

Diseño y construcción de una base móvil para la cámara 360° de la empresa ElectroSoftware
SAS BIC capaz de parametrizar la altura y protegerla de lluvia y golpes

Esteban Majthenyi Correa

Albert Santiago Melo Madariaga

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Mecánico

Director

Octavio Andrés González Estrada

Doctor en ingeniería mecánica y de materiales

Universidad Industrial de Santander

Research Group on Energy and Environment – GIEMA

School of Mechanical Engineering

A001

Bucaramanga

2022

DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado a mi padre Antonio Majthenyi que ha sido siempre mi maestro y me enseñó la pasión por la mecánica, a mi mamá por su apoyo incondicional y a toda la familia y amigos que hicieron parte de mi formación como Ingeniero Mecánico.

Esteban Majthenyi Correa

DEDICATORIA

Quiero dedicar este proyecto a cada una de las personas que estuvieron presentes en el proceso de formación como Ingeniero Mecánico, a mi pareja Adriana Paola Flórez por ser mi apoyo incondicional, motivación y por siempre estar ahí para darme ánimos de seguir adelante, a mi padre Ricardo Melo Maldonado por ser mi ejemplo a seguir como persona, a mi madre Nidia Madariaga Chichilla por su amor, su paciencia y su entrega para que este logro fuese posible, a mis hermanos Kevin, Ricardo y Sergio por estar ahí cuando mas lo necesité, a las personas que hicieron parte de este proceso y hoy ya no están con nosotros, en especial a Juan Villamizar por enseñarme a afrontar las cosas con una sonrisa en el rostro y la mejor actitud.

Albert Santiago Melo

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Octavio Andrés González Estrada como director del proyecto por su orientación y asesoría que llevaron este proyecto a buen término.

Al ingeniero Rito, al ingeniero Víctor Curiel y a Electro Software por confiar en nosotros y darnos la oportunidad de hacer realidad este proyecto.

A todos los profesores que, con sus enseñanzas, hicieron parte de nuestra formación como ingenieros mecánicos.

Contenido

	Pág.
Introducción	14
1. Objetivos	19
1.1 Objetivo General	19
1.2 Objetivos Específicos.....	19
2. Metodología	20
2.1 Diseño Conceptual	21
2.2 Diseño, cálculo y Selección de Subsistemas.....	31
2.2.1 Carga Aerodinámica en la Cámara 360.	33
2.2.2 Análisis de Flexión y Compresión.....	34
2.2.3 Análisis por Pandeo	40
2.2.4 Recálculo de Pandeo en la Sección.....	42
2.2.5 Tornillo de Potencia y Motor.	45
2.2.6 Control Electrónico.....	48
2.2.7 Cálculo de poleas y correa	50
2.2.8 Selección de Rodamientos	51
2.2.9 Análisis de Esfuerzo y Deformación de las Estructuras en ANSYS	55
2.3 Planificación de los Procesos Empleados para la Fabricación del Prototipo.....	59

DESIGN AND BUILD OF A MOBILE BASE FOR THE 360°	6
2.3.1 Taladrado	59
2.3.2 Corte Láser.....	60
2.3.3 Corte Mediante Discos Abrasivos	61
2.3.4 Doblado.....	61
2.3.5 Soldado.	62
2.3.6 Pulido.	63
2.3.7 Pintado.	64
3. Resultados.....	64
3.1 Procesos de Manufactura en cada Subsistema.....	65
3.1.1 Procesos en el Subsistema de Elevación.....	65
3.1.2 Procesos en el Subsistema de Rotación	66
3.1.3 Proceso en el Subsistema de Cubierta	67
3.2 Costos.....	68
3.3 Fabricación.....	69
3.3.1 Construcción del Subsistema de Elevación.	69
3.4 Pruebas	74
3.4.1 Prueba de Panoramas con la Cámara.....	74
3.4.2 Pruebas de Impermeabilidad Contra la Lluvia.....	76
3.5 Impacto en la Empresa.....	76
3.5.1 Proceso de Montaje, Tiempo e Incidentes del Antiguo Mecanismo	76
4. Conclusiones	80
Referencias Bibliográficas	81
Apéndices.....	84

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. <i>Soporte Cámara 360° en la Actualidad</i>	15
Figura 2. <i>Accidente Cámara 360°</i>	16
Figura 3. <i>Última Versión de Google SVI</i>	17
Figura 4. <i>Soporte Actual Cámara 360° Electrosoftware</i>	18
Figura 5. <i>Primer Prototipo del Sistema de Elevación</i>	32
Figura 6. <i>Modelado en SolidWorks de la Cámara en Escala 1.1</i>	33
Figura 7. <i>Análisis Aerodinámico</i>	34
Figura 8. <i>Relación de Velocidad con Respecto a la Distancia de Frenado</i>	35
Figura 9. <i>DCL de la Cámara más la Base</i>	37
Figura 10. <i>Diagramas de Momento y Cortante</i>	38
Figura 11. <i>Estado de Esfuerzo Crítico</i>	38
Figura 12. <i>Diagrama de Pandeo</i>	41
Figura 13. <i>Espaciado de Varillas</i>	43
Figura 14. <i>Ángulo entre Dientes del Tornillo de Potencia</i>	45
Figura 15. <i>Motor Paso a Paso</i>	48
Figura 16. <i>Modulo Motor Paso a Paso TB6600</i>	48
Figura 17. <i>Arduino Uno</i>	49

Figura 18. <i>Diagrama Electrónico y Algoritmo de Funcionamiento</i>	50
Figura 19. <i>Polea Dentada</i>	50
Figura 20. <i>Cálculo Fuerza de Rozamiento</i>	52
Figura 21. <i>Hoja de Datos Rodamiento SKF608</i>	53
Figura 22. <i>Factores de Carga Radial</i>	54
Figura 23. <i>Análisis de Esfuerzos sobre la Placa Base en ANSYS</i>	56
Figura 24. <i>Análisis de Deformación sobre la Placa Base en ANSYS</i>	56
Figura 25. <i>Análisis de Esfuerzos sobre la Base Móvil en ANSYS</i>	57
Figura 26. <i>Análisis de Deformación sobre la Base Móvil en ANSYS</i>	57
Figura 27. <i>Incorporación del Seguro Estándar en el Diseño</i>	59
Figura 28. <i>Proceso de Taladrado</i>	60
Figura 29. <i>Proceso de Corte Láser</i>	60
Figura 30. <i>Corte Mediante Discos Abrasivos</i>	61
Figura 31. <i>Proceso de Doblado</i>	62
Figura 32. <i>Proceso de Soldado</i>	63
Figura 33. <i>Proceso de Pulido</i>	63
Figura 34. <i>Proceso de Pintado</i>	64
Figura 35. <i>Subsistema de Elevación</i>	65
Figura 36. <i>Subsistema de Rotación</i>	66
Figura 37. <i>Subsistema de Cubierta</i>	67
Figura 38. <i>Planos para Corte Láser</i>	69
Figura 39. <i>Ensamble de la Estructura de Elevación</i>	70
Figura 40. <i>Subsistema de Rotación Implementando Prensa de Liberación Rápida</i>	71

Figura 41. <i>Instalación de la Bisagra</i>	71
Figura 42. <i>Unión de la Estructura de la Cubierta</i>	72
Figura 43. <i>Proceso de Pulido y Pintado</i>	73
Figura 44. <i>Prototipo Final</i>	73
Figura 45. <i>Cámara con Altura de 49cm para Pruebas</i>	74
Figura 46. <i>Prueba de Panoramas a diferentes Alturas</i>	75
Figura 47. <i>Prueba de Impermeabilidad contra el Agua</i>	76
Figura 48. <i>Sujeción Convencional de los Cables</i>	77
Figura 49. <i>Accidente en el Inventario Alullanos</i>	78
Figura 50. <i>Fallo de la Imagen en el Producto</i>	79

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Matriz QFD</i>	22
Tabla 2. <i>Escala de Evaluación Matriz QFD</i>	23
Tabla 3. <i>Relevancia en los Requerimientos</i>	23
Tabla 4. <i>Subsistemas de Elevación</i>	25
Tabla 5. <i>Selección de Subsistemas de Elevación</i>	26
Tabla 6. <i>Subsistemas de Rotación</i>	28
Tabla 7. <i>Selección del Subsistema de Rotación</i>	29
Tabla 8. <i>Subsistema de Cubierta</i>	30
Tabla 9. <i>Selección del Subsistema de Cubierta</i>	31
Tabla 10. <i>Cálculo del Eje Neutro</i>	43
Tabla 11. <i>Cálculo de Inercia de la Sección Compuesta</i>	44
Tabla 12. <i>Factores de Fricción entre el Tornillo de Potencia y la Tuerca para Diferentes Materiales</i>	46
Tabla 13. <i>Fuerza Axial de los Rodamientos</i>	51
Tabla 14. <i>Codificación de Procesos</i>	65
Tabla 15. <i>Procesos para el Subsistema de Elevación</i>	66
Tabla 16. <i>Procesos para el Subsistema de Rotación</i>	67

Tabla 17. *Procesos para el Subsistema de Cubierta*. 67

Tabla 18. *Costos de Fabricación*. 68

Resumen

Título: Diseño y construcción de una base móvil para la cámara 360° de la empresa ElectroSoftware SAS BIC capaz de parametrizar la altura y protegerla de lluvia y golpes*

Autores: Esteban Majthenyi Correa, Albert Santiago Melo Madariaga**

Palabras Clave: Cámara 360°, Construcción, Diseño, Elevación, Protección, Street View

Descripción

La finalidad de este proyecto es brindar una solución a las necesidades de la empresa ElectroSoftware SAS Bic que surgen debido a la alta exposición a accidentes de la cámara 360, a causa del difícil acceso de las vías, en especial las rurales donde desarrolla su actividad económica. El mecanismo busca reducir los tiempos de montaje y desmontaje que actualmente tiene el operario al momento de necesitar pasar un obstáculo, así como también reducir la probabilidad de golpes o daños relacionados con la penetración de lluvias al equipo. La base móvil también busca brindarle un valor agregado a la captura de recorridos 360, brindándole la capacidad de parametrizar la altura a su necesidad con el fin de brindar el mejor ángulo y perfil en las fotos.

* Trabajo de Grado

** Research Group on Energy and Environment – GIEMA. School of Mechanical Engineering. Director: Octavio Andrés González Estrada, Doctor en ingeniería mecánica y de materiales

Abstract

Title: Design and construction of a mobile base for the 360° camera of the company ElectroSoftware SAS BIC capable of parameterizing the height and protecting it from rain and shocks^{*}

Authors: Esteban Majthenyi Correa, Albert Santiago Melo Madariaga^{**}

Keywords: Build, 360° Camera, Design, Lift, Protection, Street View.

Description

The purpose of this project is to provide a solution to the needs of ElectroSoftware SAS Bic company due to the high exposure to accidents in the 360° camera, cause by the difficult access of the roads, especially the rural ones where it develops its economic activity.

The mechanism seeks to reduce the assembly and disassembly times that the operator currently has when he needs go through an obstacle, as well as reduce the probability of bumps or damage related to the penetration of rain into the equipment. The mobile base also seeks to provide added value to the capture of 360 tours, giving you the ability to parameterize the height to your needs in order to provide the best angle and profile in the photos.

* Degree work

** Research Group on Energy and Environment – GIEMA. School of Mechanical Engineering. Director: Octavio Andrés González Estrada, Doctor en ingeniería mecánica y de materiales

Introducción

En la industria de la tecnología e innovación cada detalle, por más simple que parezca, toma un espacio muy importante en el valor agregado que cada empresa ofrece a sus clientes con respecto a su competencia. Estas empresas tienen el reto de la mejora continua como pilar fundamental, ya sea para satisfacer al cliente o para procesar la mayor cantidad de datos en el menor tiempo posible. Cada día en Colombia surgen nuevas empresas en el ámbito de desarrollo de software, pero no todas las empresas logran mantenerse en ambientes altamente competitivos. Una de las organizaciones más destacadas en el departamento de Santander es ElectroSoftware, caracterizada por su innovación y constante desarrollo tecnológico, siendo líder en el mercado del desarrollo de productos de software desde hace 30 años. Su producto principal EnerGis es una herramienta que permite inventariar todo tipo de redes eléctricas ya sea de alta, media o baja tensión.

En la actualidad Electrosoftware cuenta con más de 15 productos en su catálogo, entre ellos está el software Worker, una herramienta que permite una visualización de 360° a sus usuarios simulando estar en cualquier lugar desde un computador. Además, cuenta con un complejo algoritmo basado en redes neuronales que permite la identificación píxel a píxel de diferentes elementos mediante inteligencia artificial. Esta herramienta está soportada en una plataforma donde se cargan los diferentes recorridos de imágenes a 360° tomadas por una cámara especializada que va instalada en la parte superior de una camioneta. La cámara es soportada por una base fija que la mantiene todo el tiempo de forma vertical, ver Figura 1.

Figura 1. *SopORTE Cámara 360° en la Actualidad*



Nota: Tomado de Electrosoftware

Sin embargo, el hecho de tener una base fija genera una desventaja al momento de afrontar terrenos de difícil acceso o urbanizaciones con arborización, ya que la cámara está expuesta a golpes, rayones e incluso la misma lluvia. Es por esto por lo que el operario debe desmontar el sistema completo de la cámara cada vez que esta corra peligro de sufrir algún daño como se observa en la Figura 2.

Es allí donde surge la idea de un proyecto de grado para diseñar y construir una base para dicha cámara que permita dar al operario una mayor maniobrabilidad en campo, proteger de posibles golpes, rayones y lluvia. Además, se busca que la base permita parametrizar la altura con el fin de buscar siempre el ángulo óptimo de cada foto.

Figura 2. *Accidente Cámara 360°*

Nota: Tomado de Electrosoftware

El principal ponente de la tecnología del Street View Image (SVI) es Google, puesto que es la plataforma con mayor alcance y desarrollo a nivel mundial en este campo [Olanoff, D. (2013). *Inside Google Street View: From Larry Page's Car To The Depths Of The Grand Canyon*. Obtenido de Techcrunch: <https://techcrunch.com/2013/03/08/inside-google-street-view-from-larry-pages-car-to-the-depths-of-the-grand-canyon/>], sin embargo, sus diseños han variado año tras año desde su lanzamiento en el 2006. Esto implica una gran incertidumbre con respecto a los mecanismos que usan para sujetar la cámara, aun así, todos sus prototipos hasta el último lanzado en el 2017 constan de una base 100% estática. Lo cual convertirá a ElectroSoftware en la primera empresa en desarrollar este tipo de mecanismos, es importante recalcar que, a diferencia de Google, ElectroSoftware busca abarcar con mayor profundidad las zonas de operación ya que una de sus principales actividades económicas es el desarrollo de inventarios. Es por ello por lo que las cámaras 360 de la empresa se ven muy expuestas a sufrir accidentes o imprevistos derivados de la dificultad en el acceso vehicular de sus inventarios de infraestructura eléctrica.

La última versión de Street View Camera cuenta con solo siete cámaras (en lugar de 15) equipadas con sensores de 20 megapíxeles (en lugar de 5). La plataforma también alberga un par de cámaras "HD" que miran directamente a izquierda y derecha. Estas cámaras están dedicados a

leer letreros de calles, nombres comerciales e incluso horarios de tienda publicados para nutrir la base de datos de Google Maps, como se muestra en Figura 3. La cámara también se utiliza en la última versión más ligera del Google Trekker Pack, las adiciones más interesantes son los dos discos LIDAR que cuelgan justo debajo de la bola de la cámara. Estos son los sensores Velodyne VLP-16 "Puck", que permiten al automóvil ver en 360 grados. Estos sensores Lidar cuestan alrededor de \$ 8000 dólares (\$30'750.960 COP). [Olanoff, D. (2013). *Inside Google Street View: From Larry Page's Car To The Depths Of The Grand Canyon*. Obtenido de Techcrunch: <https://techcrunch.com/2013/03/08/inside-google-street-view-from-larry-pages-car-to-the-depths-of-the-grand-canyon/>]

Figura 3. Última Versión de Google SVI.

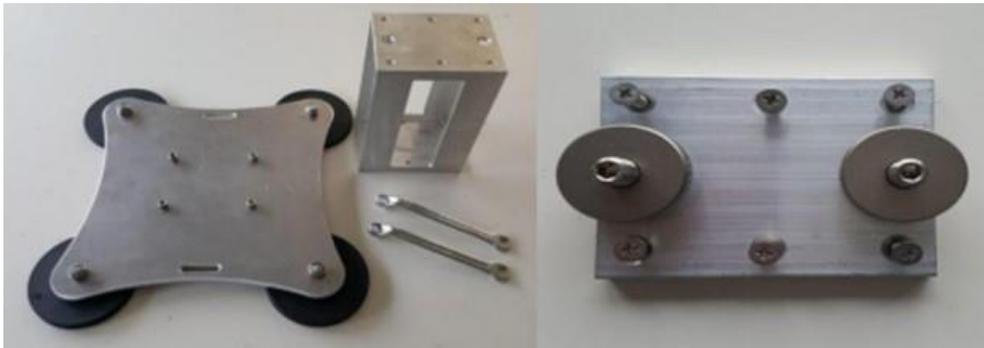


Nota: Tomado de Google Street View

En la adquisición de la cámara 360 de Electrosoftware, el fabricante sugiere una base que consta de una sujeción por medio de una conexión magnética y a su vez es complementada por una sujeción roscada, como se observa en la Figura 5. Esta tiene como característica ser una base

rígida y estática, lo que conlleva a una difícil manipulación por parte del operario, lo cual deriva en una constante exposición a riesgos. Es por ello que surge una necesidad inminente para el diseño y adecuación de una base mucho más versátil, que permita superar con mayor facilidad obstáculos para evitar daños imprevistos en la cámara. [Olanoff, D. (2013). *Inside Google Street View: From Larry Page's Car To The Depths Of The Grand Canyon*. Obtenido de Techcrunch: <https://techcrunch.com/2013/03/08/inside-google-street-view-from-larry-pages-car-to-the-depths-of-the-grand-canyon/>].

Figura 4. Soporte Actual Cámara 360° Electrosoftware.



1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Diseñar y construir un sistema que permita ajustar la altura y proporcione protección contra golpes y lluvia de una cámara fotográfica de 360° montada sobre un automóvil para la creación de recorridos tipo “street view” de la empresa Electrosoftware.

1.2 Objetivos Específicos

Diseñar un mecanismo que permita llevar la cámara desde una posición horizontal a vertical, y ajustar su altura una vez esté en la posición vertical, operado desde el interior del automóvil, con el fin de evadir obstáculos a diferentes alturas.

Diseñar un bastidor para la cámara que sea ligero y fácil de desmontar para ofrecer protección contra los golpes y lluvia cuando la cámara se encuentra en posición horizontal.

Construir un prototipo funcional del sistema incorporando el mecanismo y el bastidor para ser usado por las camionetas de la empresa Electrosoftware.

2. Metodología

Se presentan los requerimientos y limitaciones presentados por el cliente:

- Se requiere que la máquina sea capaz de elevar la cámara que tiene una masa de 2,011 Kg como mínimo 50 cm hasta 100 cm, medidos desde el techo del automóvil, esta altura debe ser modificable y fácilmente medible.
- El diseño debe ser estable, pues irá montado en el techo de un automóvil y este circulará a una velocidad máxima de 60 Km/h. Asimismo, grandes vibraciones pueden afectar la calidad de las fotos que toma la cámara.
- La máquina debe ser capaz de llevar la cámara de una posición horizontal a vertical y viceversa.
- El bastidor debe ser capaz de recibir impactos leves de ramas de árboles y objetos con los que pueda encontrarse en las calles y carreteras, además, proteger la cámara del agua en caso de llovizna.
- El peso de la máquina no debe superar los 25 Kg incluyendo el peso de la cámara, pues los operarios deben ser capaces de montarla en el techo del carro fácilmente.
- De preferencia, debe diseñarse con piezas estandarizadas y de fácil acceso, pues es común que el trabajo que se vaya a realizar con esta máquina sea en zonas remotas donde es complejo realizar procesos de mecanizado en caso de ser necesario realizar reparaciones.

2.1 Diseño Conceptual

La máquina debe contar con tres subsistemas encargados de tres funciones con las que debe cumplir. El primero es el subsistema de elevación. Este se encarga de modificar la altura de la cámara cuando esta se encuentra operando en posición vertical. El segundo subsistema es el de rotación, el cual debe llevar la cámara de una posición horizontal a una vertical y viceversa. Finalmente, el subsistema de cubierta tiene la función de proteger la cámara de golpes y lluvia cuando esta se encuentra en posición horizontal.

Para seleccionar los subsistemas que van a componer el diseño, primero se desarrollará una tabla QFD que permita identificar los criterios más relevantes para evaluar las diferentes opciones disponibles. Inicialmente tomaremos factores relevantes para el cliente organizados del más importante al menos importante:

- Productividad.
- Costo de la máquina.
- Durabilidad.
- Resistencia.
- Confiabilidad.
- Fácil operación.
- Seguridad.
- Fácil mantenimiento.
- Fácil transporte.
- Tamaño.
- Peso.

Posteriormente se toman los criterios de ingeniería que permitirán seleccionar el mejor sistema según las necesidades:

- Prioridad.
- Presupuesto.
- Rendimiento.
- Mantenibilidad.
- Piezas estandarizadas.
- Manufactura.
- Seguridad.
- Calidad.
- Montaje.
- Tiempo de construcción.

Tabla 1. *Matriz QFD.*

QFD	Prioridad	Presupuesto	Rendimiento	Mantenibilidad	Piezas estandarizadas	Manufacturabilidad	Seguridad	Calidad	Montaje	Tiempo de construcción	Ergonomía
Productividad	13 3	39 9	117 9	117 9	9 117	0 0	9 117	9 117	9 117	3 39	3 39
Costo de la máquina	12 9	108 3	36 3	36 9	108 9	108 3	36 3	36 3	36 9	108 3	36 36
Durabilidad	11 9	99 9	99 3	33 3	33 0	0 3	33 3	33 1	11 1	11 3	33 33
Resistencia	10 1	10 9	90 1	10 0	0 0	0 9	90 3	30 1	10 0	0 1	10 10
Confiabilidad	9 3	27 3	27 9	81 3	27 0	0 9	81 9	81 3	27 1	9 3	27 27
Fácil operación	8 3	24 1	8 0	0 0	0 0	0 3	24 3	24 0	0 0	0 9	72 72

QFD	Prioridad	Presupuesto	Rendimiento	Mantenibilidad	Piezas estandarizadas	Manufacturabilidad	Seguridad	Calidad	Montaje	Tiempo de construcción	Ergonomía
seguridad	7 3	21 3	21 0	0 0	0 0	0 0	9 63	9 63	3 21	1 7	1 7
Fácil mantenimiento	6 1	6 3	18 9	54 9	54 9	54 3	18 3	18 1	6 3	18 3	18
Fácil transporte	5 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 3	15 3	15 9 45
Tamaño	4 3	12 0	0 0	0 0	0 0	0 1	4 1	4 3	12 3	12 3	12
Peso	3 9	27 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 1	3 3	9 3	9 3	9
Total		373	416	331	339	162	466	409	264	228	308

Tabla 2. Escala de Evaluación Matriz QFD.

Escala de evaluación	
Sin relación	0
Poco relacionada	1
Relacionada	3
Muy relacionada	9

De la función calidad, se concluye que los criterios para la selección de subsistemas son los mostrados en la Tabla 3.

Tabla 3. Relevancia en los Requerimientos.

Criterio	Valor	Porcentaje
Seguridad	466	23,265
Rendimiento	416	20,768
Calidad	409	20,419

criterio	Valor	Porcentaje
Presupuesto	373	18,622
Piezas estandarizadas	339	16,924

Subsistema de elevación

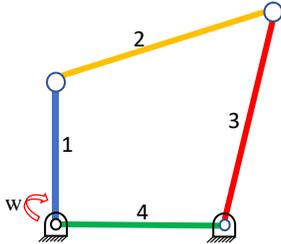
Este subsistema es el encargado de parametrizar la altura, desde una posición inicial hasta una final. Se debe poder detener en cualquier instante del recorrido para, de esta manera, poder dejar en manos del operario la mejor ubicación para la toma de fotos. A medida que la cámara empiece a ganar altura será más evidente la fluctuación por vibración, lo que conlleva a seleccionar un mecanismo que garantice que la cámara sea estable una vez esté en su altura máxima.

Para la elevación de la cámara se resaltan 4 mecanismos capaces de brindar seguridad y parametrizar la altura en diferentes posiciones, los cuales son:

- Tijera con tornillo de potencia: es un mecanismo empleado para levantamiento de cargas pesadas, generalmente se utilizan para reemplazar los gatos hidráulicos en el levantamiento de vehículos.
- Mecanismo de cuatro barras: consiste en 3 barras móviles articuladas entre sí y una cuarta barra fija que se define como la distancia entre los dos puntos de apoyo, este mecanismo permite la rotación y elevación al mismo tiempo.
- Actuador lineal con tornillo de potencia: este mecanismo consiste en un tornillo de potencia y un reductor de velocidad, lo que hace que la relación de torques entre sí sea grande, esto implica que el motor que lo acciona sea pequeño con respecto a la carga que va a elevar.
- Cilindro neumático: un elemento de acción lineal que permite mediante compresión de aire mover un pistón que se desliza dentro de la camisa de un cilindro, este dispositivo logra mover grandes cargas.

En la Tabla 4 Se evidencia una ilustración de cada uno de los mecanismos mencionados anteriormente con el fin de dilucidar cada uno de los conceptos.

Tabla 4. *Subsistemas de Elevación*

Tijera con tornillos de potencia	Mecanismo de cuatro barras
	
<p>Tomado de Rodavido.net. (2022). https://rodavido.net/es/p/gato-de-tijera-15t-ref-jbm-53218/59853218. https://rodavido.net/es/p/gato-de-tijera-15t-ref-jbm-53218/59853218</p>	
Actuador lineal con tornillo de potencia	Cilindro neumático
	
<p>Tomado de Luis Llamas (27 Diciembre, 2016). Ejercer Grandes Fuerzas Con Actuador Lineal Y Arduino. https://www.luisllamas.es/arduino-actuador-lineal/</p>	<p>Tomado de Industriales Andes. (2022).AIRTAC Cilindro Neumático SC 63-200. https://industrialesandes.co/neumatica/120-airtac-cilindro-neumatico-sc-63-200.html</p>

Para la selección del mecanismo que se va a utilizar en el diseño del elevador se evaluaron las alternativas disponibles en base a los criterios de la Tabla 3. Relevancia en los Requerimientos., con el fin de identificar cual es el mecanismo que se ajusta mejor a cada una de las necesidades del cliente y a los criterios de diseño. Se tomó un rango de evaluación de 1 a 5 donde 1 es sin importancia y 5 muy importante, este se multiplica por el peso ponderado de cada requerimiento, como se observa en la Tabla 5. Selección de Subsistemas de Elevación

Tabla 5. Selección de Subsistemas de Elevación

Requerimiento	%	Mecanismo de elevación							
		Tijera con tornillos de potencia		Mecanismo de cuatro barras		Actuador lineal con tornillo de potencia		Cilindro neumático	
Seguridad	23,265	4	0,9306	5	1,1633	5	1,1633	4	0,9306
Rendimiento	20,769	3	0,6231	1	0,2077	4	0,8308	4	0,8308
Calidad	20,419	1	0,2042	3	0,6126	4	0,8168	4	0,8168
Presupuesto	18,622	2	0,3724	3	0,5587	4	0,7449	1	0,1862
Piezas estandarizadas	16,925	1	0,1692	1	0,1692	4	0,6770	5	0,8462
Total			2,2996		2,7114		4,2327		3,6106

Se selecciona el actuador lineal con tornillos de potencia, pues es el mecanismo que mejor se ajusta a los criterios de evaluación.

Subsistema de rotación

Para realizar la labor de rotar la cámara desde una posición horizontal a una posición vertical y viceversa, se contemplan 4 posibles mecanismos.

- **Manivela biela corredera:** este mecanismo consiste en una corredera que se desliza por acción de un tornillo de potencia y que a través de una barra (biela) hace rotar la cámara sobre un pivote. Este mecanismo es simple de diseñar y se conserva en una posición sin gastos adicionales de energía.

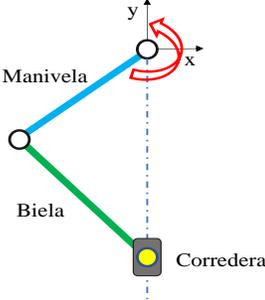
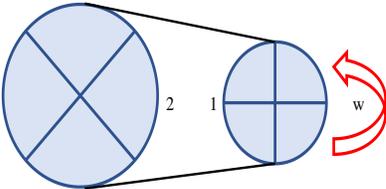
- **Tornillo sin fin corona:** Al fijar la corona al eje sobre el que pivota la cámara se pueden lograr rotaciones precisas de la misma. Este mecanismo brinda una gran rigidez al soportar la cámara y se mantiene en posición sin gastos adicionales de energía, pero es complejo, costoso de diseñar y construir por el maquinado de las piezas y la necesidad de lubricación.

- **Poleas y correas:** un sistema de poleas para la rotación de la cámara es de simple diseño y construcción, en contraposición, tiene poca rigidez y es necesario añadir un sistema de bloqueo para que permanezca en una posición sin gastos adicionales de energía.

- **Engranajes:** este sistema es costoso de construir y tiene una alta rigidez, sin embargo, es necesario añadir un sistema de bloqueo para que permanezca quieto en una posición sin gastos adicionales de energía.

En la Tabla 6 Se evidencia una ilustración de cada uno de los mecanismos mencionados anteriormente con el fin de dilucidar cada uno de los conceptos.

Tabla 6. *Subsistemas de Rotación*

Manivela biela corredera	Tornillo sin fin corona
	
<p>Tomado de Blogseym. (17 Noviembre, 2016). Tornillo sin fin. https://blogseym.wordpress.com/2016/11/17/tornillo-sin-fin/</p>	
Poleas y correa	Bisagra manual
	

Se utilizan los requerimientos más relevantes de la matriz con el fin de identificar cual es el mecanismo que se ajusta mejor a cada una de las necesidades del cliente y a los requerimientos de los ingenieros de diseño. Se tomó un rango de evaluación de 1 a 5 donde 1 es sin importancia y 5 muy importante, posteriormente, se multiplica por el porcentaje en importancia de cada requerimiento, como se observa en la Tabla . Se determina que el mecanismo con la mejor

puntuación es el de bisagra manual. **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.¡Error!**
No se encuentra el origen de la referencia.

Tabla 7. Selección del Subsistema de Rotación

Requerimiento	%	Mecanismo de rotación							
		Manivela, biela, corredera	Tornillo sin fin corona	Poleas y correa	Bisagra manual				
Seguridad	23,265	3	0,6980	4	0,9306	3	0,6980	5	1,1633
Rendimiento	20,769	4	0,8308	4	0,8308	4	0,8308	3	0,6231
Calidad	20,419	3	0,6126	4	0,8168	3		4	0,8168
Presupuesto	18,622	2	0,3724	1	0,1862	1	0,1862	5	0,9311
Piezas estandarizadas	16,925	3	0,5077	2	0,3385	4	0,6770	4	0,6770
Total			3,0215		3,1028		2,3919		4,2112

Se puede determinar que el mecanismo con la mejor puntuación es el de bisagra manual.

Subsistema de cubierta

La cámara necesita un sistema que la cubra y proteja de la lluvia y los golpes, para ello, los sistemas propuestos fueron:

- Compuertas: este sistema consiste en dos compuertas rígidas que se abren y cierran al deslizar sobre unas correderas guías. Este sistema es efectivo contra los golpes, aunque no tanto contra el agua pues lograr un sellado de todas las uniones y partes móviles es complicado y resulta costoso de construir, pues son necesarias operaciones de doblado, corte de precisión y soldadura.

- Lona: el sistema de lona es similar al encontrado en autos convertibles para recoger el techo y consiste en un sistema de barras que soportan una lona de material impermeable. Estas barras rotan sobre un eje lo que les permite extender o recoger la lona y así cubrir o descubrir la cámara. Este sistema es bueno para proteger de la lluvia, pero no es tan efectivo contra golpes.

- Cilindro: este sistema consiste en un cilindro rígido, el cual resguarda la cámara en su interior, el cual lleva una tapa que se abre automáticamente al elevar la cámara. Este sistema brinda buena protección contra los golpes y el agua, sin embargo, su ensamblaje es complejo, así como su mantenimiento, lo cual puede generar problemas en campo.

Tabla 8. *Subsistema de Cubierta.*

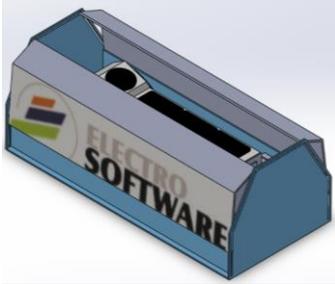
Compuertas	Lona	Cilindro
	 <p data-bbox="586 1297 1062 1570">Tomado de Memo Lira. (Noviembre 13, 2018).Ventajas y desventajas de comprar un descapotable. https://memolira.com/noticias/ventajas-y-desventajas-de-comprar-un-descapotable/</p>	

Tabla 9. Selección del Subsistema de Cubierta.

Requerimiento	%	Mecanismo de cubierta					
		Compuertas		Lona		Cilindro	
Seguridad	23,265	4	0,9306	3	0,6980	4	0,9306
Rendimiento	20,769	3	0,6231	3	0,6231	3	0,6231
Calidad	20,419	2	0,4084	4	0,8168	2	0,4084
Presupuesto	18,622	2	0,3724	5	0,9311	1	0,1862
Piezas estandarizadas	16,925	1	0,1692	1	0,1692	1	0,1692
Total			2,5037		3,2381		2,3175

Basado en los criterios que se seleccionaron, el sistema de cubierta más indicado es la lona como se observa en el ponderado de la Tabla 9. **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

2.2 Diseño, cálculo y Selección de Subsistemas

Es necesario iniciar el diseño de los subsistemas estableciendo un orden cronológico para el desarrollo de cada uno, sabiendo que la creación de un subsistema agrega variables a los demás subsistemas como lo son peso, dimensiones, etc. Es por ello por lo que se establece un orden para la estructuración en la ejecución del prototipo, iniciando con el subsistema de elevación, seguido del de rotación y por último el de cubierta.

Subsistema de elevación

Para este subsistema se seleccionó un actuador lineal que se desliza gracias a un tornillo de potencia. Inicialmente, se realizó el cálculo para que un único tornillo soportara la carga total de la cámara, pero debido a que este dispositivo debía ir sobre el techo de un automóvil y estaría

expuesto a vibraciones y sobresaltos, se consideró usar dos tornillos ubicados a los lados de la cámara para brindar rigidez al montaje.

Se realizó una prueba con componentes de bajo costo y se observó que, debido a la tolerancia entre la rosca y el eje, la base de la cámara se movía más de lo que era admisible. Esto se solucionó agregando un tercer tornillo en la cara frontal de la base que sostiene la cámara.

Figura 5. *Primer Prototipo del Sistema de Elevación.*



Los tres tornillos de potencia son alimentados por un motor paso a paso, que tiene la capacidad de moverse de manera controlada la cantidad de revoluciones o fracciones de revolución necesarias para que el avance de los hilos del tornillo lleve a la cámara a cualquier altura deseada. El motor y los demás componentes electrónicos son calculados más adelante.

Para calcular los tornillos que van a servir como pilar fundamental de este mecanismo, se debe garantizar que no falle por ninguno de los esfuerzos producidos en el eventual desarrollo de su actividad cotidiana. Se definen dos tipos de cargas que son las más significativas, la carga aerodinámica que se representa como una carga distribuida la cual genera flexión y carga axial de compresión producto del peso de la cámara y sus componentes.

2.2.1 Carga Aerodinámica en la Cámara 360.

Se desarrolla un modelado en el programa SolidWorks con las medidas originales previamente tomadas directamente de la cámara de la empresa como se observa en el Anexo 1, donde se adjuntan algunas de las imágenes contempladas para este modelo, ver Figura 7. La empresa estipula que la velocidad máxima del vehículo en operación no puede exceder una velocidad de 60 Km/h para una toma óptima de las fotos, es por ello por lo que en el diseño aerodinámico se estableció esta velocidad crítica como parámetro de velocidad del aire.

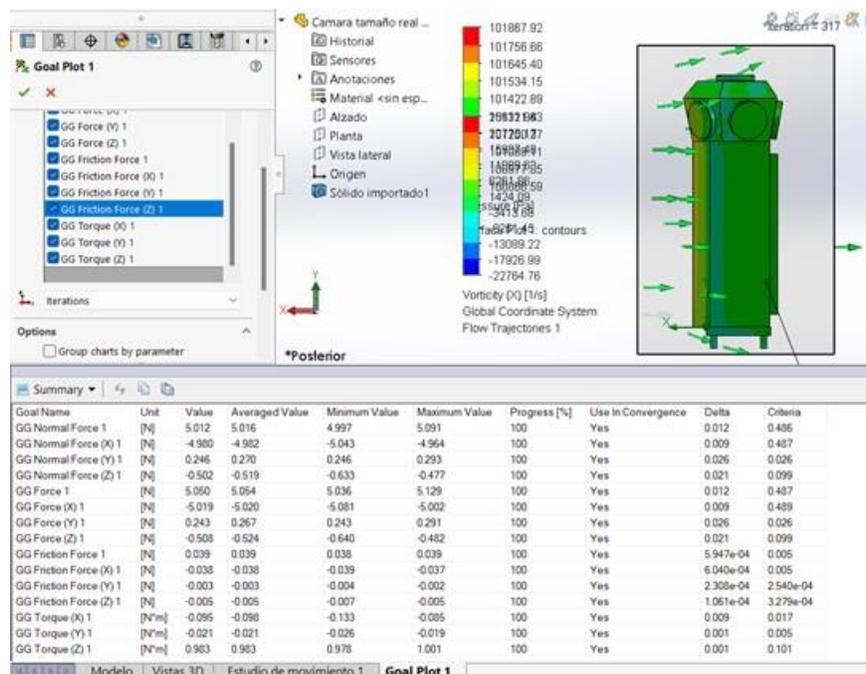
Figura 6. Modelado en SolidWorks de la Cámara en Escala 1.1.



Para el diseño aerodinámico se establecieron también las condiciones de temperatura y humedad que se iban a llevar a cabo en el campo de operación, en este caso se estableció la temperatura y humedad de la ciudad de Cali (28°C y 80%), donde actualmente la empresa desarrolla un proyecto de inventario.

Esto con el fin de poder establecer la condición más crítica que podría llegar a sufrir el prototipo, en la Figura 7 se puede observar en la parte inferior la tabla con los respectivos valores de fuerzas y torque que llega a sufrir la cámara, en estas condiciones se establece que la fuerza máxima es de 5 N

Figura 7. Análisis Aerodinámico



2.2.2 Análisis de Flexión y Compresión

En esta parte es esencial establecer las condiciones de altura máxima que tomará la cámara en operación incluyendo las medidas estandarizadas que ofrece el mercado, para esto se elige una barra roscada de 60 cm de altura. También se establece la altura de la cámara con una dimensión de 40.67 cm sin incluir la base y la estimación de altura incluyendo el montaje hasta el extremo superior de la cámara con un total de 121.52 cm.

Mediante el software SolidWorks se establecieron también los parámetros de centroide, e inercia de la cámara para tenerlo en cuenta en el diseño, ya que la condición más crítica que podría llegar a tomar la cámara es en el supuesto de una frenada de emergencia donde la velocidad inicial fuese de 60 Km/h. Según un estudio realizado en el 2012 por la Fundación el Viento Blanco con el fin de generar conciencia al momento de conducir, establecen una relación entre la velocidad de frenado de un vehículo a diferentes velocidades como se muestra en la Figura 8.

Figura 8. *Relación de Velocidad con Respecto a la Distancia de Frenado*

Velocidad	Distancia recorrida durante la reacción (metros)	Distancia recorrida durante el frenado (metros)	Distancia total del frenado (metros)
20 km/h	6	2	8
30 km/h	9	4	13
40 km/h	11	8	19
50 km/h	14	12	26
60 km/h	17	18	35
70 km/h	19	24	43
80 km/h	22	31	53
90 km/h	25	40	65
110 km/h	31	59	90

Nota: Fundación EL Viento Blanco. (2012). *Disminuir la velocidad salva vidas, y no solo la tuya*".

<http://elvientoblanco.blogspot.com/2012/03/distancias-de-frenado.html>

Es aquí donde se establece la distancia recorrida durante la acción del frenado a 60 Km/h que sería de 18 m lo que conllevaría a generar una aceleración que se calcula con la ecuación (1).

$$a = \frac{vf^2 - vo^2}{2 * \Delta X} \quad (1)$$

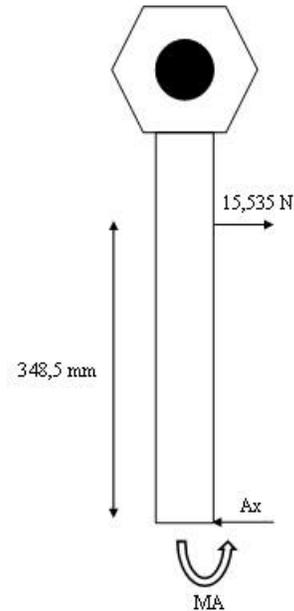
Donde a es la aceleración, vf la velocidad final, vo velocidad inicial y ΔX el delta de distancia en el frenado, donde se reemplazarán los valores ya mencionados como se muestra en la ecuación (2).

$$a = \frac{(0^2 - 16.666^2) \frac{m^2}{s^2}}{2 * 18 m} = -7.71605 \frac{m}{s^2} \quad (2)$$

Utilizando una báscula se pudo establecer el peso de la cámara incluyendo su cableado, ver Apéndice A, dónde se usa el promedio de los 3 pesos, esto con el fin de establecer la fuerza producida por la primera ley de Newton como se observa en la ecuación (3). Donde F_i es la fuerza interna producida y m_{camara} es la masa de la cámara.

$$F_i = m_{camara} * a = 2,013[kg] * 7,71605 \left[\frac{m}{s^2} \right] = 15,535[N] \quad (3)$$

Con este valor de fuerza se ubica en el centroide de la figura y se calculan las reacciones para evaluarlo posteriormente como viga, de aquí se obtienen el diagrama de cuerpo libre (DCL) como se observa en la Figura 9. Por acción y reacción estas fuerzas son las que actual con la misma magnitud, pero en sentido contrario en el extremo de la barra roscada, las cuales son determinadas en la ecuación (4)

Figura 9. DCL de la Cámara más la Base.

$$\sum F_x = 0 \quad (4)$$

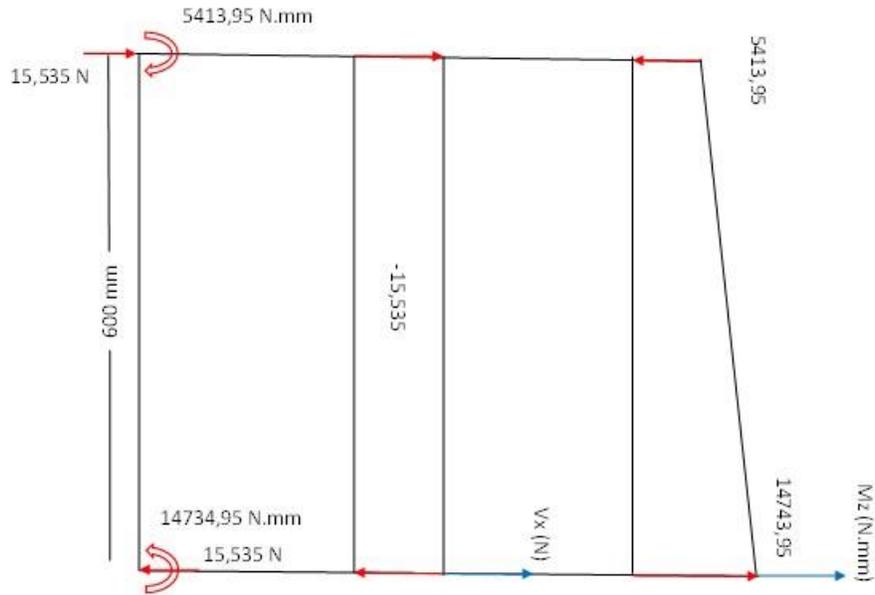
$$A_x = 15,535N \quad (5)$$

$$\sum MA = 0 \quad (6)$$

$$M_A = 15,535[N] * 348[mm] = 5413.5 N \cdot mm \quad (7)$$

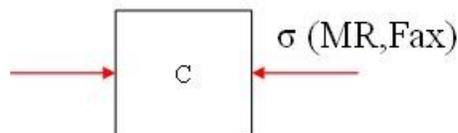
Se realizó el diagrama de momento flector y fuerza cortante con el fin de evaluar la barra roscada como una viga sometida a flexión pura como se observa en la Figura 10.

Figura 10. Diagramas de Momento y Cortante.



Con el diagrama y la fuerza de compresión obtenida del diagrama de cuerpo libre, se calculan los esfuerzos combinados de carga axial a compresión y momento flector en la fibra de compresión, como se observa en la Figura 11

Figura 11. Estado de Esfuerzo Crítico



Por último, se asume un factor de seguridad de 5 como base de cálculo para iniciar el cálculo, en el supuesto que con este factor elevado no fallará por carga combinada el mecanismo, por otro lado, el acero plata tiene un esfuerzo de fluencia de 580 Mpa. Con estos datos se calcula el diámetro mínimo como se muestra en la ecuación (9).

$$\frac{580 \text{ Mpa}}{5} = \frac{4 * 19.747 \text{ N}}{\pi * d^2} + \frac{32 * 14734.95 \text{ N.mm}}{\pi * d^3} \quad (8)$$

$$d = 10.903 \text{ mm} \quad (9)$$

Estandarizando el resultado siempre en búsqueda de la mayor seguridad para el mecanismo, incrementando el diámetro al diámetro comercial de la barra roscada de 12 mm por lo que se vuelve a calcular el factor de seguridad con este parámetro como se observa en la ecuación (11).

$$\frac{580 \text{ Mpa}}{Fs} = \frac{4 * 19.747 \text{ N}}{\pi * 12 \text{ mm}^2} + \frac{32 * 14734.95 \text{ N.mm}}{\pi * 12 \text{ mm}^3} \quad (10)$$

$$Fs = 6.664 \quad (11)$$

Por otro lado, se realiza el cálculo por flexión con el fin de garantizar disminuir el ruido generado en la toma de información de la cámara, partiendo del hecho que el soporte debe ser lo más rígido posible para que la precisión del GPS no se vea afectada.

$$\int M(x).E.I = \int -14734.95\langle X \rangle^0 + 15.535\langle X \rangle^1 \quad (12)$$

$$\int \theta(x).E.I = \int -14734.95\langle X \rangle^1 + \frac{15.535}{2}\langle X \rangle^2 + C1 \quad (13)$$

$$X = 0; \theta_B = 0; C_1 = 0 \quad (14)$$

$$Y(x).E.I = -\frac{14734.95}{2}\langle X \rangle^2 + \frac{15.535}{6}\langle X \rangle^3 + C_2 \quad (15)$$

$$X = 0; Y_B = 0; C_2 = 0 \quad (16)$$

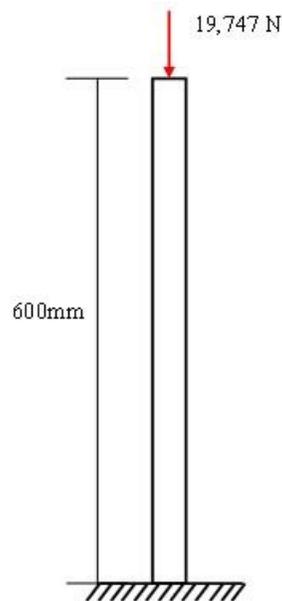
$$Y(x).E.I = -\frac{14734.95}{2}\langle X \rangle^2 + \frac{15.535}{6}\langle X \rangle^3 \quad (17)$$

Sabiendo que la deflexión máxima se da en el extremo cuando la cámara está extendida en 600mm, se puede determinar la deflexión que sufrirá con la ecuación (17) y como resultado en la ecuación (18).

$$X = 600mm; Y_A = 9.9819mm; \theta_A = 0.9531^\circ \quad (18)$$

2.2.3 Análisis por Pandeo

Sabiendo que la longitud máxima de operación es de 600mm, se procede a calcular la posibilidad de pandeo simulando la columna como una empotrada en un extremo, como se observa en la Figura 12.

Figura 12. *Diagrama de Pandeo*

Estableciendo los parámetros para el cálculo, se asume un factor de seguridad (N_s) igual a 5 con el fin de reducir la probabilidad de falla considerablemente, por otro lado, la constante de pandeo (K) para las secciones empotradas es igual a 2.

Calculo como columna larga.

$$d_{min} = \left[\frac{64 * N_s * P * (LE)^2}{\pi^3 * E} \right]^{0.5} \quad (19)$$

$$d_{min} = \left[\frac{64 * 5 * 19.747N * (1200mm)^2}{\pi^3 * 204 \times 10^3 \text{ Mpa}} \right]^{0.5} = 10.9158 \text{ mm} \quad (20)$$

Lo que llevando a un diámetro estándar por encima del diámetro calculado será de 12mm, para esto se recalcula el factor de seguridad con el diámetro estandarizado.

$$Resbeltez = \frac{1200mm}{\sqrt{\frac{\frac{\pi}{64} * 12mm^4}{\frac{\pi}{4} * 12mm^2}}} = 400mm \quad (21)$$

$$Cc = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * 204x10^3Mpa}{580Mpa}} = 83.323 \quad (22)$$

Cómo la Resbeltez es mayor a Cc se establece como una columna larga, por lo tanto.

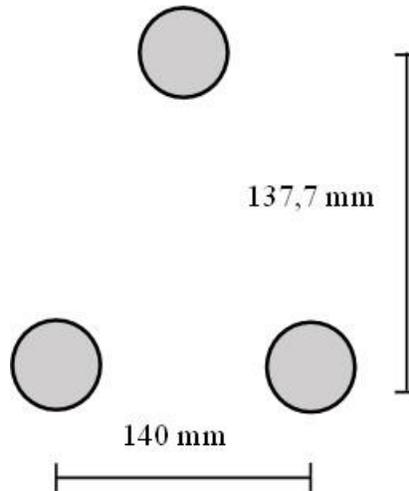
$$P_{crítico} = \frac{\pi^2 * E * I}{LE^2} = \frac{\pi^2 * 204x10^3Mpa * \frac{\pi}{64} * 12mm^4}{1200mm^2} = 1423.188N \quad (23)$$

$$Ns = \frac{1423.188N}{19.747N} = 72 \quad (24)$$

2.2.4 Recálculo de Pandeo en la Sección.

Como se mencionó anteriormente, el diseño se cambió de una varilla roscada a tres y debido a la disponibilidad de estas en las tiendas, se cambió el diámetro de 12mm a 8mm. Sin embargo, con el fin de comprobar que los cálculos anteriores aun sirvan como referentes se procede a calcular nuevamente la fuerza crítica por pandeo, donde si la “Pcritica” es superior a la calculada con el tornillo de potencia de 12mm quiere decir que el nuevo diseño es mucho más estable y aguantará mucha más carga que el anterior. En la Figura 13 se muestra la distribución de las 3 varillas de 8 mm.

Figura 13. Espaciado de Varillas



Iniciando con el cálculo del nuevo eje neutro que para este caso se refiere a una figura compuesta, sabiendo que el nuevo eje neutro está dado por la ecuación (25), es por ello por lo que se calculan los valores por aparte como se observa en la Tabla 10. Cálculo del Eje Neutro

Tabla 10. Cálculo del Eje Neutro

#	Ai	Yi	Ai*Yi
1	16 π	137,7	6921,557
2	16 π	0	0
2	16 π	0	0
Sumatoria	48 π	-	6921,557

$$Y_{neutro} = \frac{\sum A_i * Y_i}{\sum A_i} = \frac{6921.557 \text{ mm}^3}{48\pi \text{ mm}^2} = 459 \text{ mm} \tag{25}$$

Una vez calculado el eje neutro se procede a calcular la inercia de la sección compuesta como se observa en la Tabla 11.

Tabla 11. *Cálculo de Inercia de la Sección Compuesta*

#	Ai	Yi	Ai*Yi*Yi	Ipropia
1	16 π	91,8	423599,28	64 π
2	16 π	-45,9	105899,82	64 π
2	16 π	-45,9	105899,82	64 π
Sumatoria	-	-	635398,92	192 π

$$I_{total} = \sum A_i * Y_i^2 + \sum I_{propia} = 635398.92 + 192\pi = 636002.106 \text{ mm}^4 \quad (26)$$

Recalculando la relación de esbeltez y comparándola con el Cc calculado anteriormente puesto que este depende únicamente de las propiedades mecánicas del material y en este caso el material se mantiene constante con respecto a los cálculos anteriores.

$$Resbelez = \frac{1200mm}{\sqrt{\frac{636002.106 \text{ mm}^4}{\frac{\pi}{4} * 8^2 \text{ mm}^2}}} = 18.478 \quad (27)$$

Lo que resulta ser inferior al Cc calculado de 83.323, es por ello por lo que se deduce ahora como una columna corta, entonces la carga crítica se calcula mediante la ecuación (28).

$$P_{Crítica} = A * S_y \left[1 - \frac{S_y * Resbeltez^2}{4\pi^2 * E} \right] \quad (28)$$

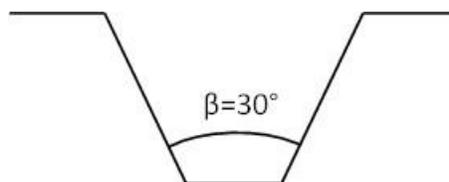
$$P_{Crítica} = 3 * \frac{\pi}{4} * 8mm^2 * 580 Mpa \left[1 - \frac{580Mpa * 18.478^2}{4\pi^2 * 204 * 10^3 Mpa} \right] = 85311.3 N \quad (29)$$

Es evidente el aumento de la carga crítica máxima con respecto al anterior cálculo, lo que conlleva a que el nuevo diseño es mucho más rígido que el anterior, lo que afecta favorablemente al mismo.

2.2.5 Tornillo de Potencia y Motor.

Sabiendo el peso de los componentes que se deben levantar (cámara y soporte de cámara) es de 32N se procede a calcular el tornillo de potencia, partiendo de la disponibilidad en stock de las empresas distribuidoras de esta pieza. Se encontró disponible un tornillo para impresoras 3D, con un diámetro de 8 mm, un paso de 2 mm por vuelta, número de hilos de 4 y un ángulo entre dientes de 30° como se observa en la Figura 14.

Figura 14. *Ángulo entre Dientes del Tornillo de Potencia*



Como fórmula para el torque necesario en los tornillos de potencia se establece para este mecanismo como crítico el de subida puesto que donde consumirá más potencia es al elevar la cámara ya que va en sentido opuesto a la gravedad. En la ecuación (30) se describe matemáticamente la fórmula para el torque de subida.

$$T_s = \frac{w * dm}{2} \left(\frac{\cos(\beta) \operatorname{sen}(\alpha) + \mu_s \cos(\alpha)}{\cos(\beta) \cos(\alpha) + \mu_s \operatorname{sen}(\alpha)} \right) \quad (30)$$

$$w = 32N/3 \quad (31)$$

$$dm = d - 0.5p = 8mm - 0.5 * 2mm = 7mm \quad (32)$$

Para calcular el torque de subida se toma el coeficiente de fricción estático más alto para rozamiento entre acero y bronce, sabiendo que el subsistema no va a estar con lubricación constante por lo que será la condición más crítica sacado de la tabla de coeficientes de fricción dinámicos recomendados, del libro Fatiga, del profesor Alfredo Parada Corrales.

Tabla 12. Factores de Fricción entre el Tornillo de Potencia y la Tuerca para Diferentes Materiales

Tornillo \ Tuerca	Acero	Latón	Bronce	Fundición
Acero (seco)	0,15 - 0,25	0,15 - 0,23	0,15 - 0,19	0,15 - 0,25
Acero (lubricado)	0,10 - 0,17	0,10 - 0,16	0,07 - 0,17	0,08 - 0,17
Bronce (lubricado)	0,15 - 0,19	0,04 - 0,60	0,06 - 0,09

Nota: Parada Corrales, Alfredo. Fatiga, Fisura progresiva

$$\mu_s = 1.33\mu_k = 1.33 * 0.19 = 0.2527 \quad (33)$$

El ángulo de avance está representado por la ecuación (34).

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{l}{\pi * dm}\right) = 19.9905^\circ \quad (34)$$

El torque de subida en cada uno de los 3 tornillos será:

$$T_s = 22.13 \text{ N} * \text{mm} \quad (35)$$

El torque entregado por el motor paso a paso debe ser superior a:

$$T_m = 66.4 \text{ N} * \text{mm} \quad (1)$$

Tras analizar los motores con disponibilidad inmediata en Colombia, se seleccionó el Motor paso a paso Nema 17 17hs8401b, con un torque máximo de 550N.mm. Este motor puede consumir hasta 1,7 amperios por fase.

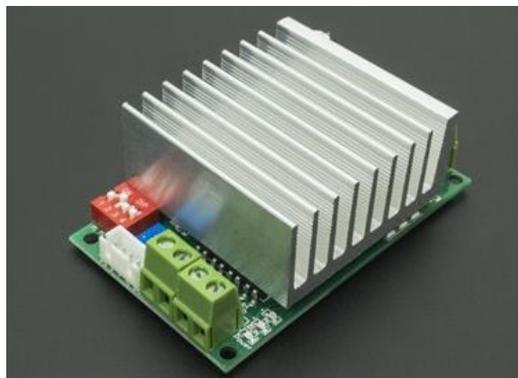
Figura 15. *Motor Paso a Paso*

Nota: Tomado de Merkatronix. (2022). *Cámaras Vstarcam*. <https://merkatronix.com/index.php>

2.2.6 Control Electrónico

El siguiente paso luego de dimensionar el motor es determinar un driver que pueda entregar el voltaje y amperaje que el motor requiere para trabar, también es necesario un controlador que le de las ordenes al driver del motor.

En cuanto al driver del motor, el módulo TB6600 cuenta con un voltaje de funcionamiento entre 10 y 45 voltios y una corriente máxima de 4.5 amperios por fase, además cuenta con un sistema de protección contra los cortocircuitos.

Figura 16. *Modulo Motor Paso a Paso TB6600.*

Nota: Tomado de Vistronica. <https://www.vistronica.com/>

También se utilizará la placa controladora ARDUINO UNO para controlar el sistema a través del monitor serie de Arduino y un final de carrera.

Figura 17. *Arduino Uno*

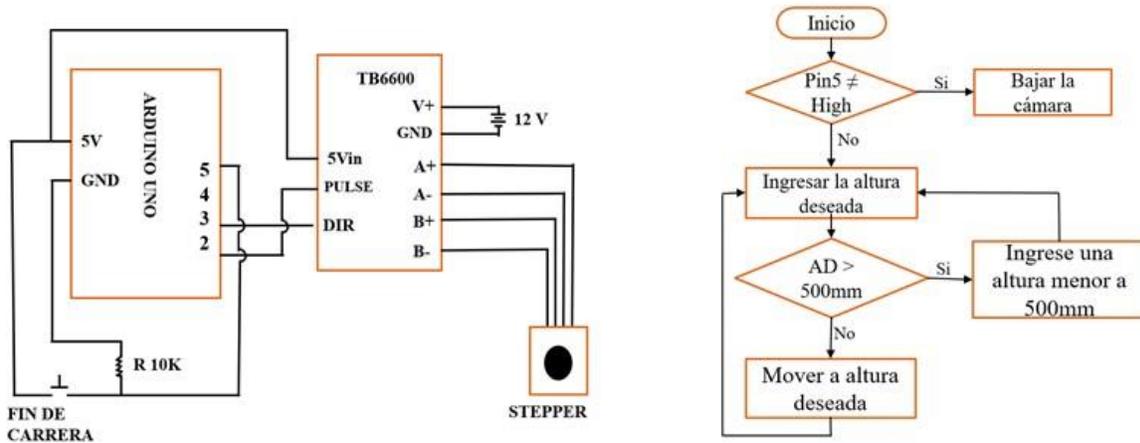


Nota: Tomado de Vistronica. <https://www.vistronica.com/>

Finalmente, como fuente de energía se utilizará el conector de 12 voltios que tiene el automóvil en la consola principal.

El diagrama electrónico y el algoritmo de este sistema se muestran en la Figura 18.

Figura 18. Diagrama Electrónico y Algoritmo de Funcionamiento



2.2.7 Cálculo de poleas y correa

El sistema que transmitirá el torque del motor a los tornillos de potencia debe ser de poleas y correa sincrónica, pues no puede haber deslizamientos entre la polea y la correa que conlleven a que la maquina se trabaje. Para esto se usarán 4 poleas de aluminio de 48 dientes, 30mm de diámetro y paso de 2mm.

Figura 19. Polea Dentada



Nota: Tomado de Didácticas Electrónicas. (sf). *Productos.*

<https://www.didacticaselectronicas.com/>

La correa para este sistema debe ser capaz de resistir la tensión máxima que puede generar el motor, es decir:

$$F_{max} = \frac{550N \cdot mm}{15mm} = 36.7N \quad (37)$$

La longitud de la correa se calcula de acuerdo con el arreglo de poleas que se diseñó, ver Apéndice C y Apéndice D.

Dando una longitud de 798,3mm que se lleva a la siguiente longitud estándar de 800mm y se utilizará una polea tensora para ajustar la correa.

La correa seleccionada es la 800-2GT con un ancho de 6 mm, tensión de operación de 27.4N y una tensión máxima de 584.8N

2.2.8 Selección de Rodamientos

Los rodamientos que sostendrán los tornillos de potencia deberán ser capaces de resistir el peso de la cámara con su respectiva base y los tornillos de potencia (Fuerza axial) y la fuerza de rozamiento del viento inducida por estos mismos componentes cuando el auto se encuentre en movimiento (fuerza radial).

Tabla 13. *Fuerza Axial de los Rodamientos*

Ítem	Peso (N)
cámara	19.707
base	12.201
tornillos x3	5.527
Total	37.436

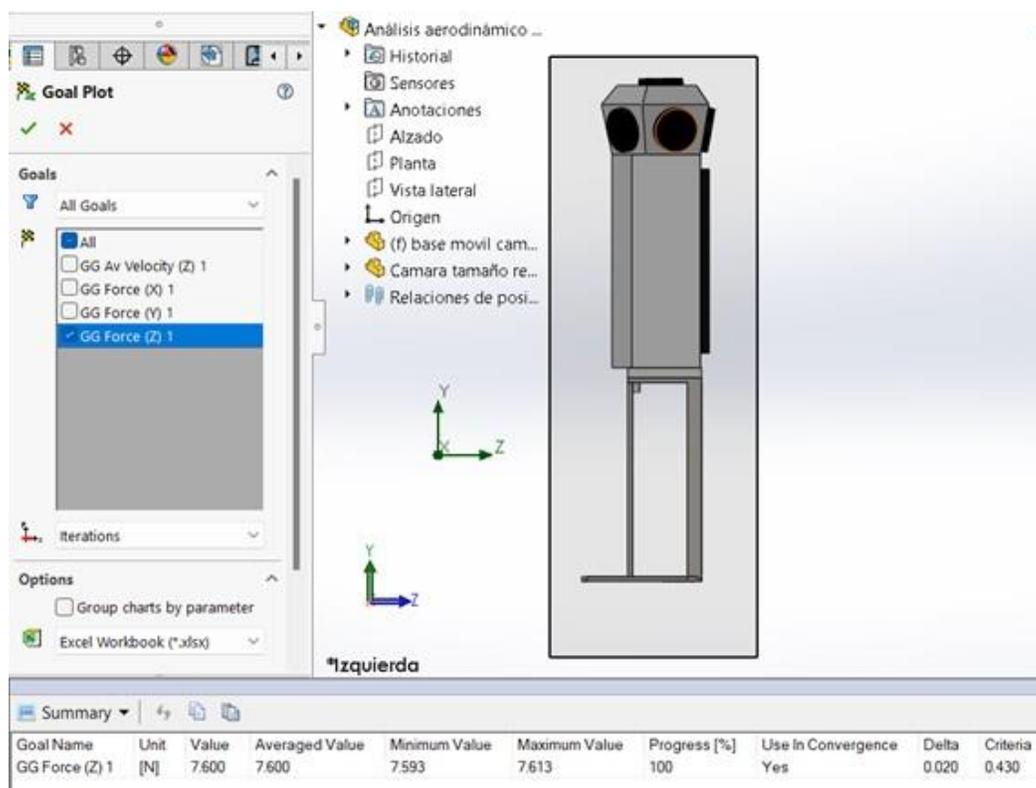
Al ser 6 rodamientos, esta fuerza se debe dividir entre 6, dando así, una fuerza axial en cada rodamiento de:

$$F_a = 6.24N \quad (38)$$

Para calcular la fuerza de rozamiento del aire, se realizó una simulación de la cámara y su base moviéndose a 60km/h en el programa SOLIDWORKS, dando como resultado una fuerza radial de:

$$F_r = \frac{7.6N}{6} \quad (39)$$

Figura 20. Cálculo Fuerza de Rozamiento



Del catálogo de SKF, se selecciona el rodamiento de referencia 608.

Figura 21. Hoja de Datos Rodamiento SKF608

SKF		Generado desde [sitio] el [fecha]
DATOS DEL CÁLCULO		
Capacidad de carga dinámica básica	C	3.45 kN
Capacidad de carga estática básica	C ₀	1.37 kN
Carga límite de fatiga	P _u	0.057 kN
Velocidad de referencia		75 000 r/min
Velocidad límite		48 000 r/min
Factor de cálculo	k _r	0.025
Factor de cálculo	f ₀	12

Nota: Tomado de SKF. (sf). 608 Deep groove ball bearings.

<https://www.skf.com/group/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/productid-608>

$$\frac{F_a}{C_o} = \frac{6,24N}{1370N} = 0,004 \quad (40)$$

De la tabla 11-1 del libro Diseño en ingeniería mecánica de Shigley tenemos que para valores inferiores a 0,014, se toma el valor de e como 0,19.

Figura 22. Factores de Carga Radial

Tabla 11-1
Factores de carga radial equivalente para cojinetes de bolas

F_a/C_0	e	$F_a/(VF_r) \leq e$		$F_a/(VF_r) > e$	
		X_1	Y_1	X_2	Y_2
0.014*	0.19	1.00	0	0.56	2.30
0.021	0.21	1.00	0	0.56	2.15
0.028	0.22	1.00	0	0.56	1.99
0.042	0.24	1.00	0	0.56	1.85
0.056	0.26	1.00	0	0.56	1.71
0.070	0.27	1.00	0	0.56	1.63
0.084	0.28	1.00	0	0.56	1.55
0.110	0.30	1.00	0	0.56	1.45
0.17	0.34	1.00	0	0.56	1.31
0.28	0.38	1.00	0	0.56	1.15
0.42	0.42	1.00	0	0.56	1.04
0.56	0.44	1.00	0	0.56	1.00

*Útilice 0.014 si $F_a/C_0 < 0.014$.

Nota: Tomado de Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, Octava Edición

$$\frac{F_a}{V * F_r} = \frac{6.24N}{(1) * 1.27} = 4.91 > e \tag{41}$$

Los factores de carga radial equivalente y la carga equivalente serán:

$$X_2 = 0.56 \text{ y } Y_2 = 2.3 \tag{42}$$

$$F_e = X_2 * V * F_r + Y_2 * F_a \tag{43}$$

$$F_e = 0.56 * 1.27N + 2.3 * 6.24N \tag{44}$$

Finalmente, se calcula el valor de la carga dinámica bajo las condiciones de operación de la máquina.

$$C = F_e \left(\frac{\text{Ciclos de vida deseada}}{\text{Ciclos de vida nominal}} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (45)$$

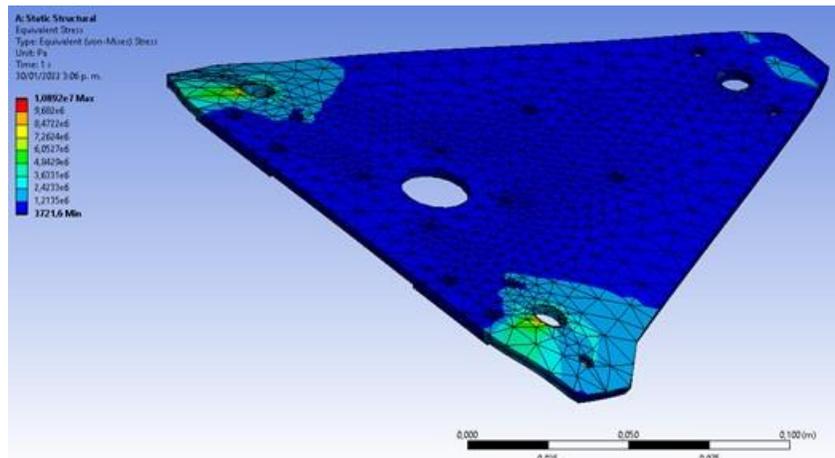
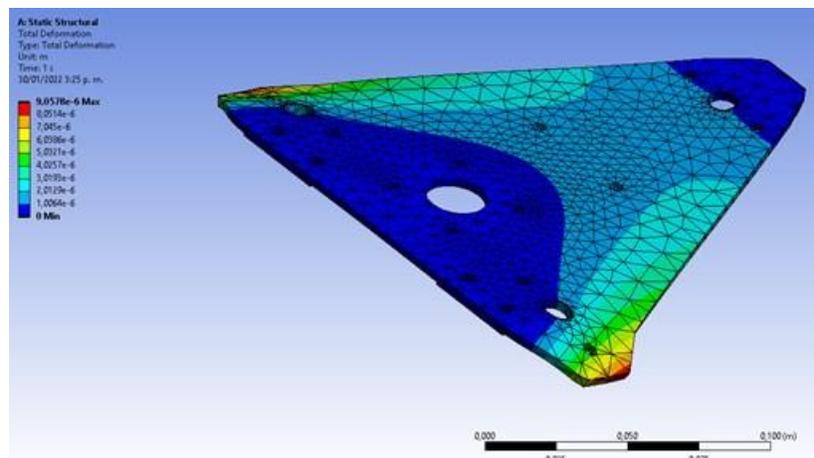
$$C = 15,1 * \left(\frac{100000}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}} = 7N \quad (46)$$

$$C = 7N \ll C = 3450N \quad (47)$$

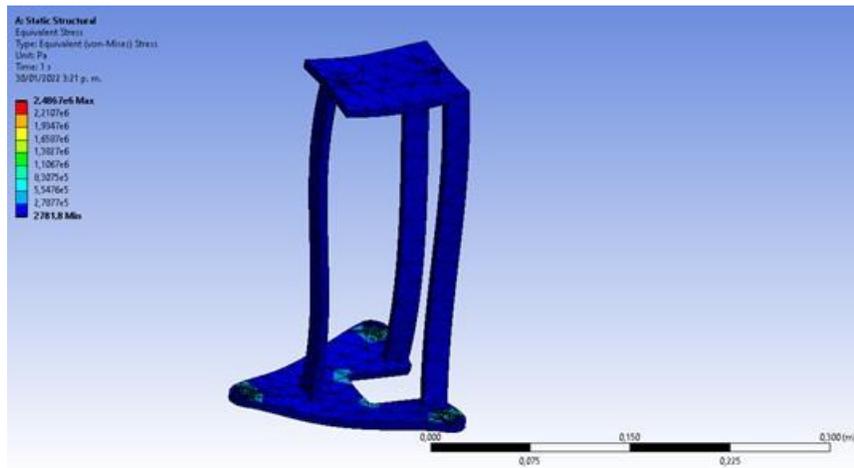
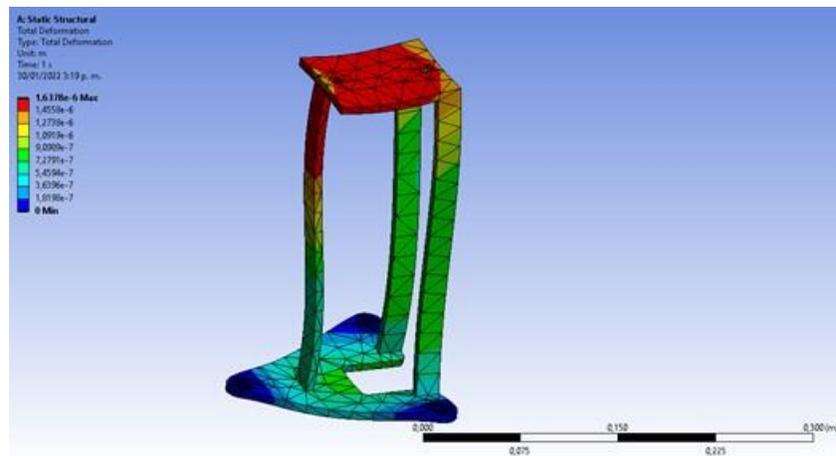
La carga dinámica que tendrá el rodamiento en operación es menor a la capacidad de carga dinámica del mismo, por lo tanto, es viable su uso.

2.2.9 Análisis de Esfuerzo y Deformación de las Estructuras en ANSYS

Debido a la complejidad de los cálculos de esfuerzo y deformación para algunos componentes del subsistema, se recurre al programa ANSYS para calcular los valores de estos mediante el método de elementos finitos. El análisis será realizado a dos componentes del subsistema, el primero es la placa de acero que soporta los tornillos de potencia, la cámara y la base de la cámara. También se llevará a cabo un análisis para la base de la cámara.

Figura 23. *Análisis de Esfuerzos sobre la Placa Base en ANSYS***Figura 24.** *Análisis de Deformación sobre la Placa Base en ANSYS*

Luego de analizar la Figura 25 y Figura 26 Se puede concluir que ni los esfuerzos ni deformaciones son significativos para generar fallos en la placa.

Figura 25. *Análisis de Esfuerzos sobre la Base Móvil en ANSYS***Figura 26.** *Análisis de Deformación sobre la Base Móvil en ANSYS*

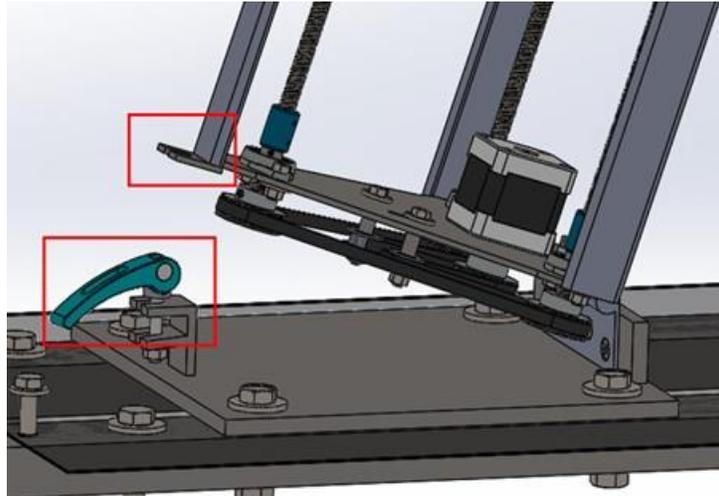
Al igual que con la pieza anterior, la base móvil de la cámara tampoco presenta esfuerzos o deformaciones que representen un peligro para el diseño, por lo tanto, es válido para su construcción.

Subsistema de Rotación y cubierta

Con el fin de replicar el diseño en el resto de la flota de cámaras de la empresa, se busca disminuir al máximo los costos derivados en la fabricación de este, es por ello por lo que se evalúa la funcionalidad de estos dos mecanismos con respecto a si debe ser automáticos o no. Por esta razón se concluye diseñar estos dos subsistemas para ser operados de forma manual y no actuados por motores u accionadores lineales, de esta manera reduciendo los costos en la fabricación considerablemente. Además, esto hará necesario que un operario este en contacto constante con la maquina lo que permitirá verificar si el sistema está operando correctamente o si hay indicios de un fallo o un fallo en el futuro próximo.

Se considera para el mecanismo de rotación trabajar mediante un conjunto de bisagras y un seguro que permita desmontar o fijar el sistema con facilidad para que el operario pueda ejecutarlo de manera ágil. Con el fin de reducir costos de fabricación del seguro para la rotación, se estandariza con una prensa de liberación rápida disponible en el mercado y se adapta al diseño ingenieril ya existente como se observa en la Figura 27

Para el subsistema de cubierta, se usará un sello manual mediante un cierre de corredera y lona impermeable que evite la interacción de fluidos externos con el interior de la cámara, con un soporte fijo en forma de caja que garantice la protección contra golpes ver Figura 28. Este subsistema ira montado en una parrilla para techo de automóvil.

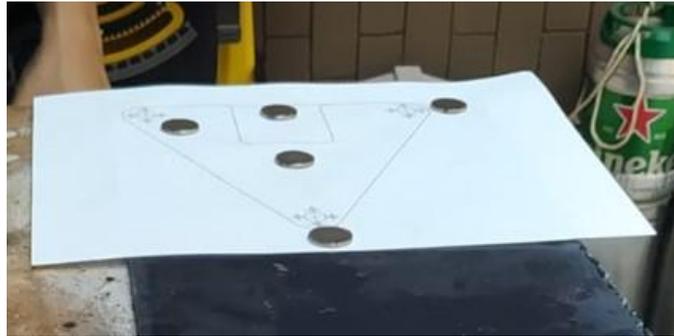
Figura 27. *Incorporación del Seguro Estándar en el Diseño*

2.3 Planificación de los Procesos Empleados para la Fabricación del Prototipo

En este apartado se abordará los diferentes procesos que fueron necesarios para el maquinado y ensamble del prototipo desde un ámbito conceptual, dichos procesos no están ordenados de forma cronológica.

2.3.1 Taladrado.

Es un proceso que consiste en la remoción de material con el fin de hacer orificios netamente redondos, para este caso es necesario inicialmente marcar los puntos con un punzón para que ellos sirvan de guía. Seguido a esto con una broca de centro se pronuncia un poco más la guía para dar espacio a la broca con el diámetro nominal especificado en el plano, al perforar lamina de acero se debe tener en cuenta la lubricación de la broca al momento de la penetración con el fin de disminuir el desgaste en la broca. Gracias a la dimensión de las piezas a mecanizar se pudo imprimir en escala 1:1 el plano a cortar, de esta manera garantizando las medidas del plano así mismo minimizando los posibles errores. Para asegurar la hoja a la lámina de corte se utilizan imanes de neodimio para evitar el movimiento del plano como se observa en la Figura 28.

Figura 28. *Proceso de Taladrado*

2.3.2 Corte Láser.

Es un proceso de corte que es completamente automatizado mediante CNC, una boquilla laser derrite el material logrando así desarrollar el corte. Una de las desventajas de este proceso es que la estructura molecular del material se ve afectada debido a las altas temperaturas de corte es por ello por lo que recomiendan realizar un proceso de normalizado para aliviar los esfuerzos que se producen debido al calentamiento.

Figura 29. *Proceso de Corte Láser*

2.3.3 Corte Mediante Discos Abrasivos

Mediante un disco de corte conectado a una pulidora se desgasta el material hasta lograr perforarlo, cabe resaltar que es un proceso completamente manual, por lo que la tolerancia del corte es muy alta ya que depende de la destreza del operario. Sin embargo, este proceso es muy utilizado por los bajos costos que implican para piezas que no requieren una gran exactitud.

Figura 30. Corte Mediante Discos Abrasivos



2.3.4 Doblado

Este proceso consiste en inducirle una deformación plástica a las láminas de interés con el fin de conseguir perfiles estructurales que por otro proceso sería casi imposible y extremadamente caro realizar. Cuando el elemento doblado es requerido como perfil estructural o ya sea que vaya a resistir una carga elevada es necesario realizarle un tratamiento térmico al material con el fin de aliviar los esfuerzos internos generados por este proceso. A fines de este proyecto ninguno de los perfiles doblados se utilizará como perfiles estructurales lo que no haría indispensable un

tratamiento de normalizado en el material, para la ejecución de este proceso fue necesario contar con la ayuda de un taller, puesto que se requieren maquinas dobladoras que son costosas.

Figura 31. *Proceso de Doblado*



Nota: Tomado de Sumiparts. (2020). *Plegado o doblado de láminas.*
<https://sumiparts.com/mecanizado/17/plegado-o-doblado-de-laminas.html>

2.3.5 Soldado.

Este proceso consiste en la unión permanente de dos elementos del mismo material mediante la fundición de un electrodo, añadiéndole material fundido y pegando dichos elementos. El precio del soldado varía dependiendo del tipo de material que se quiera pegar, por ejemplo, soldar aluminio es mucho más costoso que acero, es por este motivo que se implementó en el diseño materiales con una alta soldabilidad.

Figura 32. *Proceso de Soldado*



Nota: Tomado de Codinter. (2021). *Productos y Servicios de Ingeniería para la Industria en América* <https://www.codinter.com>

2.3.6 Pulido.

Este proceso consiste en un desgaste abrasivo con el fin de mejorar su aspecto visual, tacto y su funcionalidad, su principal función en este proyecto fue quitar las rebabas producto del corte con discos abrasivos y mejorar la calidad del corte.

Figura 33. *Proceso de Pulido*



Nota: Tomado de PFERD. (sf). <https://www.pferd.com/int-en/>

2.3.7 Pintado.

Se busca darle un acabado superficial mucho más elegante y vistoso, por otro lado, proteger el material impermeabilizándolo contra el ambiente hostil y el óxido.

Figura 34. *Proceso de Pintado*



Nota: Tomado de OKDIARIO. (sf). <https://okdiario.com>

3. Resultados

En este capítulo se dejará explícitamente los procesos implicados en cada subsistema, análisis costos para la fabricación eh implementación del prototipo y el impacto en la empresa.

3.1 Procesos de Manufactura en cada Subsistema.

Para la fabricación del prototipo se definieron cada uno de los procesos que se llevaron a cabo en este proyecto los cuales están mencionados en el capítulo anterior, por lo que ahora se codificará cada proceso como se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14. *Codificación de Procesos*

Código	Proceso
A	Taladrado
B	Corte
C	Doblado
D	Soldado
E	Pulido
F	Pintado

3.1.1 Procesos en el Subsistema de Elevación

Figura 35. *Subsistema de Elevación*



Sabiendo que los elementos estandarizados no se les deben hacer ningún proceso anteriormente mencionado, es por ello por lo que dentro de las piezas mecanizadas se encuentran los diferentes procesos en la Tabla 15.

Tabla 15. *Procesos para el Subsistema de Elevación*

Piezas	A	B	C	D	E	F
Base móvil	X	X		X	X	X
Soporte superior	X	X			X	X
Soporte Inferior	X	X			X	X
Columnas		X	X			X

3.1.2 Procesos en el Subsistema de Rotación

Figura 36. *Subsistema de Rotación*



Análogamente que el subsistema anterior, únicamente se tendrá en cuenta las piezas cuya fabricación fue responsabilidad de los autores de este proyecto.

Tabla 16. *Procesos para el Subsistema de Rotación*

Piezas	A	B	C	D	E	F
Bastidor	X	X		X	X	X
Soporte inferior	X	X			X	X

3.1.3 Proceso en el Subsistema de Cubierta

Figura 37. *Subsistema de Cubierta*

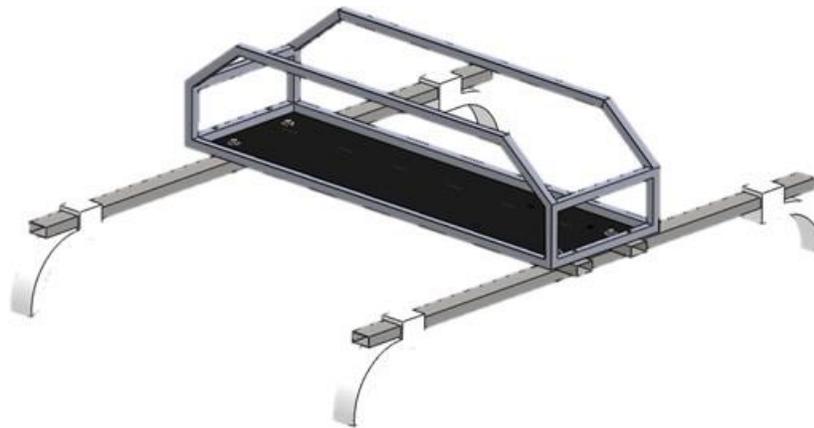


Tabla 17. *Procesos para el Subsistema de Cubierta.*

Piezas	A	B	C	D	E	F
Estructura de la cubierta	X	X	X	X	X	X
Tubo rectangular	X	X			X	X
Almohadilla	X					
Lona	X					

3.2 Costos

En la Tabla 18 se muestra la estructura de costos derivados de la construcción del prototipo.

Tabla 18. *Costos de Fabricación.*

Ítem	Valor	Ítem	Valor
Angulo de 60 cm	\$ 8.000,00	Pedazo de perfil 3/4	\$ 7.000,00
Bisagra	\$ 24.904,00	Perfil de 2x1	\$ 51.000,00
Cable vehicular	\$ 24.000,00	Perfil de 3/4	\$ 35.000,00
Chumaceras	\$ 12.600,00	Platina de 3mm	\$ 19.000,00
Chumaceras sin envió	\$ 39.005,00	Poleas locas	\$ 22.410,00
Cierre y cabezales	\$ 9.620,00	Prensa de accionamiento rápido	\$ 7.000,00
Correa polea y acople	\$ 81.515,00	Primer motor	\$ 12.600,00
Correa primer prototipo	\$ 20.000,00	Primer motor sin envió	\$ 62.000,00
Corte laser primer plano	\$ 132.090,00	Rodamientos del primer prototipo	\$ 47.000,00
Corte laser segundo plano	\$ 142.800,00	Soldador	\$ 120.000,00
Costura	\$ 70.000,00	Tornillería de fuerza	\$ 25.000,00
Discos para Pulidora	\$ 15.000,00	Tornillería primer prototipo	\$ 13.500,00
Driver y final de carrera	\$ 56.605,00	Tornillo avellanado	\$ 4.000,00
PLA para impresión 3d	\$ 50.000,00	Tornillos de 3 y 5mm	\$ 7.450,00
Gasolina	\$ 50.000,00	Tornillos de potencia	\$ 15.780,00
Lona	\$ 113.699,00	Tornillos de potencia x 3 sin envió	\$ 173.998,00
Motor de repuesto	\$ 12.600,00	Transportes	\$ 8.100,00
Motor repuesto	\$ 62.000,00	Uniprimer	\$ 34.000,00
Parrilla para carro	\$ 125.000,00	Uso de Herramientas	\$ 53.000,00

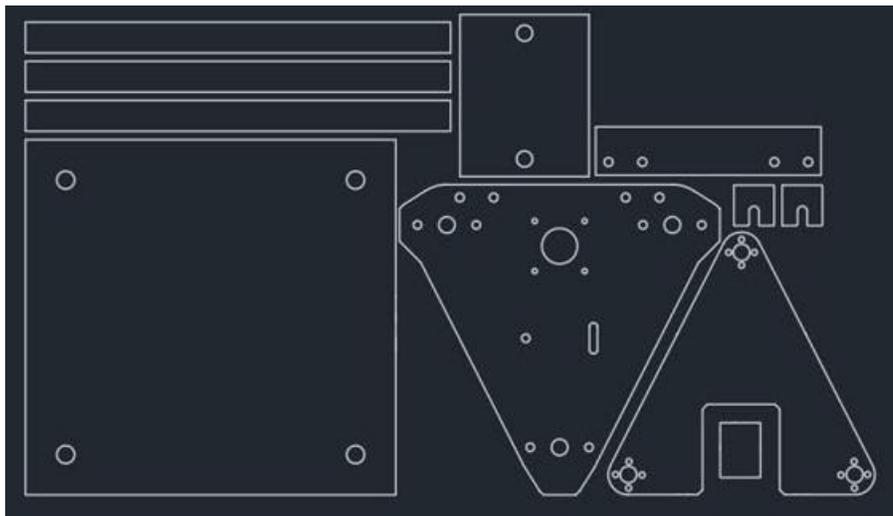
3.3 Fabricación

El orden cronológico de la fabricación del prototipo está distribuido por subsistemas, de la misma manera en la que se diseñaron los subsistemas, iniciando con el mecanismo de elevación, posteriormente con el mecanismo de rotación y finalizando con la cubierta.

3.3.1 Construcción del Subsistema de Elevación.

Este es considerado uno de los más críticos, puesto que va a ser el encargado de hacer la funcionalidad más importante y que debe soportar tanto el peso de la cámara como el peso de sí mismo con la rigidez mayor posible. Es por esta razón que las piezas de este mecanismo se mandaron a cortar con láser, generando el plano de las láminas que se van a unir y enviándolas a la empresa Hydrobass que fue la encargada de prestar el servicio, ver Figura 38.

Figura 38. Planos para Corte Láser

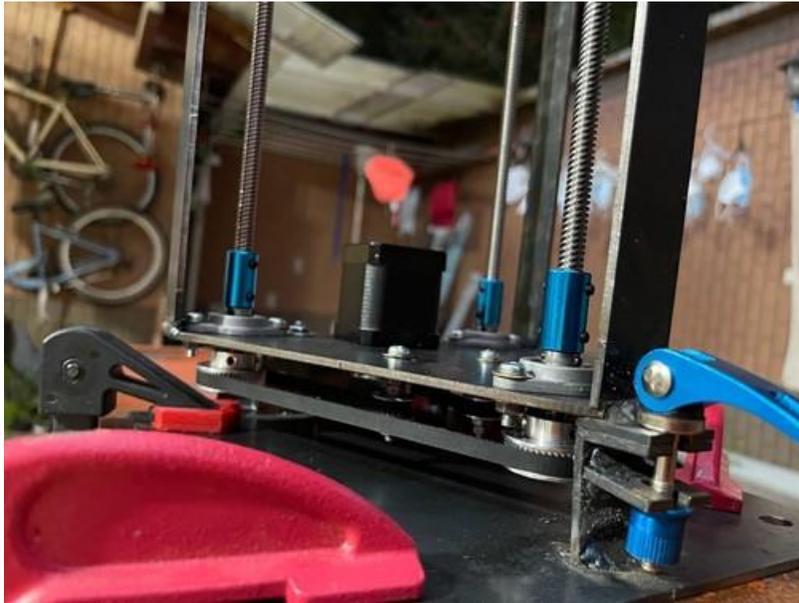


Seguido a esto viene el paso del ensamblaje, donde mediante por soldadura de electrodo se unen todas las piezas con las medidas del plano y se pule con el disco de lija numero 80 instalado en la pulidora, como paso final se montan los rodamientos, tornillos, poleas y demás componentes.

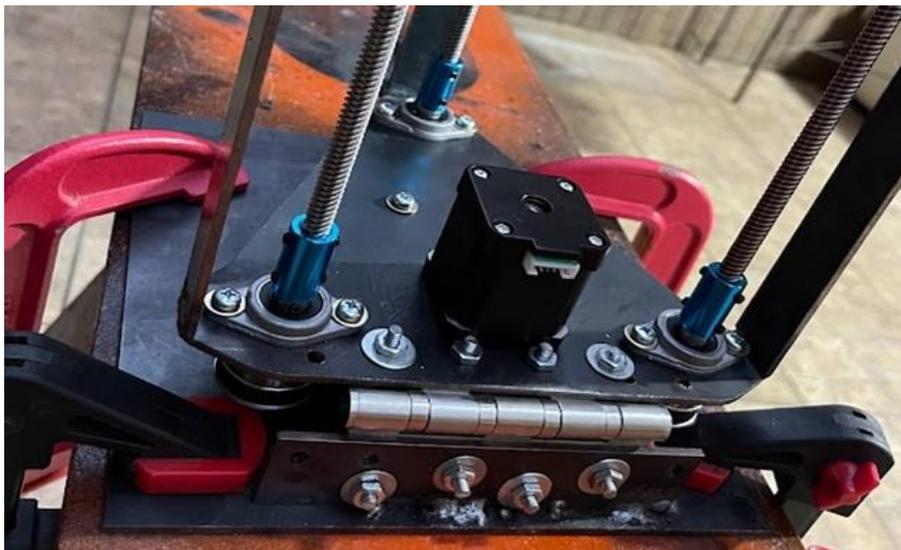
Figura 39. *Ensamble de la Estructura de Elevación*



Con el fin de reducir costos para poder replicar el modelo en la flota de cámaras 360 de la empresa, se pensó en la implementación de una rotación manual ya que de esta forma de ahorraría el dinero de los componentes como el actuador lineal inicialmente planteado. Sin embargo, se evaluó el tiempo que tardaría el operario en poder realizar esta maniobra, es por ello por lo que se implementó una prensa de liberación rápida como se muestra en la Figura 40.

Figura 40. *Subsistema de Rotación Implementando Prensa de Liberación Rápida*

Para la instalación de la bisagra, fue necesario cortarla puesto que la bisagra con la cual se realizó el diseño no se encontraba disponible al momento de realizar la compra, por lo que se reajustó el diseño en base a la adquirida, ver Figura 41.

Figura 41. *Instalación de la Bisagra*

Para la construcción de la cubierta, se tuvo muy en cuenta la maniobrabilidad del operario con los demás mecanismos es por ello que se realizó una estructura rígida tipo armadura, con el fin de dejar espacios entre los elementos, que permitan manipular lo demás componentes con facilidad. La estructura fue realizada con perfiles cuadrados de $\frac{3}{4}$ y calibre 18 de espesor, de esta manera se reduce el peso de la cubierta y se gana rigidez al mismo tiempo ya que las uniones son realizadas por soldadura de electrodo. Dicha soldadura tuvo que ser contratada con un experto ya que, al ser un calibre tan delgado, se requiere una gran destreza para no terminar perforando la lámina, ver Figura 42.

Figura 42. *Unión de la Estructura de la Cubierta*



Con el fin de aislar la estructura y los componentes internamente se realizó una cubierta plástica que sirva como forro impermeable, también de esta forma se podrá maniobrar con facilidad, así mismo se pulieron y se pintaron las piezas que van expuestas con el fin de evitar la corrosión de las partes metálicas, como se observa en la Figura 43.

Figura 43. *Proceso de Pulido y Pintado*

En la figura se puede observar el resultado final del prototipo con todos los procesos descritos anteriormente.

Figura 44. *Prototipo Final*

3.4 Pruebas

3.4.1 Prueba de Panoramas con la Cámara

Con el fin de evaluar la mejoría en los panoramas de 360° tomados por la cámara, se hicieron recorridos de Street view por una calle en la ciudad de Bucaramanga, con la cámara parametrizada a alturas de 10, 20, 30 y 49 centímetros. Estos resultados se compararon con los panoramas que la empresa había tomado durante un inventario que se había realizado anteriormente en esta ciudad.

Figura 45. Cámara con Altura de 49cm para Pruebas



Figura 46. Prueba de Panoramas a diferentes Alturas

En la Figura 46 se puede observar un mosaico con 5 fotos las cuales se ordenan de manera cronológico con respecto a los recorridos a diferentes alturas. En la base actual se evidencia un corte de la imagen en la zona en donde se encuentran los elementos de infraestructura eléctrica casi al mismo nivel de la altura del transformador. Al ver las fotos siguientes, a 10, 20, 30 y 49 centímetros, se ve como este corte se produce en un punto cada vez más alto siendo las imágenes de 30 y 49 centímetros las cuales en las que el corte no interfiere con los elementos de interés para la empresa.

Por lo tanto, se puede deducir que al aumentar la altura de la cámara si mejora la calidad de los panoramas y el valor agregado de este producto de la empresa, pues además de que esta herramienta se usa para clasificar los elementos eléctricos de las redes también mediante un algoritmo de análisis espacial se toman medidas de los postes y es necesario que las fotos de los apoyos no se encuentren cortados ya que esto genera un porcentaje de error mayor en dichas medidas.

3.4.2 Pruebas de Impermeabilidad Contra la Lluvia

Se corrobora que el diseño es impermeable contra la lluvia mediante una prueba en la cual se circuló por diferentes calles de la ciudad en un día lluvioso con la maquina montada en el techo de un automóvil y la lona impermeable puesta y cerrada con su corredera (ver Figura 47).

Figura 47. *Prueba de Impermeabilidad contra el Agua*



Luego de la prueba se revisó el interior del bastidor revisando que no hubiera puntos húmedos ni goteras. Se concluyó que el diseño era completamente impermeable contra la lluvia.

3.5 Impacto en la Empresa

En este apartado es necesario iniciar definiendo el procedimiento que anteriormente se debía hacer para el montaje de la cámara 360 de ElectroSoftware, el tiempo empleado en esta práctica y los riesgos a los cuales se veían expuestos antes de la implementación del mecanismo.

3.5.1 Proceso de Montaje, Tiempo e Incidentes del Antiguo Mecanismo

El mecanismo de sujeción consta de 4 imanes sujetos por pernos que se pegan encima del techo del vehículo, lo cual hace que sea inestable y con un golpe pueda zafarse con facilidad, sin contar los rayones provocados a la pintura del vehículo al momento de moverse inesperadamente.

El montaje se debe iniciar sujetando la base fija a la cámara, seguido a esto la base fija a la base imantada, ver Figura 5. Después de ello viene el proceso demorado que es el de calibración del equipo, ya que las imágenes tomadas por esta cámara están siendo georreferenciadas por lo cual la altura en z es de gran importancia y es uno de los parámetros que pide el software de la cámara.

Con ayuda de unas abrazaderas de tela se sujetan los cables a criterio del operario con el fin de evitar dobleces extremos en ellos como se observa en la Figura 48.

Figura 48. Sujeción Convencional de los Cables



Nota: Tomado de ElectroSoftware

Los tiempos de montaje pueden variar entre 10 y 15 minutos dependiendo de la destreza del operario con este dispositivo, incluyendo la configuración y parametrización del software. Cada vez que el equipo se ve expuesto a un posible accidente ya sea por árboles o sectores de difícil acceso, el operario debe repetir el proceso de montaje y desmontaje de la cámara lo que conlleva a una acumulación de tiempo considerable.

La mayor cantidad de incidentes ocurridos en el histórico del uso de estas cámaras es debido a que el operario intenta ahorrar el tiempo empleado para desmontar la cámara intentando pasar los obstáculos con precaución y destreza. Maniobra que no siempre resulta de la mejor manera como el incidente ocurrido en el inventario de “alullanos” en el 2019 como se observa en la Figura 49 Lo cual terminó en pérdida parcial del equipo y su reparación conlleva altas sumas de dinero.

Figura 49. *Accidente en el Inventario Alullanos*



Nota: Tomado de ElectroSoftware

Con la implementación del nuevo dispositivo el operario tarda menos de un minuto soltando la prensa y acostando la cámara para pasar el obstáculo, de igual forma el mismo tiempo volviendo a instalarla lo que implica en una reducción de tiempo aproximado al 90%. De esta manera se evitan los esfuerzos en el operario y la posible omisión de la actividad.

Otro punto bien importante es la parametrización de la altura en la cámara, debido a que con el modelo anterior no hay la posibilidad de tomar recorridos con una dimensión diferente, lo que limita mucho la actividad y el alcance de los inventarios a los clientes.

Por otra parte, se evidencia que la cámara 360 en muchas ocasiones hace el pegue de los panoramas justamente en la altura aproximada de algunos transformadores o brazos de ciertas luminarias. Precisamente esta es una de las funciones más importantes ya que pueden evitar este tipo de incidentes en el procesamiento de los panoramas 360, dándole más altura para dejar la unión de las fotos en un lugar que no afecte la calidad de la información.

En la Figura 50 se logra evidenciar la incidencia generada por el pegue de fotos en los panoramas, afectando directamente a la toma de medidas de los postes como una de las funciones principales de la plataforma Worker.

Figura 50. *Fallo de la Imagen en el Producto*



Nota: Tomado de Worker ElectroSoftware

4. Conclusiones

A pesar de que el diseño ejecutado en este proyecto de grado es mejor que el diseño estático que tenía la empresa sigue siendo susceptible a futuros cambios con el fin de obtener una mejora continua.

Se logró bajar los tiempos de montaje y desmontaje para pasar obstáculos en más de un 90%

Los costos de fabricación son de 1'767.276 COP lo cual son muy inferiores al presupuesto planteado en el problema de 3'000.000 COP debido a la implementación de mecanismos manuales.

La altura máxima y mínima que puede alcanzar la cámara con el elevador es de 1,27 metros y 70cm respectivamente por encima de techo del automóvil.

El bastidor tiene la capacidad de recibir impactos leves como golpes contra ramas de árboles pequeñas, protege los mecanismos en su interior contra la lluvia.

El conjunto completo de elevador y bastidor tiene una masa total de 17,2kg.

Se construyó un prototipo funcional de la base la cual actualmente se encuentra en etapa de prueba en la empresa ELECTRO SOFTWARE.

Referencias Bibliográficas

- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. McGrawHill..
- Hamrock, B. J., Jacobson, B. O., Schmid, S. R., & García Hernández, A. E. (2000). *Fundamentals of machine elements. Elementos de máquinas*.
- (CSIC), G. d. (2004). *Technaid*. Obtenido de <http://www.technaid.com/es/soporte/investigacion/principio-de-funcionamiento-del-imu/>
- CB Hu, F. Z. (2020). Classification and mapping of urban canyon geometry using Google Street View images and deep multitask learning. *Building and Environment*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106424>
- Esri. (2019). *ArcGIS Desktop*. Recuperado el 23 de 09 de 2021, de <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/las-dataset/what-is-lidar-data-.htm>
- F. Miranda, M. H. (2020). Urban mosaic: Visual exploration of streetscapes using large-scale image data. *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, ACM (2020)*, pp. 1-15. doi: <https://doi.org/10.1145/3313831.3376399>
- FilipBiljecki, K. I. (2021). Street view imagery in urban analytics and GIS: A review. *Landscape and Urban Planning*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104217>
- Goel, R. (May 2, 2018). Estimating city-level travel patterns using street imagery: A case study of using Google Street View in Britain. *ploS one*. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196521>

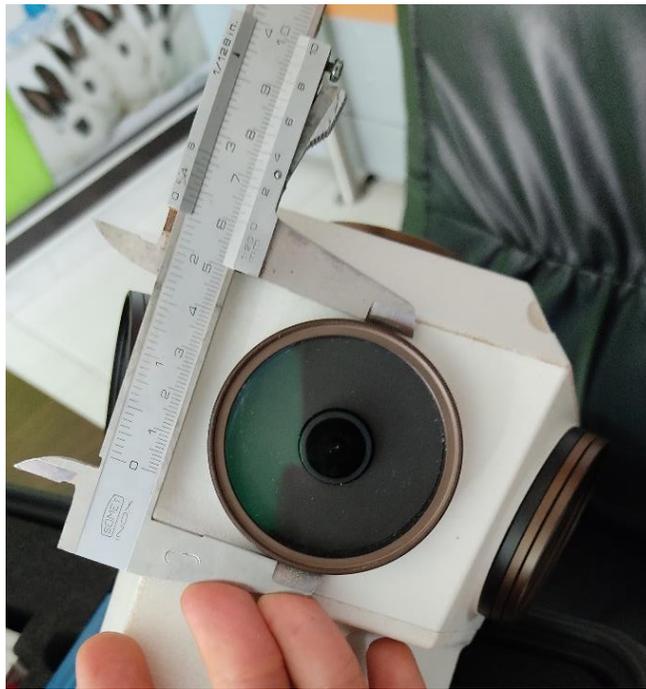
- L Yin, Q. C. (2015). 'Big data' for pedestrian volume: Exploring the use of Google Street View images for pedestrian counts. *Applied Geography*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.07.010>
- Nicolette R. den Braver, J. G.-M. (2020). Neighbourhood drivability: environmental and individual characteristics associated with car use across Europe. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*. doi: <https://doi.org/10.1186/s12966-019-0906-2>
- OACI. (2005). *Manual sobre el Sistema Mundial de Navegación por Satélites (GNSS)*. Doc. 9849 OACI.
- Olanoff, D. (2013). *Inside Google Street View: From Larry Page's Car To The Depths Of The Grand Canyon*. Obtenido de Techcrunch: <https://techcrunch.com/2013/03/08/inside-google-street-view-from-larry-pages-car-to-the-depths-of-the-grand-canyon/>
- Parada Corrales, A. ((1990). *Fatiga, fisura progresiva*.
- R. Gage, N. W. (2018). Shade in playgrounds: findings from a nationwide survey and implications for urban health policy. *Journal of Public Health*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104217>
- S. Law, B. P. (2019). Take a Look Around: Using Street View and Satellite Images to Estimate House Prices. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*, pp. 1-19. doi: <https://doi.org/10.1145/3342240>
- Toloza, J. M. (s.f.). Algoritmos y técnicas de tiempo real para el incremento de la precisión posicional relativa usando receptores GPS estándar. *Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 2.5 Argentina (CC BY-NC-SA 2.5)*. doi: <https://doi.org/10.35537/10915/26276>
- Xia Xue, H. Q. (2021). High-precision time synchronization of kinematic navigation system using

GNSS RTK differential carrier phase time transfer. *Measurement*. doi:

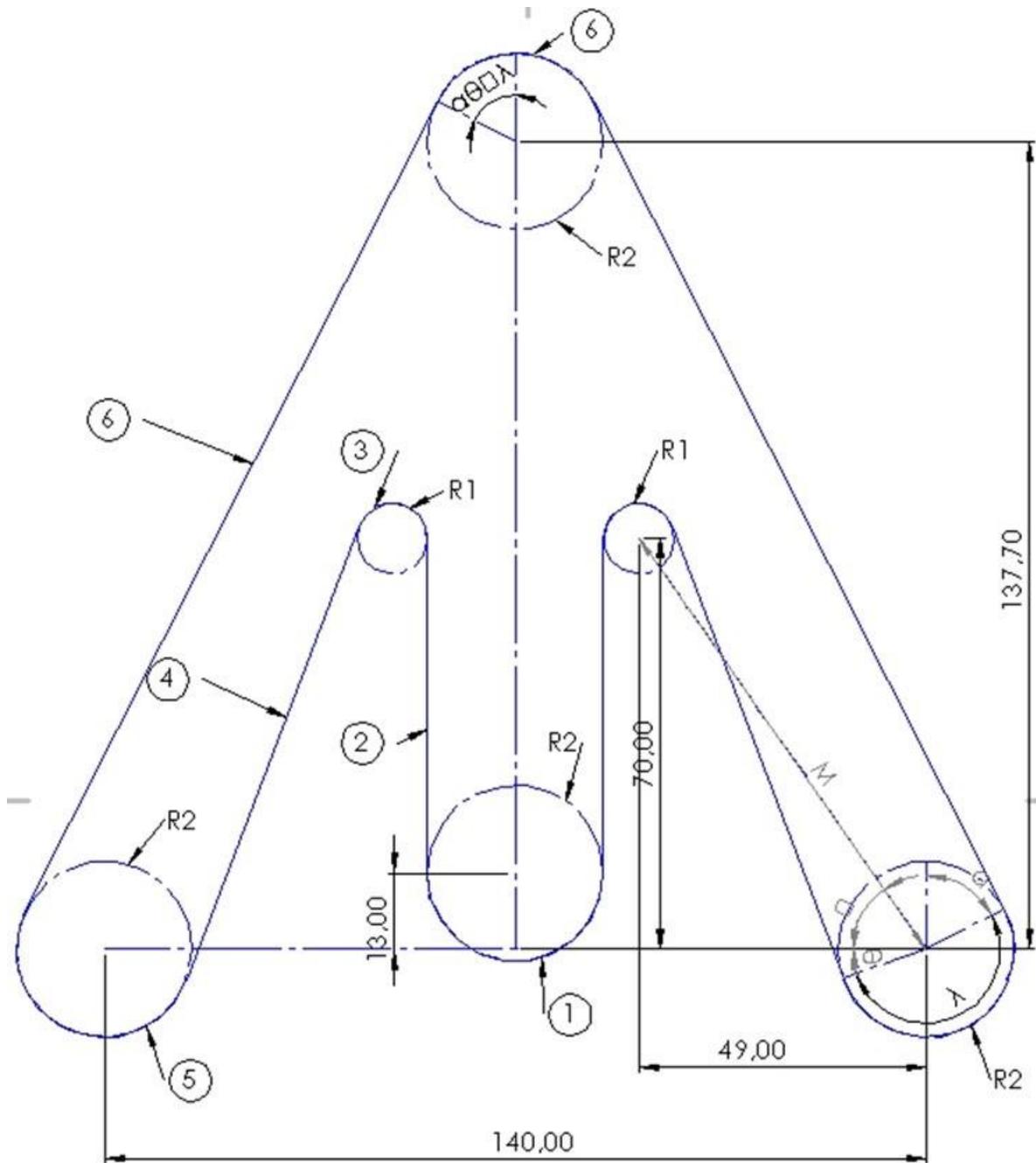
<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.109132>

Apéndices

Apéndice A. Toma de Medidas.



Apéndice C. Diagrama Poleas y Correas



Apéndice D. Calculo Longitud de Correa.

$$\phi + \theta = \cos^{-1} \left(\frac{R_1 + R_2}{M} \right)$$

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{21}{\sqrt{49^2 + L_1^2}} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{21}{49} \right)$$

$$\delta = 206,95 - \theta$$

$$\textcircled{1} = \sqrt{137,7^2 + 70^2} = 153,85$$

$$\textcircled{2} \quad \alpha = \tan^{-1} \left(\frac{137,7}{70} \right) = 63,05$$

$$\alpha = 1,1 \text{ rad}$$

$$\textcircled{2} = 1,1 \text{ rad} \times 15 \text{ mm} \times 2 = 33 \text{ mm}$$

$$\textcircled{4} \quad \cos(\phi + \theta) = \frac{R_1 + R_2}{M}$$

$$R_1 = 6 \text{ mm}$$

$$R_2 = 15 \text{ mm}$$

$$M = \sqrt{49^2 + L_1^2}$$

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{L_1}{49} \right)$$

$$\delta = (180 - \alpha) + (90 - \theta)$$

$$\textcircled{4} = \delta \times \frac{\pi}{180} \times 15 \text{ mm}$$

$$\textcircled{5} = \frac{(21 + (R_1 + R_2) \sin \theta)}{\cos \theta}$$

$$\textcircled{6} = (180 - \theta) \times \frac{\pi}{180} \times R_1$$

$$\textcircled{7} = 13 - L_1$$

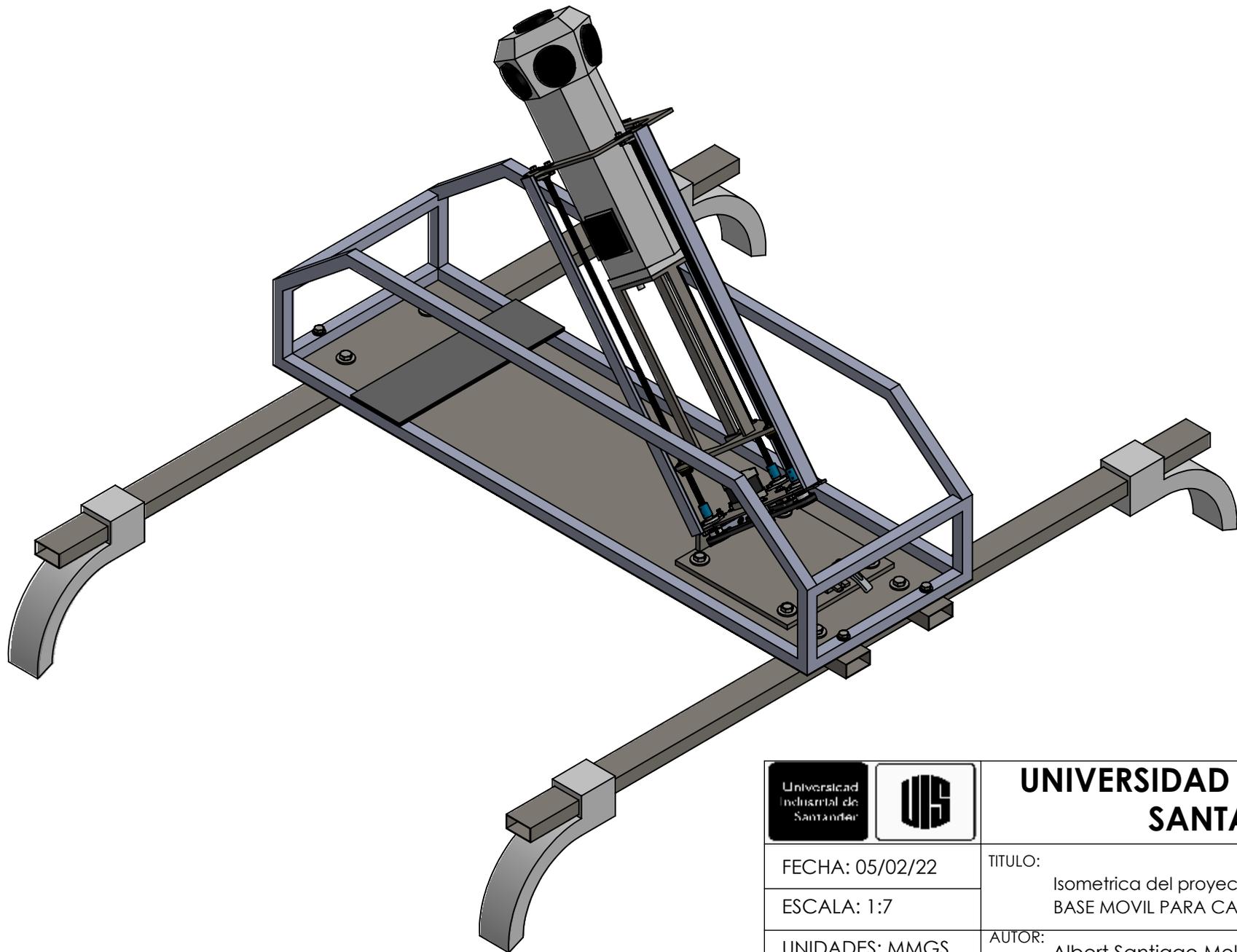
$$\textcircled{8} = 180^\circ \times \frac{\pi}{180} R_2$$

$$\textcircled{3} = \textcircled{1} \quad \textcircled{11} = \textcircled{5}$$

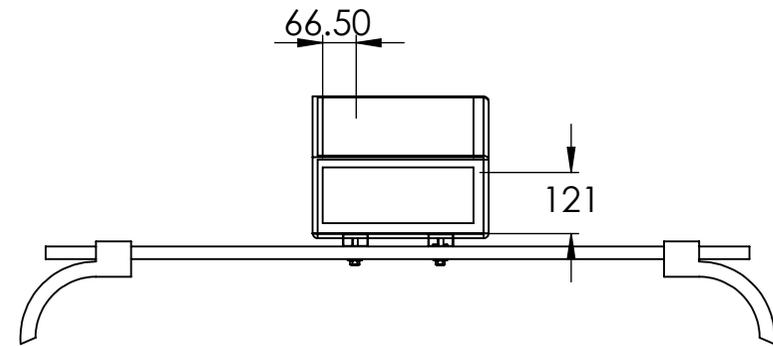
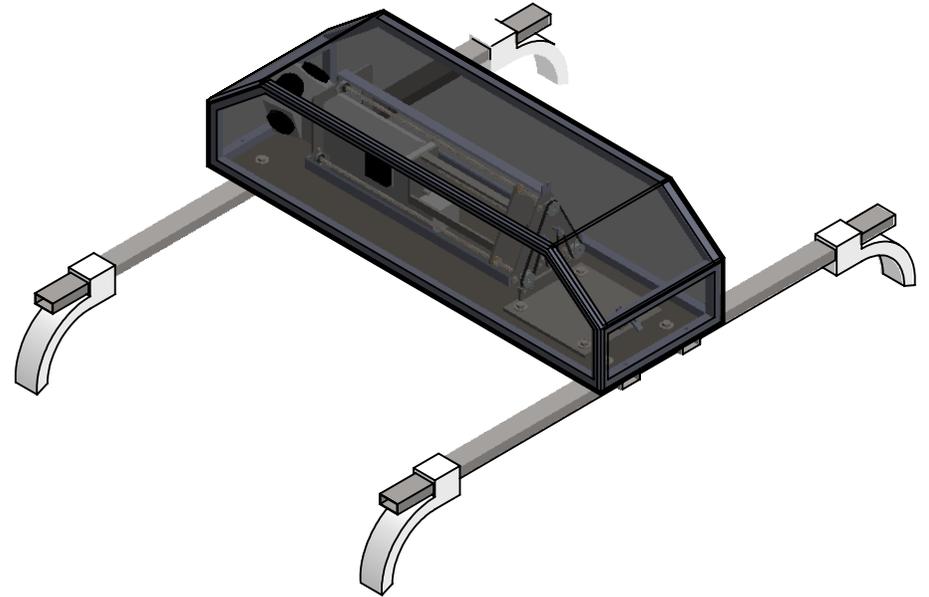
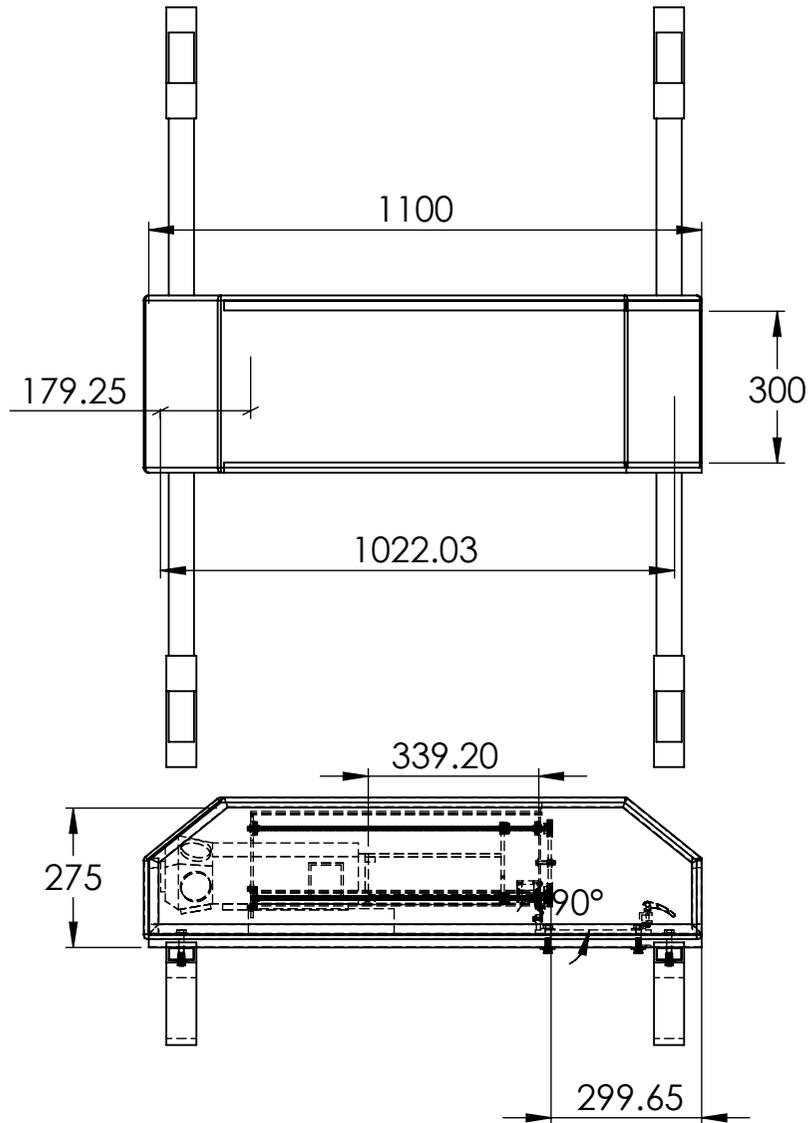
$$\textcircled{9} = \textcircled{7} \quad \textcircled{12} = \textcircled{4}$$

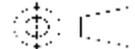
$$\textcircled{10} = \textcircled{6}$$

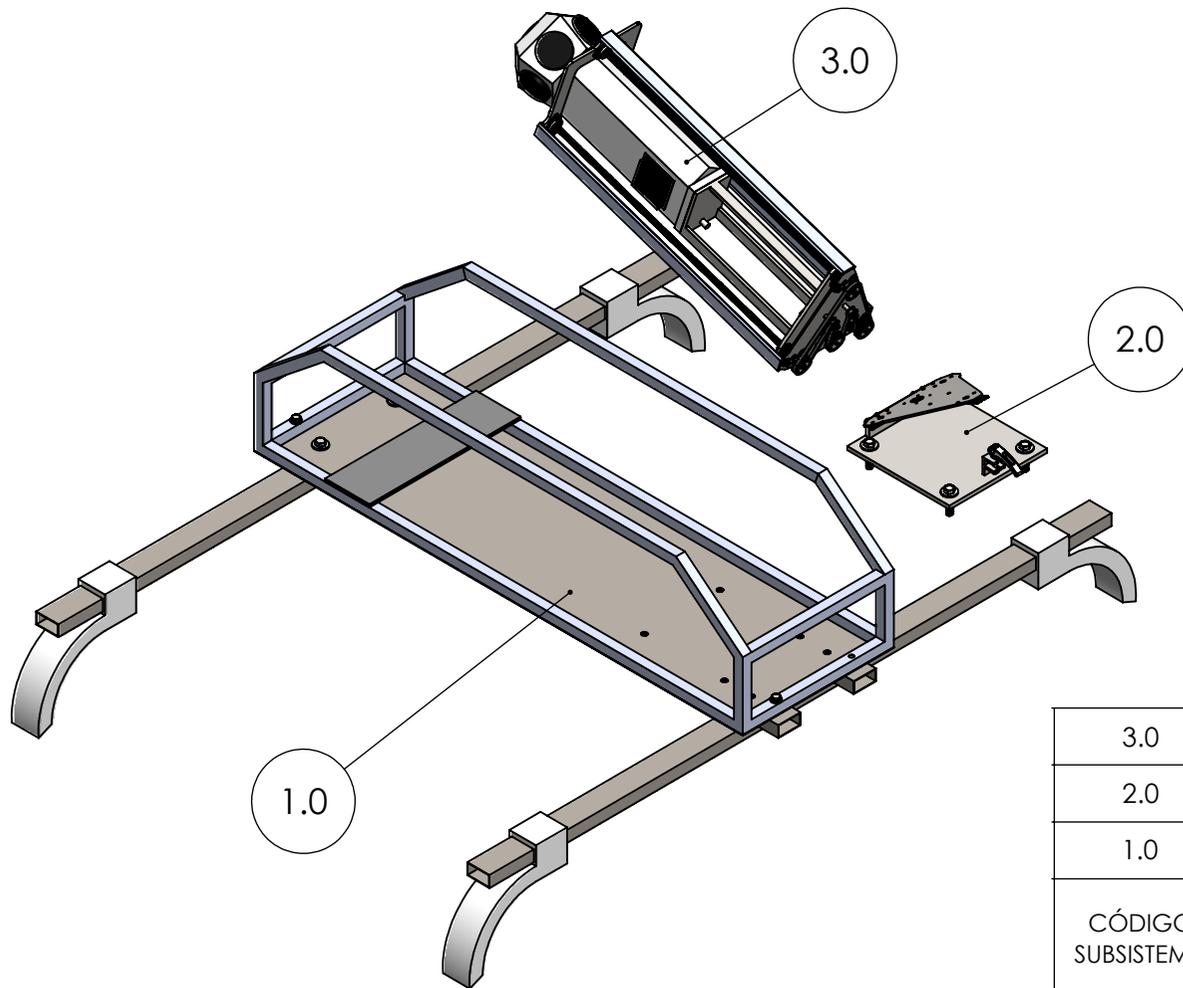
Longitud de la correa
 $L_c = \textcircled{1} + \textcircled{2} + \textcircled{3} + \textcircled{4} + \textcircled{5} \dots$
 $L_c = 798,3 \text{ mm}$

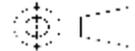


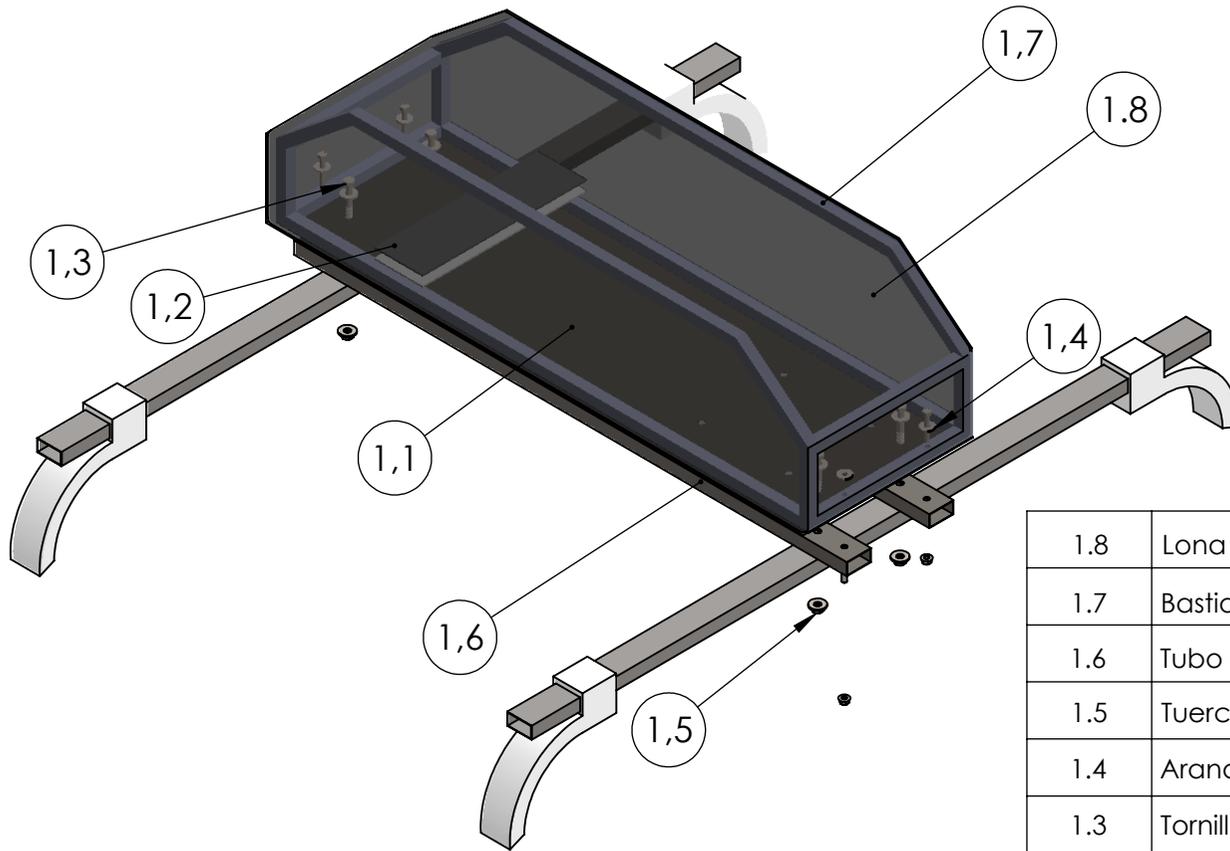
		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: 05/02/22	ESCALA: 1:7	TITULO: Isometrica del proyecto BASE MOVIL PARA CAMARA 360°	
UNIDADES: MMGS	A4	AUTOR: Albert Santiago Melo Madariaga 2152676	REVISAR: Octavio Andrés González Estrada
			HOJA 1/14



 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: 05/02/22		TITULO:	
ESCALA: 1:15		BASE MOVIL PARA CAMARA 360° Dimensiones ensamble total.	
UNIDADES: MMGS		AUTOR:	
A4		Albert Santiago Melo Madariaga 2152676	
		REVISA:	HOJA 2/14
		Octavio Andrés González Estrada	



3.0	SUBSISTEMA DE ELEVACION
2.0	SUBSISTEMA DE INCLINACION
1.0	SUBSISTEMA BASTIDOR
CÓDIGO SUBSISTEMA	NOMBRE DEL SUBSISTEMA
 	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FECHA: 05/02/22	TITULO: BASE MOVIL PARA CAMARA 360° EXPLOSIONADO TOTAL POR SUBSISTEMAS
ESCALA: 1:12	AUTOR: Albert Santiago Melo Madariaga 2152676
UNIDADES: MMGS	REVISÁ: Octavio Andrés González Estrada
A4	
	HOJA 3/14



1.8	Lona cubierta	1	Lona de protección en PVC
1.7	Bastidor de tubos	1	Perfil tubular soldado, ver planos
1.6	Tubo rectangular	2	25x50 Acero Inox. 303
1.5	Tuerca Hexagonal	8	M10 x1.5
1.4	Arandela plana	10	Acero inox. 303
1.3	Tornillo de sujeción Hex.	8	M 10x1.5x65 _26S
1.2	Espuma reposa camara	1	Espuma de poliuretano flex. □74x50_290 ←→
1.1	Base cubierta inferior	1	SAE 1020
CÓDIGO PIEZA	NOMBRE DE LA PIEZA	CANT.	ESPECIFICACIÓN: DIMENSIONAL, MATERIAL, REFERENCIA TÉCNICA DE SELECCIÓN, MARCA.



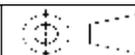
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FECHA: 05/02/22

ESCALA: 1:11

UNIDADES: MMGS

A4



TITULO:

BASE MOVIL PARA CAMARA 360°
SUBSISTEMA 1.0 - BASTIDOR

AUTOR:

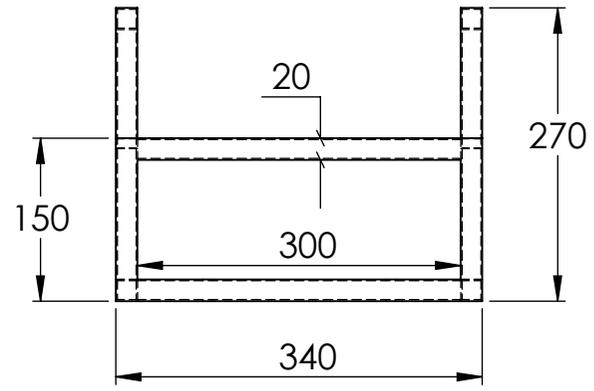
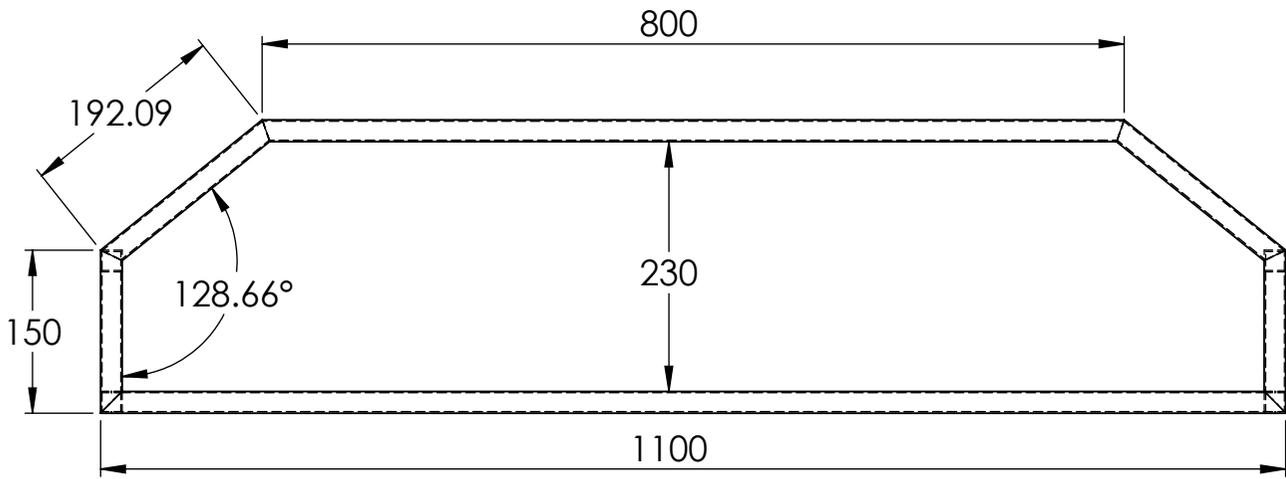
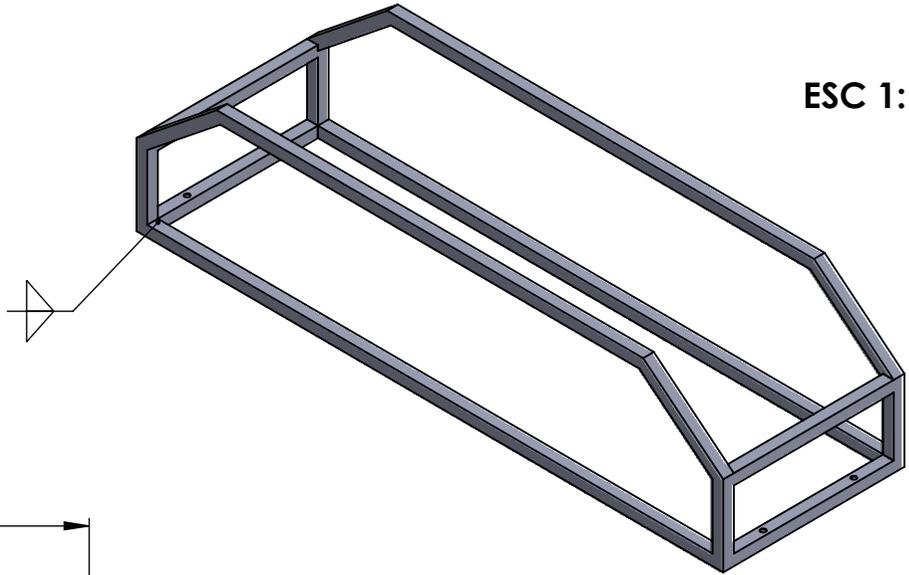
Albert Santiago Melo Madariaga 2152676

REVISÁ:

Octavio Andrés González Estrada

HOJA 4 / 14

ESC 1:10



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

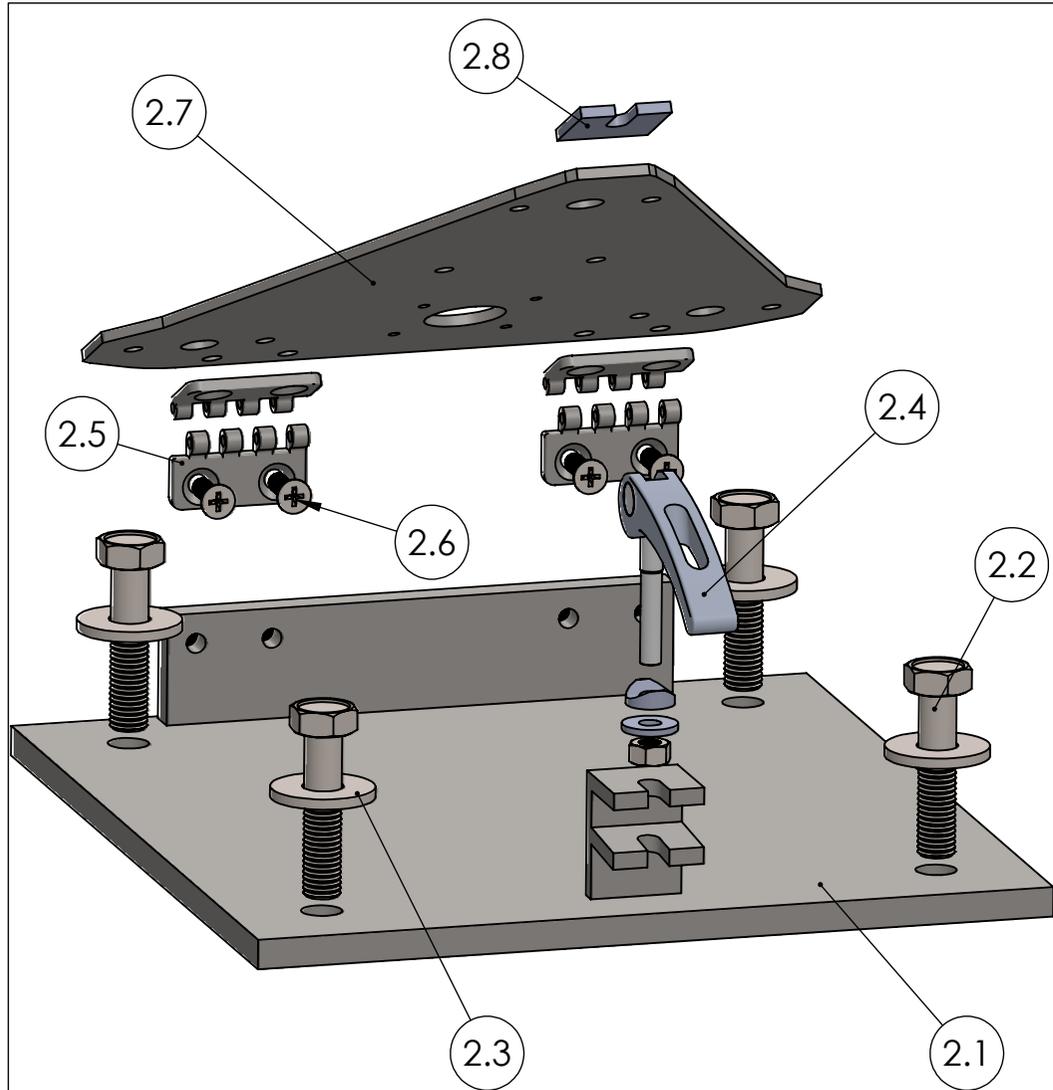
- Sección tubular de 20x20 mm & acero calibre 12.
- Soldadura en bisel en unin de corte angular.



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FECHA: 05/02/22
ESCALA: 1:7
UNIDADES: MMGS
A4

TITULO:
BASE MOVIL PARA CAMARA 360°
CÓDIGO DE PIEZA: 1.7 - BASTIDOR TUBULAR
AUTOR:
Albert Santiago Melo Madariaga 2152676
REVISÁ:
Octavio Andrés González Estrada
HOJA 5/14



2.8	Pestaña prensa base	1	SAE 1020-3mm
2.7	Placa trapezoidal	1	SAE 1020
2.6	Tornillo estrella avellanado	4	M 5x0,8x16
2.5	Bisagra pareja	2	Acero inox. 3mm
2.4	Pinza de liberacion	1	
2.3	Arandela plana	4	10 mm acero inox 303
2.2	Tornillo de sujeción Hex.	4	M 16x1.5x4.5
2.1	Placa bastidor	1	SAE 1020-3mm
CÓDIGO PIEZA	NOMBRE DE LA PIEZA	CANT.	ESPECIFICACIÓN: DIMENSIONAL, MATERIAL, REFERENCIA TÉCNICA DE SELECCIÓN, MARCA.



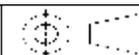
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FECHA: 05/02/22

ESCALA: 1:2

UNIDADES: XX

A4



TÍTULO:

BASE MOVIL PARA CAMARA 360°
SUBSISTEMA 2.0- SS. INCLINACION

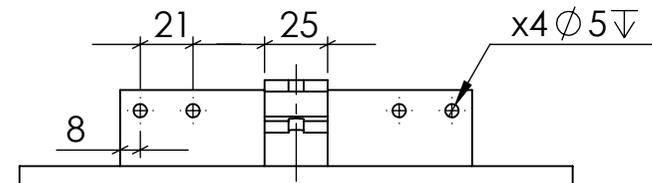
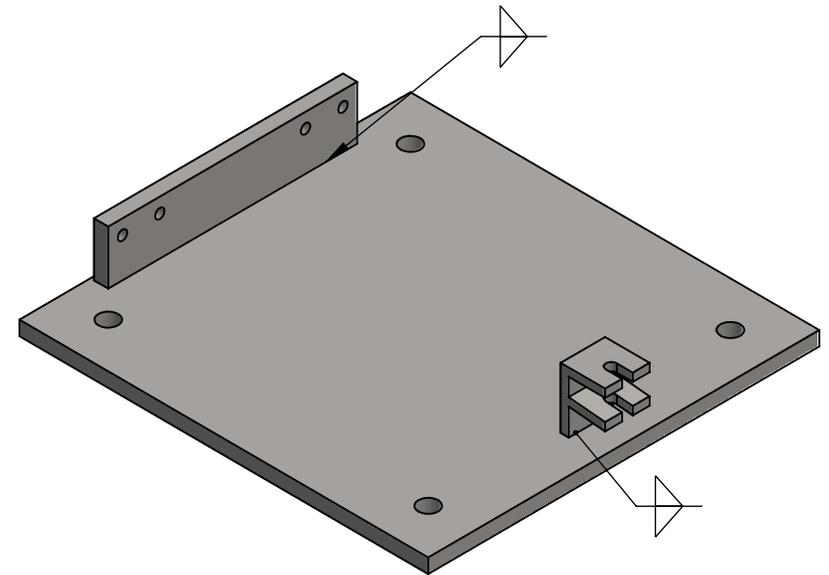
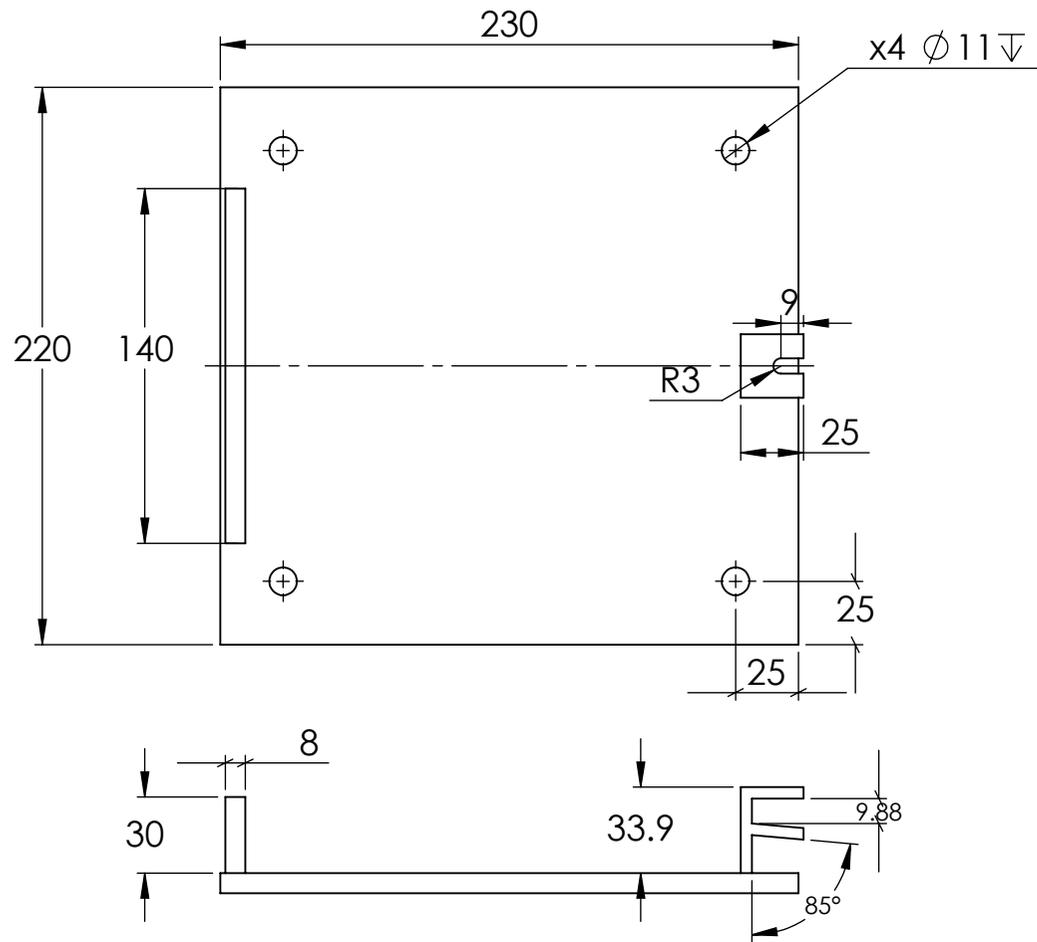
AUTOR:

Albert Santiago Melo Madariaga 2152676

REVISÁ:

Octavio Andrés González Estrada

HOJA 6 / 14



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

-Elaborado en acero SAE 1020 de 3mm.



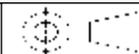
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FECHA: 05/02/22

ESCALA: 1:3

UNIDADES: MMGS

A4



TITULO:

BASE MOVIL PARA CAMARA 360°
CÓDIGO DE PIEZA: 2.1 - PLACA BASTIDOR

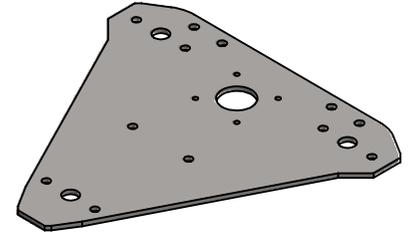
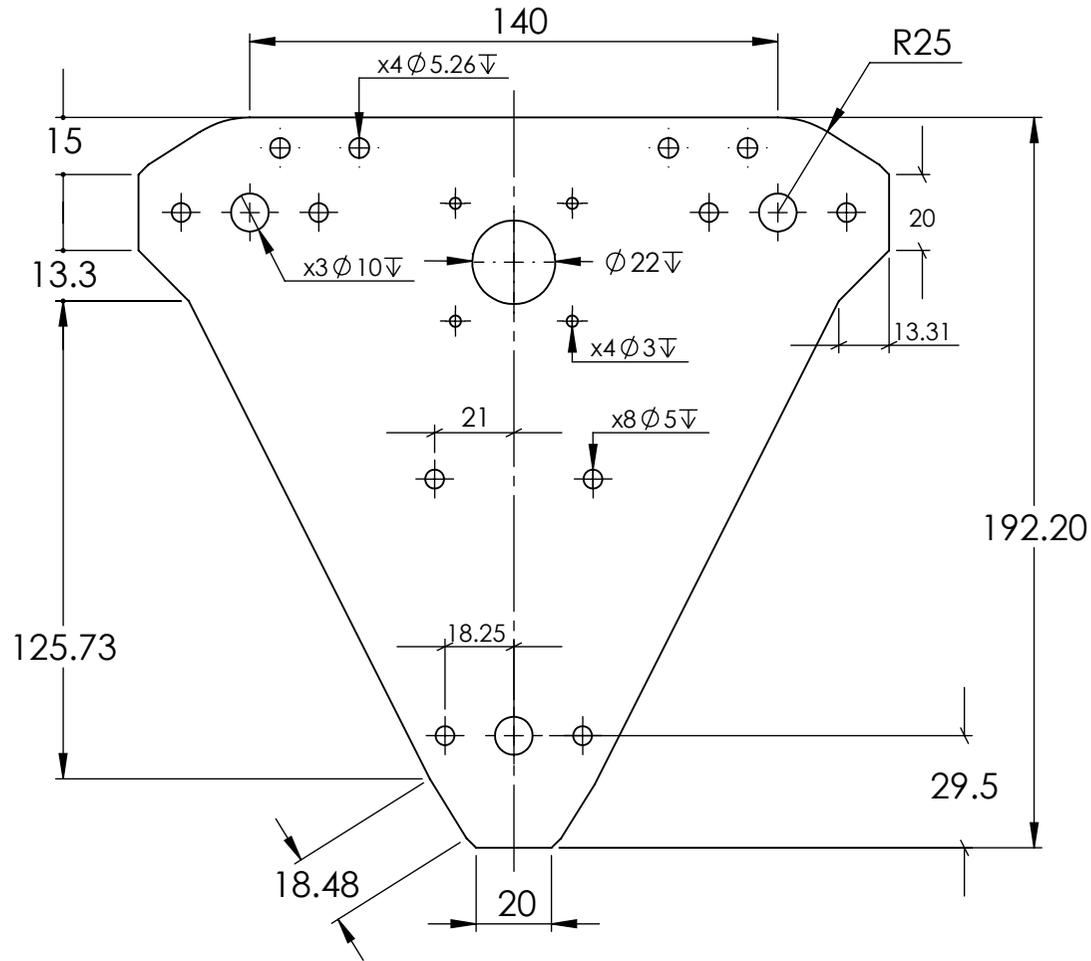
AUTOR:

Albert Santiago Melo Madariaga 2152676

REVISÁ:

Octavio Andrés González Estrada

HOJA 7/14



Escala 1:4

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

-Elaborado en acero SAE 1020 de 3mm.
- *



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FECHA: 05/02/22

ESCALA: 1:2

UNIDADES: MMGS

A4



TITULO:

BASE MOVIL PARA CAMARA 360°
CÓDIGO DE PIEZA: 2.7 - PLACA TRAPEZOIDAL

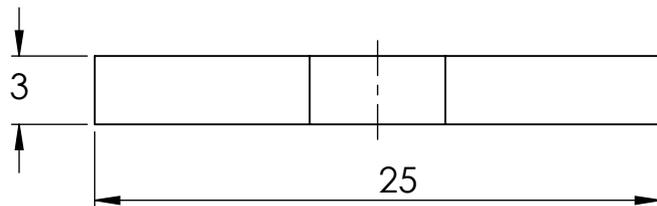
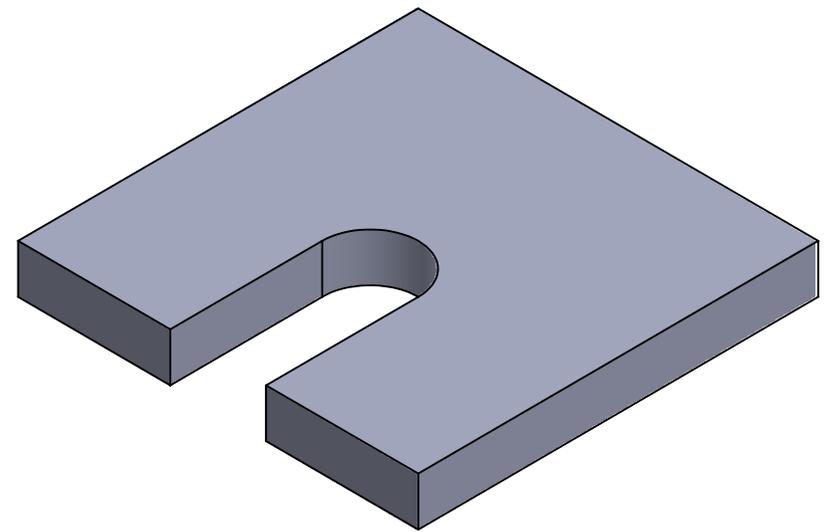
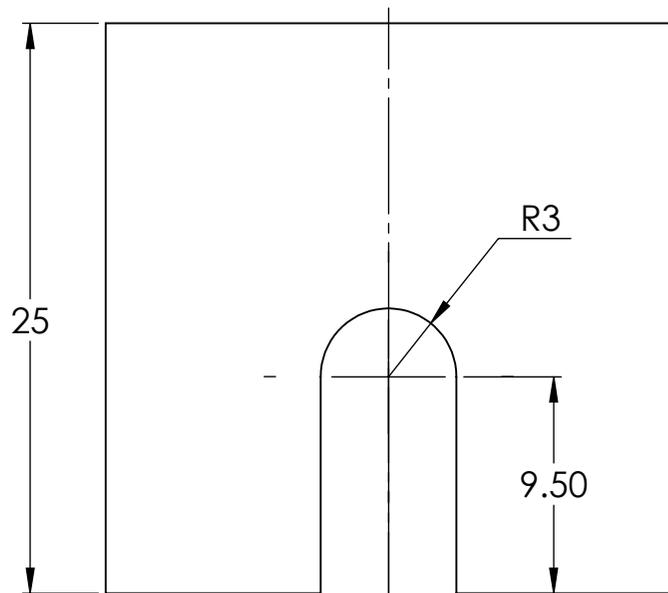
AUTOR:

Albert Santiago Melo Madariaga 2152676

REVISÁ:

Octavio Andrés González Estrada

HOJA 8/14



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:



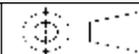
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FECHA: 05/02/22

ESCALA: 3:1

UNIDADES: MMGS

A4



TITULO:

BASE MOVIL PARA CAMARA 360°
CÓDIGO DE PIEZA: 2.8 - PESTAÑA DE PRENSA

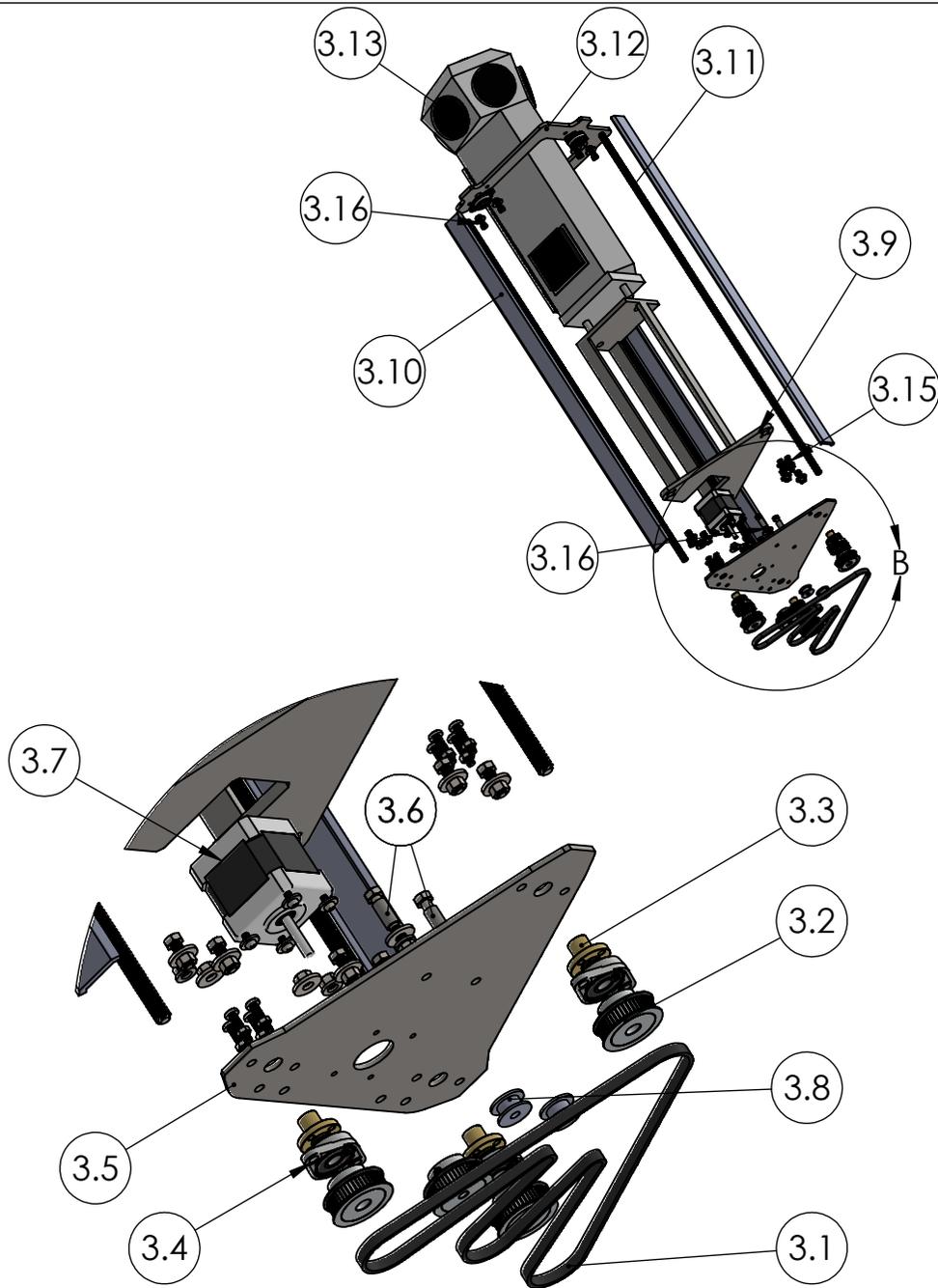
AUTOR:

Albert Santiago Melo Madariaga 2152676

REVISÁ:

Octavio Andrés González Estrada

HOJA 9/14



**DETALLE B
ESCALA 2 : 7**

3.16	Tornillo Hexagonal	X	M 5x0.8x14_14CS
3.15	Tornillo de estrella	X	M 3.5x0.6x16_Tipo I
3.14	Tornillo Hexagonal	X	M 5X0.8X36_16CS
3.13	Camara 360°	1	XXXXXXXXXX
3.12	Placa superior de la camara	1	SAE 1020
3.11	Tornillo	3	Avance trapezoidal
3.10	Soporte en C	3	SAE 1020
3.9	Base movil camara	1	SAE 1020
3.8	Polea loca	1	XXXXXXXXXX
3.7	Motor NEMA 17	1	Nema 17 con polea T5
3.6	Buje polea loca	2	XXXXXXXXXX
3.5	Placa trapezoidal	1	Ver plano de pieza 2.7*
3.4	Rodamiento	6	KFL_08
3.3	Tuerca avance trapezoidal	3	Tr 8x8_4
3.2	Polea dentada	4	GT2_48T_8_6
3.1	Correa	1	XXXXXXXXXX
CÓDIGO PIEZA	NOMBRE DE LA PIEZA	CANT.	ESPECIFICACIÓN: DIMENSIONAL, MATERIAL, REFERENCIA TÉCNICA DE SELECCIÓN, MARCA.



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FECHA: 05/02/22

ESCALA: 1:10

UNIDADES: XX

A4

TITULO:

BASE MOVIL PARA CAMARA 360°
SUBSISTEMA 3.0 - SS. DE ELEVACION

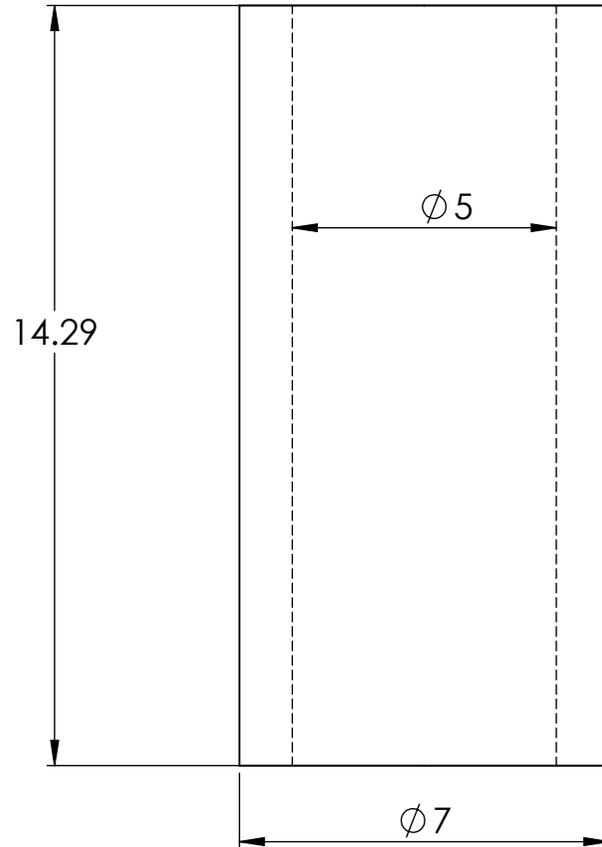
AUTOR:

Albert Santiago Melo Madariaga 2152676

REVISÁ:

Octavio Andrés González Estrada

HOJA 10/14



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FECHA: 05/02/22

ESCALA: 7:1

UNIDADES: MMGS

A4



TITULO:

BASE MOVIL PARA CAMARA 360°
CÓDIGO DE PIEZA: 3.6 - BUJE POLEA LOCA

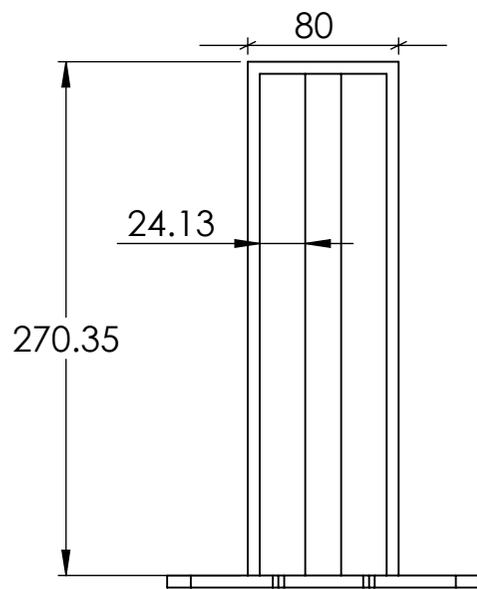
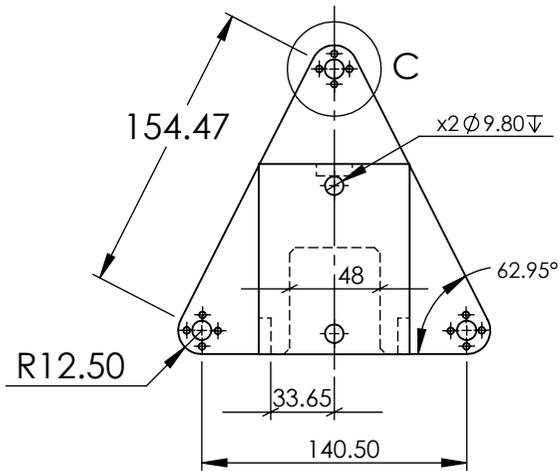
AUTOR:

Albert Santiago Melo Madariaga 2152676

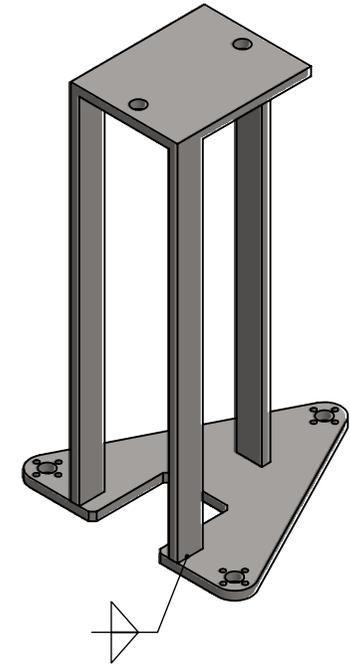
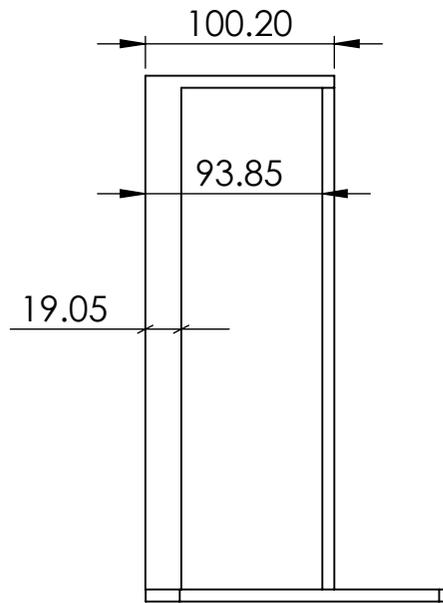
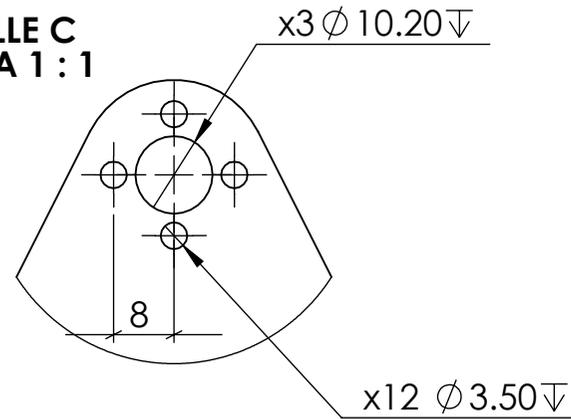
REVISA:

Octavio Andrés González Estrada

HOJA 11/14



**DETALLE C
ESCALA 1 : 1**



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

-Elaborado en acero SAE 1020 de 3mm.



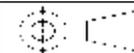
**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER**

FECHA: 05/02/22

ESCALA: 1:4

UNIDADES: MMGS

A4



TITULO:

BASE MOVIL PARA CAMARA 360°
CÓDIGO DE PIEZA: 3.9 - BASE MOVIL CAMARA

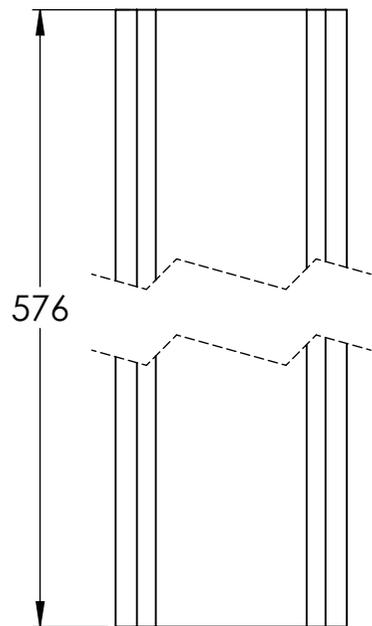
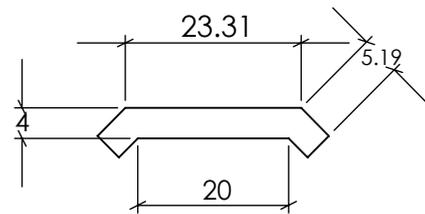
AUTOR:

Albert Santiago Melo Madariaga 2152676

REVISÁ:

Octavio Andrés González Estrada

HOJA 12/14



Escala 1:4

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:



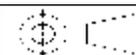
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FECHA: 05/02/22

ESCALA: 1:1

UNIDADES: MMGS

A4



TITULO:

BASE MOVIL PARA CAMARA 360°
CÓDIGO DE PIEZA: 3.10 - SOPORTE EN C

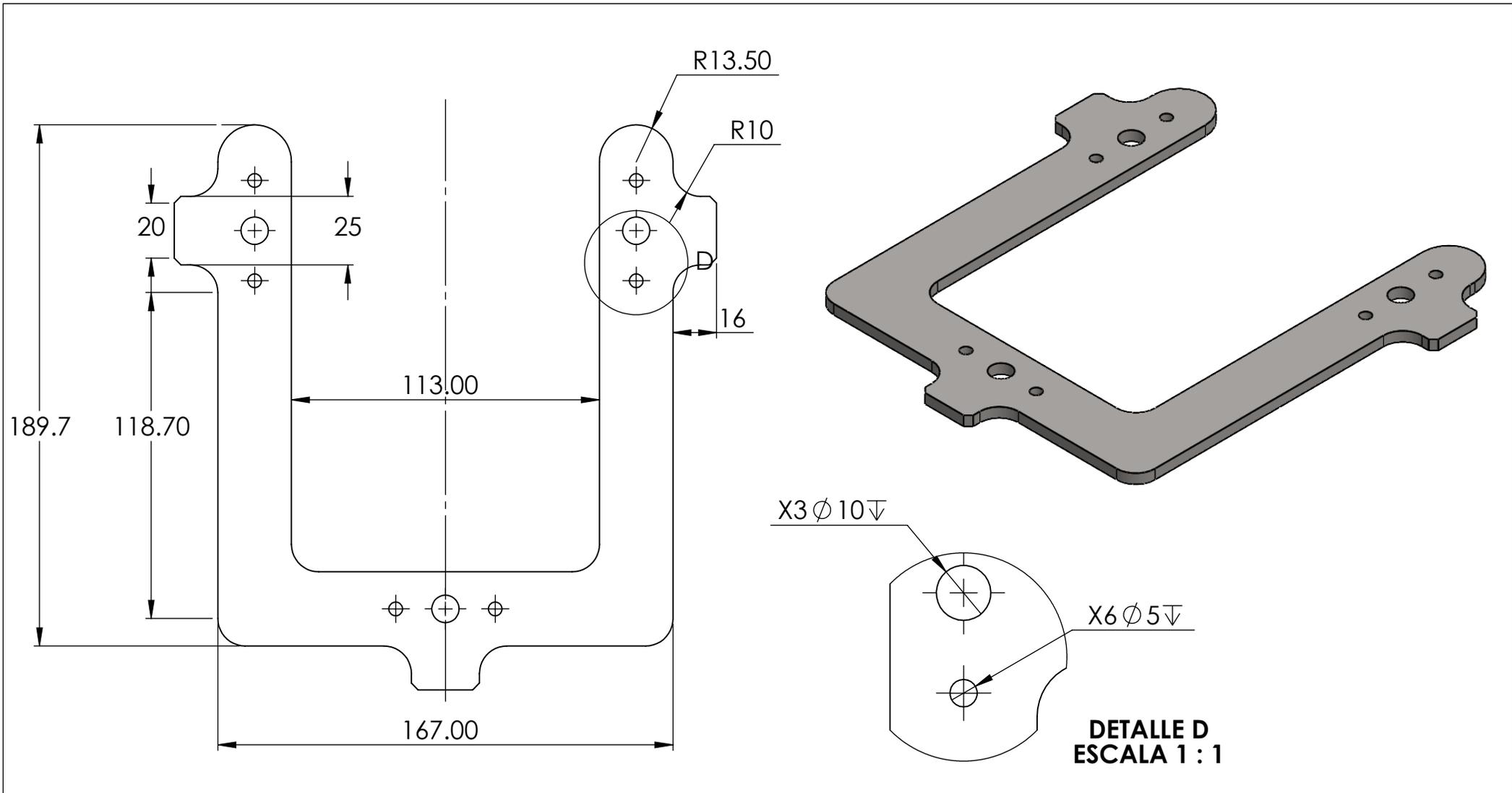
AUTOR:

Albert Santiago Melo Madariaga 2152676

REVISÁ:

Octavio Andrés González Estrada

HOJA 13/14



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

-Elaborado en lamina de 3mm SAE1020.



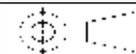
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FECHA: 05/02/22

ESCALA: 1:2

UNIDADES: MMGS

A4



TITULO:

BASE MOVIL PARA CAMARA 360°
CÓDIGO DE PIEZA: 3.12 - PLACA SUP. DE LA CAMARA

AUTOR:

Albert Santiago Melo Madariaga 2152676

REVISÁ:

Octavio Andrés González Estrada

HOJA 14/14