

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE PASANTÍA	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**SISTEMA AUTOMÁTICO DE INTERCAMBIO DE BATERÍAS PARA VEHÍCULO  
AÉREO NO TRIPULADO TIPO QUADCOPTER**

JHEISON DUVIER DIAZ ORTEGA

SERGIO ESTEBAN FUERTES RUIZ

Ingeniería mecatrónica

Carlos Madrigal González

Yair Lozano Hernández

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO – ITM**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**MEDELLÍN - COLOMBIA**

**2017**

	<b>INFORME FINAL DE PASANTÍA</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RESUMEN

---

Muchos factores deben ser tenidos en cuenta a la hora de diseñar un intercambiador de baterías para vehículos aéreos no tripulados (UAV); algunos de ellos son la cantidad de actuadores, la fuente de suministro de energía, el espacio donde debe operar, entre otros aspectos.

De manera detallada, se muestra en este informe, los procedimientos, métodos y deducciones obtenidos de la pasantía de investigación desarrollada conjuntamente con profesores y compañeros del ITM y de la escuela UPIITA del instituto politécnico nacional (IPN) en Ciudad de México. Se abordan los factores anteriormente mencionados, y se propone un modelo de intercambiador de baterías, que cumple su función con un helicóptero de pequeña escala de 4 hélices, también llamado dron o cuadcopter.

Como consecuencia de los requerimientos de funcionamiento y las actividades que llevan a proponer el prototipo de intercambiador, se muestran algunas dificultades; como la reducción de costos y la necesidad de un bajo gasto de energía, lo que comprime mucho más la posibilidad de utilizar varios elementos. Con lo anteriormente dicho, se expone aquí, la forma como se utiliza el software de simulación NX, para realizar evaluaciones del tipo de material, funcionamiento, tiempo que tarda el intercambio; así como también, pueden hacerse pruebas preliminares a la selección y compra de cada uno de los elementos que conforman el prototipo de intercambiador. Por otra parte, cabe mencionar que aunque no se ha llegado al ensamble físico completo del intercambiador, sí se deja planteado en su totalidad. Entre los aspectos desarrollados están, cálculos y selección de instrumentación, propuesta de tamaño, forma y funcionamiento, selección de materiales y cotizaciones con posibles proveedores de la ciudad donde se desarrolló el proyecto (CDMX).

*Palabras clave:* UAV, cuadcopter, dron, actuadores, intercambiador de baterías.

	<b>INFORME FINAL DE PASANTÍA</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RECONOCIMIENTOS

---

La realización de este proyecto fue posible, en primer lugar, por la cooperación conjunta brindada por el profesor y asesor Yair Lozano Hernández y el Doctor Oscar Octavio Gutiérrez del Instituto Politécnico Nacional de México, quienes nos brindaron la posibilidad de hacer parte de su equipo de trabajo. Se agradece al profesor y asesor Carlos Madrigal González del Instituto Tecnológico Metropolitano, por su dirección y ayuda constante, en especial por su orientación y su seguimiento durante todo el proceso hasta el final del mismo. Para el profesor Emilio Brito Martínez del Instituto Politécnico Nacional de México infinitas gracias por su participación, disposición y orientación metodológica y en el enfoque teórico, lo cual permitió una entrega satisfactoria de resultados. De igual modo se agradece a los estudiantes y compañeros Jorge Alva Félix y Sergio Eladio del Instituto Politécnico Nacional de México, y al Profesor y Egresado Jonathan Graciano del Instituto Tecnológico Metropolitano, los cuales participaron con su ayuda y guía.

Como es de entender, se agradece al Consejo de facultad del Instituto Tecnológico Metropolitano, por aprobar y permitirnos desarrollar nuestra movilidad, de no haber sido posible, nada de esto se hubiera logrado.

Cabe también agradecer a la Ingeniera Wendolyne Ramírez Olvera del Instituto Politécnico Nacional de México por darnos la bienvenida y su ayuda al guiarnos con las personas adecuadas para el desarrollo de nuestra pasantía.

Se agradece a todas aquellas personas que de forma directa o indirecta contribuyeron a que este proyecto pudiera llevarse a cabo, Por ultimo un agradecimiento profundo a nuestras respectivas familias y amigos, que con su apoyo y paciencia hicieron posible la culminación del mismo.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE PASANTÍA	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## ACRÓNIMOS

---

CDMX: Ciudad De México.

UAV: Unmanned Aerial Vehicle (Vehículo Aéreo no Tripulado).

UPIITA: Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas.

ESIME: Escuela superior de ingeniería mecánica y eléctrica.

IPN: Instituto Politécnico Nacional.

ITM: Instituto Tecnológico Metropolitano.

CAD: Diseño asistido por computador.

CAM: Manufactura asistida por computador.

CAE: Ingeniería asistida por computador.

PLM: Product lifecycle management (Gestión de ciclo de vida de productos).

FEA: Finite Element Analysis (Análisis de elementos finitos).

FE: Finite Element (Elementos finitos).

FEM: Finite Element Method (Método de elementos finitos).

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>5</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>7</b>
2.1. ESTADO DEL ARTE.....	7
2.2. PARÁMETROS INICIALES DEL SISTEMA. ....	15
2.3. SELECCIÓN DEL MOTOR.....	17
2.4. DESPLAZAMIENTO MÁXIMO CON MENOS DE UNA VUELTA DE LA POLEA.....	18
2.5. SELECCIÓN DE POLEA Y CORREA SÍNCRONA.....	19
2.6. SOFTWARE DE SIMULACIÓN. ....	21
2.6.1. <i>Acerca de NX</i> .....	21
2.7. ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS (FEA).....	22
<b>3. METODOLOGÍA.....</b>	<b>24</b>
3.1. DISEÑO MECÁNICO DEL SISTEMA DE INTERCAMBIO.....	24
3.1.1. <i>Selección de actuadores.</i> ....	25
3.1.2. <i>Sistema de transmisión mecánica.</i> ....	27
3.2. FORMA Y TAMAÑO REAL DEL DISPOSITIVO. ....	30
3.2.1. <i>Partes y sus planos.</i> ....	31
3.3. DISEÑO SÓLIDO CONFIABLE Y EFICIENTE. ....	36
3.4. MODO DE TRABAJO. ....	37
3.5. RESUMEN DE LAS ACTIVIDADES.....	37
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>40</b>
4.1. SIMULACIÓN DE MOVIMIENTO Y VERIFICACIÓN DE CÁLCULOS.....	40
4.2. FEA, SELECCIÓN DE MATERIALES Y ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA.....	44
<b>5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO .....</b>	<b>54</b>
5.1. CONCLUSIONES.....	54
5.2. RECOMENDACIONES. ....	55
5.3. TRABAJOS FUTUROS. ....	56
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>57</b>
<b>APÉNDICE .....</b>	<b>59</b>
<b>APÉNDICE A: CÁLCULOS PARA LA SELECCIÓN DEL MOTOR.....</b>	<b>59</b>
<b>APÉNDICE B: TABLA E INTERPRETACIÓN DE CÓDIGO PARA LA SELECCIÓN DE CORREA SÍNCRONAS.</b>	<b>60</b>
<b>APÉNDICE C: TABLAS E INTERPRETACIÓN DE CÓDIGO PARA LA SELECCIÓN DE POLEA SÍNCRONAS.</b>	<b>61</b>
<b>APÉNDICE D: TABLA PARA SELECCIÓN DE CORREA SÍNCRÓNICA DEL CATÁLOGO DE INTERMEC.....</b>	<b>62</b>
<b>APÉNDICE E: TABLA PARA SELECCIÓN DE POLEA SÍNCRÓNICA DEL CATÁLOGO DE INTERMEC. ....</b>	<b>63</b>

	<b>INFORME FINAL DE PASANTÍA</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 1. INTRODUCCIÓN

---

Actualmente, multitud de actividades pueden ser realizadas por UAVs (Unmanned Aerial Vehicle) debido a su gran maniobrabilidad, su estabilidad y versatilidad, los UAV son indiscutiblemente una poderosa herramienta en distintas labores; sin embargo, los tiempos de operación se convierten en una gran limitante, pues el desarrollo de las tareas, es a tiempo muy limitado. La corta duración de la batería hace que la constancia en las labores sea restringida.

Se plantea entonces el diseño de un mecanismo mediante el cual, un UAV, en este caso un helicóptero de pequeña escala de 4 motores (quadcopter), pueda realizar una sustitución automática de la batería, haciendo una maniobra sencilla de aterrizaje sobre el mecanismo, y por medio del cual, podrá acceder de forma rápida a una nueva batería cargada; con lo anteriormente dicho, se plantea extender el tiempo de operación y calidad de las labores realizadas.

Entre otras características del mecanismo, está la integración de una fuente de alimentación para las baterías, la cual realiza el proceso de carga de las unidades en tierra, dicha fuente será construida con paneles solares y posicionada en espacios exteriores junto con el sistema intercambiador.

Parte de las demás funcionalidades de este proyecto, como son la fuente de alimentación y los sistemas de carga, no serán abordados, pues esta es solo una sección de un proyecto con mayores alcances y requerimientos.

De esta manera, el objetivo general del presente trabajo se fundamenta en diseñar un sistema automático de intercambio de baterías para mejorar el tiempo de operación de los vehículos aéreos no tripulados tipo quadcopter en las diferentes aplicaciones en las que son empleados.

	<b>INFORME FINAL DE PASANTÍA</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

A nivel específico se pretende realizar el diseño mecánico del sistema de intercambiador de baterías, el cual pueda ser empleado en exteriores, y a su vez permita al quadcopter realizar actividades destinadas de manera eficaz; es pertinente resaltar que la elaboración engloba un bajo costo que posibilite el desarrollo sencillo, sólido y eficiente para alcanzar los resultados propuestos, optimizando los tiempos de intercambio y carga de baterías, proporcionando al quadcopter de una mayor capacidad de vuelo y reduciendo los periodos de inactividad durante esta acción.

Este informe presenta las siguientes secciones:

En la sección I referente a la introducción, se presenta el planteamiento de la investigación, el problema, los objetivos y los alcances de la misma.

En la sección II relacionada con el marco teórico, se abordan los aspectos teóricos relacionados con el diseño del intercambiador, además de los cálculos necesarios para la selección de componentes como el motor y el sistema de transmisión. Se tratan además conceptos como velocidad, fuerza, potencia y análisis de esfuerzos mediante simulación de elementos finitos.

En la sección III alusiva a la metodología, se condensa la información referente a los procedimientos, la dinámica de trabajo, los tiempos destinados a cada actividad y las personas que intervienen en el desarrollo del intercambiador de baterías.

En la sección IV se ofrece la discusión e interpretación de los resultados.

En la sección V se presentan las conclusiones, recomendaciones y la proyección futura de este trabajo.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE PASANTÍA	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 2. MARCO TEÓRICO

---

### 2.1. Estado del arte.

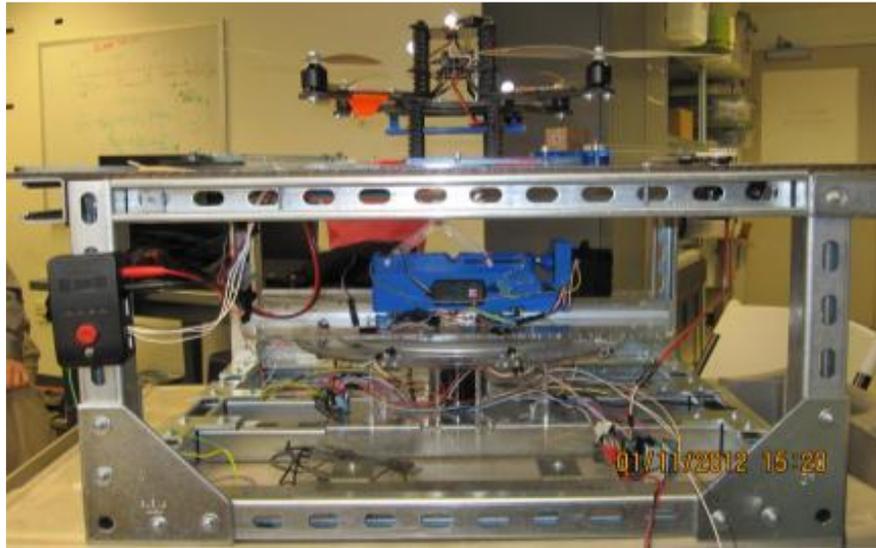
Múltiples trabajos han sido realizados con propósitos similares a los de este informe, sin embargo, no de la manera como acá se exponen.

(Conchran, Pizzimenti y Short, 2012) proponen dar solución a los cortos tiempos de vuelo de los UAV, mediante la creación de una plataforma sobre la que aterrizan los vehículos no tripulados y se les reemplaza la batería, de esta forma se puede hacer que los UAV, sean autónomos y no requieran la intervención humana para prolongar el tiempo de operación. Las novedades de este modelo radican en que se pretende ampliar la cantidad y modelos de vehículos no tripulados, es decir, que se pretende crear una plataforma universal, que pueda incluir muchos más tipos de UAV, Su modelo es mucho más interesante pues en vez de requerir un aterrizaje preciso, puede recibir el vehículo y posicionarlo automáticamente de tal forma que se pueda sustituir la batería y pueda realizar el despegue de forma vertical.

Las baterías del intercambiador que se propone por los autores de este informe, deberán ser cargadas mediante la energía solar, por lo que el diseño propuesto tiende a un consumo de energía muy elevado, lo que representa una notoria diferencia si se decidiera aplicar uno de esos modelos, pues están creados para funcionar en espacios interiores.

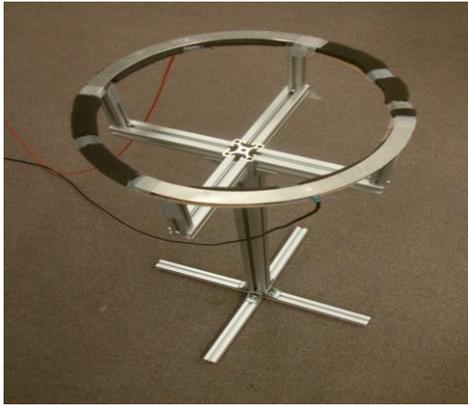
El modelo planteado en resumidas palabras, consiste en una estación base Fig. 1, que da orientación al UAV de manera que pueda estar en una perspectiva conocida y será la posición en la cual podrá realizarse de manera efectiva el reabastecimiento de energía.

	<b>INFORME FINAL DE PASANTÍA</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

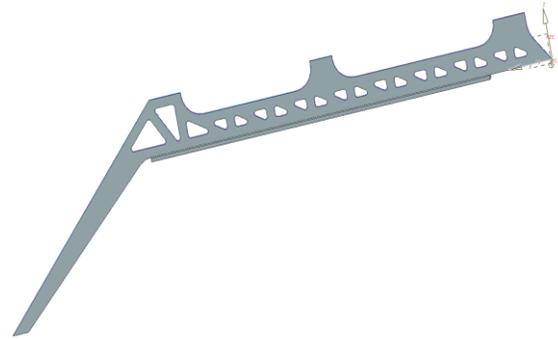


*Fig.1* Estación base completa. Tomado de AUTOMATED REFUELING FOR HOVERING ROBOTS.

Se han realizado estudios referentes al diseño y la implementación de los sistemas automáticos de carga para vehículos aéreos no tripulados, un claro ejemplo de estos se evidencia en (Furrer, 2011), cuyo objetivo propuesto fue lograr el funcionamiento autónomo de un quadrotor, para lo cual, uno de los principales desafíos a los que se enfrenta, fue ejecutar el aterrizaje e idear una plataforma de carga inteligente que pudiera ser rastreada por el helicóptero a escala, utilizando el GPS una vez estuviera en su rango de alcance. El helicóptero cuenta con trenes de aterrizaje que le permiten posarse de forma estable. En la estación base, la plataforma de carga fue desarrollada para cargar las baterías estableciendo contacto entre las piernas de carga y las zonas de contacto, adicionalmente el desarrollo del mecanismo fue ideado de tal forma que el quadrotor pudiera volar entre algunos de estos puntos de interés, guiado mediante GPS y así, al detectar que la batería estuviera próxima a agotarse, se dirigiera a una de las estaciones base de carga, aterrizara, reemplazara su batería y continuara con su recorrido o actividad asignada..



*Fig. 2* Estación base con dos placas de contacto. Tomado de Design and Implementation of a Docking Station for Micro-Helicopters.



*Fig. 3* Pierna de carga para el helicóptero. Tomado de Design and Implementation of a Docking Station for Micro-Helicopters.



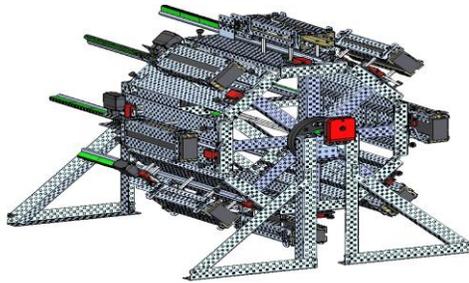
*Fig. 4* Helicóptero con patas y placas de carga. Tomado de Design and Implementation of a Docking Station for Micro-Helicopters.

	<b>INFORME FINAL DE PASANTÍA</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

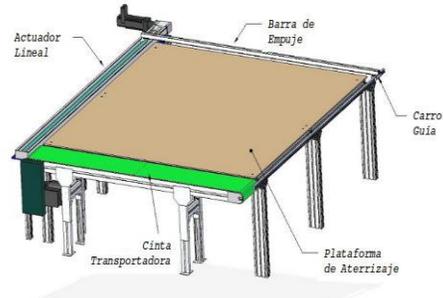
A continuación se presenta el diseño de un sistema para recargar las baterías de UAVs tipo VTOL de manera automática, dando lugar a un tiempo de operación continuo, ya que el factor tiempo, es primordial en la realización de la misión final. Dicho sistema está formado por una plataforma de aterrizaje que se encarga de posicionar y alinear el vehículo de forma automática, a su vez integra un sistema que automáticamente, intercambia la batería casi agotada por una recién cargada, y da inicio simultáneamente al proceso de carga de la batería que acaba de ser reemplazada. El sistema completo se divide en estos dos subsistemas, cada uno con una forma de operar diferente y compuesto por varios elementos, entre ellos se encuentran: la plataforma de aterrizaje, la cual se encuentra conformada por un actuador lineal y una cinta transportadora que permite generar la orientación y posicionar el UAV en el punto exacto de intercambio de baterías, adicionalmente lo conecta a una fuente de alimentación externa para mantener encendida la electrónica del vehículo; el subsistema intercambiador y de recarga de baterías, está compuesto por ocho mecanismos de extracción, inserción, y recarga de baterías los cuales van montados sobre un tambor octogonal giratorio.

La inserción y la extracción se consiguen mediante el movimiento, la activación y desactivación de un electroimán que posee cada mecanismo de intercambio en conjunto con un imán de neodimio acoplado a cada una de las baterías. Se especifica que el sistema diseñado usa elementos comerciales desde el enfoque mecánico y de funcionamiento. (Ragel, Maza, Caballero, y Ollero, 2015).

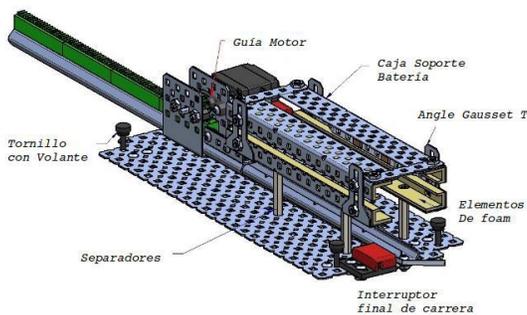
 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE PASANTÍA	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



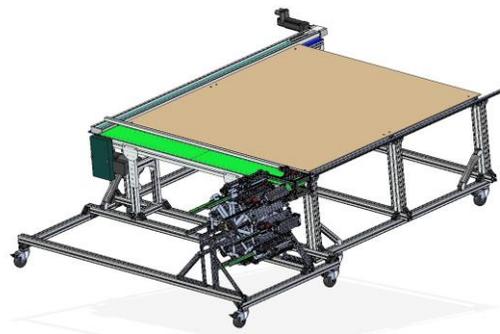
*Fig. 5* Sistema de intercambio y recarga de baterías. Tomado de Plataforma para el Aterrizaje y el Intercambio de Baterías Automático para un UAV de tipo VTOL.



*Fig. 6* Plataforma de aterrizaje automatizada. Tomado de Plataforma para el Aterrizaje y el Intercambio de Baterías Automático para un UAV de tipo VTOL.



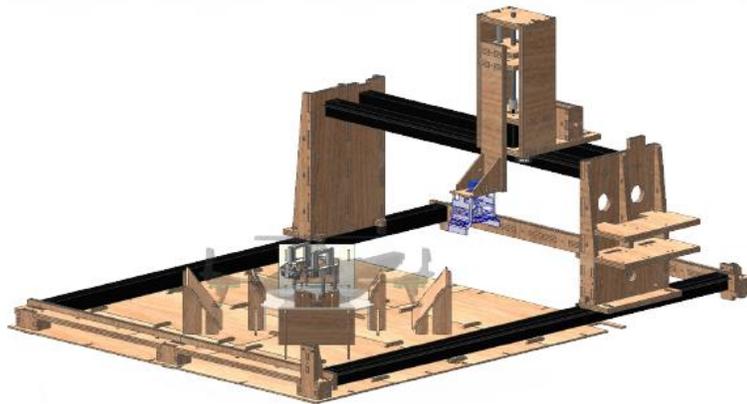
*Fig. 7* Mecanismo elemental de recambio y recarga de baterías autónomo. Tomado de Plataforma para el Aterrizaje y el Intercambio de Baterías Automático para un UAV de tipo VTOL.



*Fig. 8* Sistema completo. Tomado de Plataforma para el Aterrizaje y el Intercambio de Baterías Automático para un UAV de tipo VTOL.

	<b>INFORME FINAL DE PASANTÍA</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Algunos problemas similares a los ya aludidos, han sido abordados por (Rahardjo, 2013). En su publicación habla sobre la ineficiente tecnología de las baterías, lo que ocasiona que la mayoría de los quadrotors tengan una duración de vuelo entre los 10 y 20 minutos, esto hace que los tiempos de misión y la distancia de recorrido sean muy limitados. Por lo tanto, la solución a dicha problemática radica en asegurar tiempos de misión más largos, por lo que el objetivo del proyecto se centra en el diseño y construcción de una estación de acoplamiento, que sea capaz de realizar una rápida sustitución de las baterías de forma autónoma para el quadrotor, permitiendo así que el quadrotor realice misiones sin intervención humana. La estación de acoplamiento autónoma fue optimizada para el quadrotor e incluye una pista de aterrizaje combinada con un mecanismo de bloqueo de baterías. Este sistema está orientado a ser usado en lugares remotos lo cual facilita desarrollar actividades en exteriores.



*Fig. 9* Estación final de acoplamiento integrada. Tomado de Automatic docking station for the Parrot UAV.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE PASANTÍA</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

(Swieringa, Hason, Richardson, White, Hasan, Qian, y Girard, 2010) exponen detalles de la construcción de un sistema de intercambio autónomo para helicópteros de pequeña escala Fig. 11. En esta publicación plantean un modelo que cubra las necesidades de eventos programados de manera automática en vehículos de tipo UAV desplegados en campos de batalla o a grandes rasgos en inteligencia militar.

Sus principales problemas radican al igual que en más de una situación, en que los UAV no pueden prolongar su tiempo de operación, pensaron dar solución, ofreciendo vehículos de recambio, para substituir a los que por momentos podrían estar fuera de la línea de operaciones.

Otros trabajos han sido llevados a cabo en cuanto al uso de vehículos aéreos no tripulados; en el MIT, usando algoritmos no intrusivos para la gestión del nivel de batería, han construido una plataforma de carga que permite a vehículos aéreos posarse para ser cargados nuevamente y reanudar su vuelo. Algunos trabajos con algoritmos optimizados para la gestión de combustible en vehículos no tripulados, también pueden ser tenidos en cuenta, estos consiguen ampliar hasta 36 horas el tiempo de operación de algunos UAV.

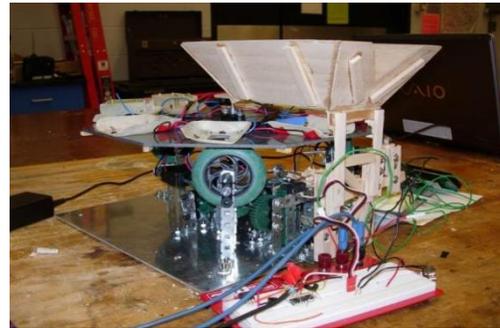
Asimismo, presentan un cambio de batería automatizado para múltiples vehículos aéreos no tripulados, utiliza un mecanismo para el cambio de batería y algoritmos para la gestión de recursos, control de estados y precisión en el aterrizaje sobre la plataforma. Posee controles de robótica y de navegación aeroespacial.

La plataforma Fig. 11, posee limitantes por tratarse de un diseño empleado en espacios cerrados o interiores, entornos controlados y espacios que no están expuestos a ruidos medioambientales ni condiciones climatológicas que puedan interferir en el funcionamiento de la plataforma.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE PASANTÍA	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



*Fig. 10* Esky LAMA V4 Helicopter (UAV). Tomado de Autonomous Battery Swapping System for Small-Scale Helicopters.



*Fig. 11* Plataforma de intercambio. Tomado de Autonomous Battery Swapping System for Small-Scale Helicopters.

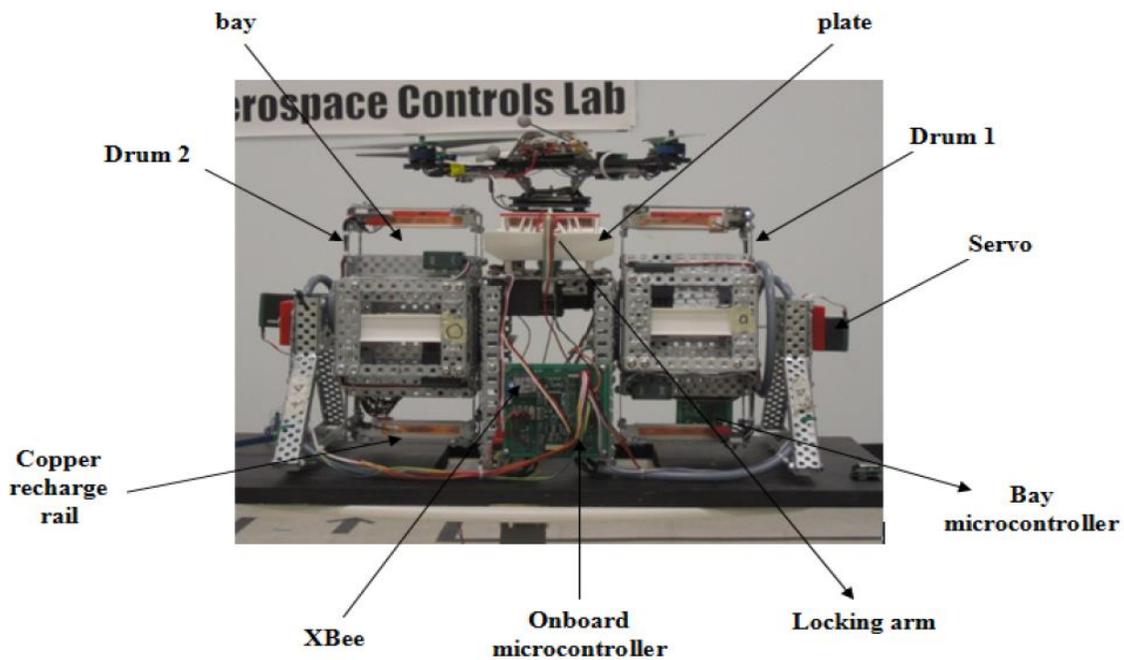
(Toksoz, Redding, Michini, Michini, How, Vavrina, y Vian, 2011) construyeron el que puede ser considerado el mejor modelo de intercambio de batería; los autores proponen una estación automática Fig. 12, donde el UAV se posa y de manera sistemática es reemplazada la batería gastada por una nueva. Incluye un sistema que hace que el vehículo permanezca encendido durante el proceso de intercambio. Posee un tambor para múltiples baterías, hasta 8 y se cargan de manera simultánea lo que aporta mayor tiempo de operación.

El contenedor de las baterías se divide en dos compartimentos que alojan 4 baterías y cada una está conectada de manera independiente a un cargador para mejorar la calidad de la carga y la vida útil. Con este diseño logran hacer que las misiones sean más persistentes, pues con la robusta estación, los vehículos pueden ejecutar tareas como las de vigilancia en tiempo continuo.

Esta estación posee múltiples actuadores y complejos sistemas de control, algunos de ellos están compuestos por servomotores, microcontroladores, sensores, encoders, PCBs personalizadas y el modelo de carga para las 8 baterías.

	<b>INFORME FINAL DE PASANTÍA</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Aunque este diseño es robusto y muy funcional, presenta un alto consumo de energía, además su diseño no podría ser funcional en exteriores, debido a que podrían arruinarse sus sistemas electrónicos por los factores climatológicos. Aunque funcional y eficiente, su construcción requiere de un alto costo, y solo podría ser implementado en espacios internos.

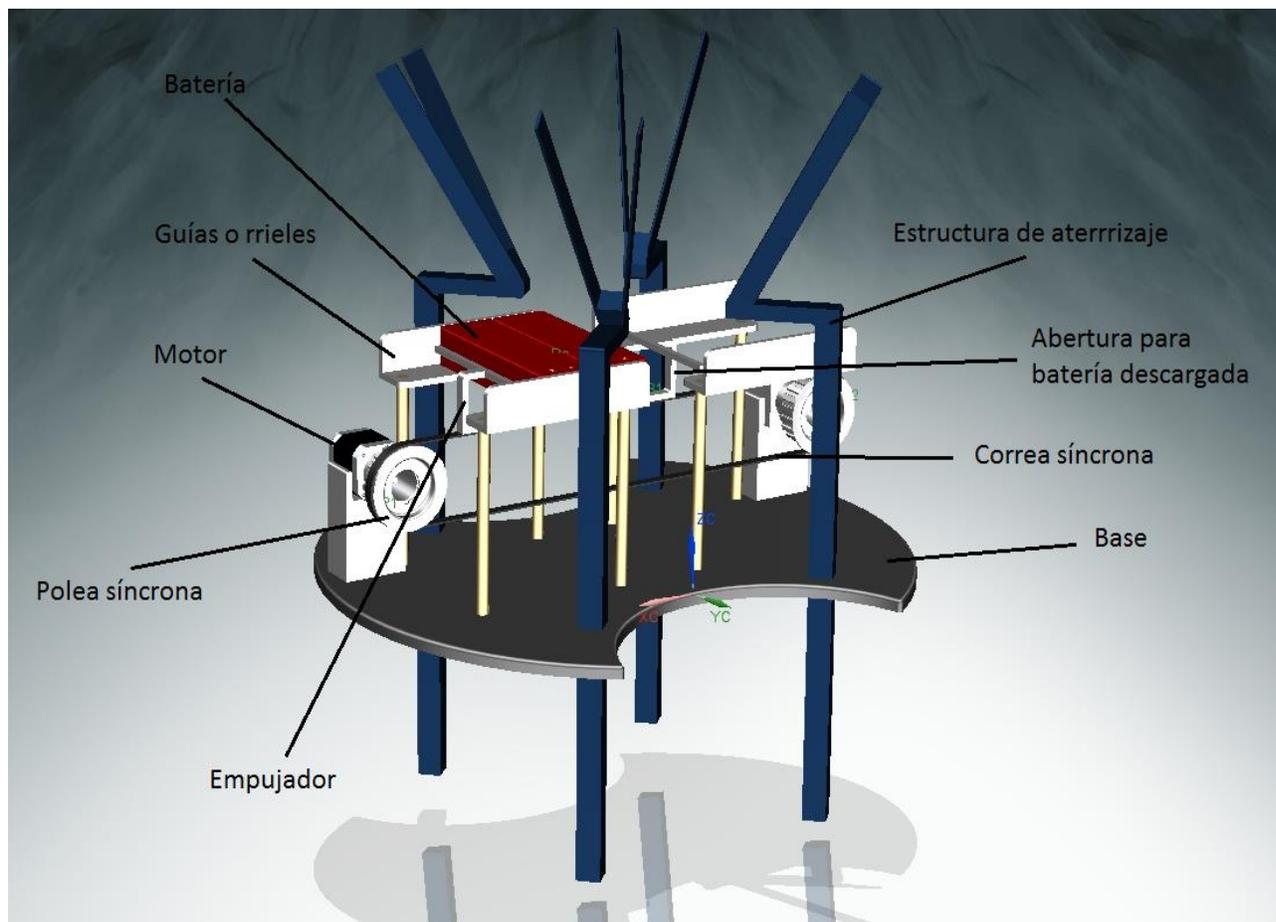


*Fig. 12* Estación de carga automatizada. Tomado de Automated Battery Swap and Recharge to Enable Persistent UAV Missions.

## 2.2. Parámetros iniciales del sistema.

Partiendo de las necesidades de funcionamiento del intercambiador, se realiza el planteamiento del modelo sobre el que se va a trabajar, una vez aprobado por el grupo de asesores, se inician con las actividades que encaminan a su construcción.

El modelo seleccionado se denomina “modelo de desplazamiento horizontal”, en el cual, un sistema de transmisión por banda de tipo sincrónica, sostiene un empujador que estará posicionado bajo el sistema de guías horizontales cuya función será soportar un par de baterías, y sobre el que se desplazan de manera horizontal las unidades cargadas. Conjuntamente es posicionado sobre los rieles o guías, la estructura de aterrizaje, sobre la que se desliza y posiciona el dron, de tal forma que la batería descargada quede alineada y pueda ser empujada por la nueva batería. La Fig. 13 muestra el sistema completo con los nombres de sus partes.



*Fig. 13* Sistema intercambiador de baterías. Imagen de simulación, las partes aquí mostradas, poseen el tamaño real, a excepción del motor, las poleas y correa; estas son empleadas solo para visualizar el movimiento.

	<b>INFORME FINAL DE PASANTÍA</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### **Baterías.**

- Dimensiones: 32mm \* 50mm \* 160mm
- Peso: 498g

### **Modelo de intercambiador.**

- Longitud total de las guías de desplazamiento: 0,35m
- Desplazamiento máximo del intercambio: 0,1m
- Tiempo propuesto: 10s

Para la selección de los elementos principales del mecanismo de intercambio, así como los análisis y demás procedimientos realizados; se parte de datos teóricos que vienen apoyados de la literatura y otras fuentes, y que son causados por los diferentes planteamientos y modelos previamente evaluados. Estos y más datos teóricos se presentan a continuación.

#### **2.3. Selección del motor.**

A partir del modelo de un solo actuador que fue propuesto por los autores de este informe ante los asesores del proyecto, cuyo desplazamiento máximo es de 100 mm de forma horizontal (Fig. 13); se realiza la primera fase del diseño, que inicia con la selección del actuador, en este caso, un único motor que conforma un sistema de transmisión por banda del tipo sincrónico, y que genera el movimiento necesario para reemplazar la batería descargada.

Los cálculos respectivos son realizados con base en los criterios para selección de motores en (Mott, 2006), donde se establece que la potencia, velocidad y par torsional de operación, son algunos de los criterios principales para la selección de motores eléctricos.

	INFORME FINAL DE PASANTÍA	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Con lo expuesto anteriormente, el motor que desplace las 3 baterías en 10s un recorrido de 100mm, debe tener un torque mínimo de 0,9007 Nm. Las ecuaciones y resultados completos están contenidos en el (APÉNDICE A).

### Motorreductores.

(Roldán, 2013) “Los motorreductores son equipos construidos por un motor o elemento motriz, y un reductor, cuyo fin es adaptar el movimiento motriz, a la velocidad que precisa la aplicación o máquina de que se trate.”



*Fig. 14* Motorreductor DC 6V, tomado de:  
<http://www.moviltronics.com.co/motores-reductores/197-motor-reductor-6v-500-rpm.html>.

#### 2.4. Desplazamiento máximo con menos de una vuelta de la polea.

Con el fin de controlar de manera sencilla el movimiento del empujador, se debe garantizar que el desplazamiento máximo del mismo, sea logrado con menos de una vuelta de la polea motriz; de esta forma, podrá realizarse un control de rotación de manera convencional utilizando un potenciómetro. Se procede entonces de la siguiente manera.

	<b>INFORME FINAL DE PASANTÍA</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$\text{Perímetro} = \pi \text{ Diámetro}$$

$$100\text{mm} = \text{Desplazamiento máximo}$$

$$100\text{mm} / \pi = \text{Diámetro} = 31,83 \text{ mm} \quad (1)$$

De la ecuación (1) se obtiene el diámetro que debe tener la polea para lograr desplazar el empujador 100mm con una sola vuelta.

### 2.5. Selección de polea y correa síncrona.

Se debe comprender entonces que el sistema de transmisión abarca una polea y una correa síncrona, en este sentido, es preciso aclarar algunos conceptos.

#### **Transmisión mecánica.**

(Mott, 2016) También llamada transmisión de potencia, emplea bandas y cadenas como principales elementos flexibles de la transmisión. Las bandas trabajan con poleas, mientras que las cadenas trabajan con ruedas dentadas llamadas catarinas. Estos elementos reciben la potencia de alguna fuente giratoria, como un motor eléctrico, para generar algún cambio en la velocidad de rotación del mismo.



*Fig. 15* Transmisión por banda. Tomado de <http://www.wvag.com/step/800/18910.jpg>.



*Fig. 16* Transmisión por cadena. Tomado de <http://www.iespando.com/tecnologia/images/stories/mecanismos/cadena.jpg>.

	<b>INFORME FINAL DE PASANTÍA</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



*Fig. 17 Polea y Banda Sincrónica. Tomado de [http://cursos.olimex.cl/wp-content/uploads/2015/08/Correas\\_Dentadas\\_Poleas.jpg](http://cursos.olimex.cl/wp-content/uploads/2015/08/Correas_Dentadas_Poleas.jpg).*

### **Transmisión de bandas síncronas.**

(Mott, 2016) Las bandas síncronas se fabrican con dientes transversales a la cara inferior de la banda, los cuales engranan en la ranura correspondiente de las poleas síncronas conductora y conducida, de esta manera se obtiene una impulsión positiva sin deslizamiento y por consiguiente existe una relación fija entre velocidades de la polea motriz y la polea conducida, por dicho motivo a las bandas síncronas se les llama con frecuencia bandas de sincronización.

Dentro de la aplicación específica que abarca el diseño del intercambiador, se debe tener en cuenta la transmisión de banda síncrona, debido a que cuenta con una serie de características como la resistencia a la tensión y el uso de cubierta de tela en las partes de la banda, para obtener una resistencia adicional al desgaste y mayor resistencia al corte.

Es importante enfatizar, que para el proceso de selección de los componentes para una transmisión con banda síncrona, los fabricantes proponen guías de selección en sus catálogos y numerosas

	<b>INFORME FINAL DE PASANTÍA</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

páginas de datos de funcionamiento, en donde se encuentran diversos tamaños y combinaciones de este tipo de bandas y poleas para facilitar el trabajo de selección y diseño.

Partiendo de lo anterior, se localiza al proveedor que pudiera dar solución adecuada para el diseño del intercambiado. El proveedor y las selecciones realizadas serán mostrados en sección 3 metodología.

De esta manera se sustenta, que se debe determinar en primer lugar las características de la polea, posterior a ello, se puede elegir la banda y es así como se conforma la combinación más adecuada y la que mejor se ajusta a los requerimientos propios del sistema de transmisión del intercambiador de baterías.

## 2.6. Software de simulación.

Para la mayor parte de los propósitos, simulaciones y análisis, se utiliza la solución para el desarrollo digital de productos 3D de SIEMENS PLM software, NX. Por contener el grueso de herramientas y utilidades necesarias en cada paso del modelado.

### 2.6.1. Acerca de NX.

NX se define como el recurso para el tratamiento digital de productos 3D de Siemens PLM Software, ofrece herramientas de conceptos de la ingeniería y manufactura. NX es un conjunto de aplicaciones integradas que coordina diferentes etapas y disciplinas en la ingeniería, sostiene un buen manejo de datos y el enfoque de diseño de manera constante. Entre las características que ofrece el motor de modelado que usa NX, pueden destacarse las soluciones avanzadas de diseño conceptual, simulaciones multidisciplinarias para análisis estructurales, de movimiento, térmicas, multifísicas y de optimización.

	<b>INFORME FINAL DE PASANTÍA</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

NX, con tecnología Teamcenter, ofrece una única fuente de información sobre ingeniería de productos y procesos integrada a la perfección con CAD, CAM y CAE (3Dcadportal, 2017).

Entre las herramientas de NX se encuentran las enfocadas al diseño industrial y modelado, diseño de packaing, diseño de sistemas electromecánicos que permite optimizar, pues integra componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos, así mismo incluye simulación para todos los modos de fallo primarios de los mismos (temperatura, vibración o humedad). Incluye herramientas para diseño de accesorios y maquinado.

Además de las muchas características de NX software en cuanto al diseño, incluye un módulo de mecatrónica, y la facilidad de interactuar con muchas otras plataformas o programas de simulación y programación, entre los que se destacan MATLAB y labVIEW; de igual forma permite la integración con algunos dispositivos programables como PLC.

### 2.7. Análisis de elementos finitos (FEA).

Se define FEA como el modelado de productos y sistemas en un entorno virtual, con el propósito de encontrar y resolver potenciales (o actuales) problemas estructurales o de rendimiento. FEA es la aplicación práctica del método de elementos finitos (FEM), que es utilizado por ingenieros y científicos para modelar y resolver numéricamente problemas de complejas estructuras, fluidos y de multifísica. El software FEA puede ser utilizado en una amplia gama de industrias, pero es más comúnmente utilizado en las industrias aeronáutica, biomecánica y de automoción (Siemens Industry Software, 2017).

Uno de los modelos de elementos finitos (FE) cuenta con un sistema de puntos, llamados "nodos", que constituyen la forma del diseño; conectados a estos nodos están los mismos elementos finitos que forman la malla del elementos que contienen el material y las propiedades

	<b>INFORME FINAL DE PASANTÍA</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

estructurales del modelo, además de la definición de cómo va a reaccionar a ciertas condiciones. Los modelos FE pueden ser creados usando elementos en una dimensión (1D haz), dos dimensiones (2D shell) o tridimensionales (3D sólido), (Siemens Industry Software, 2017).

### **Beneficios de FEA.**

El análisis de elementos finitos, facilita la creación de nuevos productos o partes de ellos, también puede usarse para refinar piezas ya existentes y garantizar que el diseño cumplirá con sus especificaciones.

### **La fabricación con FEA puede.**

- Incrementar el rendimiento y fiabilidad del producto.
- Disminuir la creación de modelos físicos y pruebas.
- Ajustar los diseños y materiales.

### **PLM software.**

En (Siemens Industry Software, 2017) se define PLM como un sistema de gestión de información que puede integrar los datos, los procesos, los sistemas comerciales y, en última instancia, las personas en una empresa extendida. PLM software permite administrar esta información a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto de manera eficiente y rentable, desde la ideación, diseño y fabricación. Diversas funciones y tecnologías convergen a través de PLM, incluyendo:

- Gestión de datos del producto (PDM)
- Diseño asistido por ordenador (CAD)
- Fabricación asistida por ordenador (CAM)
- 3D computer-aided engineering (CAE)
- Análisis de elementos finitos (FEA)
- Fabricación Digital.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE PASANTÍA	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

### 3. METODOLOGÍA

---

El conjunto de actividades que conllevan al diseño del intercambiador, tienen como objetivo general, incrementar el tiempo de operación de vehículos aéreos no tripulados de tipo quadcopter en cualquier patrón de actividad; a su vez, se debe trabajar disminuyendo costos, garantizando un diseño sólido y funcional que pueda trabajar en espacios externos y que de autonomía y solidez a las actividades realizadas por los UAV.

En esta sección, se señala cada lineamiento, cada actividad mediante la que se logra el cumplimiento de los objetivos planteados.

El inicio de las acciones se da con la primera reunión, realizada entre el profesor Yair Lozano y el Doctor Oscar Octavio Gutiérrez en el IPN, donde se presenta y explican de manera detallada el proyecto y se pone en contexto el desarrollo y los alcances, además de cuáles serán las tareas de los autores de este informe así como la participación e inclusión dentro del proyecto.

#### 3.1. Diseño mecánico del sistema de intercambio.

Con el fin de abarcar cada objetivo se inician las actividades de diseño, donde se aborda la necesidad de conseguir un buen desempeño en espacios abiertos o al aire libre; para tal propósito se plantea reducir al máximo el uso de elementos electrónicos, pues estos pueden verse afectados por condiciones climáticas, como la lluvia o la temperatura generada por el sol; así mismo se conseguiría evadir problemas ocasionados por ruido y condiciones ajenas que dificulten el buen desempeño del intercambiador.

	<b>INFORME FINAL DE PASANTÍA</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

A partir del trabajo independiente y aprovechando el tiempo designado para este, se elaboran bocetos que ilustran el prototipo del sistema intercambiador de baterías, teniendo en cuenta cada requisito exigido por el asesor, además de incluir la información suministrada sobre las características de los elementos que conforman el dispositivo, como el tamaño y peso de las baterías, el tiempo de intercambio, y las medidas ya existentes del UAV sobre el que se trabajó. Los bocetos se presentan a mano, y cada uno es sustentado ante los asesores, quienes se encargan de evaluar la validez de cada uno; posterior a la aprobación y elección, se continúa a trabajar en el mismo. Los bocetos no son mostrados en este informe pues fueron entregas no formales, dibujos sobre papel como ideas iniciales de los autores de este informe. El diseño formal y completo del modelo seleccionado, puede verse en la Fig. 13.

### 3.1.1. Selección de actuadores.

Una vez definidas las propiedades que tendría el intercambiador, así como su forma, los actuadores que serán usados (motor) y los sistemas que generan el movimiento, se desarrollan los cálculos de velocidad, fuerza y potencia, par motor y torque, que se requieren para la selección del que será el único actuador del sistema que forma parte del diseño seleccionado; éste impulsará un sistema de transmisión por banda. Para ello se contó con la ayuda del profesor Emilio Brito del Instituto Politécnico Nacional de México en la orientación teórica. Los cálculos que dan pie a la selección del motor (actuador del sistema), se muestran en el APÉNDICE A.

Partiendo de parámetros estándar y datos veraces del motor, se presentan los cálculos realizados al profesor Yair Lozano, para su verificación y aceptación. De aquí se llega a la selección del motorreductor metálico 37D, con relación de engranes de 131:1 del catálogo

de productos de Robodacta México Fig. 18; cuyas características sobrepasan las obtenidas teóricamente. Los rasgos del motor son:

**Rango de voltaje de operación: 6 a 12Vdc:**

**Características a 12Vdc:**

- Velocidad: 80RPM.
- Corriente sin carga: 300mA
- Corriente máxima: 5A
- Torque máximo: 18 Kg-cm (250oz-in).

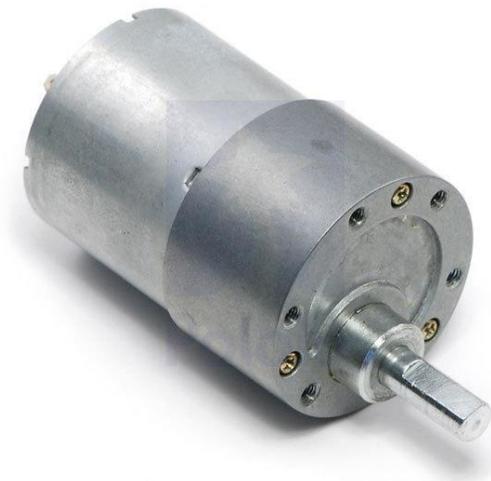
**Características a 6Vdc:**

- Velocidad: 40RPM.
- Corriente sin carga: 250mA
- Corriente máxima: 2.5A
- Torque máximo: 9 Kg-cm (125oz-in).

-Dimensiones: 37D x 57L mm

-Peso: 193gramos

-Largo del eje: 12mm en forma de "D".



*Fig. 18* Motorreductor 37D, tomado de: <https://store.robodacta.mx/motores/motorreductor-metalico/motorreductores-37d/motorreductor-37d-131-1-es/>.

	<b>INFORME FINAL DE PASANTÍA</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Otros modelos y tipos de motor fueron analizados desde el catálogo del mismo proveedor, pero las condiciones en cuanto a peso, tamaño, torque e incluso el diámetro del eje, conllevan a optar por este motorreductor. Es importante mencionar que la selección de las partes del intercambiador, al involucrar el aspecto económico, se realiza desde el punto de vista de los asesores del proyecto; sin obviar pues, que los autores de este informe, propusieron varios modelos y presentaron las características necesarias para facilitar esa labor; de igual forma se participa en la toma de esta decisión, aunque no de manera definitiva. El proveedor y otros aspectos son debido a la facilidad y disponibilidad en la CDMX.

### 3.1.2. Sistema de transmisión mecánica.

Al especificar en el modelo seleccionado del intercambiador de baterías un sistema de transmisión por banda, se procedió a determinar un proveedor local en Ciudad de México, este fue GATES, y de su catálogo de transmisión de potencia industrial POLY CHAIN GT y GT2, se selecciona el sistema de polea y correa que se adaptara tanto a las propiedades del motor anteriormente analizado como a los requisitos de bajos costos y eficiencia de funcionamientos.

La correa seleccionada tiene 960 mm de longitud primitiva y 120 dientes, el ancho de seleccionado es de 21mm. De igual forma se realiza la selección de Polea Poly Chain GT, con un paso de 8mm y ancho de 21mm, Ref. 8M-36S con 90,07mm de diámetro y 36 dientes, seleccionados de catálogo en línea (GATES, 2009). Fig. 19, Fig. 20.

8MGT		
Paso: 8 mm		
Descripción	Long. primitiva mm	Número de dientes
8MGT-640	640	80
8MGT-720	720	90
8MGT-800	800	100
8MGT-896	896	112
8MGT-960	960	120
8MGT-1000	1000	125
8MGT-1040	1040	130
8MGT-1120	1120	140

**El código de las correas Poly Chain® GT2 se identifica de la siguiente manera:**

---

**8MGT-640-12**

**8MGT** - Paso 8 mm  
**640** - Longitud primitiva (mm)  
**12** - Anchura de correa (mm)

Fig. 19 Tabla e interpretación de código para la selección de correa síncrona.

Referencia de la polea	Diámetro exterior mm
Anchura 21 mm	
8M-22S	54,42
8M-25S	62,06
8M-28S	69,70
8M-30S	74,79
8M-32S	79,89
8M-34S	84,98
8M-36S	90,07
8M-38S	95,17
8M-40S	100,26
8M-45S	112,99

**El código de las poleas Poly Chain® GT se identifica de la siguiente manera:**

---

**14M-28S-20**

**14M** - Paso 14 mm  
**28S** - Número de dientes  
**20** - Anchura de correa (mm)

Fig. 20 Tabla e interpretación de código para la selección de polea síncrona.

	<b>INFORME FINAL DE PASANTÍA</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

La información del proveedor y del sistema de transmisión fue expuesta al profesor Yair Lozano el cual se encargó de aprobar dicha selección, además de ponerse en contacto directamente con el proveedor. Cabe mencionar que realizar esta actividad excedió los tiempos del cronograma, debido a la búsqueda realizada para localizar a dicho proveedor.

Todas estas características seleccionadas obedecen a los cálculos previamente realizados para determinar el diámetro de la polea, estos datos son mostrados en la sección 2.4 Desplazamiento máximo con menos de una vuelta de la polea, ecuación (1); sin embargo, se selecciona una polea con un diámetro de 90,07mm, el cual evidentemente es mayor al calculado, garantizando así el deslizamiento máximo de 100mm con menos de un giro de la polea. Para examinar las tablas completas de donde se seleccionó cada uno de los elementos ver (APÉNDICES B y C).

En pasos anteriores a la selección definitiva de la correa y la polea, se utilizaron valores tomados de proveedores Colombianos, lo que ocasionó dificultades para la compra. Sin embargo, la evidencia permanece y será expuesta.

Para las mismas ecuaciones del APÉNDICE A, se obtiene una velocidad de rotación del motor de  $79,36 * 10^{-3}$  rad/s, y un torque para el motor de 1,26 Nm con un desplazamiento de tan solo 50 mm en 10 s; datos para los cuales se seleccionan de catálogo INTERMEC una correa sincrónica Ref. 500-5M-9, número de dientes 80, longitud 400mm, paso 5mm, ancho 9mm; y una polea dentada para correa síncrona de 126.18mm con paso de 5mm y número de dientes 80. En (Intermec, 2009) se puede ver el catálogo completo de productos para la transmisión por banda de INTERMEC.

Las diferencias en el funcionamiento del intercambiador, por la selección de la polea y correa entre los dos fabricantes (GATES o INTERMEC), son mínimas; los aspectos entre un

	<b>INFORME FINAL DE PASANTÍA</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

fabricante y el otro solo harán variar un poco las velocidades de rotación requerida, y de cualquiera de los dos catálogos pueden ser seleccionados las partes para el dispositivo. Para ver las tablas de donde fueron seleccionados las bandas y poleas de INTERMEC, ver (APÉNDICES D Y E).

### 3.2. Forma y tamaño real del dispositivo.

Una vez conseguidos los resultados que dieran pie a la selección de elementos generadores del movimiento, fue necesario empezar a dar un dimensionamiento y una forma a la estructura del intercambiador. Basados en bocetos presentados del modelo seleccionado y de acuerdo a las especificaciones, se inicia una etapa de modelado 3D con ayuda de software CAD, cuyas herramientas son en el principal medio para corroborar la confiabilidad de los cálculos y los elementos seleccionados. La fase de modelado se inicia con la creación de las piezas individuales que conforman el sistema, dándoles forma, tamaño, color y otros aspectos relevantes; posteriormente con las piezas ya completas, se realiza el ensamble de las mismas, y se empieza a dar edición a cada una de las piezas que simularan tanto el aspecto visual como las características de movimiento; posterior a la fase de ensamble, se realizan las simulaciones dinámicas, introduciendo los datos teóricos previamente calculados que influyen directamente en movimiento y que serán puestos a prueba en la solución computarizada.

El diseño de cada una de las partes del mecanismo se realiza antes de su creación física haciendo uso de NX; la obtención de las dimensiones y la posibilidad de observar el movimiento del mecanismo de intercambio, facilita sustentar la manera como se alcanzan los objetivos de esta pasantía. En la Fig. 13 puede observarse el resultado en cuanto al diseño y

ensamble de cada una de las partes, y a continuación se presentan las partes y sus dimensiones propuestas; cabe aclarar, que ninguna de las piezas que conforman el mecanismo de intercambio están especificadas definitivamente, estas son tentativas y pueden ser modificadas en cuanto a tamaño o forma sin implicar un cambio en el principio de funcionamiento; a excepción del motor y el sistema de transmisión por bandas, cuyas características no son las de la Fig. 13, si no las mostradas en el desarrollo de la presente metodología.

### 3.2.1. Partes y sus planos.

Una de las partes más sobresalientes del mecanismo, es la estructura de aterrizaje, que se conforma por 4 pies inclinados, sobre los que se desliza el dron para aterrizar, ésta guía la batería a su posición de intercambio. Con este diseño, se evita usar más actuadores para posicionar el dron, y se siguen considerando los objetivos específicos de este proyecto. La Fig. 21, muestra el diseño de la estructura de aterrizaje, que mediante la fuerza de gravedad obliga a los UAV a posicionarse correctamente.

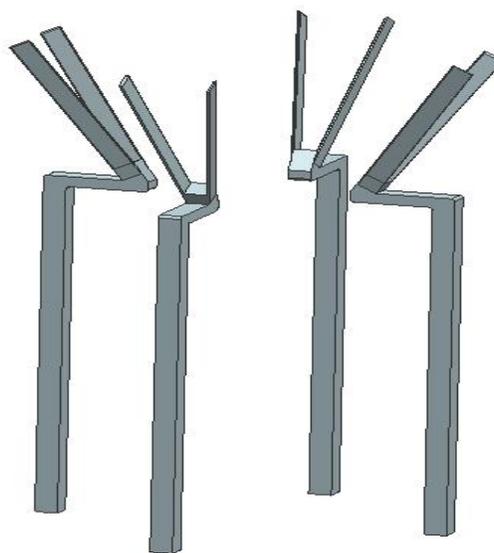


Fig. 21 Estructura de aterrizaje propuesta.

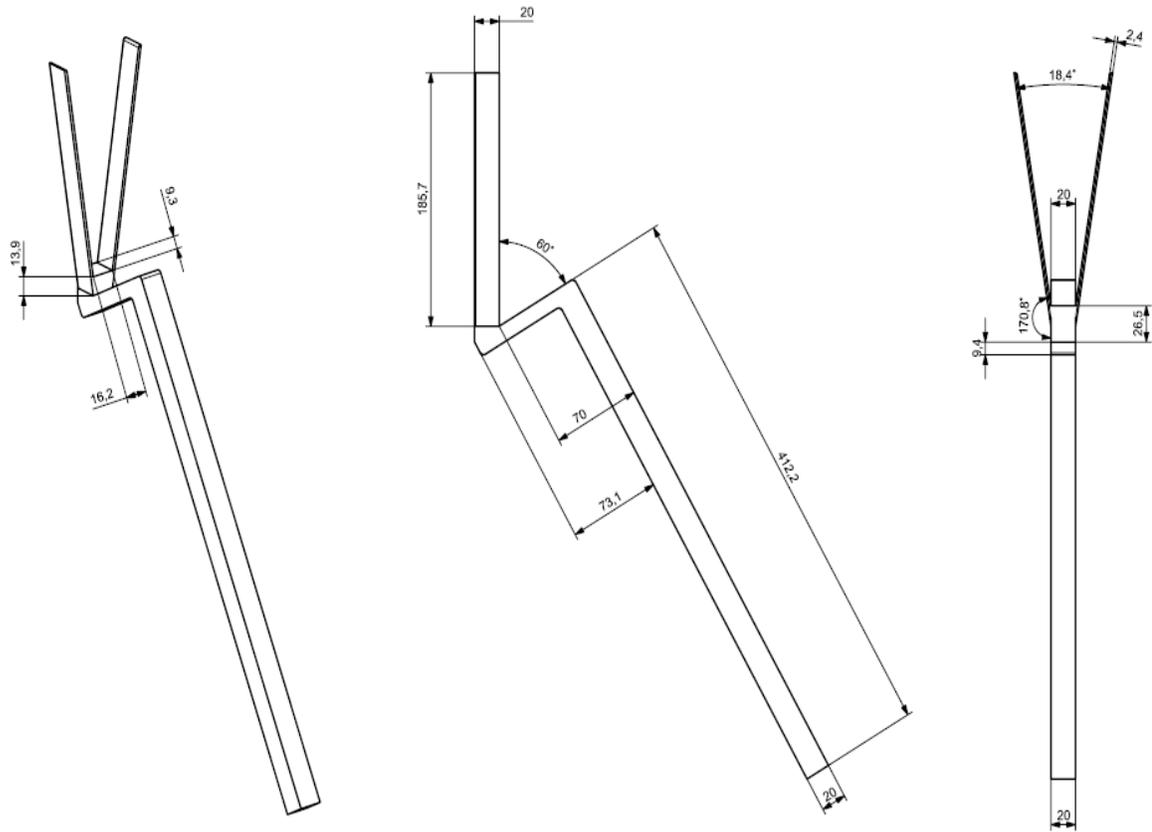


Fig. 22 Plano estructura de aterrizase propuesta. Dimensiones en mm.

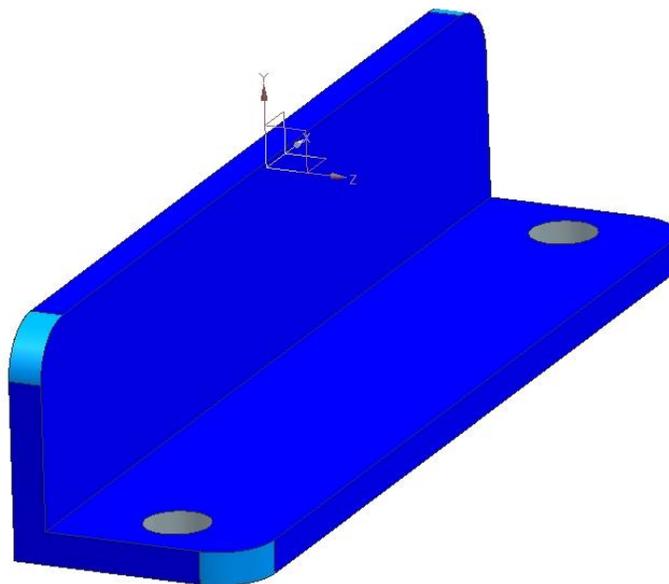


Fig. 23 Guía para el desplazamiento de las baterías.

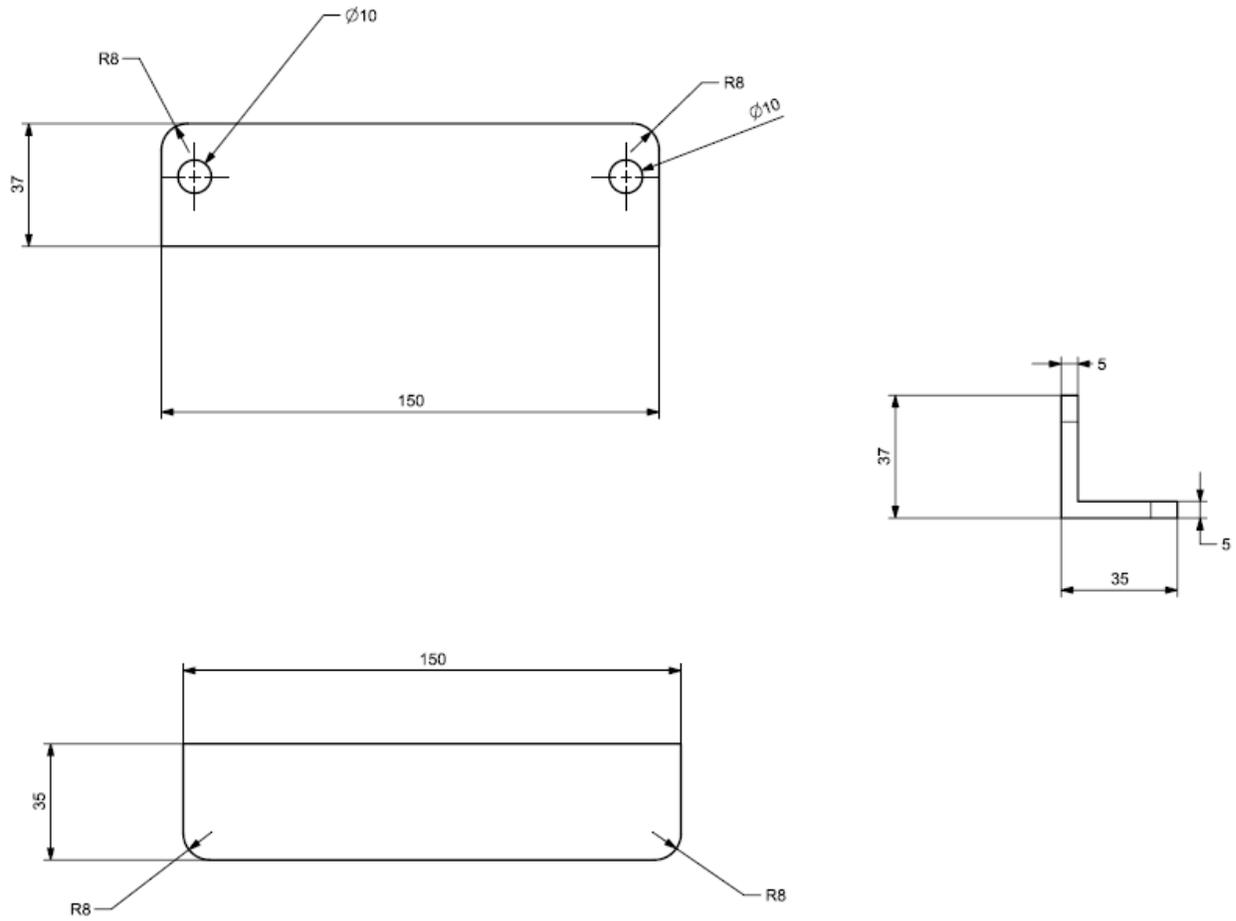


Fig. 24 Plano guía de desplazamiento propuesta. Dimensiones en mm.

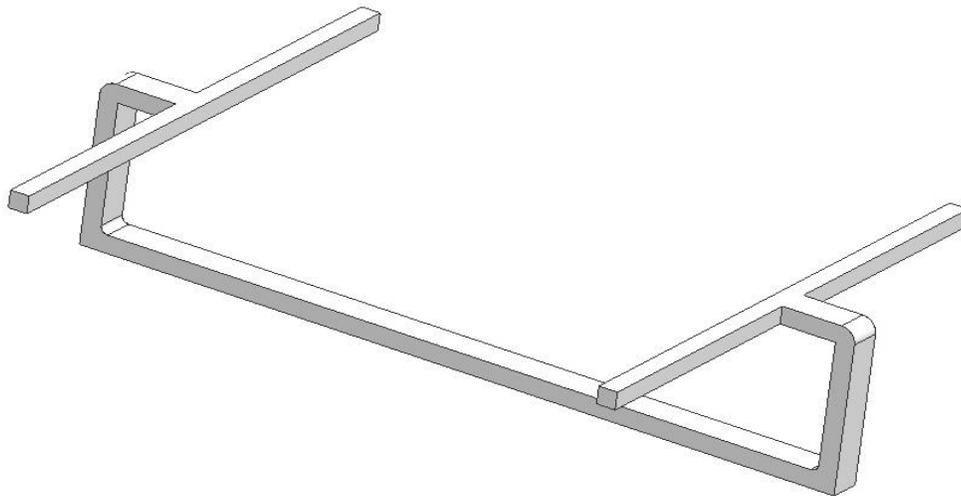


Fig. 25 Empujador.

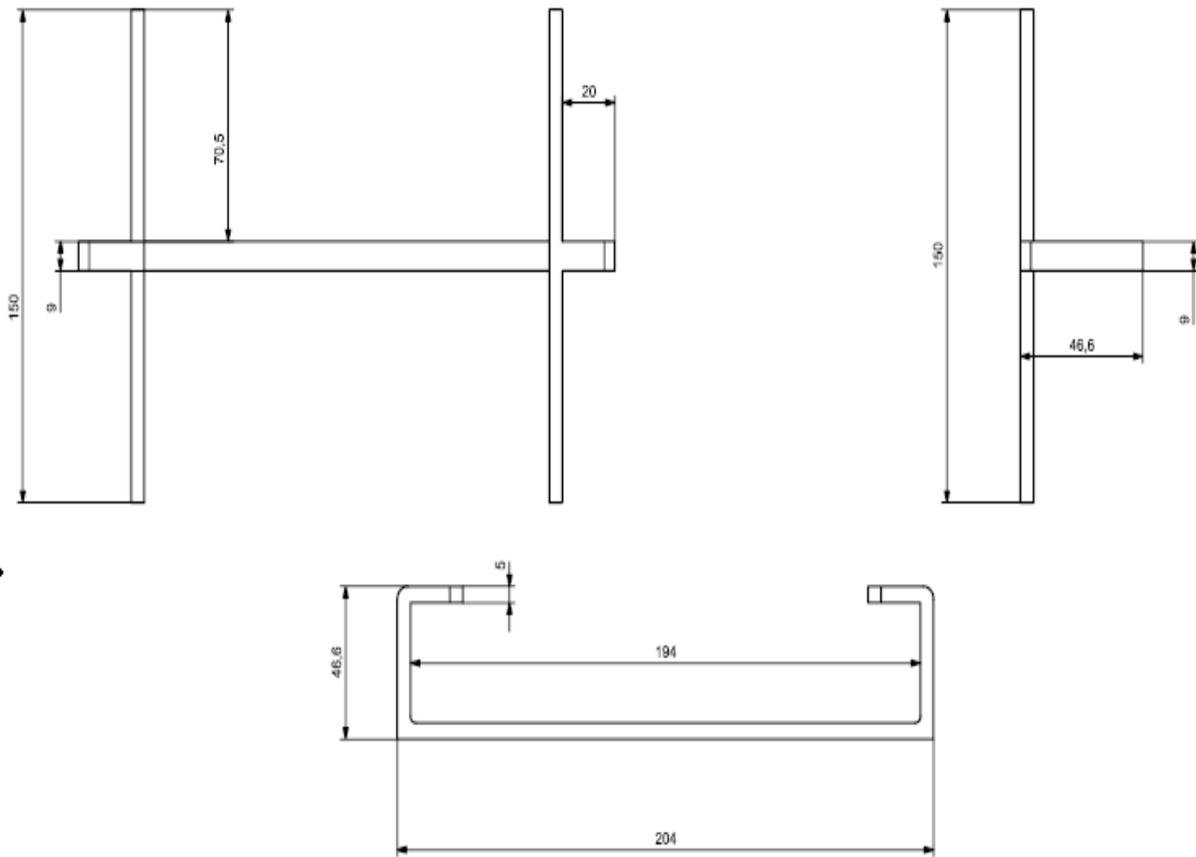


Fig. 26 Plano del empujador propuesto. Dimensiones en mm.

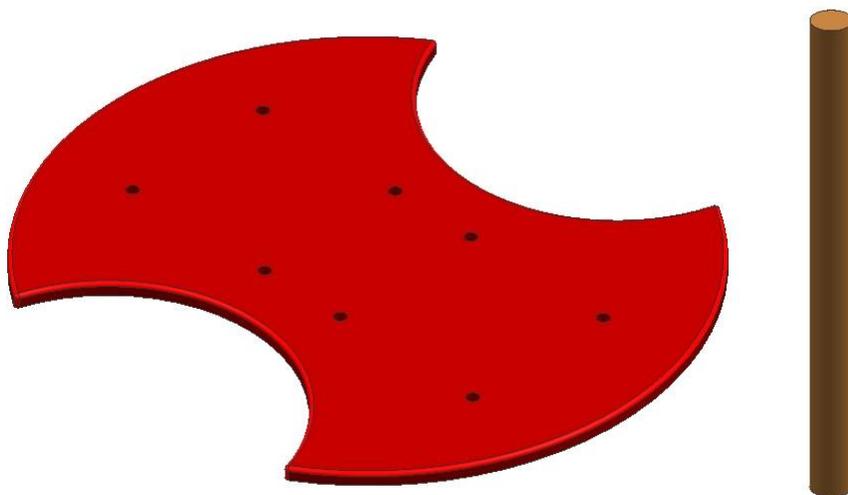
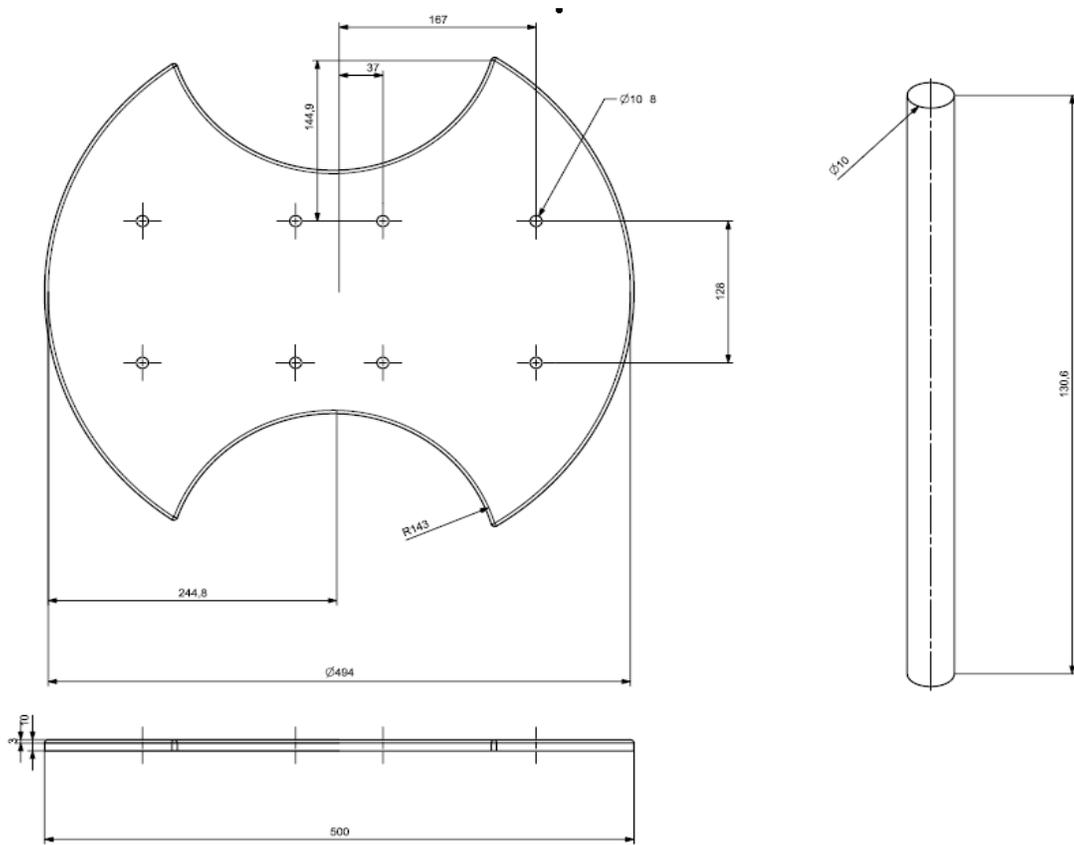


Fig. 27 Base y soporte del intercambiador.

	<b>INFORME FINAL DE PASANTÍA</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



*Fig. 28* Plano de la base y el soporte propuestos. Dimensiones en mm.

Cada una de las partes y sus dimensiones pueden variar de manera significativa sin implicarse en cambios relevantes, se aclara que cada cambio que sea realizado, debe obedecer al principio de funcionamiento y de ser cambiada la forma de alguna de las piezas, debe cumplir con los requerimientos del modelo; Cada parte anteriormente visualizada ha tenido un proceso de edición que ha llevado a que sea la aquí presentada la más adecuada en forma y tamaño.

Como principal herramienta de modelado y simulación, se usa el software NX, el cual permitió realizar el diseño completo del sistema intercambiador de baterías y mediante

	<b>INFORME FINAL DE PASANTÍA</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

simulación, visualizar el funcionamiento del mismo, adicionalmente se comprobó que la polea seleccionada lograba el máximo desplazamiento de la batería con menos de una vuelta, esta labor se logró al relacionar los grados de rotación y el desplazamiento del intercambiador. Dicho conjunto también abarcó una gran parte del tiempo dentro del cronograma, ya que se realizaron ciertas modificaciones a medida que se avanzaba, además de las sugerencias propuestas por el profesor Yair Lozano.

### 3.3. Diseño sólido confiable y eficiente.

Con los requerimientos de precisión y selección de materiales, y la necesidad de mostrar un buen desempeño y funcionamiento del modelo, y así mismo sustentar que el bajo costo conseguido mediante este esquema no implica un mal trabajo, se procede a realizar un análisis de esfuerzos a los que se somete la estructura de aterrizaje durante su operación; para garantizar que los materiales propuestos, no influyen en un mal funcionamiento del sistema, obteniendo datos en cuanto a deformación y criterios de falla. Dichos análisis se realizan situando la carga equivalente al peso del cuadcopter, sobre la estructura de aterrizaje, y secuencialmente incrementando la misma, de esta manera se halla el valor de la carga que ocasiona la deformación necesaria para que el posicionamiento de la batería se vea afectado. Es así como las partes diseñadas, ensambles, dimensiones, enlaces, actuadores, acopladores y resultados de análisis de esfuerzos simulados, se transforman en una noción mucho más clara de las características físicas del intercambiador, y se cumple con los objetivos de bajo costo y eficiencia del prototipo.

	<b>INFORME FINAL DE PASANTÍA</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Los requerimientos incluyen soportar una masa de 2.5 kg en cada uno de los soportes equivalente a 24.5 N y asociar un material adecuado para dicha estructura. De la simulación fue extraída una variedad de imágenes en las cuales se pueden verificar datos sobre deformación y esfuerzos fundamentales, en donde se evidencia que la probabilidad de falla en la estructura y la cantidad de deformación de la misma es muy baja, información que será presentada de forma más detallada en la sección 4 Resultados y discusión, contenida en este trabajo.

### 3.4. Modo de trabajo.

El modo de trabajo empleado en el desarrollo del proyecto, se formó principalmente por una serie de reuniones semanales pactadas con el profesor Yair Lozano, en su oficina de la escuela de UPIITA y en la escuela de ESIME Zacatenco del IPN, en las cuales se presentaban avances y reportes del cumplimiento de las actividades establecidas en el cronograma. Los reportes eran compartidos vía Dropbox y adicional a ello, se mantenía una constante comunicación en tiempo real mediante WhatsApp, en donde se aclaraban dudas y se trataban temas concernientes al proyecto.

### 3.5. Resumen de las actividades.

En la fase preliminar el profesor Yair Lozano convoca una primera reunión, en ella comparte una serie de artículos científicos a partir de los cuales se realiza el estado del arte y se estudian los avances que han tenido trabajos con características similares.

Posteriormente una nueva reunión con el profesor Yair Lozano es llevada a cabo en la escuela ESIME Zacatenco del IPN, en ella se establece el cronograma de actividades y la

	<b>INFORME FINAL DE PASANTÍA</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

dinámica para el desarrollo de cada una de ellas, principalmente partiendo del trabajo independiente destinado por los desarrolladores de este informe y pactando reuniones semanales. Adicionalmente en esta reunión se trata el tema del diseño del intercambiador.

En la primera fase y en una nueva sesión, el profesor Yair Lozano suministra información de la batería y de la estructura del quadcopter, como son dimensiones y peso. A partir de estas características se definen propiedades importantes del intercambiador como son la longitud total de las guías de desplazamiento, el desplazamiento máximo de las baterías y el tiempo definido para realizar el intercambio.

En la segunda fase se empleó el software NX como principal herramienta de modelado, simulación y análisis de esfuerzos, el cual permitió además realizar el diseño completo del sistema intercambiador de baterías y mediante simulación visualizar el funcionamiento del mismo. Esta actividad abarco una gran parte del tiempo dentro del cronograma, ya que se realizaron ciertas modificaciones y se tenían en cuenta las sugerencias propuestas por el profesor Yair Lozano.

Es claro entonces que durante la realización del presente trabajo, fueron empleados principalmente dos planteamientos, uno cuantitativo también conocido como matemático, en el cual su principal característica es la utilización de números, formulas, interpretación de tablas y gráficas; el otro es el planteamiento basado en la aplicación de la tecnología CAD, la cual permite obtener una amplia variedad de información, a partir de un conjunto de elementos gráficos y la disposición de los mismos en una gran diversidad de simulaciones para entender su naturaleza y comportamiento.

Cabe destacar que todos los cálculos, datos, información, simulaciones, catálogos, entre otros, fueron entregados al profesor Yair Lozano en forma de reportes, haciendo uso del

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE PASANTÍA	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

servicio de alojamiento de archivos Dropbox, es importante mencionar la continua comunicación, en donde se compartía información y se pactaban los horarios de las diferentes reuniones para mostrar resultados, aclarar dudas y definir las actividades.

	<b>INFORME FINAL DE PASANTÍA</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

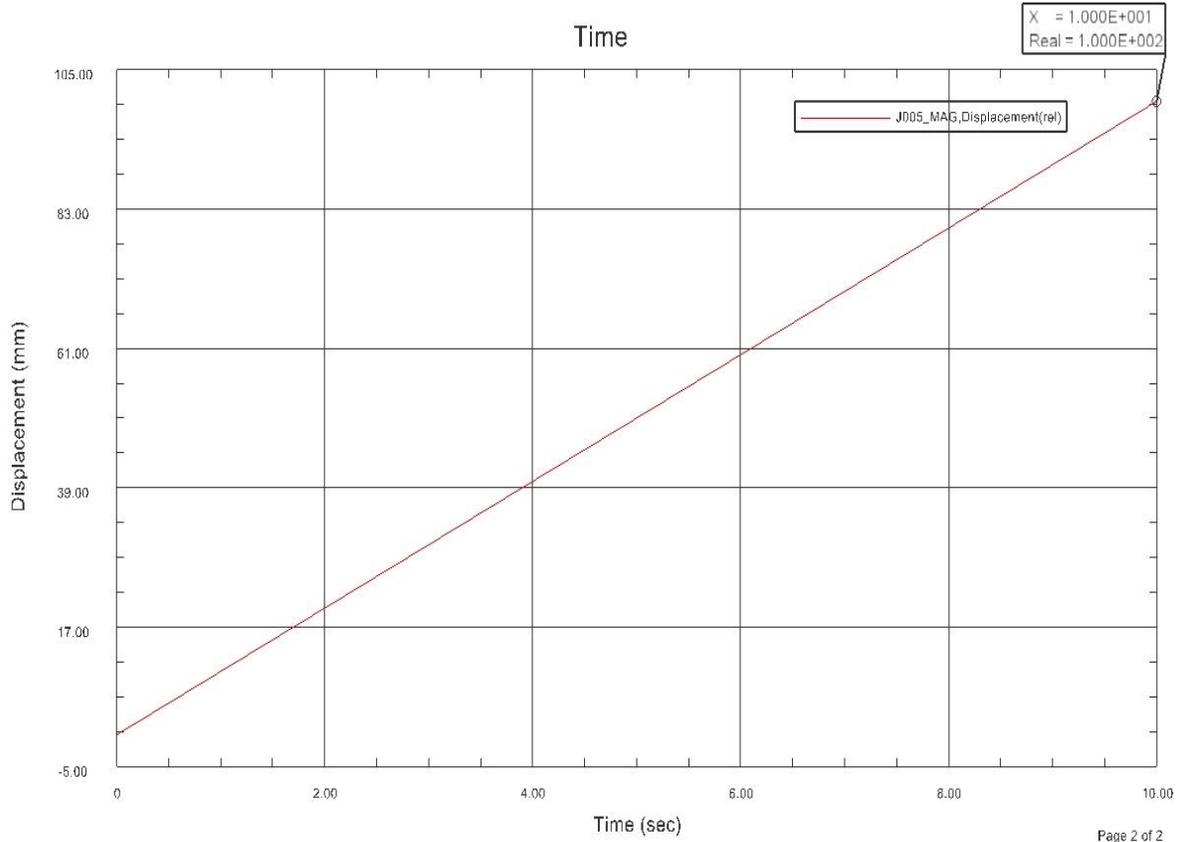
#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

##### 4.1. Simulación de movimiento y verificación de cálculos.

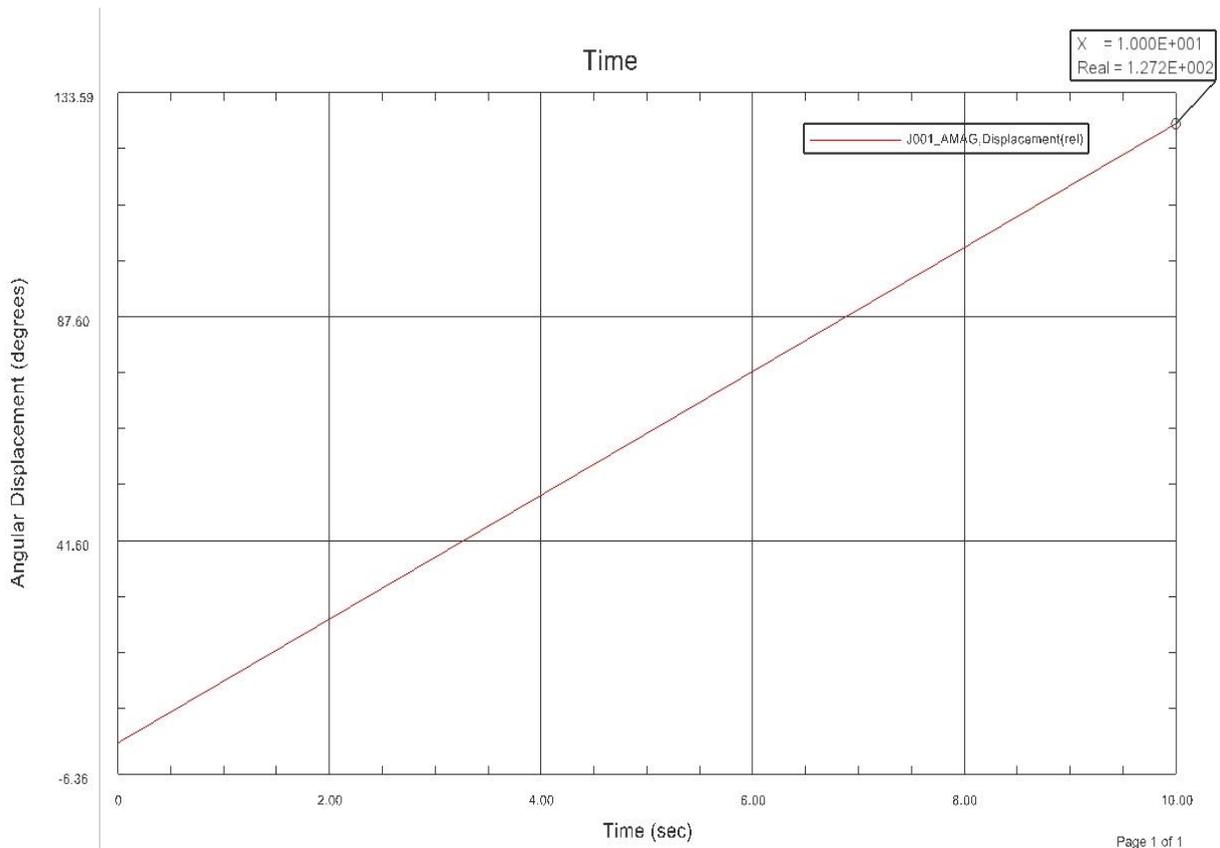
Los siguientes resultados, son los correspondientes al análisis de movimientos para el sistema, que entre otras cosas es el utilizado para la verificación de cada uno de los cálculos obtenidos durante la selección del sistema de transmisión que ejecuta el movimiento de las baterías; el movimiento es evaluado durante un tiempo de solución igual a 10 segundos, donde la rotación del actuador (Motorreductor) genera el desplazamiento del empujador que estará sujeto a la correa síncrona. Mediante un par de acopladores de cremallera piñón se logra suministrar el diámetro con el que el software deberá resolver, y que a su vez genera el contacto entre el empujador y las baterías y su desplazamiento sobre las guías, las cuales obedecen al comportamiento de una junta de mando deslizante.

Por tratarse de una solución que implica animaciones, los resultados serán presentados en gráficas, estas contienen el desplazamiento angular de la polea y el desplazamiento lineal del empujador durante 10s, también se podrá visualizar la cantidad de milímetros por cada grado de rotación de la polea.



*Fig. 29* Gráfica desplazamiento del empujador vs tiempo.

En la Fig. 29 Puede observarse el resultado obtenido para el desplazamiento del empujador, (equivale al mayor desplazamiento que deberán hacer las baterías) cumpliendo con la estimación deseada en cuanto a la velocidad asignada para la rotación del motor y el diámetro de la polea, dichos valores pueden verse en detalle en el APÉNDICE A; así mismo en la esquina superior derecha de la gráfica, se observa la posición relativa para el empujador una vez transcurridos los 10 segundos de solución, de ahí puede verse exactos los 100mm que debe haberse desplazado el empujador durante el tiempo pautado.



*Fig. 30* Gráfica rotación de la polea vs tiempo.

En la Fig. 30 Se observa el comportamiento de la polea durante los 10 segundos de simulación, y se espera comprobar que no haya superado una vuelta completa, entre otras cosas lo que se pretende conseguir, es un desplazamiento angular inferior a 360 grados, con lo que se espera garantizar que el control de rotación pueda hacerse de manera convencional, cumpliendo así con más aspectos como el bajo consumo de energía, y el bajo costo.

En la esquina superior derecha de la gráfica puede verse claramente que la magnitud angular del desplazamiento de la polea, es igual a 127, 2 grados, lo que corrobora que la polea no superara los 360 grados de rotación para desplazar 100 mm el empujador.

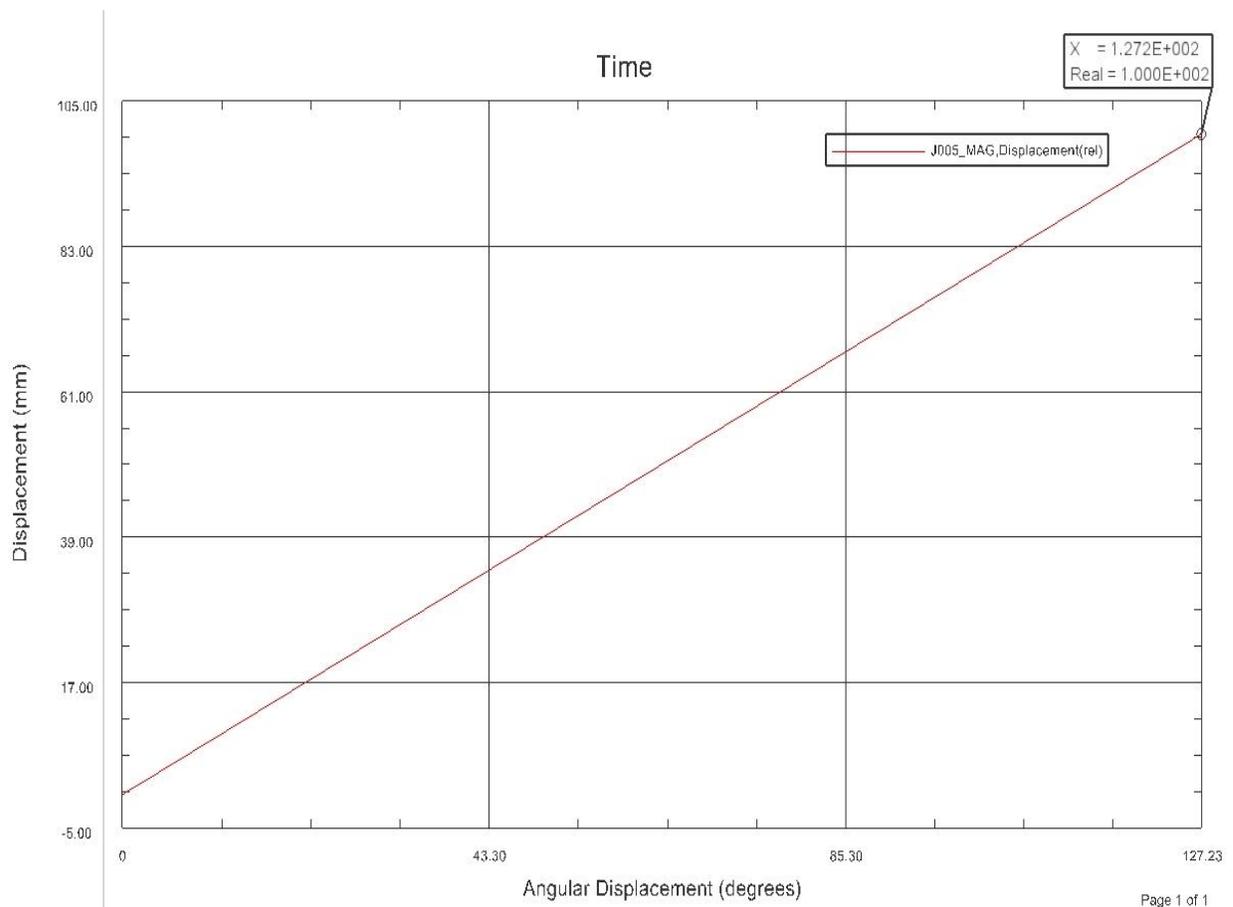


Fig. 31 Gráfica desplazamiento del empujador vs rotación de la polea.

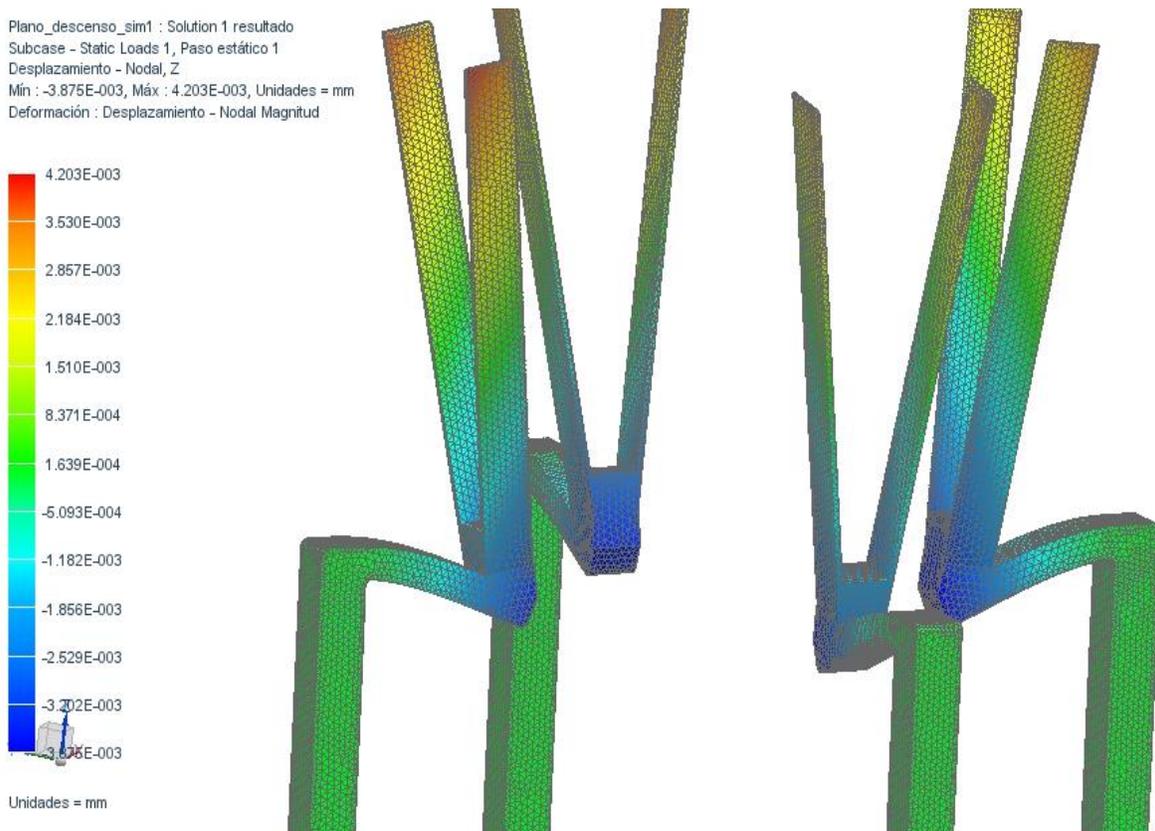
Para reducir las posibles fallas en el funcionamiento del dispositivo, se genera la gráfica apreciada en la Fig. 31, Donde queda claro que la polea se desplaza menos de una vuelta, y que se logran los 100 mm de recorrido del empujador, puede verse en la gráfica que una vez la polea llega a los 127,2 grados de rotación, el empujador está a 100 mm de su posición inicial (Equivale a un desplazamiento aproximado de 1,6 mm cada 2 grados de rotación), cumpliendo de esta manera con los planteamientos teóricos y específicos, y las necesidades funcionales del intercambiador.

#### 4.2. FEA, selección de materiales y análisis de la estructura.

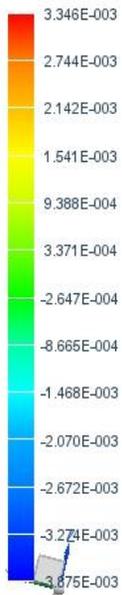
Los siguientes resultados se obtienen mediante simulación de elementos finitos en NX. La carga aplicada en la posición donde se posa el quad es de 24.5 N, lo que equivale a soportar una masa de 2.5 Kg en cada uno de los soportes de aterrizaje; el material que se asoció a la simulación es Aluminio 6061.

De las siguientes imágenes, se pueden extraer datos sobre la deformación y esfuerzos fundamentales, cada resultado puede ser leído de cada una de ellas.

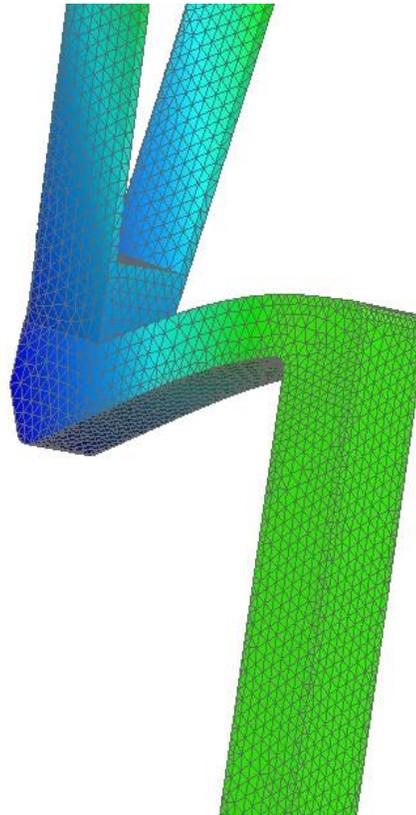
#### Desplazamiento vertical.



Plano\_descenso\_sim1 : Solution 1 resultado  
 Subcase - Static Loads 1, Paso estático 1  
 Desplazamiento - Nodal, Z  
 Min : -3.875E-003, Máx : 4.203E-003, Unidades = mm  
 Deformación : Desplazamiento - Nodal Magnitud



Unidades = mm

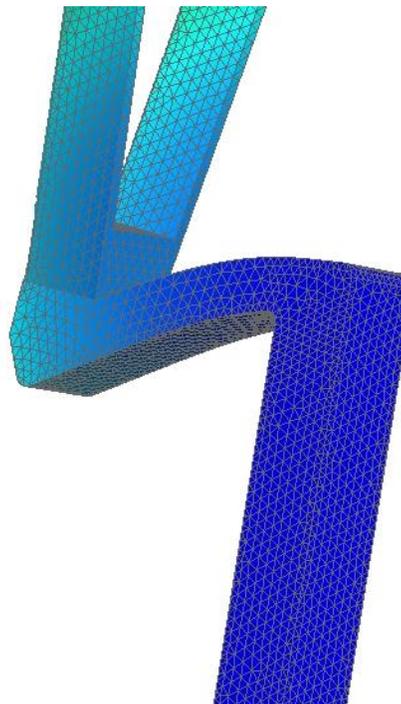


### Magnitud desplazamiento.

Plano\_descenso\_sim1 : Solution 1 resultado  
 Subcase - Static Loads 1, Paso estático 1  
 Desplazamiento - Nodal, Magnitud  
 Min : 0.0000, Máx : 0.0123, Unidades = mm  
 Deformación : Desplazamiento - Nodal Magnitud



Unidades = mm

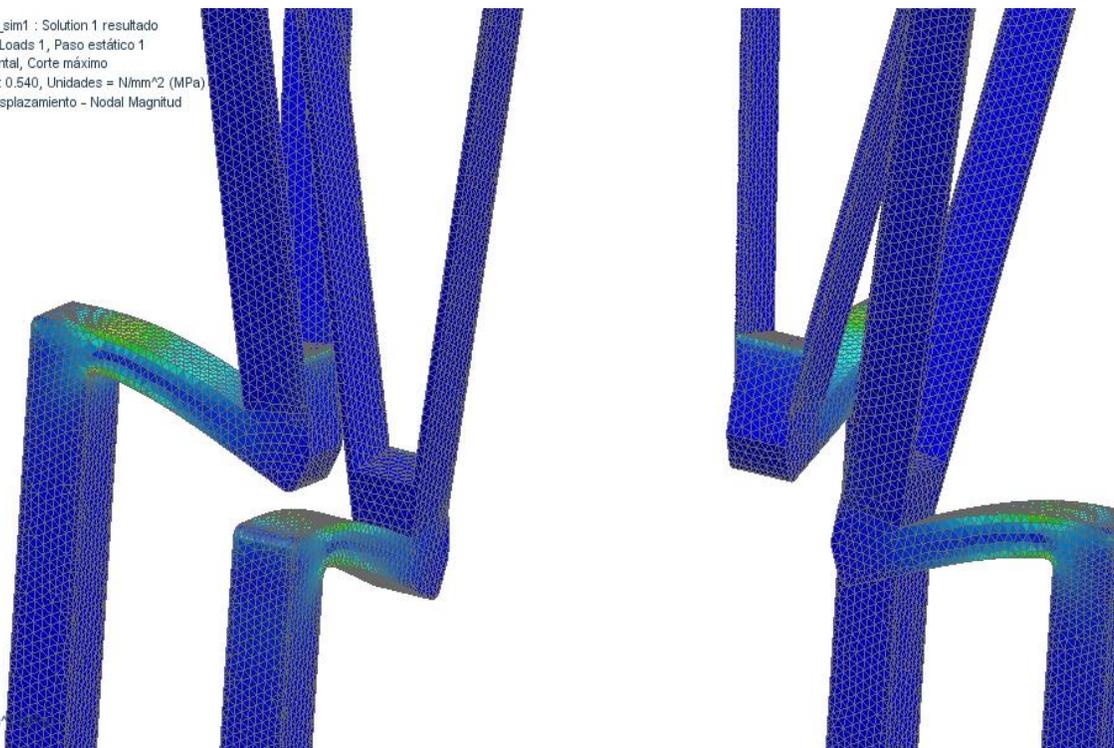


**Esfuerzo elemental corte máximo.**

Plano\_descenso\_sim1 : Solution 1 resultado  
 Subcase - Static Loads 1, Paso estático 1  
 Esfuerzo - Elemental, Corte máximo  
 Min : 0.000, Máx : 0.540, Unidades = N/mm<sup>2</sup> (MPa)  
 Deformación : Desplazamiento - Nodal Magnitud



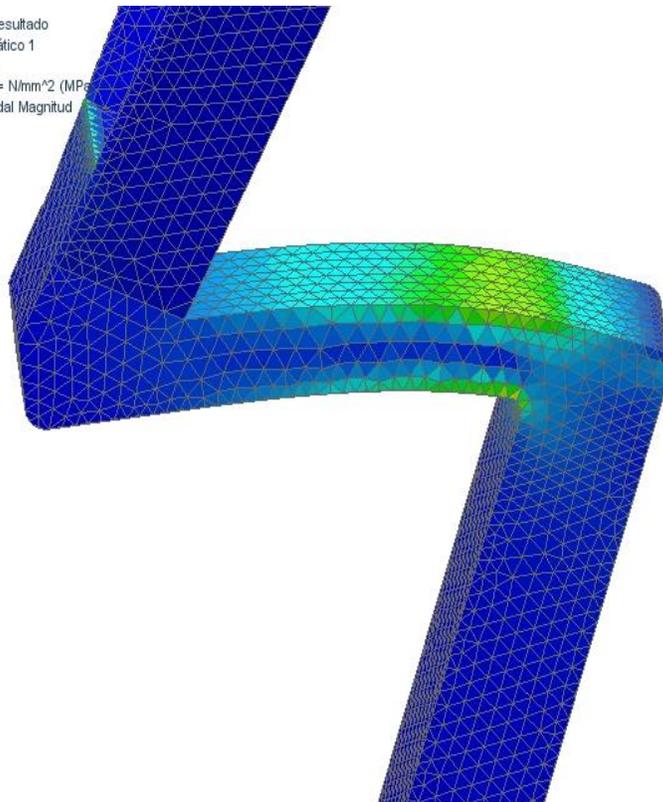
Unidades = N/mm<sup>2</sup>



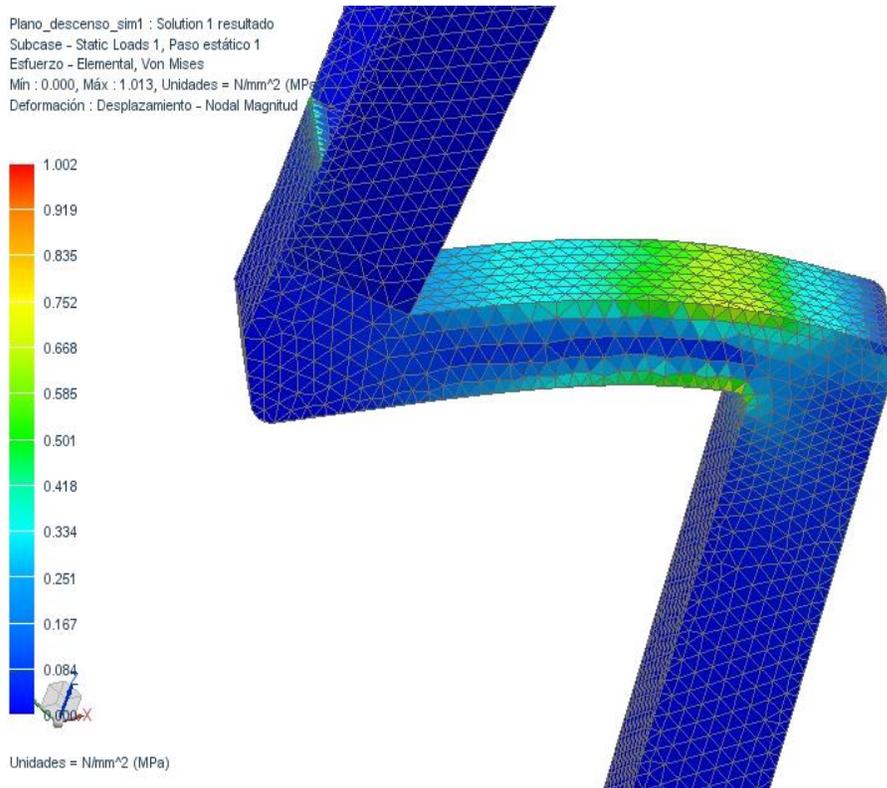
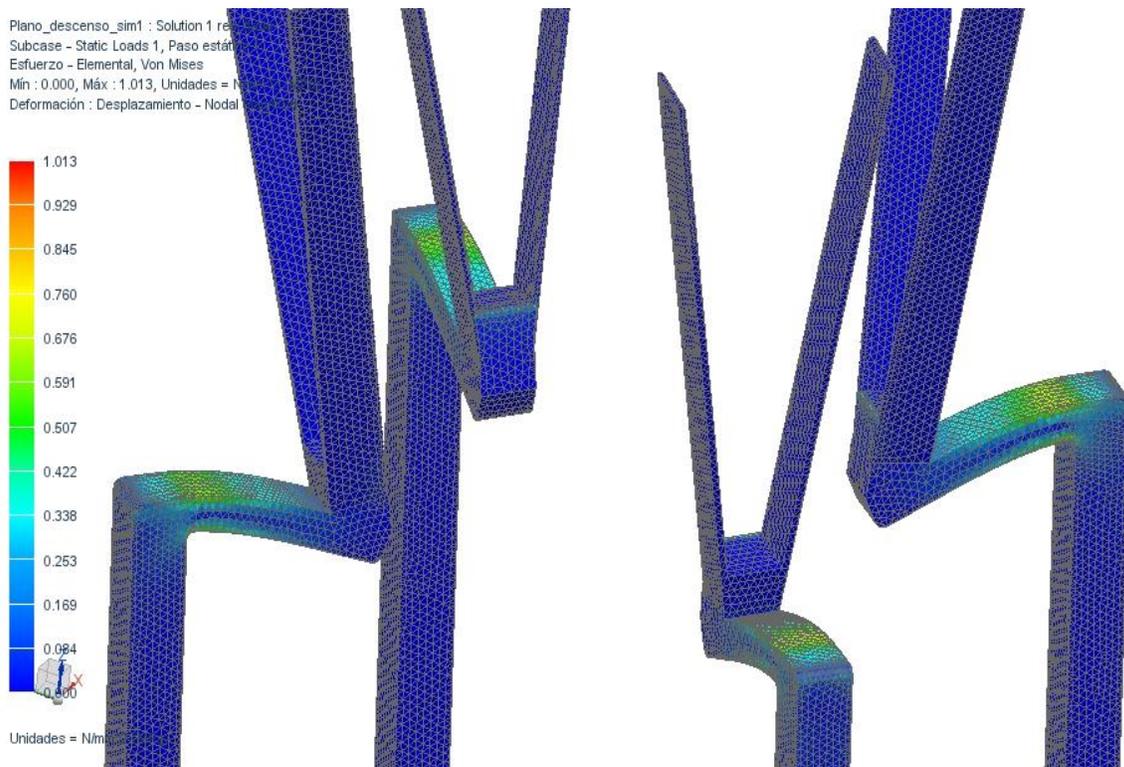
Plano\_descenso\_sim1 : Solution 1 resultado  
 Subcase - Static Loads 1, Paso estático 1  
 Esfuerzo - Elemental, Corte máximo  
 Min : 0.000, Máx : 0.540, Unidades = N/mm<sup>2</sup> (MPa)  
 Deformación : Desplazamiento - Nodal Magnitud



Unidades = N/mm<sup>2</sup> (MPa)

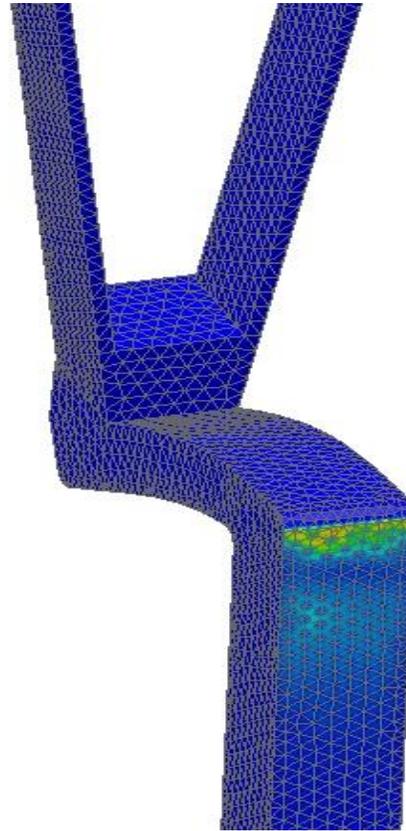
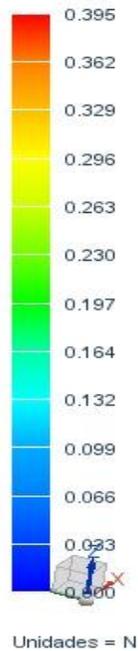


**Esfuerzo elemental von mises.**



## Fuerza de reacción.

Plano\_descenso\_sim1 : Solution 1 resultado  
 Subcase - Static Loads 1, Paso estático 1  
 Fuerza de reacción - Nodal, Magnitud  
 Mín : 0.000, Máx : 0.419, Unidades = N  
 Deformación : Desplazamiento - Nodal Magnitud



Del análisis de la estructura con las medidas reales puede decirse que:

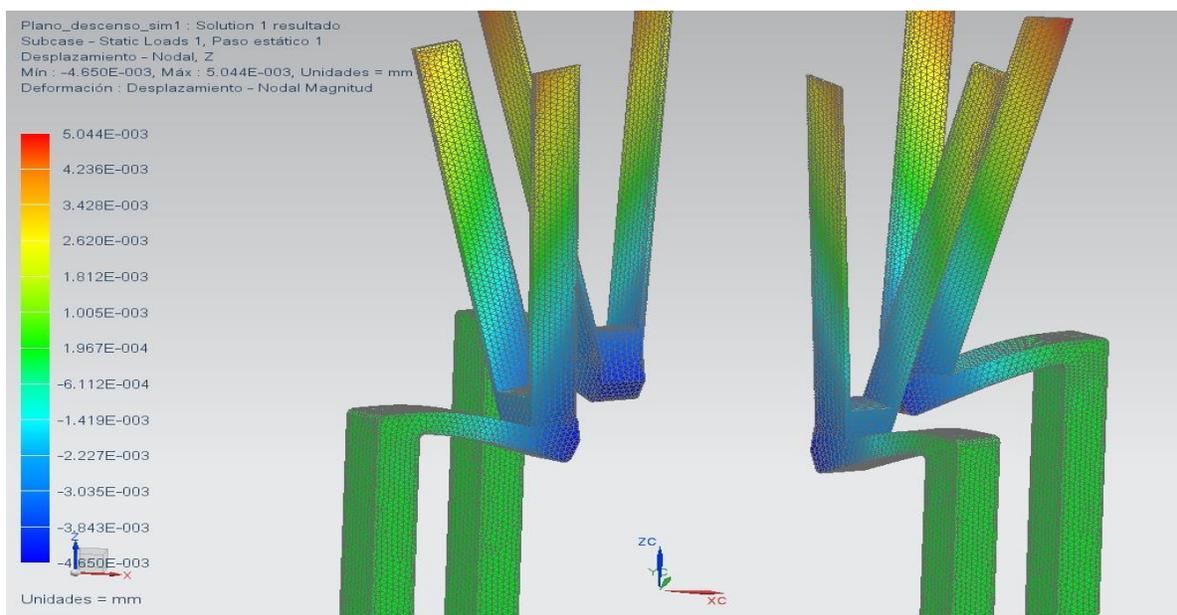
- La deformación de la estructura de aterrizaje es muy baja, en cada caso se puede ver con facilidad que no existe una cantidad de deformación considerable en este diseño.
- Tras la lectura de los esfuerzos elementales se puede decir que la probabilidad de falla en la estructura es muy baja.
- Las formas y las dimensiones para la estructura de aterrizaje pueden cambiar respecto a las del diseño real, pueden estar sometidas a cambios tanto en la geometría como en el material; sin embargo, los análisis aquí realizados demuestran que este diseño es funcional incluso con posibles variaciones.

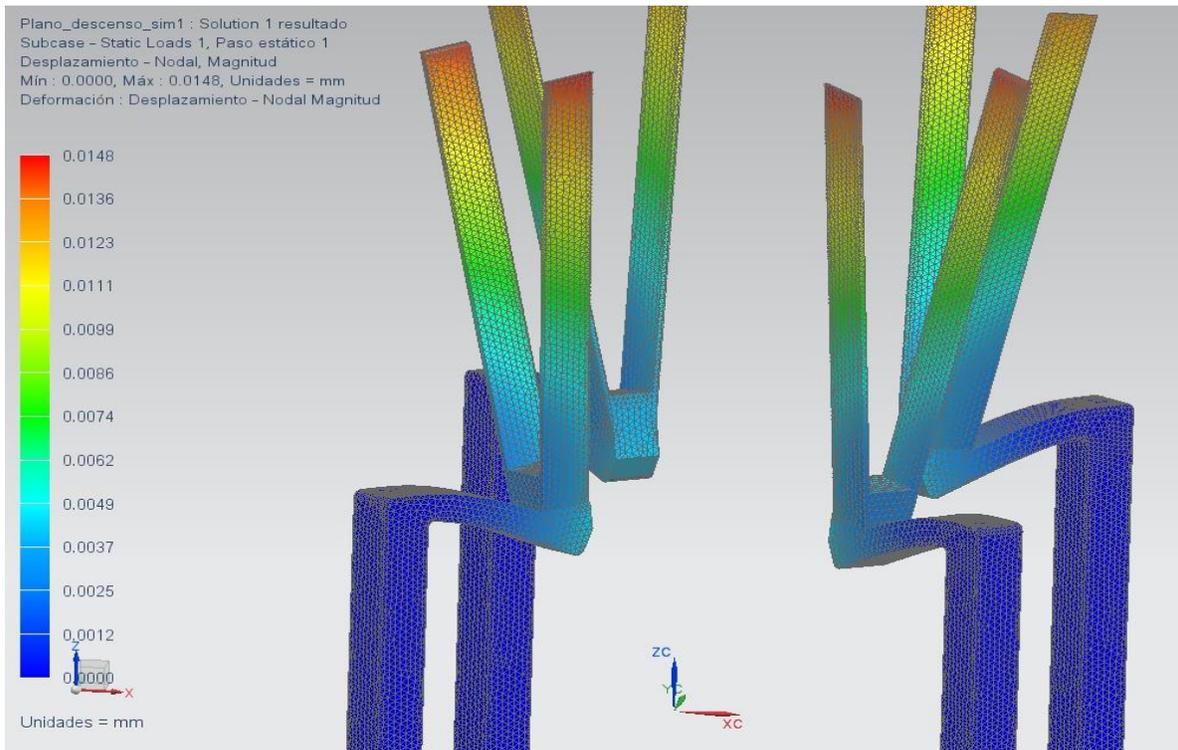
En la siguiente fase del análisis, se muestran los datos de la estructura de aterrizaje propuesta siendo sometida a diferentes cargas. En la simulación previa se realizó un análisis para determinar los esfuerzos y las posibles fallas de la estructura al ser sometida a una fuerza de 24,5 N, que corresponde a soportar el descenso del UAV con una masa de 2,5 Kg.

Por motivos de seguridad, se muestra un incremento del 20% en la fuerza inicial que representa el margen necesario para evaluar el diseño y los materiales seleccionados.

Posteriormente, y debido a la baja deformación de la estructura durante la simulación con la carga nominal de trabajo; se hacen múltiples ensayos apoyados en el análisis de elementos finitos para encontrar una fuerza que genere una deformación trascendente en la estructura. De esta forma, se inicia duplicando la fuerza que esta vez es igual a 29,4 N, que se genera al incrementar en el 20% la fuerza inicial. De ahí en adelante, se sigue incrementando la fuerza 10, 20, 100 y hasta 250 veces la fuerza inicial, momento en el que la deformación vertical de la estructura alcanza aproximadamente 1mm.

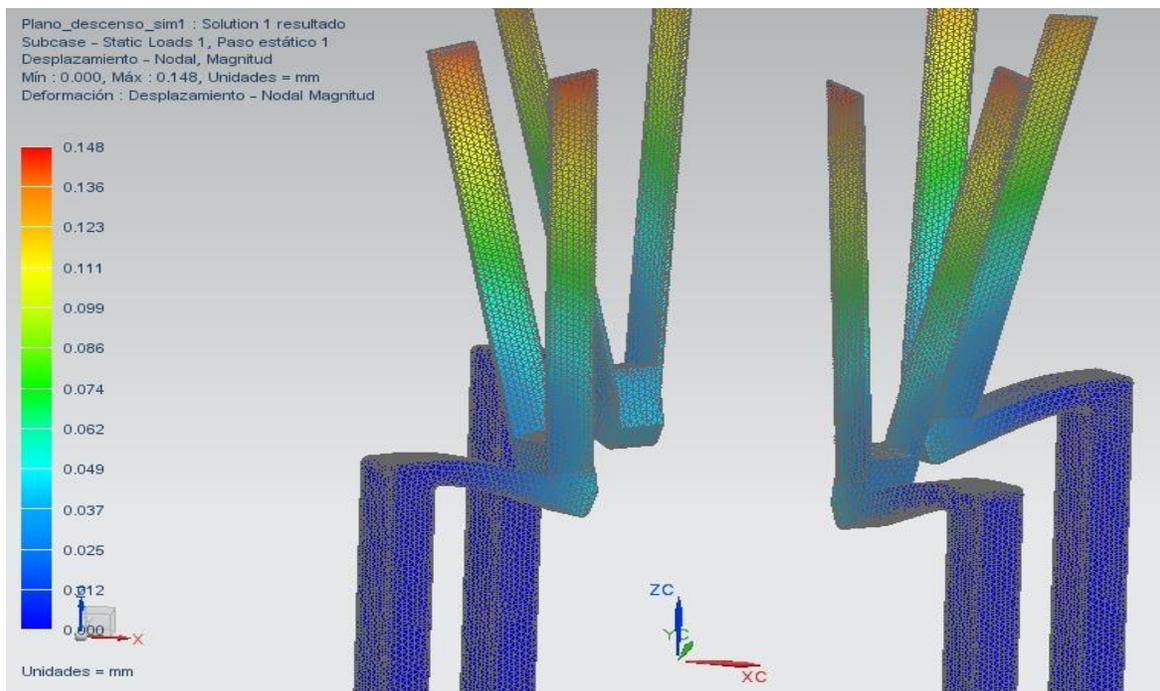
### Resultados con el incremento del 20 % de la fuerza inicial.



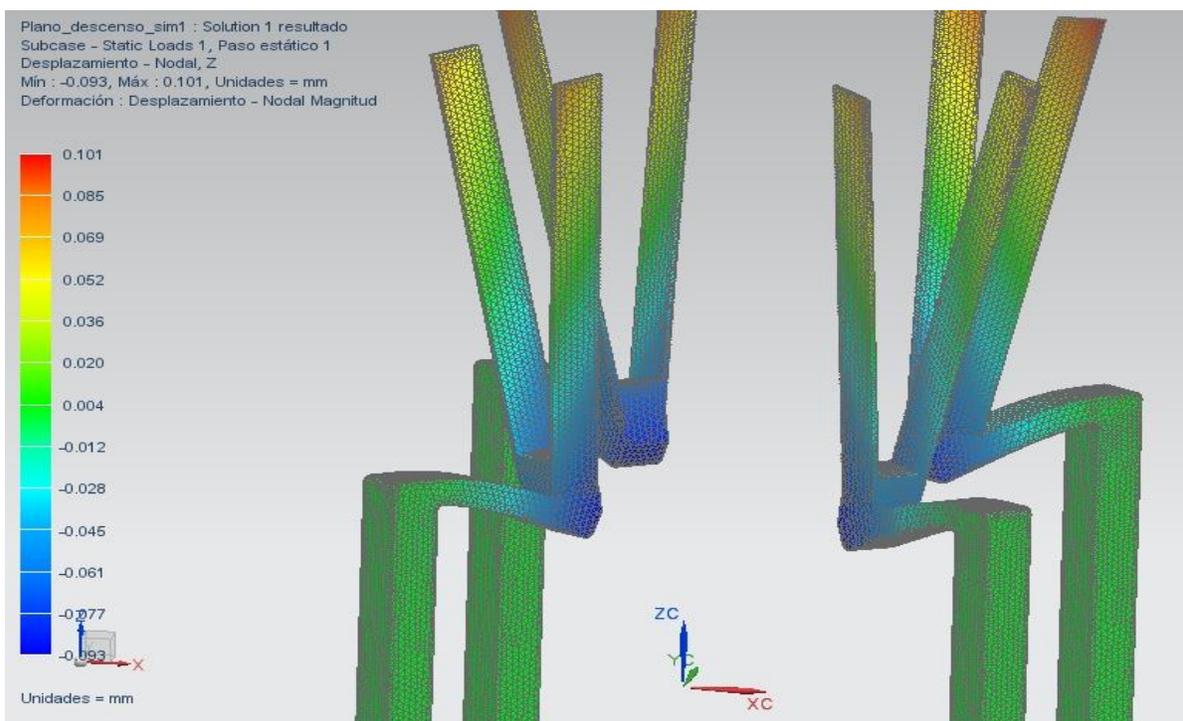


**Resultados al incrementar la fuerza inicial.**

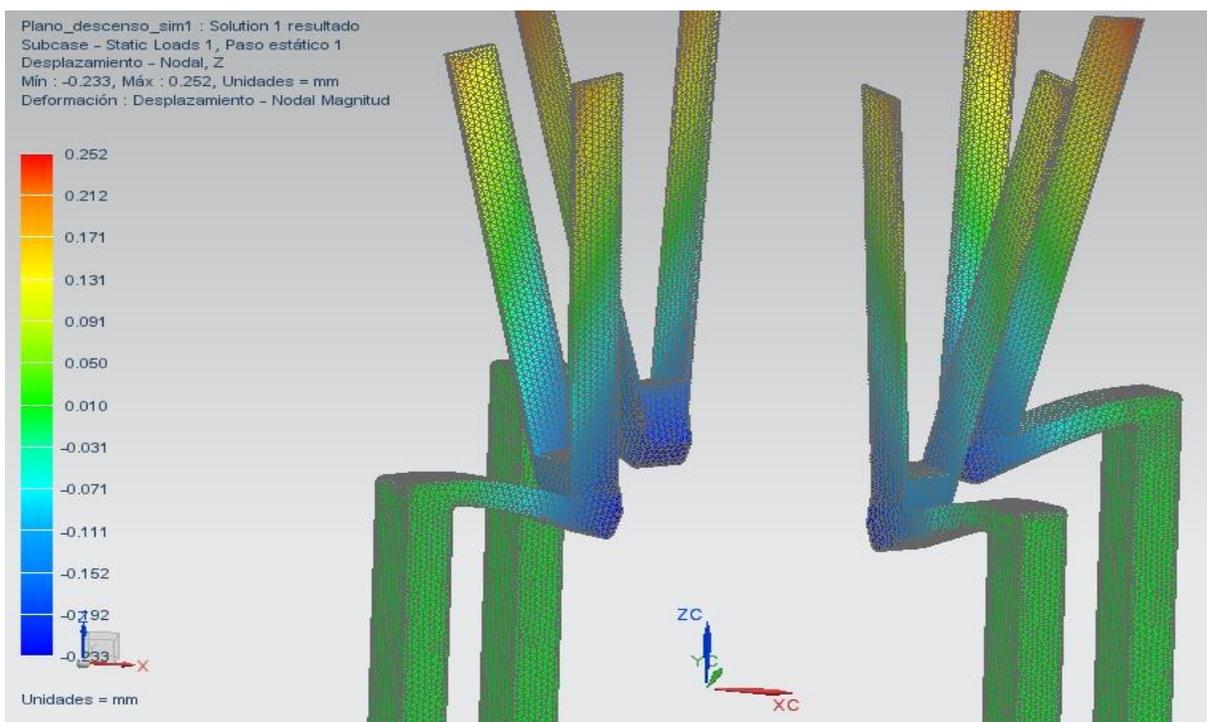
**10 Veces:**



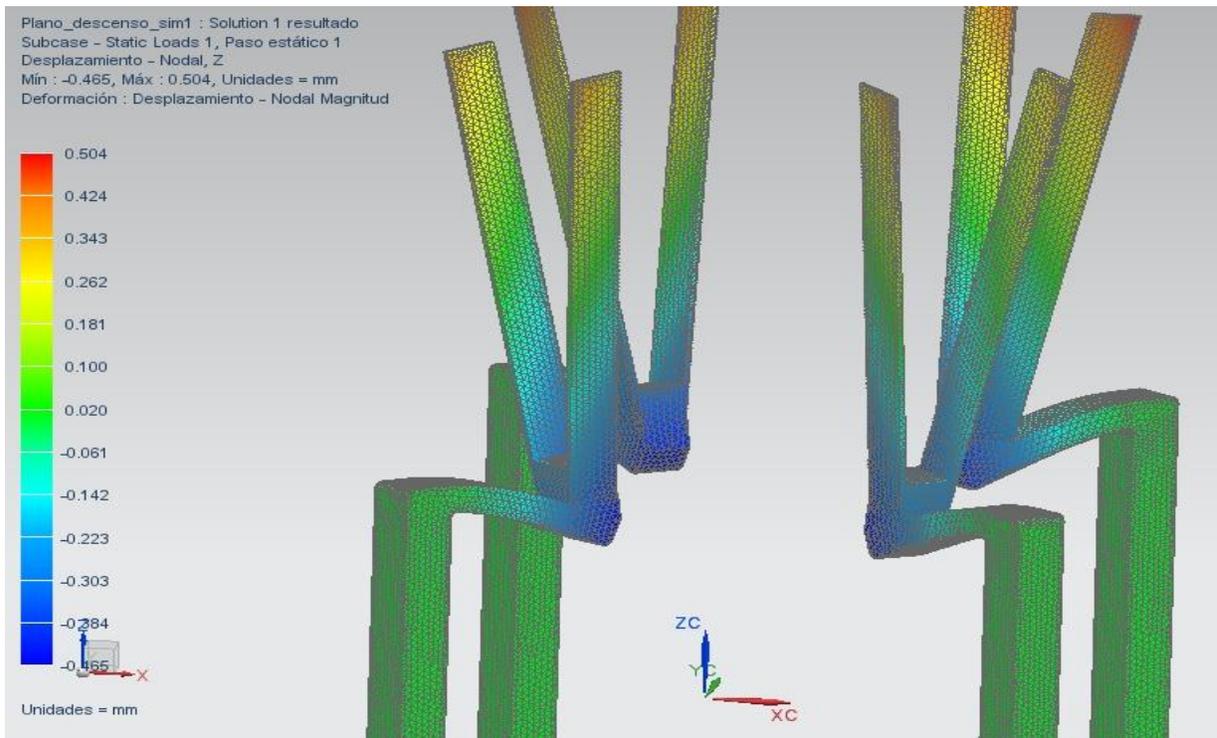
**20 veces:**



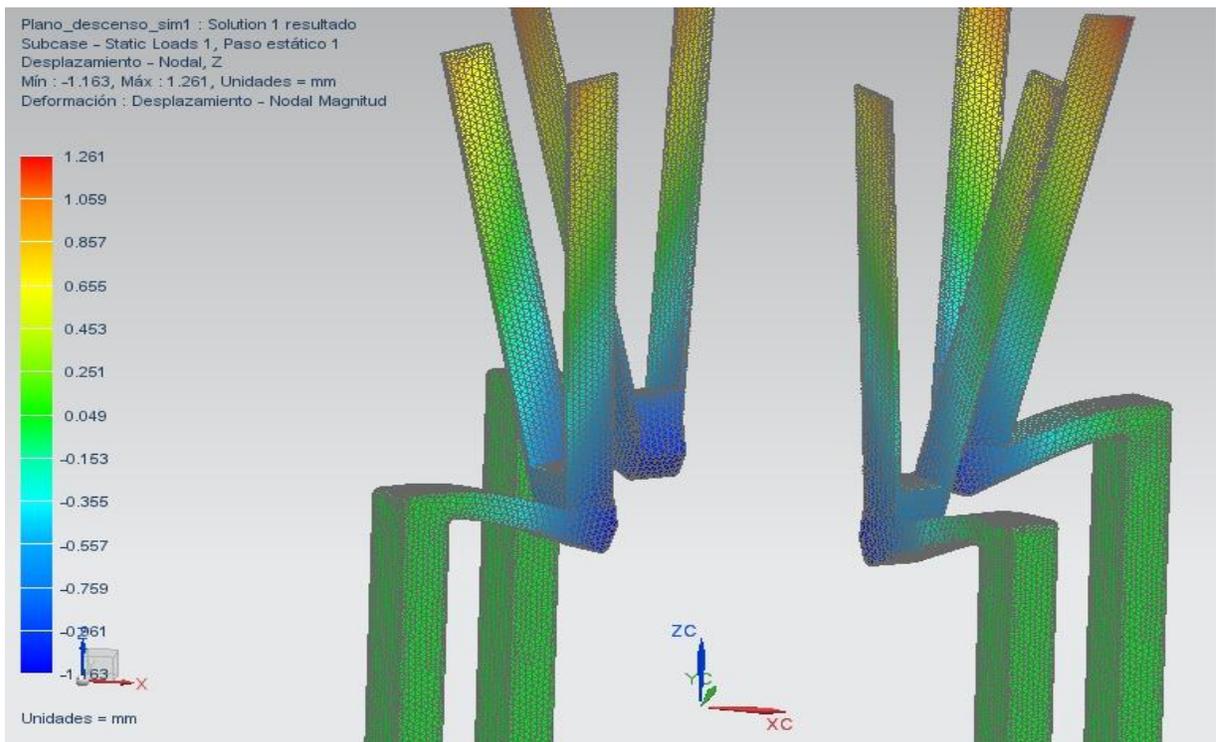
**50 veces:**

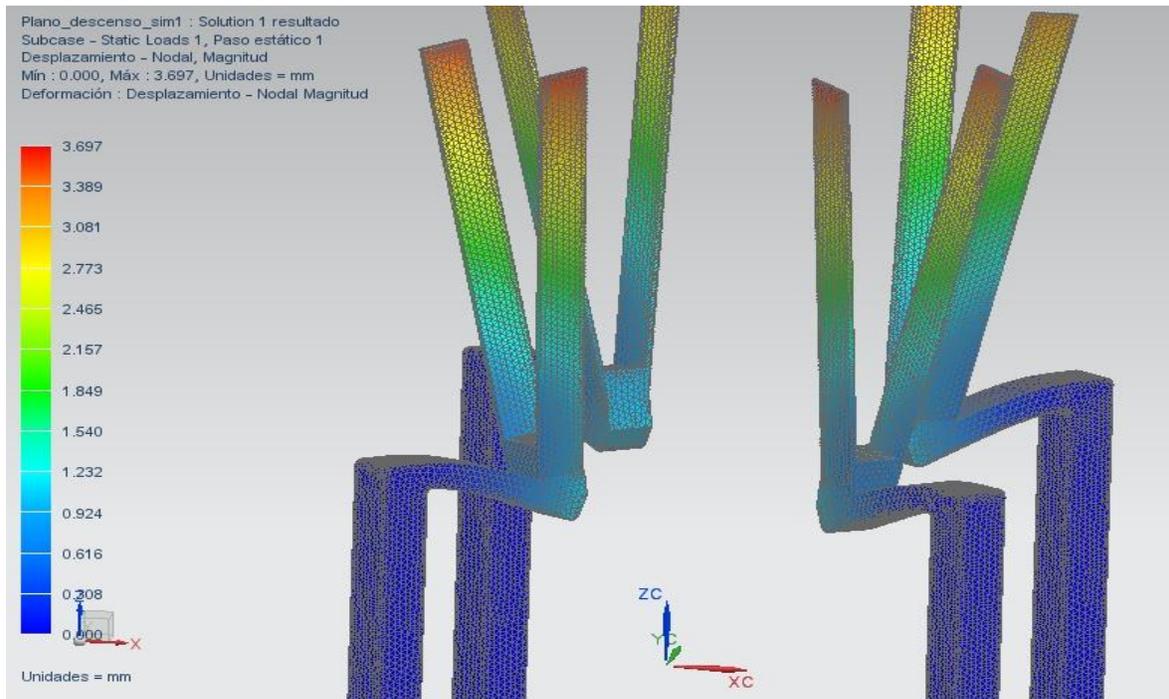


**100 veces:**



**250 veces:**





De lo anteriormente expuesto, puede inferirse que con una fuerza de 250 veces la fuerza inicial (7.35 KN) la deformación de la estructura dejaría de realizar bien su función, pues la posición del vehículo estaría afectada en  $\pm 1$  mm, lo que ocasiona una mala posición para realizar el intercambio de la batería.

Se considera 1mm como la deformación máxima admitida, puesto que es la misma longitud que se designó como tolerancia en el lugar donde deberá posarse la batería para ser reemplazada. Puede decirse también, que tanto el material como el diseño son acertados, hace falta una fuerza muy por encima de la habitual a la que funcionara el intercambiador para ocasionar un aterrizaje inadecuado.

Tanto el material como su geometría pueden ser variados sin que se presenten mayores implicaciones, o que la estructura llegue a una deformación importante, o mucho menos a la falla del material. El incremento del 20% aunque es pertinente, sigue mostrando que las condiciones normales de trabajo no afectan de manera importante la estructura.

	<b>INFORME FINAL DE PASANTÍA</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

---

En esta sección se manifiestan las conclusiones obtenidas del análisis de resultados del trabajo propuesto; también se hace una breve descripción de algunas recomendaciones de interés y por último se muestran las futuras líneas de investigación que fueron identificadas durante el periodo de tiempo que llevó realizar este trabajo.

### 5.1. Conclusiones.

En el presente trabajo se diseñó el sistema automático de intercambio de baterías, teniendo en cuenta las pautas inicialmente planteadas para el desarrollo del mismo teniendo el tiempo como el parámetro más crítico, se logra optimizar mediante este diseño, de esta manera la acción de intercambio y carga de la batería, se ejecute de la manera más rápida y efectiva posible, tomando como referencia un tiempo de 10 segundos; adicional a ello se evidencia el gran esfuerzo y el ingenio empleado para desarrollar paulatinamente cada actividad, mostrando resultados cada vez más complejos y satisfactorios, pero es también donde se evidencia una gran limitante, que fue el tiempo destinado para la fabricación del prototipo, una eventualidad que previamente ya se había contemplado.

El diseño se elabora permitiendo que su estructura sea de fácil acceso para el quadcopter al momento de su aterrizaje y además pueda ser empleada en exteriores, partiendo de una selección de componentes de bajo costo y consumo energético los cuales permitan impulsar el desarrollo sencillo y eficiente.

Con respecto a la estructura, se obtuvieron resultados a partir de las simulaciones de elementos finitos desarrolladas en el software NX y en donde se pudo constatar que el diseño

	<b>INFORME FINAL DE PASANTÍA</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

propuesto resiste la carga aplicada al momento de soportar el quad, además dichos resultados muestran que la probabilidad de falla en la estructura es muy baja.

Los tiempos del cronograma de actividades, no fueron lo suficientemente holgados como para contemplar lo que tardaría la selección, cotización, gestión del dinero, compra y envío de cada elemento que fuera seleccionado.

En el presente trabajo se desarrolló y aplicó la metodología propuesta, para dar respuesta al planteamiento de la investigación. A pesar de que se lograron los objetivos planteados en la sección I, aún queda mucho trabajo por hacer, así como áreas de interés y oportunidades que pueden ser explotadas para beneficio del proyecto, en los párrafos siguientes se hacen algunas recomendaciones que a juicio de los autores podrían tener un impacto positivo en el desempeño y contribuir en la mejora de este.

## 5.2. Recomendaciones.

- a) Proponer tiempos generosos de fabricación, pruebas y validación del prototipo.
- b) Contemplar la posibilidad de buscar más proveedores de los componentes (motor y sistemas de transmisión) en CDMX ya que actualmente solo se cuenta con uno.
- c) En lo referente a la fabricación del prototipo, seleccionar materiales adecuados los cuales permitan brindar el mayor soporte y durabilidad en exteriores.
- d) Dada la cantidad de exactitud que debe tener el quadcopter para aterrizar, se recomienda realizar una excelente programación de este, para que eventualmente mejore su control durante esta acción, acortando el margen de error.
- e) Dado que el proyecto es enfocado para ser utilizado en el exterior, se debe entonces considerar un sistema óptimo, de bajo costo y sumamente ingenioso el cual permita

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE PASANTÍA	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

aprovechar los recursos naturales como fuente de energía para cargar las baterías del quad.

- f) Dado que la batería tiene un modo de conexión característico, se recomienda cambiar o adaptar este para ser usado de forma más eficaz en los rieles del intercambiador, proporcionando de esta manera mayor agilidad en el proceso de intercambio y posteriormente carga de la batería.

### 5.3. Trabajos Futuros.

Las siguientes son áreas en las que se podrían dar seguimiento al presente trabajo.

- a) Saltar del diseño a la construcción física del sistema intercambiador de baterías, teniendo en cuenta todas las implicaciones previamente analizadas, y en el cual se puedan realizar pruebas de funcionamiento y obtener resultados mucho más reales.
- b) Diseñar y elaborar el sistema de sujeción de la batería al quad, el cual permita a la batería ser retirada fácilmente y sin que esta se mueva mientras el quadcopter se encuentra en el aire realizando sus funciones.

Indiscutiblemente el presente proyecto hace parte de uno de mayor extensión, por lo tanto, hay un enfoque multidisciplinario que abarca mecánica, programación, diseño, electrónica y control, las cuales se proyectaran y se evidenciaran en cada mejora, cada nuevo diseño, cada adaptación, cada versión que aporte de manera significativa al proyecto, lo impulsara a alcanzar su perfección.

	<b>INFORME FINAL DE PASANTÍA</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## REFERENCIAS

---

Conchran, N., Pizzimenti, J. y Short, R., (2012). AUTOMATED REFUELING FOR HOVERING ROBOTS. Massachusetts, USA.

Furrer, F., (2011). Design and Implementation of a Docking Station for Micro-Helicopters, Master Thesis, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Swiss Federal Institute of Technology Zurich, Autonomous Systems Lab, Zúrich, Suiza.

GATES, Transmisión de potencia industrial GATES [en línea], catalogo electrónico de

GATES, (2009) [octubre, 2016], Disponible en:

[http://www.epidor.com/documentos/Gates\\_TransmisionPotenciaIndustrial.pdf](http://www.epidor.com/documentos/Gates_TransmisionPotenciaIndustrial.pdf)

Intermec, Transmisiones por correas dentadas de tiempo y sincrónicas [en línea], manual de selección electrónico de intermec [Septiembre, 2016], Disponible en:

[http://lab.transmitec.com/wp-](http://lab.transmitec.com/wp-content/uploads/2014/06/manual_poleas_dentadas_intermec.pdf)

[content/uploads/2014/06/manual\\_poleas\\_dentadas\\_intermec.pdf](http://lab.transmitec.com/wp-content/uploads/2014/06/manual_poleas_dentadas_intermec.pdf).

Mott, R, (2006), *Diseño de elementos de máquina*, México, Pearson Education.

Ragel, R., Maza, I., Caballero, F., & Ollero, A., (2015). Plataforma para el Aterrizaje y el Intercambio de Baterías Automático para un UAV de tipo VTOL, Actas de las XXXVI Jornadas de Automática de la IFAC (CEA-IFAC 2015) (pp. 338-344). Bilbao, España.

Rahardjo, J., (2013). Automatic docking station for the Parrot UAV, University of Queensland, School of Information Technology and Electrical Engineering, Queensland, Australia.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE PASANTÍA</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Roldán, J, (2013), *Montaje mecánico en instalaciones solares fotovoltaicas*, España,

Ediciones Paraninfo.

Swieringa, K.A., Hason, C.B., Richardson, J.R., White, J.D., Hasan, Z., Qian, E., y Girard,

A. (2010). Autonomous Battery Swapping System for Small-Scale Helicopters,

International Conference of the IEEE Robotics and Automation (pp. 3335-3340).

Anchorage, Alaska, USA.

Siemens Industry Software (2017). FEA/ Finit Elements Analysis, Siemens Industry

Software, Recuperado de:

[https://www.plm.automation.siemens.com/es\\_es/plm/fea.shtml](https://www.plm.automation.siemens.com/es_es/plm/fea.shtml).

Siemens Industry Software (2017). PLM/ Product Lifecycle Management, Siemens

Industry Software, Recuperado de:

[https://www.plm.automation.siemens.com/es\\_es/plm/](https://www.plm.automation.siemens.com/es_es/plm/)

Toksoz, T., Redding J., Michini, M., Michini, B., How, J.P., Vavrina, M.A. y Vian, J.,

(2011). Automated Battery Swap and Recharge to Enable Persistent UAV Missions,

Conference of Aeronautics and Astronautics (pp. 1-10). Virginia: American Institute

of Aeronautics and Astronautics.

3Dcadportal (2017). Portar 3D en español, 3Dcadportal Monterrey, México, recuperado de:

<http://www.3dcadportal.com/nx.html>.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE PASANTÍA	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## APÉNDICE

---

### APÉNDICE A: Cálculos para la selección del motor

- **Velocidad, fuerza y potencia:**

Potencia = par torsional \* velocidad

$$\text{Velocidad: } \frac{0,1m}{10s} = 0,01 \text{ m/s}$$

$$\text{Fuerza: } 498g * 3\text{baterías} = 1,494kg \approx 2kg * \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right) = 19,62N$$

$$\text{Potencia: } (19,62N) (0,01m/s) = 0,1962 \frac{Nm}{s} \approx 0,2W$$

$$0,1W = 0,00013HP$$

- **Par motor:**

velocidad = velocidad angular \* radio

$$\text{radio} = \frac{90,07mm}{2} = 45,035mm$$

$$\omega \text{ (velocidad angular)} = \frac{v \text{ (velocidad)}}{r \text{ (radio)}}$$

$$\omega = \frac{0,01m/s}{0,045035m} = 222,05(10^{-3})rad/s$$

$$\text{Torque} = \frac{\text{Pot}}{\omega} = \frac{0,2W}{222,05(10^{-3})rad/s} = 0,9007 \text{ Nm}$$

**APÉNDICE B:** Tabla e interpretación de código para la selección de correa síncrona.



8MGT			14MGT		
Paso: 8 mm			Paso: 14 mm		
Descripción	Long. primitiva mm	Número de dientes	Descripción	Long. primitiva mm	Número de dientes
8MGT-640	640	80	14MGT-994	994	71
8MGT-720	720	90	14MGT-1120	1120	80
8MGT-800	800	100	14MGT-1190	1190	85
8MGT-896	896	112	14MGT-1260	1260	90
8MGT-960	960	120	14MGT-1400	1400	100
8MGT-1000	1000	125	14MGT-1568	1568	112
8MGT-1040	1040	130	14MGT-1610	1610	115
8MGT-1120	1120	140	14MGT-1750	1750	125
8MGT-1200	1200	150	14MGT-1890	1890	135
8MGT-1224	1224	153	14MGT-1960	1960	140
8MGT-1280	1280	160	14MGT-2100	2100	150
8MGT-1440	1440	180	14MGT-2240	2240	160
8MGT-1600	1600	200	14MGT-2310	2310	165
8MGT-1760	1760	220	14MGT-2380	2380	170
8MGT-1792	1792	224	14MGT-2450	2450	175
8MGT-2000	2000	250	14MGT-2520	2520	180
8MGT-2200	2200	275	14MGT-2590	2590	185
8MGT-2240	2240	280	14MGT-2660	2660	190
8MGT-2400	2400	300	14MGT-2800	2800	200
8MGT-2520	2520	315	14MGT-3136	3136	224
8MGT-2600	2600	325	14MGT-3304	3304	236
8MGT-2800	2800	350	14MGT-3360	3360	240
8MGT-2840	2840	355	14MGT-3500	3500	250
8MGT-3048	3048	381	14MGT-3850	3850	275
8MGT-3200	3200	400	14MGT-3920	3920	280
8MGT-3280	3280	410	14MGT-4326	4326	309
8MGT-3600	3600	450	14MGT-4410	4410	315
8MGT-4000	4000	500			
8MGT-4400	4400	550			
8MGT-4480	4480	560			

Disponibles en anchuras de 20 mm, 37 mm, 68 mm, 90 mm y 125 mm.

Disponibles en anchuras de 12 mm, 21 mm, 36 mm y 62 mm.

El código de las correas Poly Chain® GT2 se identifica de la siguiente manera:

**8MGT-640-12**  
**8MGT** - Paso 8 mm  
**640** - Longitud primitiva (mm)  
**12** - Anchura de correa (mm)

Todas las dimensiones están disponibles en stock.

APÉNDICE C: Tablas e interpretación de código para la selección de polea síncronas



POLEAS

**POLY CHAIN® GT**

Especificaciones de las poleas Poly Chain® GT



8M				14M			
Referencia de la polea	Diámetro exterior mm	Referencia de la polea	Diámetro exterior mm	Referencia de la polea	Diámetro exterior mm	Referencia de la polea	Diámetro exterior mm
Anchura 12 mm		Anchura 36 mm		Anchura 20 mm		Anchura 68 mm	
8M-22S	54,42	8M-25S	62,06	14M-28S	121,98	14M-34S	148,72
8M-25S	62,06	8M-28S	69,70	14M-30S	130,89	14M-36S	157,63
8M-28S	69,70	8M-30S	74,79	14M-32S	139,80	14M-38S	166,54
8M-30S	74,79	8M-32S	79,89	14M-34S	148,72	14M-40S	175,45
8M-32S	79,89	8M-34S	84,98	14M-36S	157,63	14M-44S	193,28
8M-34S	84,98	8M-36S	90,07	14M-38S	166,54	14M-48S	211,11
8M-36S	90,07	8M-38S	95,17	14M-40S	175,45	14M-50S	220,02
8M-38S	95,17	8M-40S	100,26	14M-44S	193,28	14M-56S	246,76
8M-40S	100,26	8M-45S	112,99	14M-48S	211,11	14M-60S	264,58
8M-45S	112,99	8M-48S	120,63	14M-50S	220,02	14M-64S	282,41
8M-48S	120,63	8M-50S	125,72	14M-56S	246,76	14M-72S	318,06
8M-50S	125,72	8M-56S	141,00	14M-60S	264,58	14M-80S	353,71
8M-56S	141,00	8M-60S	151,19	14M-64S	282,41	14M-90S	398,27
8M-60S	151,19	8M-64S	161,37	14M-72S	318,06	14M-112S	496,31
8M-64S	161,37	8M-75S	189,39	14M-80S	353,71	14M-140S	621,09
8M-75S	189,39	8M-80S	202,12	14M-90S	398,27	14M-168S	745,87
8M-80S	202,12	8M-90S	227,58	14M-112S	496,31	14M-192S	852,82
8M-90S	227,58	8M-112S	283,61	14M-140S	621,09		
		8M-140S	354,91				
		8M-168S	426,21				
		8M-192S	487,32				
Anchura 21 mm		Anchura 62 mm		Anchura 37 mm		Anchura 90 mm	
8M-22S	54,42	8M-30S	74,79	14M-28S	121,98	14M-36S	157,63
8M-25S	62,06	8M-32S	79,89	14M-30S	130,89	14M-38S	166,50
8M-28S	69,70	8M-34S	84,98	14M-32S	139,80	14M-40S	175,45
8M-30S	74,79	8M-36S	90,07	14M-34S	148,72	14M-44S	193,28
8M-32S	79,89	8M-38S	95,17	14M-36S	157,63	14M-48S	211,11
8M-34S	84,98	8M-40S	100,26	14M-38S	166,54	14M-50S	220,02
8M-36S	90,07	8M-45S	112,99	14M-40S	175,45	14M-56S	246,76
8M-38S	95,17	8M-48S	120,63	14M-44S	193,28	14M-60S	264,58
8M-40S	100,26	8M-50S	125,72	14M-48S	211,11	14M-64S	282,41
8M-45S	112,99	8M-56S	141,00	14M-50S	220,02	14M-72S	318,06
8M-48S	120,63	8M-60S	151,19	14M-56S	246,76	14M-80S	353,71
8M-50S	125,72	8M-64S	161,37	14M-60S	264,58	14M-90S	398,27
8M-56S	141,00	8M-75S	189,39	14M-64S	282,41	14M-112S	496,31
8M-60S	151,19	8M-80S	202,12	14M-72S	318,06	14M-140S	621,09
8M-64S	161,37	8M-90S	227,58	14M-80S	353,71	14M-168S	745,87
8M-75S	189,39	8M-112S	283,61	14M-90S	398,27	14M-192S	852,82
8M-80S	202,12	8M-140S	354,91	14M-112S	496,31		
8M-90S	227,58	8M-168S	426,21	14M-140S	621,09		
8M-112S	283,61	8M-192S	487,32	14M-168S	745,87		
8M-140S	354,91			14M-192S	852,82		
Anchura 125 mm							
						14M-38S	166,54
						14M-40S	175,45
						14M-44S	193,28
						14M-48S	211,11
						14M-50S	220,02
						14M-56S	246,76
						14M-60S	264,58
						14M-64S	282,41
						14M-72S	318,06
						14M-80S	353,71
						14M-90S	398,27
						14M-112S	496,31
						14M-140S	621,09
						14M-168S	745,87
						14M-192S	852,82

El código de las poleas Poly Chain® GT se identifica de la siguiente manera:

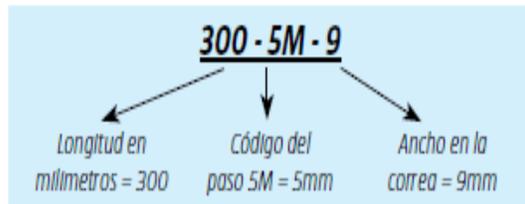
14M-28S-20
14M - Paso 14 mm
28S - Número de dientes
20 - Anchura de correa (mm)

Todas las dimensiones están disponibles en stock.

APÉNDICE D: Tabla para selección de correa sincrónica del catálogo de intermec.

## CORREAS DENTADAS SINCRÓNICAS

### SIGNIFICADO DE LA REFERENCIA



5M



### CORREAS 5M (PASO 5mm)

Referencia	No. de Dientes	Longitud (mm)	Pulg.
350-5M-9	70	350	13,78
350-5M-15	70	350	13,78
350-5M-25	70	350	13,78
375-5M-9	75	375	14,76
375-5M-15	75	375	14,76
375-5M-25	75	375	14,76
400-5M-9	80	400	15,75
400-5M-15	80	400	15,75
400-5M-25	80	400	15,75
425-5M-9	85	425	16,73
425-5M-15	85	425	16,73
425-5M-25	85	425	16,73
450-5M-9	90	450	17,72
450-5M-15	90	450	17,72
450-5M-25	90	450	17,72
475-5M-9	95	475	18,70
475-5M-15	95	475	18,70
475-5M-25	95	475	18,70
500-5M-9	100	500	19,69
500-5M-15	100	500	19,69
500-5M-25	100	500	19,69
535-5M-9	107	535	21,06
535-5M-15	107	535	21,06

### CORREAS 5M (PASO 5mm)

Referencia	No. de Dientes	Longitud (mm)	Pulg.
850-5M-9	170	850	33,46
850-5M-15	170	850	33,46
850-5M-25	170	850	33,46
890-5M-9	178	890	35,04
890-5M-15	178	890	35,04
890-5M-25	178	890	35,04
950-5M-9	190	950	37,40
950-5M-15	190	950	37,40
950-5M-25	190	950	37,40
1000-5M-9	200	1000	39,37
1000-5M-15	200	1000	39,37
1000-5M-25	200	1000	39,37
1050-5M-9	210	1050	41,34
1050-5M-15	210	1050	41,34
1050-5M-25	210	1050	41,34
1125-5M-9	225	1125	44,29
1125-5M-15	225	1125	44,29
1125-5M-25	225	1125	44,29
1195-5M-9	239	1195	47,05
1195-5M-15	239	1195	47,05
1195-5M-25	239	1195	47,05
1270-5M-9	254	1270	50,00
1270-5M-15	254	1270	50,00

**APÉNDICE E:** Tabla para selección de p Polea sincrónica del catálogo de intermec.



## TABLA DE DIAMETROS DE POLEAS DENTADAS PARA CORREAS SINCRÓNICAS

Dientes	Diámetro exterior en milímetros			
	5M Paso 5mm	8M Paso 8mm	14M Paso 14m	20M Paso 20m
15	22,73	36,81		
16	24,32	39,36		
17	25,92	41,91		
18	27,51	44,45	77,56	
19	29,10	47,00	82,00	
20	30,69	49,54	86,47	
21	32,28	52,00	90,93	
22	33,87	54,64	95,37	135,76
23	35,47	57,20	99,83	142,12
24	37,06	59,74	104,29	148,49
25	38,65	62,28	108,75	154,85
26	40,24	64,85	113,20	161,22
27	41,83	67,39	117,66	167,59
28	43,42	70,08	122,12	173,95
29	45,01	72,62	126,57	180,32
30	46,61	75,13	130,99	186,69
31	48,20	77,65	135,46	193,05
32	48,79	80,16	139,88	199,42
33	51,38	82,68	144,35	205,78
34	52,97	85,22	148,79	212,15
35	54,56	87,76	153,24	218,52
36	56,16	90,30	157,68	224,88
37	57,75	92,85	162,13	231,25
38	59,34	95,39	166,60	237,61
39	60,93	97,94	171,02	243,98
40	62,52	100,49	175,49	250,35
41	64,11	103,03	179,92	256,71
42	65,71	105,58	184,37	263,08
43	67,30	108,13	188,83	269,45
44	68,89	110,67	193,28	275,81
45	70,48	113,22	197,74	282,18
46	72,07	115,77	202,20	288,54
47	73,66	118,31	206,65	294,91
48	75,25	120,86	211,11	301,28
49	76,85	123,41	215,57	307,64
50	78,44	125,95	220,02	314,01
51	80,03	128,50	224,48	320,38
52	81,62	131,05	228,94	326,74
53	83,21	133,59	233,39	333,11
54	84,80	136,14	237,85	339,47
55	86,40	138,68	242,30	345,84
56	87,99	141,23	246,76	352,21
57	89,58	143,78	251,22	358,57

Dientes	Diámetro exterior en milímetros			
	5M Paso 5mm	8M Paso 8mm	14M Paso 14m	20M Paso 20m
58	91,17	146,32	255,67	364,94
59	92,76	148,87	260,13	371,30
60	94,35	151,42	264,59	377,67
61	95,94	153,96	269,04	384,04
62	97,54	156,51	273,50	390,40
63	99,13	159,06	277,95	396,77
64	100,72	161,60	282,41	403,14
65	102,31	164,15	286,87	409,50
66	103,90	166,70	291,32	415,87
67	105,49	169,24	295,78	422,23
68	107,09	171,79	300,24	428,60
69	108,68	174,34	304,69	434,97
70	110,27	176,88	309,15	441,33
71	111,86	179,43	313,61	447,70
72	113,45	181,97	318,06	454,07
73	115,04	184,52	322,52	460,43
74	116,63	187,07	326,97	466,80
75	118,23	189,61	331,43	473,16
76	119,82	192,16	335,89	479,53
77	121,41	194,71	340,34	485,90
78	123,00	197,25	344,80	492,26
79	124,59	199,81	349,26	498,63
80	126,18	202,35	353,71	504,99
81	127,78	204,89	358,17	511,36
82	129,37	207,44	362,63	517,73
83	130,96	209,99	367,08	524,09
84	132,55	212,53	371,54	530,46
85	134,14	215,08	375,99	536,83
86	135,73	217,63	380,45	543,19
87	137,32	220,17	384,91	549,56
88	138,92	222,72	389,36	555,92
89	140,51	225,27	393,82	562,29
90	142,10	227,81	398,28	568,66
91	143,69	230,36	402,73	575,02
92	145,28	232,90	407,19	581,39
93	146,87	235,45	411,64	587,76
94	148,47	238,00	416,10	594,12
95	150,06	240,54	420,56	600,49
96	151,65	243,09	425,01	606,85
97	153,24	245,64	429,47	613,22
98	154,83	248,18	433,93	619,59
99	156,42	250,73	438,38	625,95
100	158,01	253,28	442,84	632,32

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE PASANTÍA	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES SHELSON DIVER DIAZ D.

Sergio Esteban Fuentes Ruiz

FIRMA ASESOR  *Versión Aprobada para entrega*

FECHA ENTREGA: 02/03/2017

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD \_\_\_\_\_

RECHAZADO \_\_\_\_\_ ACEPTADO \_\_\_\_\_ ACEPTADO CON MODIFICACIONES \_\_\_\_\_

ACTA NO. \_\_\_\_\_

FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD \_\_\_\_\_

ACTA NO. \_\_\_\_\_

FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_