MCT2E* (Figura V.31). El *MCT2E* es un optoacoplador, que básicamente consiste en un diodo infrarrojo que dispara a un fototransistor. El *MCT2E* se usa comúnmente en reguladores de fuentes de alimentación, entradas lógicas y entradas digitales del microprocesador.



**Figura V.31.-** Diagrama de conexiones entre el *74LS245* y el *MCT2E*



Para su aplicación en el presente proyecto la configuración del *MCT2E* aparece de la siguiente manera:

- a) La entrada en el pin 1 del primer *MCT2E* sale en el pin 4 y se conecta al puente *H* en su pata 5.
- b) La entrada en el pin 1 del segundo *MCT2E* sale en el pin 4 y se conecta al puente *H* en su pata 7.

El circuito integrado *MCT2E* nos asegura que bajo cualquier corto circuito en las conexiones del sistema el microcontrolador no reciba ningún daño.

#### V.10.4.4.- Función del L298

La configuración anterior se conecta finalmente a la etapa de potencia, representada en este caso por el integrado L298 (Figura V.32).

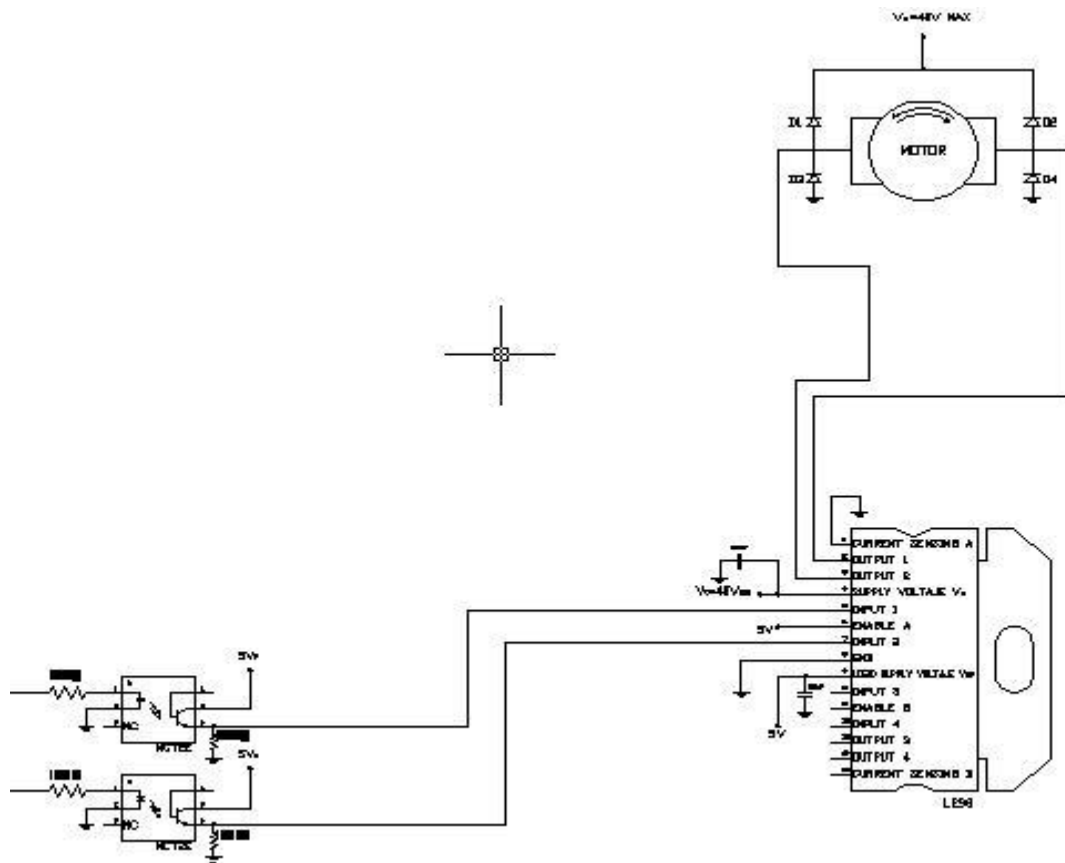
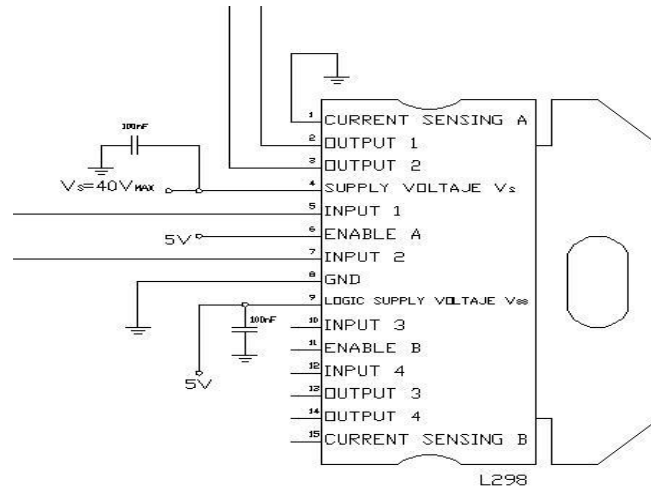


Figura V.32.- Diagrama electrónico de la etapa de potencia

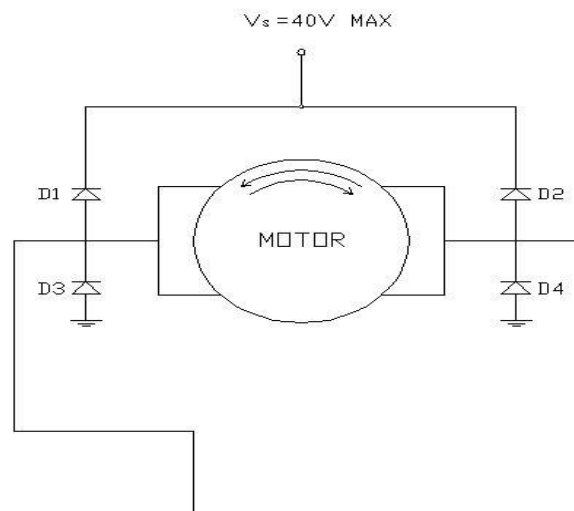
El *L298* posee en su interior dos puentes *H*, su voltaje de operación va de un rango de 5V a 35V, la máxima corriente de operación es de 2 Amp (por motor), con una corriente de control que va de 0 a 36 mAmp. Su voltaje lógico es de 5V y su máxima potencia es de 25W. La configuración del *L298* en el presente diseño aparece de la siguiente forma (Figura V.33):

- La entrada en el pin 5 activa la salida en el pin 2 del primer puente *H*.
- La entrada en el pin 7 activa la salida en el pin 3 del primer puente *H*.



**Figura V.33.-** Diagrama electrónico de las conexiones entre el motor y el puente *H*

El circuito integrado *L298* es la etapa de potencia con la que invertimos el sentido de giro del motor (Figura V.34).



**Figura V.34.-** Diagrama electrónico de las conexiones del motor *CD*

**V.10.4.5.- Código del programa**

El código en lenguaje ensamblador que controla el giro de los motores se muestra en el Anexo.

**V.11.- Sumario**

El Capítulo V presenta el armado y montaje de los diversos componentes mecánicos que conforman el vehículo terrestre. Así mismo, muestra la elaboración de los distintos circuitos electrónicos y de control que utiliza el proyecto para cumplir con su tarea.

**V.12.- Referencias**

- 1.- Calvo-Rodríguez, A. y Carnicero-López, A., *Diseño y Análisis de un Chasis para un Prototipo de Fórmula SAE*, Ed. ICAI, Universidad Pontificia Comillas, pp. 5, 2006
- 2.- Interlloy, *1045 Medium Tensile Carbon Steel Bar*, <http://www.interlloy.com.au/our-products/carbon-steels/1045-medium-tensile-carbon-steel-bar/>, 2011

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

El diseño mecánico del vehículo terrestre tenía un objetivo muy simple: transportar un vehículo con ruedas por una pequeña parte del aeropuerto. Para esta tarea era fundamental que todos los elementos giratorios operaran de manera sincronizada y precisa, cosa que ocurrió.

Para transmitir velocidad (llantas delanteras) se realizó un arreglo mecánico que permitiera que un elemento giratorio de diámetro más grande estuviera en conectado con un elemento giratorio de diámetro más chico. Y para transmitir más torque (llantas traseras) se conectó un elemento giratorio de diámetro más chico con un elemento giratorio de diámetro más grande.

Gracias a los respectivos análisis en MEF se logró detectar y corregir algunas inconsistencias encontradas en los componentes mecánicos del diseño inicial propuesto, logrando mejorar la construcción final del vehículo terrestre.

Por último, se comprobó la gran importancia que cobran las tolerancias y los ajustes en el proceso final de ensamblado, logrando obtener un óptimo desempeño de todos los elementos mecánicos utilizados.

## CONCLUSIONES

Se logró diseñar, analizar y construir un vehículo terrestre que puede ser usado eficazmente para ahuyentar animales invasores dentro de un predio aeroportuario.

- ✓ Se construyó un prototipo que por sus características de diseño posee dos particularidades: velocidad en las ruedas delanteras y torque en las ruedas traseras.
- ✓ Se logró implementar satisfactoriamente en un solo proyecto las formas de transmisión de potencia mecánica más eficientes (transmisión por engranes, por bandas y por cadena). Todas estas, están contenidas en el prototipo en razón 2 a 1.
- ✓ Se consiguió desarrollar un diseño que tiene como principal característica el lograr que el vehículo se desplace eficazmente utilizando un solo motor (en comparación con otros diseños que ocupan cuatro motores, un motor por cada llanta).

### Conclusiones del Capítulo I

Se consiguió entender los problemas derivados de los accidentes e incidentes producidos cuando acontece un choque entre aeronaves y fauna invasora, dentro o alrededor del área de operación de los predios aeroportuarios.

### Conclusiones del Capítulo II

Se logró comprender los distintos sistemas de evaluación y de control de riesgos que existen en la actualidad, para tratar de erradicar la presencia de fauna voladora dentro del área de operaciones de los predios aeroportuarios.

### Conclusiones del Capítulo III

Se desarrolló una propuesta original e inédita de diseño, que incluye:

- Un chasis que soporta todos los componentes mecánicos, de control y electrónicos del proyecto
- Cuatro ejes motrices que hacen posible la translación del vehículo

- Un volante que proporciona dirección y rotación al prototipo

#### **Conclusiones del Capítulo IV**

Se comprobó, mediante los correspondientes análisis por MEF que el diseño del vehículo terrestre es válido para todos sus componentes mecánicos, y por lo tanto es una opción viable de construcción.

#### **Conclusiones del Capítulo V**

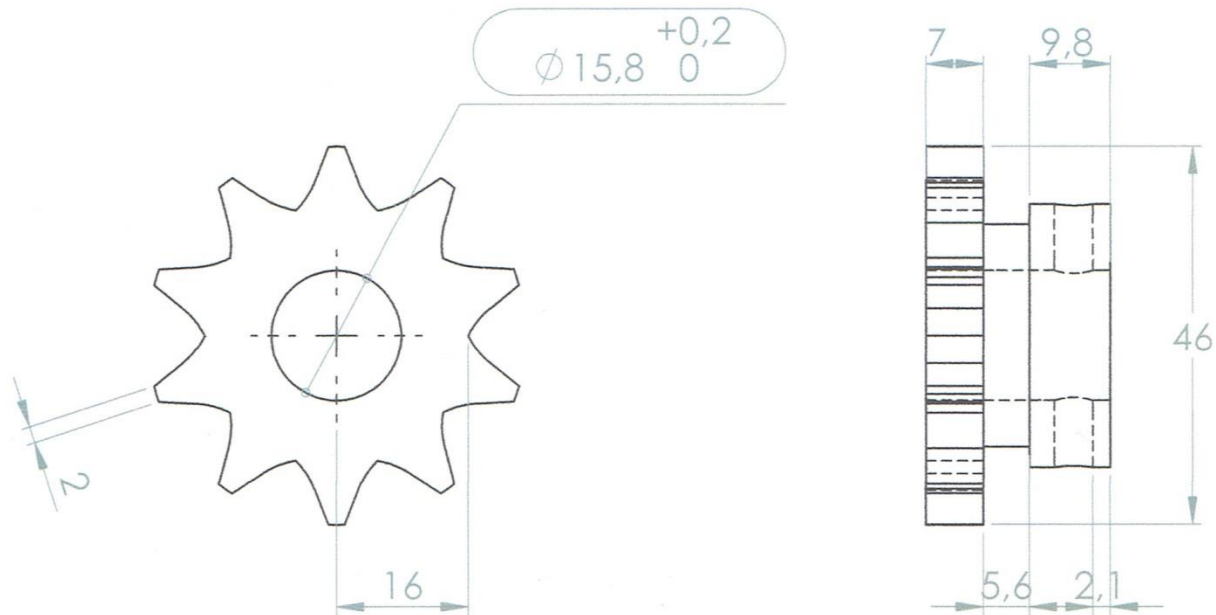
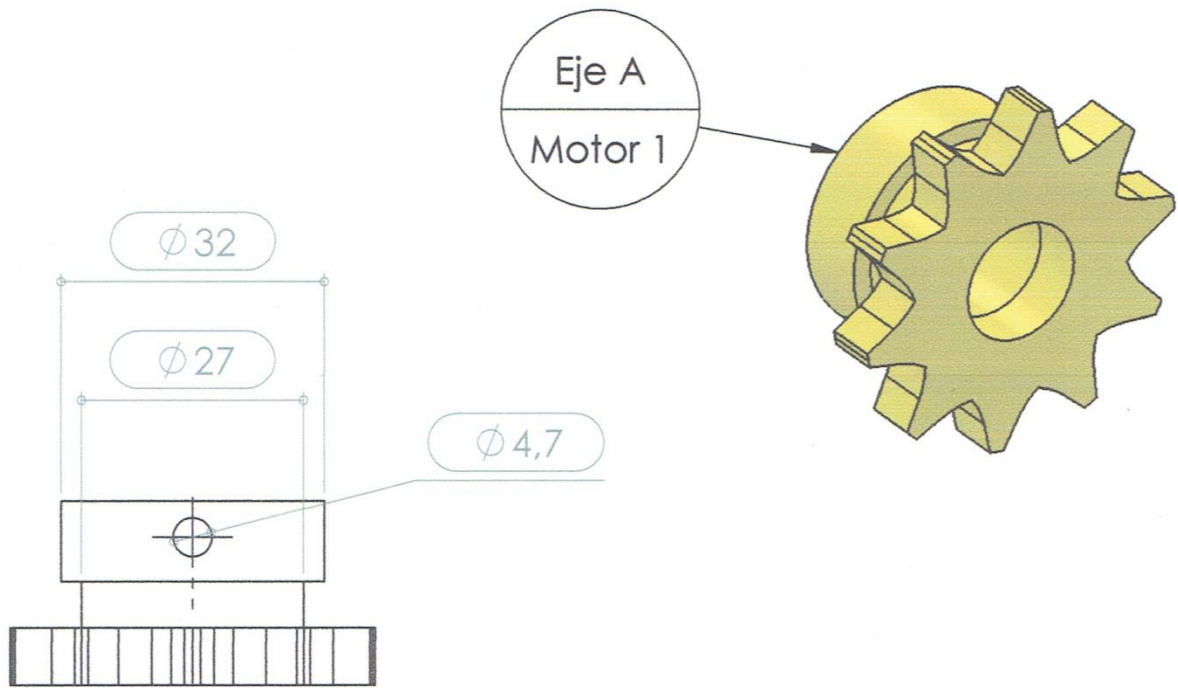
Se construyó un vehículo terrestre consistente con las especificaciones en el diseño planteadas anteriormente, probando su eficacia. Así mismo, se comprobó la eficiencia de los distintos circuitos electrónicos y de control que utiliza el proyecto para cumplir con su tarea.

## TRABAJOS FUTUROS

- ✓ Se deja como propuesta para trabajos futuros, el perfeccionamiento del chasis por uno de menores dimensiones y por lo tanto, de peso menor.
- ✓ Así mismo, se podría remplazar algún motor por otro de mayor torque, para obtener así una mayor velocidad y por consiguiente un mejor desempeño.
- ✓ Mejorar mecánicamente el sistema de viraje o de direccionamiento en el prototipo.
- ✓ El análisis tribológico de los elementos encargados de transmitir potencia mecánica dentro del proyecto, por ejemplo, la implementación de una banda de material diferente al neopreno con otro tipo de dientes (o sin estos).
- ✓ Además, el perfeccionamiento de los distintos circuitos electrónicos (alarmas de luz y de sonido) encargados de ahuyentar a la fauna invasora.
- ✓ Así como el progresivo aumento en las etapas de control para obtener un funcionamiento más sofisticado del prototipo.



# **DIBUJOS**



SI NO SE INDICA LO  
CONTRARIO LAS  
COTAS SE EXPRESAN  
EN MILIMETROS

FECHA:  
23-Nov-2014

REVISOR: Dr. Guillermo Urriolagoitia Calderón

ESCUELA: SEPI ESIME-Zac

AUTOR:  
**Renato Martínez Nopala**

NOMBRE DEL PROYECTO:  
"Diseño y construcción de un vehículo terrestre  
para la expulsión de fauna voladora en los  
aeropuertos"

MATERIAL:  
Acero AISI 1018

NOMBRE DEL DIBUJO:  
Motor 1 y Eje A - CATARINA

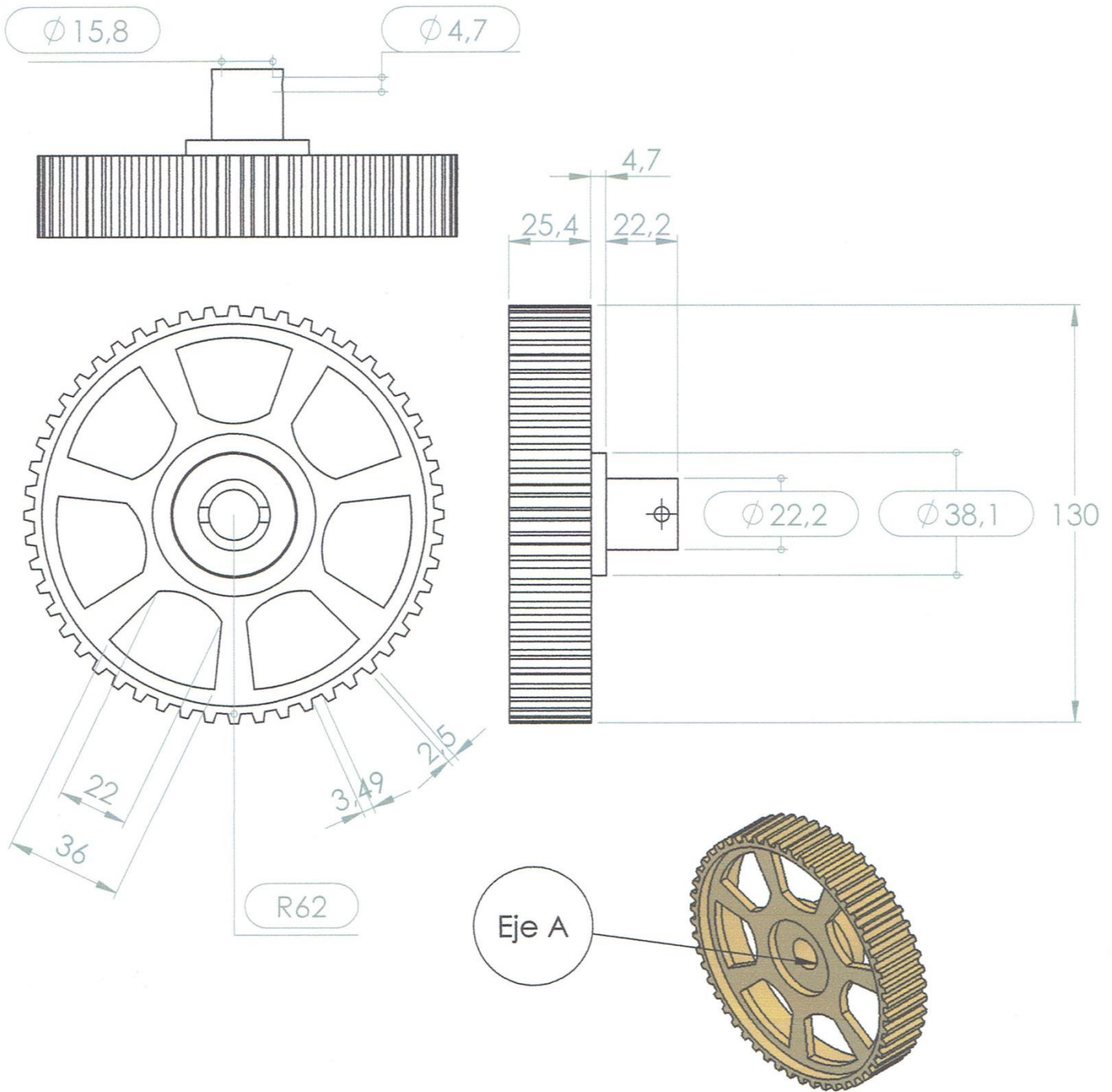
**A4**

ESCALA 1:1

FIRMA:

HOJA 1 DE 1

**IPN**

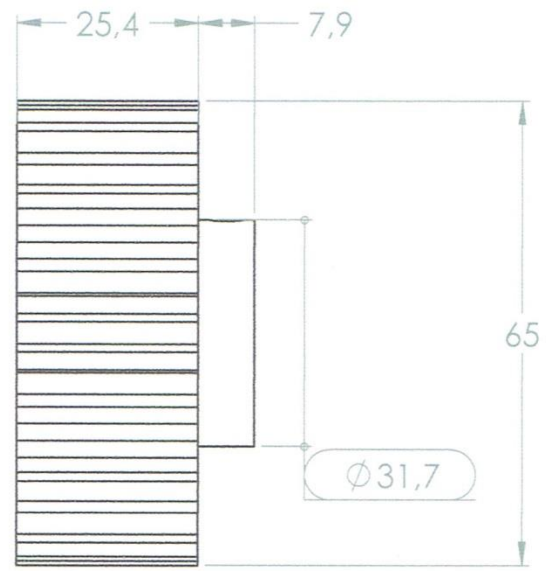
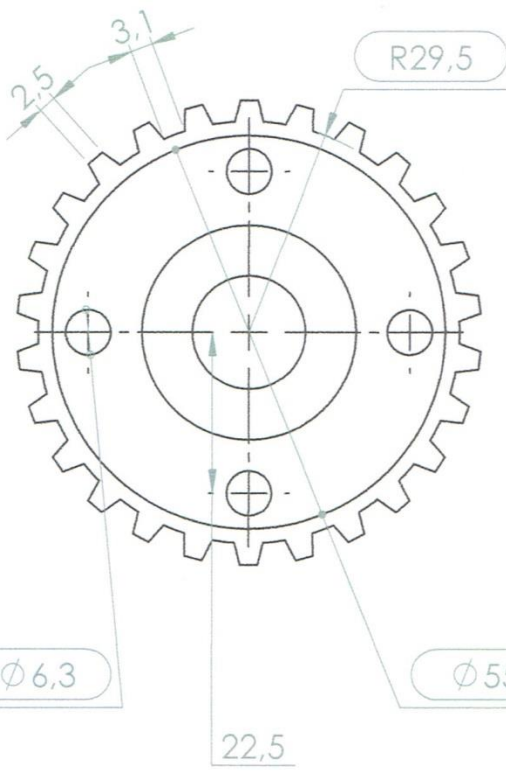
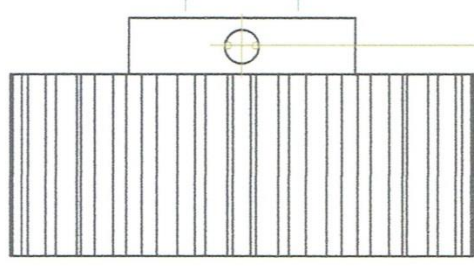


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS	FECHA: <b>23-Nov-2014</b>	REVISOR: <b>Dr. Guillermo Urriolagoitia Calderón</b>	ESCUELA: <b>SEPI ESIME-Zac</b>
	AUTOR: <b>Renato Martínez Nopala</b>	NOMBRE DEL PROYECTO: <b>"Diseño y construcción de un vehículo terrestre para la expulsión de fauna voladora en los aeropuertos"</b>	
<b>IPN</b>	MATERIAL: <b>Nylamid 6/6</b>	NOMBRE DEL DIBUJO: <b>Eje A - ENGRANE DE DISTRIBUCIÓN</b>	
	ESCALA 1:1	FIRMA:	HOJA 1 DE 1

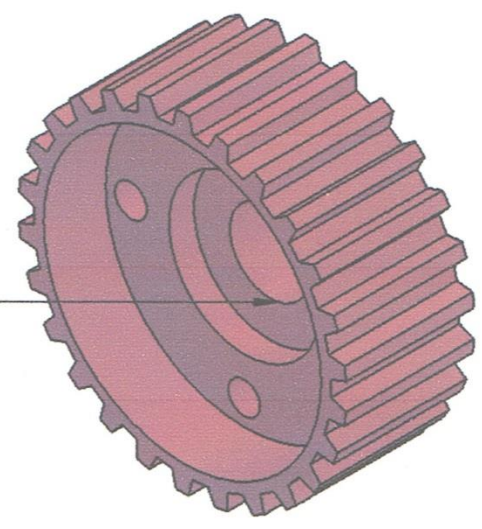
**A4**

Ø 15,8

Ø 3,9



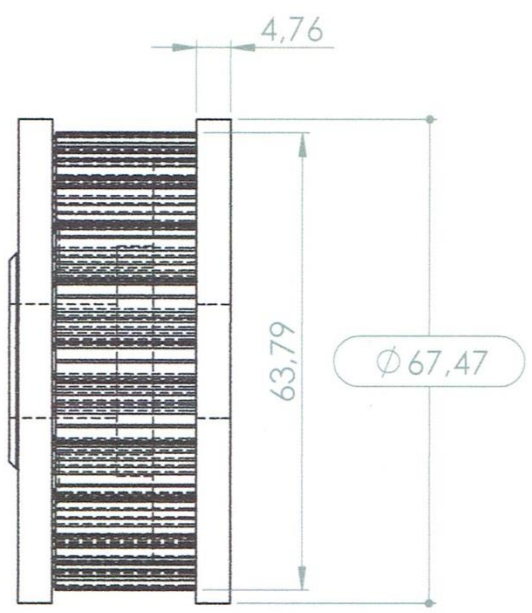
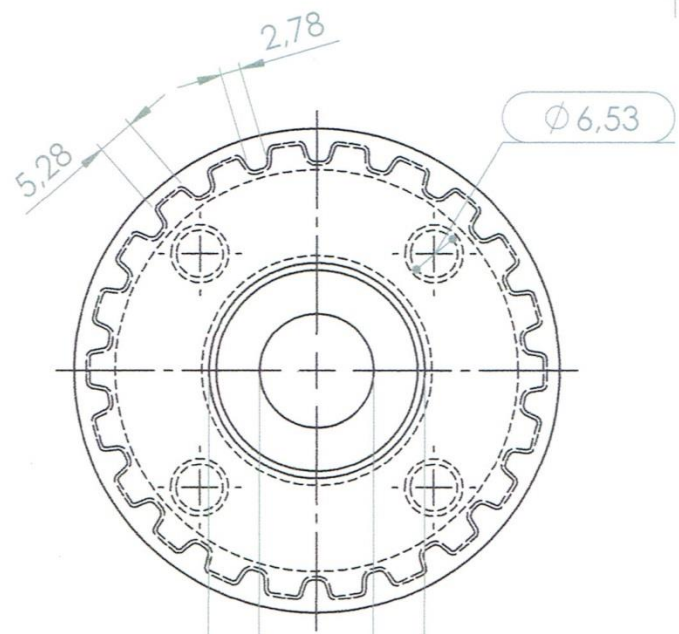
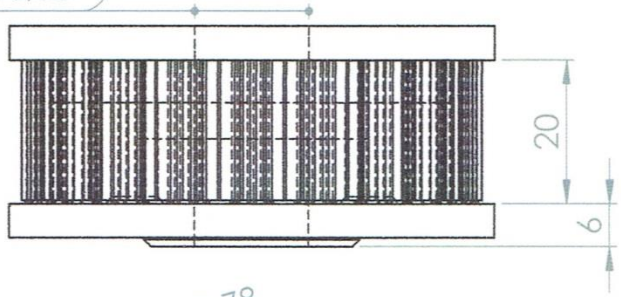
Eje B



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS	FECHA: 23-Nov-2014	REVISOR: Dr. Guillermo Urriolagoitia Calderón	ESCUELA: SEPI ESIME-Zac.
	AUTOR: Renato Martínez Nopala	NOMBRE DEL PROYECTO: "Diseño y construcción de un vehículo terrestre para la expulsión de fauna voladora en los aeropuertos"	
<h1 style="font-size: 4em; margin: 0;">IPN</h1>	MATERIAL: Acero AISI 1020	NOMBRE DEL DIBUJO: Eje B - ENGRANE CONDUcido	<h2 style="font-size: 2em; margin: 0;">A4</h2>
	ESCALA 1:1	FIRMA:	

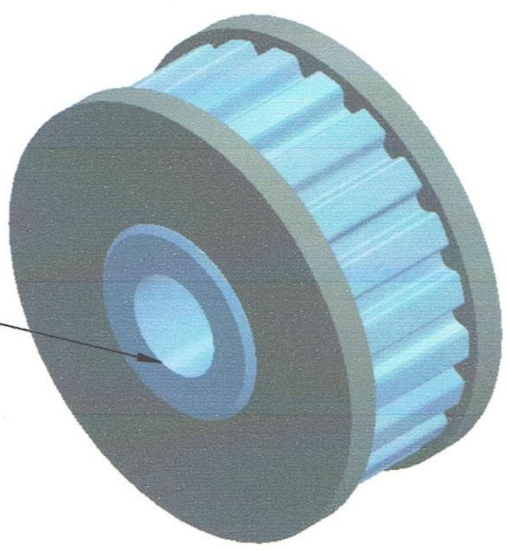


Ø 15,88



Ø 15,875  
Ø 30

Eje B  
2 Pzas.



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS

FECHA:  
23-Nov-2014

REVISOR: Dr. Guillermo Urriolagoitia Calderón

ESCUELA: SEPI ESIME-Zac.

AUTOR:  
Renato Martínez Nopala

NOMBRE DEL PROYECTO:  
"Diseño y construcción de un vehículo terrestre para la expulsión de fauna voladora en los aeropuertos"

IPN

MATERIAL:  
Aluminio 6063-T5

NOMBRE DEL DIBUJO:  
Eje B - POLEA DENTADA PIÑÓN

A4

ESCALA 1:2

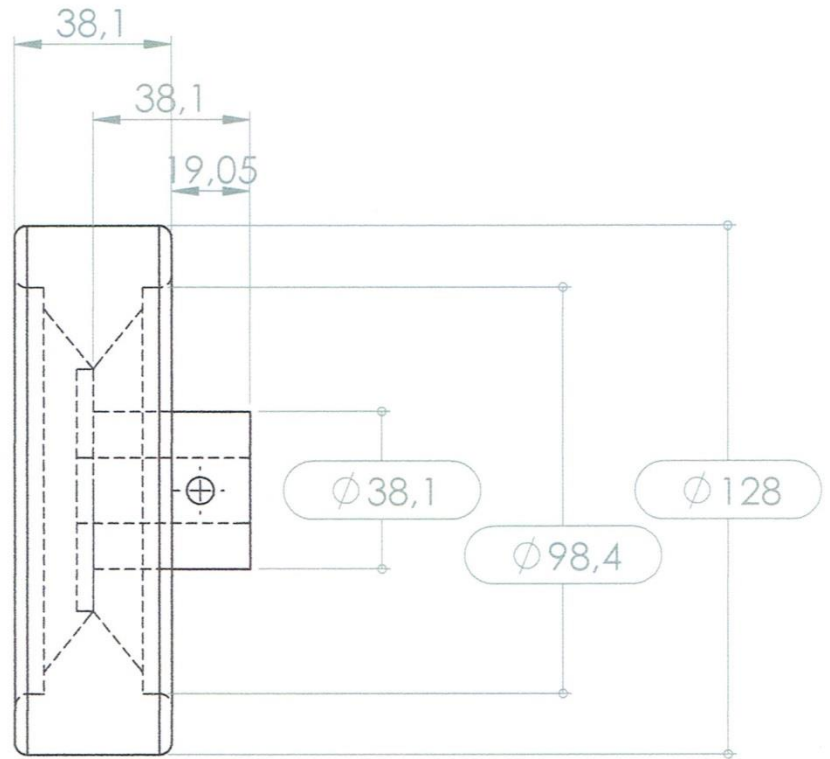
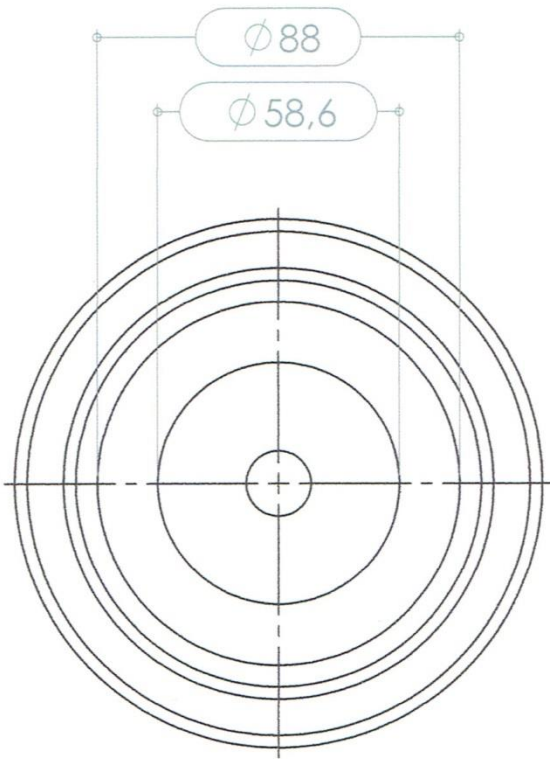
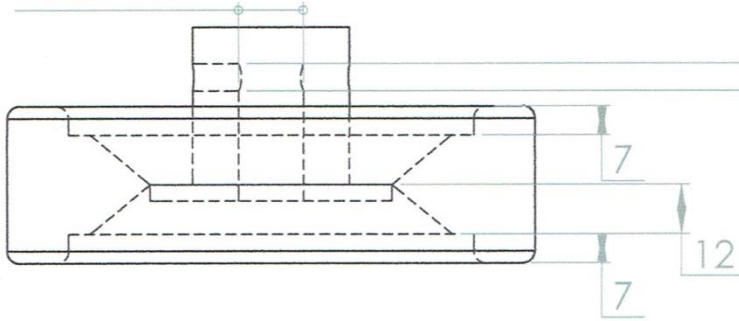
FIRMA:

HOJA 2 DE 3

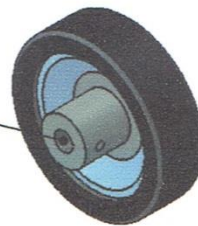
$\phi 15,8 \begin{matrix} +0,2 \\ 0 \end{matrix}$

$\phi 6,5278$

Broca tamaño ' F '  
(para machuelo  
cuerda estándar de 5/16 ")



Eje B y D  
4 Pzas.



SI NO SE INDICA LO  
CONTRARIO LAS  
COTAS SE EXPRESAN  
EN MILIMETROS

FECHA:  
23-Nov-2014

REVISOR: Dr. Guillermo Urriolagoitia Calderón

ESCUELA: SEPI ESIME-Zac.

AUTOR:  
**Renato Martínez Nopala**

NOMBRE DEL PROYECTO:  
"Diseño y construcción de un vehículo terrestre  
para la expulsión de fauna voladora en los  
aeropuertos"

**IPN**

MATERIALES:  
Acero ASTM A-36, Acero AISI  
1018 cold rolled y Caucho  
sintético (hule)

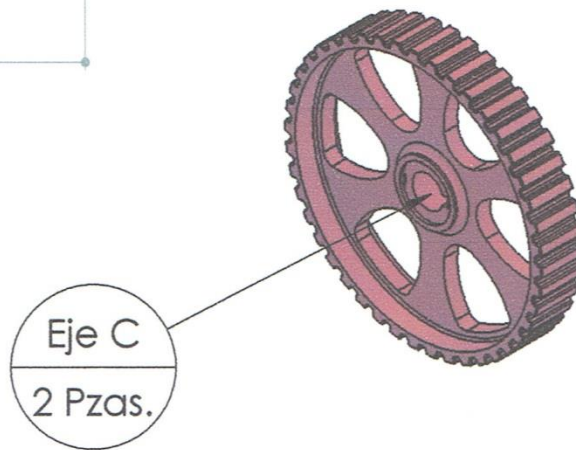
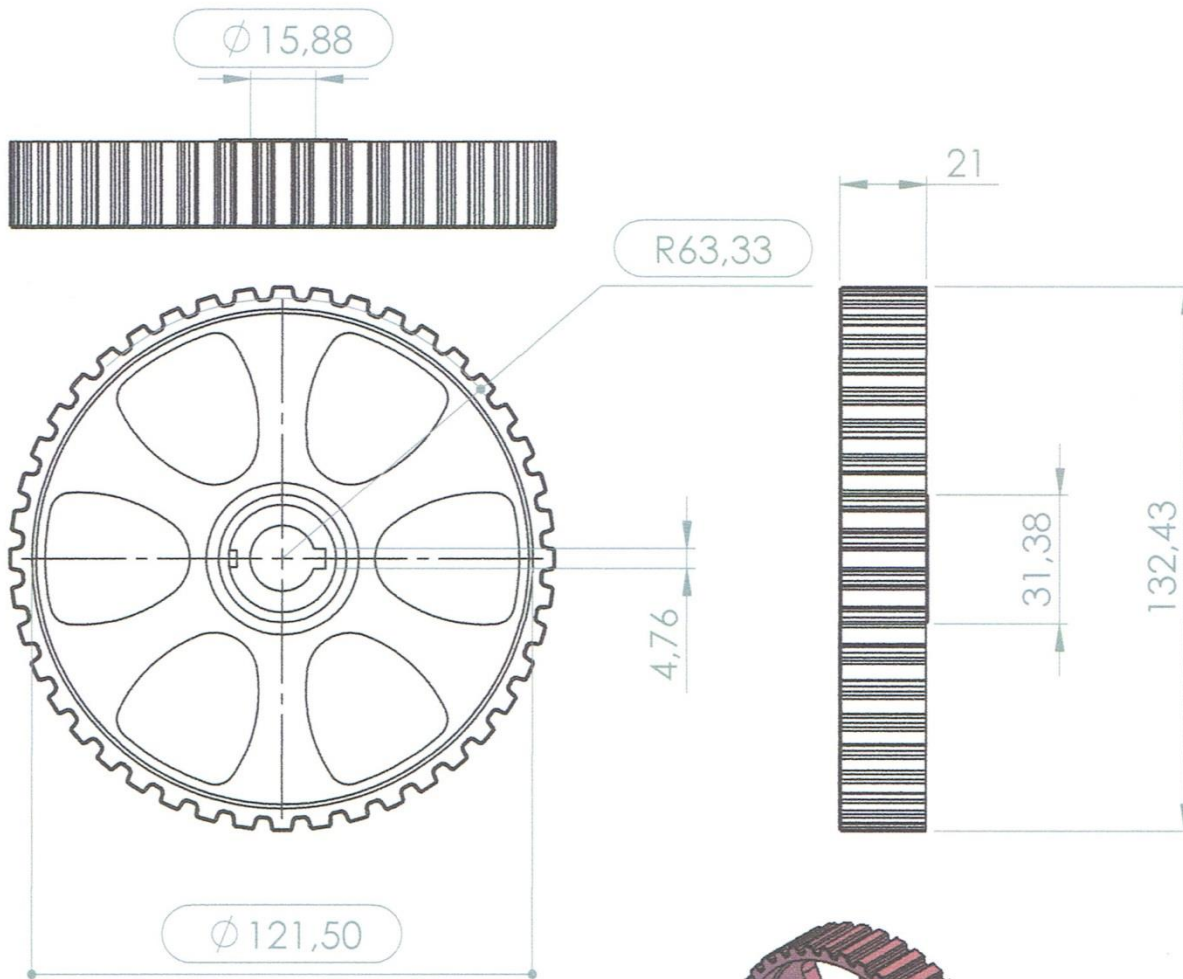
NOMBRE DEL DIBUJO:  
**Eje B y D - LLANTAS**

**A4**

ESCALA 1:5

FIRMA:

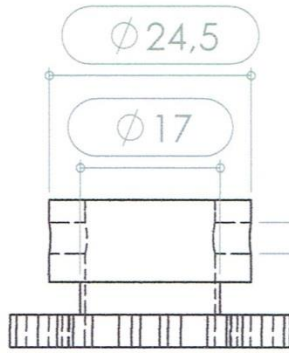
HOJA 3 DE 3



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS	FECHA: <b>23-Nov-2014</b>	REVISOR: <b>Dr. Guillermo Urriolagoitia Calderón</b>	ESCUELA: <b>SEPI ESIME-Zac.</b>
		AUTOR: <b>Renato Martínez Nopala</b>	NOMBRE DEL PROYECTO: <b>“Diseño y construcción de un vehículo terrestre para la expulsión de fauna voladora en los aeropuertos”</b>
<b>IPN</b>	MATERIAL: <b>Nylamid 6/6</b>	NOMBRE DEL DIBUJO: <b>Eje C - POLEA DENTADA CONDUCCIDA</b>	
	ESCALA 1:1	FIRMA:	HOJA 1 DE 2

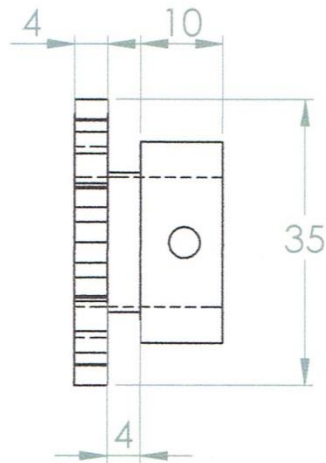
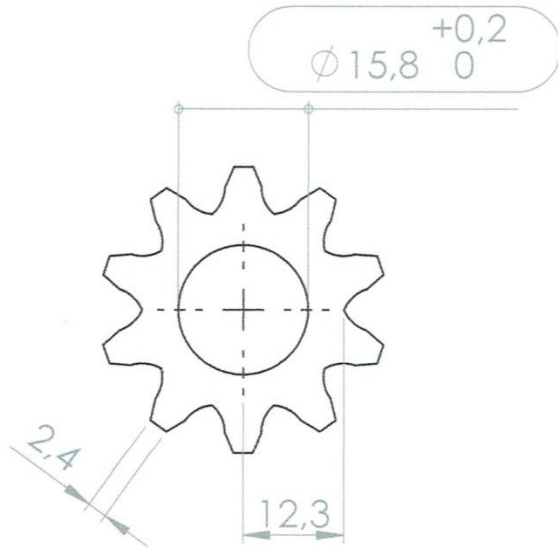
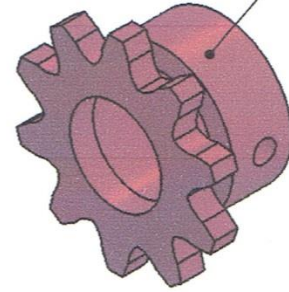
**A4**



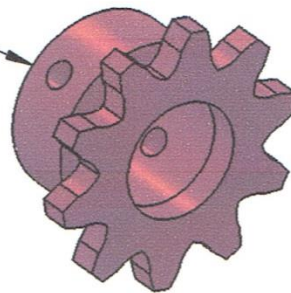


$\phi 3,7973$   
 Broca #25  
 (Para machelo estándar de 3/16")

2 piezas



Eje C



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS

FECHA:  
23-Nov-2014

REVISOR:  
Dr. Guillermo Urriolagoitia Calderón

ESCUELA:  
SEPI ESIME-Zac.

AUTOR:  
**Renato Martínez Nopala**

NOMBRE DEL PROYECTO:  
"Diseño y construcción de un vehículo terrestre para la expulsión de fauna voladora en los aeropuertos"

MATERIAL:  
Acero AISI 1018

NOMBRE DEL DIBUJO:  
Eje C - CATARINA PIÑÓN

**IPN**

ESCALA:1:1

FIRMA:

HOJA 2 DE 2

**A4**

# **ANEXOS**

---



---

## CÓDIGO DEL PROGRAMA.

A continuación se muestra el programa que permite controlar el comportamiento de los motores en el vehículo

### Programa del AVR ATMEGA8535 con el que se controla el sentido de giro de los motores de C.D.

**;---Inclusión de archivos---**

```
.include "m8535def.inc"
```

**;---Definición de Variables**

```
.def temp = r16
```

**;---Definición del Vector de interrupciones**

```
.org 0x0000
```

```
    rjmp RESET
```

RESET:

**;---Indica donde se encuentra el STACK POINTER**

```
ldi temp,low(RAMEND)
```

```
out SPL,T
```

```
ldi temp,high(RAMEND)
```

```
out SPH,T
```

**;---Configuración de puertos**

**; Con 0 es como entrada**

**; Con 1 es como salida**

```
ldi temp,0x0F      ;puerto A nible bajo como salida, nible Alto como entrada
```

```
out DDRA,temp
```

```
ldi temp,0b0100000
```

```
out PORT,temp
```

**;---Limpiamos los registros**

```
clr temp
```

**Motor:**

```
    sbis PINA,4
```

```
    rjmp Reversa
```

---



---

---



---

```

cbi PORTA,1
sbi PORTA,0

```

**Reversa:**

```

sbis PINA,5
rjmp Alto
cbi PORTA,0
sbi PORTA,1

```

**Alto:**

```

sbic PINA,6
rjmp Motor
cbi PORTA,0
cbi PORTA,1

rjmp Motor

```

A continuación se muestra el programa que permite desplegar 2 mensajes en el LCD:

**Programa del AVR ATMEGA8 con el que se despliegan 2 mensajes en el LCD.**

```

.include "m8def.inc"

.def temp = r16                ;definición de registros
.def argument = r17
.def return = r18

.equ DDRLCD = DDRD            ;definición de constantes
.equ PORTLCD= PORTD
.equ PINLCD = PIND
.equ LCD_RS = 1
.equ LCD_E = 3
.equ LCD_RW = 2
.equ BF = 3

.org 0x00                      ;vector de interrupciones
rjmp reset                    ;Reset
reset:

```

---



---

---

```

ldi temp,low(RAMEND)    ;stack pointer
out spl,temp
ldi temp,high(RAMEND)
out sph,temp
rcall LCD_inicia        ;llamar a rutina de inicio de LCD
rjmp Inicio

Inicio:
rcall lcd_clear         ;llamada a subrutina para limpiar LCD
ldi argument,0x85      ;cargar comando de posición rcall
lcd_command             ;enviar comando a lcd
ldi zl,low(2*texto0)   ;Apuntar a cadena de caracteres texto0
ldi zh,high(2*texto0)
rcall lcd_load          ;enviar cadena de caracteres
rcall lcd_wait         ;esperar a que el LCD no esté ocupado
ldi argument,0xc2      ;cargar comando de posición rcall
lcd_command             ;enviar comando a lcd
ldi zl,low(2*texto1)   ;Apuntar a cadena de caracteres texto1
ldi zh,high(2*texto1)
rcall lcd_load          ;enviar cadena de caracteres

loop:
rjmp loop              ;bucle infinito

LCD_load:               ;rutina desplegar cadena de caracteres
lpm                     ;cargar memoria de programa
tst r0                  ;carácter ASCII 0?
breq regresar          ;si, fin de cadena de caracteres
mov argument,r0         ;no, enviar carácter a LCD
rcall lcd_putchar
adiw ZL,1               ;incrementar apuntador
rjmp LCD_load           ;repetir rutina

regresar:
ret                     ;fin de rutina

```

---

---



---

```

LCD_clear:                                ;rutina limpiar LCD
    ldi argument,0x01                        ;comando de borrar LCD
    rcall LCD_command                       ;enviar comando
    rcall LCD_wait                          ;esperar a que se desocupe el LCD (BF)
    ret

LCD_putchar:                             ;rutina desplegar un carácter, RS alto, indica dato
    rcall LCD_wait push argument            ;guardar argument en stack
    in temp,DDRLCD
    sbr temp,0b11110000                    ;líneas de datos como salidas
    out DDRLCD,temp
    in temp,PORTLCD
    cbr temp,0b11111110
    cbr argument,0b00001111              ;escribir el nibble alto
    or temp,argument
    out PORTLCD,temp
    sbi PORTLCD,LCD_RS                    ;acceso al registro de datos del LCD
    sbi PORTLCD,LCD_E                    ;strobe Enable
    nop
    nop
    nop
    cbi PORTLCD,LCD_E
    pop argument                          ;obtener argument del stack
    cbr temp,0b11110000
    swap argument                          ;enviar el nibble bajo
    cbr argument,0b00001111
    or temp,argument
    out PORTLCD,temp
    sbi PORTLCD,LCD_RS
    sbi PORTLCD,LCD_E
    nop
    nop

```

---



---

---

```

nop
cbi PORTLCD,LCD_E
cbi PORTLCD,LCD_RS
in temp,DDRLCD
cbr temp,0b11110000    ;líneas de datos son entradas de nuevo
out DDRLCD,temp
ret

```

**LCD8bits:** **;Usado para inicializar el LCD**

```

in temp,DDRLCD
sbr temp,0b11110000
out DDRLCD,temp
in temp,PORTLCD
cbr temp,0b11110000
cbr argument,0b00001111
or temp,argument
out PORTLCD,temp
sbi PORTLCD,LCD_E
nop
nop
nop
cbi PORTLCD,LCD_E
in temp,DDRLCD
cbr temp,0b11110000
out DDRLCD,temp
ret

```

**LCD\_command:** **;RS en bajo, indica que es un comando**

```

push argument
in temp,DDRLCD
sbr temp,0b11110000
out DDRLCD,temp
in temp,PORTLCD

```

---



---

---

```
cbr temp,0b11111110
cbr argument,0b00001111
or temp,argument
out PORTLCD,temp
sbi PORTLCD,LCD_E
nop
nop
nop
cbi PORTLCD,LCD_E
pop argument
cbr temp,0b11110000
swap argument
cbr argument,0b00001111
or temp,argument
out PORTLCD,temp
sbi PORTLCD,LCD_E
nop
nop
nop
cbi PORTLCD,LCD_E
in temp,DDRLCD
cbr temp,0b11110000
out DDRLCD,temp
ret
```

**LCD\_getaddr:**

```
in temp,DDRLCD
andi temp,0b00001111
out DDRLCD,temp
cbi PORTLCD,LCD_RS
sbi PORTLCD,LCD_RW
sbi PORTLCD,LCD_E
```

---

---

```

nop
in temp,PINLCD
andi temp,0b11110000
mov return,temp
cbi PORTLCD,LCD_E
nop
nop
sbi PORTLCD,LCD_E
nop
in temp,PINLCD
andi temp,0b11110000
swap temp
or return,temp
cbi PORTLCD,LCD_E
cbi PORTLCD,LCD_RW
ret

```

```

LCD_wait:                                ;leer dirección y BF hasta que BF este a 0
rcall LCD_getaddr                          ;llamar rutina para obtener el estado de BF
andi return,0x80                           ;chechar si BF está en bajo
brne LCD_wait                               ;si no está en bajo, continuar esperando
ret

```

```

LCD_delay:                               ;retraso para inicio de LCD

```

```
clr r4
```

```

LCD_delay_outer:

```

```
clr r5
```

```

LCD_delay_inner:

```

```
dec r5
```

```
brne LCD_delay_inner
```

```
dec r4
```

```
brne LCD_delay_outer
```

```
ret
```

**LCD\_inicia:**

```

ldi temp,0b00001110
out DDRLCD,temp
rcall LCD_delay
ldi argument,0x20      ;Petición de modo de 4-bits al LCD.
rcall LCD8bits        ;Esta en modo de 8-bits al recibir este comando
rcall LCD_wait
ldi argument,0x28      ;Petición para 2 líneas, 5*7 font, modo de 4 bits
rcall LCD_command
rcall LCD_wait
ldi argument,0x0C      ;Display on, cursor off, blinking off
rcall LCD_command
rcall LCD_wait
ldi argument,0x01      ;clear display, cursor -> home
rcall LCD_command
rcall LCD_wait
ldi argument,0x06      ;auto-inc cursor
rcall LCD_command
ret

```

```

texto0: .db "IPN - ESIME - SEPI - Martínez Nopala Renato",0

```

```

texto1: .db "Diseño y construcción de un vehículo terrestre para la expulsión de fauna
voladora en los aeropuertos",0

```

```

;----- FIN DEL PROGRAMA

```

---

---

## A.1.- PCB's de los circuitos electrónicos implementados

### A.1.1. Bocina ahuyentadora

#### A.1.1.1. Descripción

El diseño de este circuito electrónico tiene como propósito generar un ruido desagradable que sirva como repelente. La Figura A.1 muestra el circuito armado y montado sobre la placa fenólica.



**Figura A.1.-** Manufactura de placa fenólica de la bocina ahuyentadora

Se muestran también las pistas realizadas sobre la placa fenólica, hechas con papel transfer (Figura A.2).



**Figura A.2.-** Pistas de la bocina ahuyentadora

## A.1.2. Reproductor de un mensaje de voz

### A.1.2.1. Descripción

El circuito integrado ISD1420P es un componente electrónico que está diseñado para grabar cualquier sonido hasta por 20 segundos. La Figura A.3 muestra el circuito armado y montado sobre la placa fenólica.



**Figura A.3.-** Manufactura de la placa fenólica del circuito reproductor de voz

Se observan las pistas realizadas sobre la placa, cubiertas de tinta aislante café (Figura A.4).



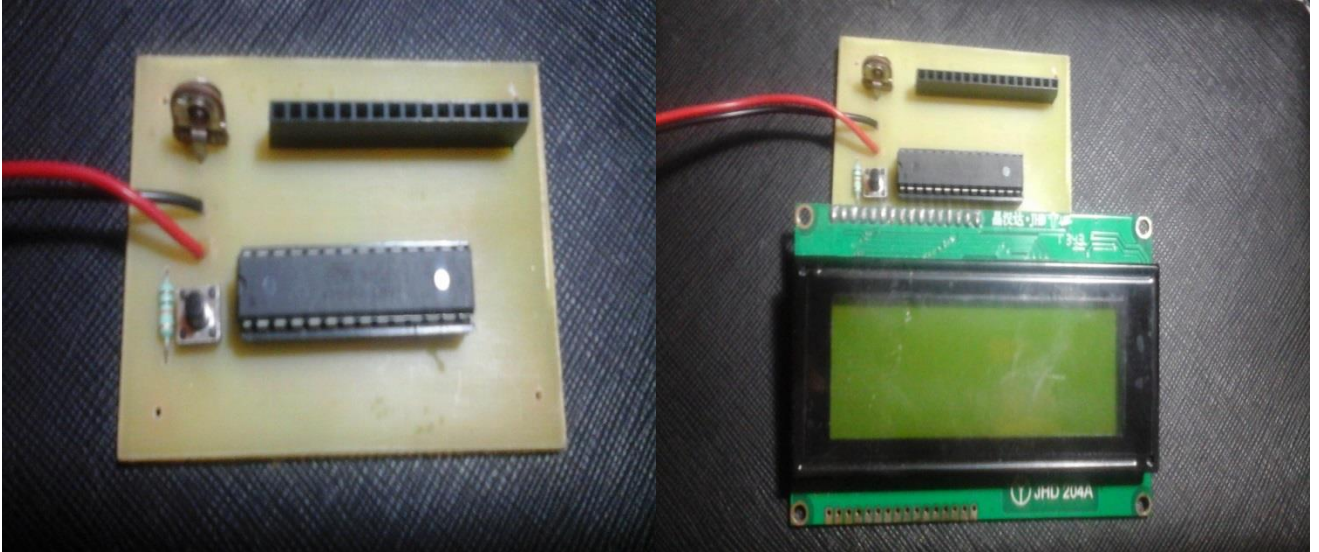
**Figura A.4.-** Pistas del circuito reproductor de mensajes de voz



### A.1.3. Generador de destellos de luz

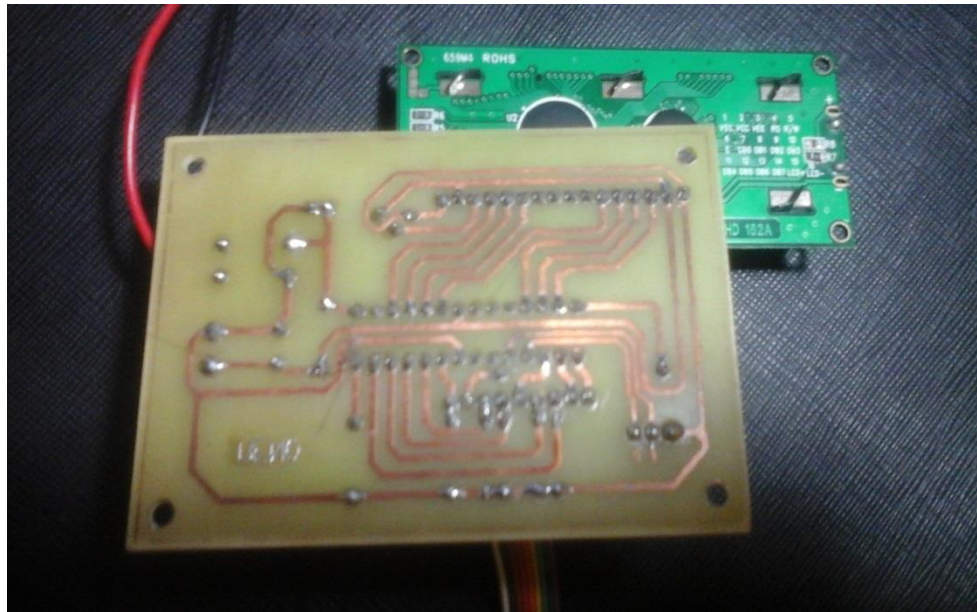
#### A.1.3.1. Descripción

El circuito propuesto se trata de un microcontrolador que está programado para desplegar un mensaje luminoso en el LCD y, de este modo, tratar de ahuyentar a las aves. La Figura A.5 muestra el PCB antes descrito.



**Figura A.5.-** PCB generador de destellos de luz

Las pistas realizadas sobre la placa fenólica se pueden observar en la Figura A.6.

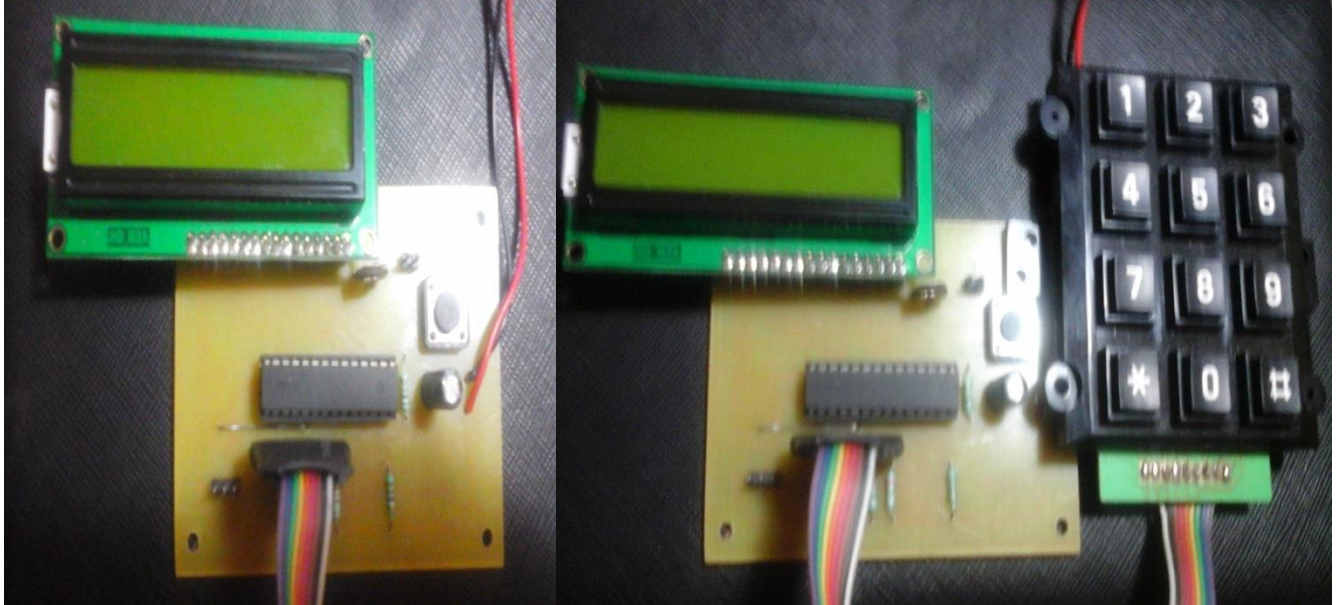


**Figura A.6.-** Pistas del circuito generador de destellos de luz.

## A.1.4. Temporizador de operaciones

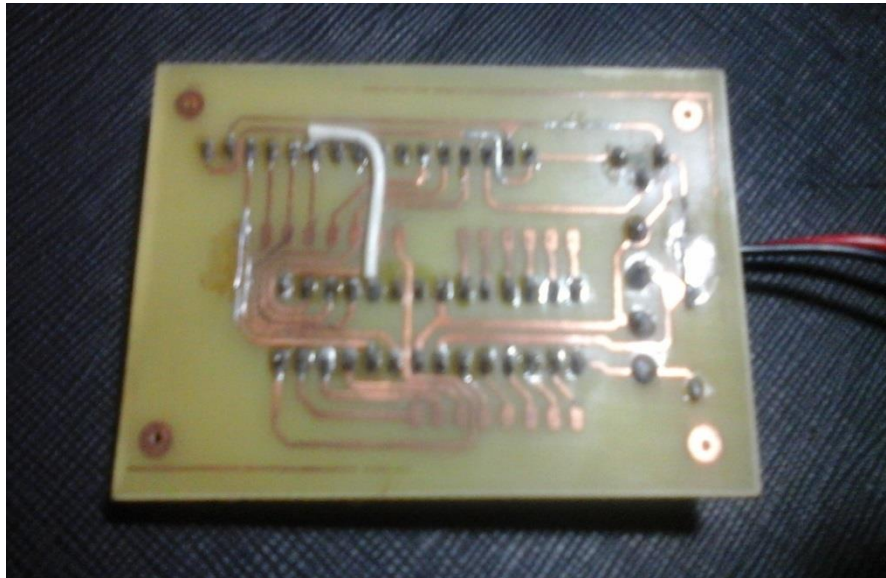
### A.1.4.1. Descripción

El montaje del circuito tiene como finalidad tener un contador activado por teclado, que pueda manejar el tiempo de operaciones de los distintos circuitos electrónicos que contiene el proyecto. La Figura A.7 muestra el PCB.



**Figura A.7.-** PCB del circuito temporizador de operaciones

La Figura A.8 presenta las pistas realizadas en la placa fenólica para este circuito.



**Figura A.8.-** Pistas del circuito temporizador de operaciones