

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

Diseño de un dron que posea brazo para inyectar material para rehabilitar
estructuras de hormigón con estación portable

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Bowen Zambrano Samuel Antonio

Solórzano Pihuave Pablo Eduardo

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2021

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a principalmente a Dios y a su Santísima Madre, La Virgen María, se la dedico a mi madre, Diana, y a las futuras generaciones amantes del saber.

“No importa que tan complicado parezca un proyecto, siempre con mucha constancia y perseverancia puede ser concluido”.

Samuel Bowen Zambrano

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación se lo dedico a Dios por haberme permitido alcanzar esta meta y a mi madre Isabel, quien me ha brindado su amor, buen ejemplo y su apoyo incondicional.

Pablo Solórzano Pihuave

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a Dios y a su madre María, a mi madre Diana por la vida y la formación en valores que me ha dado, a mis tíos: especialmente a mi tío Romel y mi tía Alicia por su apoyo incondicional.

A los profesores de ESPOL, especialmente a los de FIMCP, por su contribución para formarme como profesional.

Al Ing. Majid Khorami, por aportar con excelentes ideas y estar siempre pendiente del avance del proyecto.

A mis compañeros: Charly, Lex, Isaac, Luis, Jhonny y Andrés que de manera desinteresada contribuyeron para que el proyecto sea culminado.

Finalmente, agradezco a Pablo Solórzano que en poco tiempo demostró su completa dedicación y compromiso.

Samuel Bowen Zambrano

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a Dios, a mi madre, a mi hermana Marcia y demás hermanos que me brindaron su apoyo durante toda la carrera.

A mi compañera de vida universitaria, la Ing. Belén Alava por su aporte de sus conocimientos de ingeniería civil para el desarrollo de este proyecto.

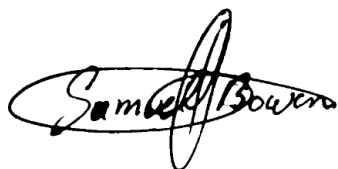
Al Ing. Majid Khorami, mi tutor, por estar siempre pendiente de nuestro avance y proporcionarnos ideas para alcanzar los objetivos trazados de este proyecto.

Finalmente, a mi compañero de titulación, Samuel Bowen por su perseverancia y dedicación, lo cual fue clave para culminar con éxito este trabajo.

Pablo Solórzano Pihuave

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Samuel Antonio Bowen Zambrano y Pablo Eduardo Solórzano Pihuave damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Samuel Bowen Z.", with a stylized, looping flourish at the end.

Samuel Bowen Z.

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Pablo Solórzano P.", with a long, horizontal, sweeping line underneath.

Pablo Solórzano P.

EVALUADORES



Firmado electrónicamente por:
**FRANCIS RODERICH
LOAYZA PAREDES**

PhD. Francis Loayza

PROFESOR DE LA MATERIA

**MAJID
KHORAMI**

Digitally signed by
MAJID KHORAMI
Date: 2022.04.12
17:46:35 -05'00'

Ing. Majid Khorami

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

En estructuras de hormigón armado se presentan fisuras debido a los esfuerzos por las cargas actuantes, la labor de reparación de estas fisuras genera costos elevados y consumo de tiempo. Por lo que, se pretende dar solución a la problemática implementando tecnologías emergentes mediante un sistema conformado por un dron inyector de lechada de cemento y su estación portable. Para ello, se evaluaron alternativas de diseño, estableciéndose un sistema compuesto por un dron y su bomba con reservorio completamente autónomos; y su estación portable de altura variable formada por una compuerta tipo iris mecánico, un habitáculo con sistema de carga para el dron, sensores y acondicionadores ambientales. Este sistema sirve para reparar fisuras en estructuras de gran altura como puentes, presas y rascacielos, teniendo en cuenta que la estación evitará que el dron descienda demasiado y pueda ahorrar energía en su operación. Adicionalmente para el dron se diseñó el sistema inyector, estructural, eléctrico y de potencia para el efectivo funcionamiento del mismo. Con la ayuda de los programas de análisis estructural se validó el diseño de los componentes principales del dron y estación portable, obteniendo una autonomía de 20 minutos considerando la carga del material, y una estación portable capaz de monitorear si las condiciones meteorológicas son adecuadas para la operación del dron, además de climatizarlo y cargarlo eléctricamente; cabe recalcar que el sistema funciona para cualquier región del país.

Palabras Clave: dron, inyector, lechada de cemento, estación portable, habitáculo, iris mecánico.

ABSTRACT

In reinforced concrete structures, cracks appear due to the stresses caused by the acting loads, the repair work of these cracks generates high costs and time consumption. Therefore, it is intended to provide a solution to the problem by implementing emerging technologies through a system consisting of a cement grout injector drone and its portable station. For this purpose, design alternatives were evaluated, establishing a system composed of a drone and its pump with a completely autonomous reservoir; and its portable station of variable height formed by a mechanical iris gate, a cabin with a charging system for the drone, sensors, and environmental conditioners. This system is used to repair cracks in high altitude structures such as bridges, dams, and skyscrapers, taking into account that the station will prevent the drone from descending too low and can save energy in its operation. Additionally for the drone, the injector, structural, electrical, and power system was designed for the effective operation of the drone. With the help of structural analysis software, the design of the main components of the drone and portable station was validated, obtaining an autonomy of 20 minutes considering the material load, and a portable station capable of monitoring whether the weather conditions are adequate for the operation of the drone, in addition to air conditioning and electrical charging; it should be noted that the system works for any region of the country.

Keywords: *drone, injector, cement grout, portable station, cabin, iris gate.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XV
ÍNDICE DE PLANOS.....	XVIII
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Definición del problema	2
1.2 Justificación del proyecto.....	4
1.3 Objetivos.....	5
1.3.1 Objetivo General	5
1.3.2 Objetivos Específicos	5
1.4 Marco teórico.....	6
1.4.1 Antecedentes	6
1.4.2 Definición y tipos de drones	8
1.4.3 Drones en la Ingeniería civil	9
1.4.4 Funcionamiento y vuelo	10
1.4.5 Sistemas conformantes del dron.....	11
1.4.6 Sistema electrónico.....	12
1.4.7 Sistema estructural	15
1.4.8 Sistema de inyección	16
1.4.9 Estación portable para el dron	21

CAPÍTULO 2.....	23
2. METODOLOGÍA	23
2.1 Descripción del problema	23
2.2 Diseño conceptual	25
2.2.1 Establecimiento de objetivos.....	25
2.2.2 Establecimiento de restricciones.....	27
2.2.3 Establecimiento de funciones.....	28
2.2.4 Alternativas de solución propuestas.....	29
2.2.5 Selección de la mejor alternativa	35
2.3 Diseño detallado.....	38
2.3.1 Diseño del VANT.....	38
2.3.2 Diseño de la estación portable	66
CAPÍTULO 3.....	91
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS	91
3.1 Resultados de diseño del VANT	91
3.1.1 Sistema inyector del VANT	91
3.1.2 Sistema estructural del VANT	111
3.1.3 Sistema eléctrico del VANT.....	118
3.1.4 Ficha técnica del diseño final del VANT	128
3.1.5 Plan de mantenimiento del VANT	132
3.2 Resultados de diseño de la estación portable	133
3.2.1 Eslabón de columna.....	133
3.2.2 Cargas.....	135
3.2.3 Análisis de la estructura columna – cables	139
3.2.4 Compuerta de acceso	146
3.2.5 Habitáculo	148
3.2.6 Base superior	150

3.2.7	Cables y accesorios	151
3.2.8	Unión columna – base inferior.....	157
3.2.9	Sistema de anclaje al suelo de la base inferior	158
3.2.10	Sensores de condiciones ambientales.....	159
3.2.11	Baterías y calefactor	160
3.2.12	Ensamblaje del diseño final.....	161
3.3	Análisis de costos.....	163
3.3.1	Análisis de costos del VANT	163
3.3.2	Análisis de costos de la estación portable.....	168
3.3.3	Análisis de la inversión del proyecto	171
3.4	Análisis de resultados.....	172
CAPÍTULO 4.....		177
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	177
4.1	Conclusiones	177
4.2	Recomendaciones.....	178
BIBLIOGRAFÍA		
APÉNDICES		

ABREVIATURAS

ABS	Acrilonitrilo Butadieno Estireno
AISI	American Iron and Steel Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
ACP	Ansys Composite Pre/Post
CFD	Computational Fluid Dynamics
CAD	Computer Aided Design / diseño asistido por computadora
CG	Centro de gravedad
DCL	Diagrama de cuerpo libre
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FASECOLDA	Federación de Aseguradores Colombianos
FS	Factor de seguridad
ESC	Electronic Speed Controller
FDP	Modelado por Deposición Fundida
FIMCP	Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción
FPV	First Person View
GFRP	Polímero reforzado con fibra de vidrio
IMU	Unidad de Medición Inercial
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
ISA	International Standar Atmosphere
NEC	Norma Ecuatoriana de la Construcción
msnm	Metros sobre nivel del mar
OIT	Organización Internacional del Trabajo
PMU	Power Managment Unit
PWM	Pulse width modulation
RPM	Revoluciones por minuto
TIR	Tasa interna de retorno
TMAR	Tasa mínima aceptable de retorno
TCM	Teoría de cantidad de movimiento
VANT	Vehículo Aéreo no Tripulado
VPN	Valor presente neto

SIMBOLOGÍA

T_r	Período de retorno
Φ	Diámetro
m	Metros
M	Masa
$\dot{m}$	Flujo másico
F_{DRAG}	Fuerza de arrastre
ρ	Densidad
D	Diámetro del extrusor
W	Ancho del canal, peso, watts
H	Profundidad del canal
L	Litros, longitud del extrusor
L_{sa}	Longitud de la sección de alimentación
L_{st}	Longitud de la sección de transición
L_{sb}	Longitud de la sección de bombeo
l	Longitud de trabajo
D_m	Diámetro menor del husillo
#	Número de hélices
θ	Ángulo de hélice
A	Área, Amperio
Q	Caudal
$\forall$	Volumen
V	Velocidad, voltaje
P	Presion
Pa	Pascales
M	Momento
T	Torque
e	Espesor de las fisuras a reparar
ω	Velocidad angular
R_x	Reaccion horizontal o de inyección
R_y	Reaccion vertical
P_h	Potencia hidráulica

ΔP_{fluido}	Gradiente de presión del fluido
P_m	Potencia mecánica
M_T	Masa total del sistema de inyección
T_{motor}	Tracción de sustentación que produce el motor
v_0	Velocidad inducida en el motor
P_{i0}	Potencia en vuelo a punto fijo
v_c	Velocidad de ascenso
v_i	Velocidad inducida en vuelo axial ascendente
P_i	Potencia en vuelo axial ascendente
v_d	Velocidad de vuelo axial descendente
P_d	Potencia en vuelo axial descendente
α_r	Ángulo de ataque de la hélice
v_a	Velocidad de avance máxima
P_a	Potencia de vuelo de avance horizontal
Ah	Amperio-hora
mAh	mili-Amperio-hora
n	Número de rotores, numero de baterías
FS	Factor de seguridad
i	Corriente
Cr	Capacidad requerida
t	Tiempo de operación del dron
Cb	Carga de bateria
t_{vuelo}	Tiempo de vuelo
min	Minutos

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Principales sectores en Ecuador como porcentaje del PIB real	4
Figura 1.2 Dron "Worker Bee"	6
Figura 1.3 Componentes del dron	7
Figura 1.4 Tipos de drones.....	8
Figura 1.5 Esquema de rotores de un dron	10
Figura 1.6 Esquema de cuadricóptero.....	10
Figura 1.7 Esquema del sistema electrónico	12
Figura 1.8 Motor multirotor	13
Figura 1.9 Controladores de velocidad o variadores	13
Figura 1.10 Batería de Litio y Polímero	15
Figura 1.11 Esquema del sistema estructural.....	15
Figura 1.12 Marco o frame de un dron	16
Figura 1.13 Esquema del sistema de inyección	16
Figura 1.14 Secciones del husillo de extrusión.....	18
Figura 1.15 Geometría del husillo de extrusión	19
Figura 1.16 Perfil alveolar impresa en 3D	21
Figura 2.1 Diagrama de metodología de diseño para el diseño de un dron que posea brazo para inyectar material para rehabilitar estructuras de hormigón con estación portable.....	24
Figura 2.2 Árbol de objetivos	26
Figura 2.3 Diagrama de caja negra	28
Figura 2.4 Diagrama de caja transparente	28
Figura 2.5 Bosquejos de alternativa de solución A y B para el VANT	29
Figura 2.6 Bosquejos de alternativas de solución C y D para el VANT	30
Figura 2.7 Bosquejos de alternativas de solución A y B para la estación portable.....	32
Figura 2.8 Bosquejo de alternativas de solución C y D para la estación portable	33
Figura 2.9 Propuestas de diseño	34
Figura 2.10 Alternativa de solución ganadora para el VANT	37
Figura 2.11 Alternativa de solución ganadora para la estación portable	37
Figura 2.12 Diagrama de flujo de ecuaciones de extrusión	39
Figura 2.13 Geometría del husillo.....	40
Figura 2.14 Dimensiones del reservorio	41

Figura 2.15 Bosquejo de camisa o estator	41
Figura 2.16 Boquilla de la bomba	42
Figura 2.17 Datos utilizados para los parámetros de ingreso.....	42
Figura 2.18 Mallado del modelo del inyector en ANSYS	44
Figura 2.19 Mallado del modelo del inyector en ANSYS, zoom a la boquilla	44
Figura 2.20 DCL del husillo	45
Figura 2.21 Puntualización de la carga distribuida	46
Figura 2.22 DCL de la camisa de la bomba	46
Figura 2.23 Mallado de la camisa de la bomba	47
Figura 2.24 Definición de cargas y condiciones de apoyo en la camisa de la bomba ...	48
Figura 2.25 Operación del brazo inyector.....	49
Figura 2.26 Dimensión de la manguera.....	50
Figura 2.27 DCL de la manguera	50
Figura 2.28 Ubicación del servomotor	50
Figura 2.29 Diseño de forma del brazo inyector	50
Figura 2.30 Prediseño final de forma del sistema inyector	52
Figura 2.31 Esquemmatización del área a reparar.....	53
Figura 2.32 Tiempo de traslado en la pared	53
Figura 2.33 Bosquejo de la distancia de operación entre el VANT y pared.....	54
Figura 2.34 Densidad del aire calculada	55
Figura 2.35 Hélices seleccionadas del VANT	57
Figura 2.36 Frame del hexacóptero	60
Figura 2.37 DCL del VANT	61
Figura 2.38 Piezas críticas del VANT	62
Figura 2.39 Ubicación del centro de gravedad real del VANT	64
Figura 2.40 Diseño de forma de la estructura.....	65
Figura 2.41 Diseño de forma de la sección transversal del eslabón.....	67
Figura 2.42 Diseño de forma de la unión macho y hembra de eslabones.....	68
Figura 2.43 Vista superior 1 del iris mecánico	68
Figura 2.44 Vista superior 2 del iris mecánico	69
Figura 2.45 Vista 1 del habitáculo con dimensiones principales.....	69
Figura 2.46 Vista 2 del habitáculo con dimensiones principales.....	70
Figura 2.47 Vista de la base superior	70

Figura 2.48 Vista de la base inferior con dimensiones principales	71
Figura 2.49 Diagrama de flujo del análisis de carga máxima para el eslabón de columna considerando Factor de Seguridad.....	72
Figura 2.50 Diagrama de flujo del cálculo de presión y fuerza del viento.....	76
Figura 2.51 DCL de estación, reacciones en la unión de la base.....	78
Figura 2.52 DCL de la columna debido a fuerzas de los cables.....	80
Figura 2.53 Unión entre componentes	82
Figura 2.54 DCL de la base inferior.....	83
Figura 2.55 Definición de condiciones de simulación del eslabón de columna	84
Figura 2.56 Representación de la estructura cables- columna.....	85
Figura 2.57 Definición de la cargas y restricción en el habitáculo	86
Figura 2.58 Definición de las cargas y restricciones en el ala de anclaje de la abrazadera	87
Figura 2.59 Descomposición de cargas actuantes en la brida	88
Figura 2.60 Aislamiento de una pieza de la brida con sus cargas actuantes	88
Figura 2.61 Cargas actuantes y reacciones verticales	88
Figura 2.62 Restricciones de la sección de la abrazadera	89
Figura 2.63 Cargas actuantes en el perno.....	89
Figura 2.64 Cargas actuantes en la unión columna - base inferior.....	90
Figura 2.65 Restricción de la base inferior	90
Figura 3.1 CAD Recipiente del material	92
Figura 3.2 CAD del husillo	93
Figura 3.3 CAD de la Camisa.....	94
Figura 3.4 Cargas ingresada en ANSYS previo a simulación estructural.....	95
Figura 3.5 Factor de seguridad de la camisa.....	96
Figura 3.6 Esfuerzo de Von Mises.....	96
Figura 3.7 Deformación total	96
Figura 3.8 Ubicación de rodamiento SKF en la camisa.....	97
Figura 3.9 CAD del Motor NEMA 23.....	99
Figura 3.10 Drive controlador EM556S	100
Figura 3.11 Escala de colores del gradiente de presión interna de operación	103
Figura 3.12 Escala de colores de velocidad del fluido dentro de la bomba	104

Figura 3.13 Líneas de flujo de corriente “stream line” de la lechada de cemento dentro de la bomba.....	105
Figura 3.14 Componentes de la bomba de desplazamiento positivo diseñada	106
Figura 3.15 Ubicación de los componentes del brazo inyector.....	108
Figura 3.16 Componentes del sistema inyector.....	110
Figura 3.17 bloque de análisis en ANSYS5.....	111
Figura 3.18 Ingreso de las condiciones del brazo y mallado	112
Figura 3.19 Esfuerzos presentes en el brazo en ANSYS	112
Figura 3.20 Deformación presente en el brazo en ANSYS.....	113
Figura 3.21 Uniones a fabricar de fibra de carbono.....	114
Figura 3.22 Placas a fabricar de fibra de carbono	114
Figura 3.23 Tubos a fabricar de fibra de carbono	115
Figura 3.24 Medidas generales de la estructura ensamblada del VANT	115
Figura 3.25 Vista isométrica de la estructura y sus componentes.....	116
Figura 3.26 Motor Titan T8110	118
Figura 3.27 Características técnicas del motor T8110	119
Figura 3.28 Hélices PJP-T-L 24X9	119
Figura 3.29 ESC pulse P80	120
Figura 3.30 Batería de Ion Litio de 24 V con carga de 40 [Ah]	122
Figura 3.31 Características de la Batería de Ion Litio de 24V	122
Figura 3.32 Controladora NAZA M-V2.....	123
Figura 3.33 Control remoto (A) y receptor (B)	124
Figura 3.34 iOSD Mini de DJI.....	125
Figura 3.35 RunCam Swift 2 Mr. steele	126
Figura 3.36 Especificaciones técnicas de la cámara	126
Figura 3.37 Esquema de conexiones del sistema eléctrico del VANT.....	127
Figura 3.38 Vista superior del VANT inyector sin baterías de alimentación	130
Figura 3.39 Vista lateral del VANT inyector con baterías de alimentación	130
Figura 3.40 Vista isométrica del VANT inyector	131
Figura 3.41 Análisis con ANSYS de eslabón de columna sometido a compresión	134
Figura 3.42 Visualización del eslabón de columna con uniones macho y hembra	135
Figura 3.43 Fuerza en cada altura de eslabón de columna.....	135
Figura 3.44 Distribución de la Fuerza del viento según la altura	137

Figura 3.45 Dimensiones de la estructura cables – columna	139
Figura 3.46 Definición de cargas actuantes	141
Figura 3.47 Reacciones en los apoyos.....	141
Figura 3.48 Diagrama de fuerza axial y torsión en columna.....	142
Figura 3.49 Diagrama de Cortante en eje local 2 y Momento alrededor del eje local 3 de la columna	143
Figura 3.50 Diagrama de Cortante en eje local 3 y Momento alrededor del eje local 2 de la columna	143
Figura 3.51 Diagrama de esfuerzo máximo en la columna	143
Figura 3.52 Diagrama de Fuerza axial y Torsión en el cable más crítico	144
Figura 3.53 Diagrama de esfuerzo axial en el cable más crítico	144
Figura 3.54 Diagrama de esfuerzos máximos en estructura	144
Figura 3.55 Deformada de la estructura	146
Figura 3.56 Corona dentada – piñones	147
Figura 3.57 Esfuerzo Von Mises en el piñón de mando	147
Figura 3.58 Motor seleccionado para accionar compuerta de estación portable	148
Figura 3.59 Esfuerzo de Von Mises en el habitáculo	149
Figura 3.60 Dimensiones principales del habitáculo	150
Figura 3.61 Esfuerzo Von Mises en la Base Superior	150
Figura 3.62 Dimensiones principales de la Base Superior	151
Figura 3.63 Cable mensajero 3/8"	152
Figura 3.64 Esfuerzo de Von Mises en el ala de anclaje de brida	154
Figura 3.65 Dimensiones principales del ala de anclaje	155
Figura 3.66 Tensión de Von Misses en la abrazadera	155
Figura 3.67 Dimensiones principales de brida.....	156
Figura 3.68 Perno grado 5 cabeza hexagonal en pulgadas $\frac{3}{4}$ - 16 UNF-2.75.....	156
Figura 3.69 Tensión de Von Misses en la unión columna - base inferior	157
Figura 3.70 Tensión de Von Mises en la base inferior - cinta de anclaje.....	158
Figura 3.71 Sensor METSENS 500.....	159
Figura 3.72 Sensor HygroVUE10	159
Figura 3.73 Sensor CS320	160
Figura 3.74 Batería portátiles de 250 [W]	160
Figura 3.75 Calefactor portátil 12 [V] y 150 [W] para vehículo.....	161

Figura 3.76 Ensamble de diseño final	162
--	-----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Tipo de drones según su propulsión.....	8
Tabla 1.2 Usos del dron en la ingeniería civil	9
Tabla 1.3 Diferentes tipos de baterías para drones.....	14
Tabla 1.4 Propiedades de lechadas convencionales.....	17
Tabla 1.5 Viscosidad aparente inicial medida a 200 s^{-1}	18
Tabla 1.6 Ecuaciones para calcular parámetros principales del husillo.....	20
Tabla 1.7 Materiales para impresión 3D	22
Tabla 2.1 Comparación por pares de objetivos principales	25
Tabla 2.2 Establecimiento de restricciones	27
Tabla 2.3 Comparación de ventajas y desventajas de las alternativas del dron inyector	31
Tabla 2.4 Lista de comparación de ventajas y desventajas de las opciones de estación portable.....	33
Tabla 2.5 Comparación por Pares.....	35
Tabla 2.6 Calificación cualitativa y cuantitativa.....	35
Tabla 2.7 Ponderación de criterios	36
Tabla 2.8 Matriz de decisión de alternativas.....	36
Tabla 2.9 Descripción de los componentes de la alternativa ganadora para el VANT ..	37
Tabla 2.10 Descripción de los componentes de la alternativa ganadora para la estación portable.....	37
Tabla 2.11 Propiedades de la lechada de cemento a 21.3°C	38
Tabla 2.12 Parámetros geométricos del husillo	40
Tabla 2.13 Datos obtenidos por ANSYS	45
Tabla 2.14 Resultados de las reacciones en el husillo y camisa	47
Tabla 2.15 Propiedades de los materiales AISI 4140, ABS y fibra de carbono estándar	51
Tabla 2.16 Masa de los sistemas conformante del VANT	55
Tabla 2.17 Propiedades mecánicas del acero y la fibra de carbono	63
Tabla 2.18 Propiedades mecánicas de tipos de material FRP	66
Tabla 2.19 Centroides de figuras geométricas	77
Tabla 3.1 Datos técnicos del recipiente	92
Tabla 3.2 Especificaciones técnicas y geométricas del husillo.....	93

Tabla 3.3 Especificaciones técnicas de la camisa de la bomba	94
Tabla 3.4 Cargas presentes en la camisa	95
Tabla 3.5 Especificaciones técnicas de los rodamientos.....	97
Tabla 3.6 Descripción del sello y acople	98
Tabla 3.7 Descripción de la abrazadera y boquilla	98
Tabla 3.8 Características del motor Nema 23	99
Tabla 3.9 Características del drive controlador	100
Tabla 3.10 Características de las baterías del motor	101
Tabla 3.11 Datos ingresado y obtenidos por ANSYS CFD.....	102
Tabla 3.12 Componentes del brazo inyector	107
Tabla 3.13 Especificaciones técnicas del Servo motor MG996R tomada del datasheet	108
Tabla 3.14 Características de la manguera.....	108
Tabla 3.15 Componentes del sistema inyector y sus masas	109
Tabla 3.16 Especificaciones técnica de los tubos	113
Tabla 3.17 Componentes de la estructura y su masa	117
Tabla 3.18 Pernos necesarios para ensamblar la estructura.....	117
Tabla 3.19 Requerimiento de potencia especificadas a un voltaje de 48 V.....	120
Tabla 3.20 Datasheet de NAZA M-V2	123
Tabla 3.21 Datasheet del control remoto y receptor	124
Tabla 3.22 Datasheet del IOSD mini	125
Tabla 3.23 Detalle de la estructura.....	128
Tabla 3.24 Detalle del sistema de Inyección	128
Tabla 3.25 Detalle de vuelo	129
Tabla 3.26 Detalle del sistema de propulsión	129
Tabla 3.27 Plan de mantenimiento preventivo	132
Tabla 3.28 Propiedades geométricas de la sección de eslabón de columna	133
Tabla 3.29 Comparación de resultados de carga máxima de compresión para eslabón de columna.....	134
Tabla 3.30 Fuerza calculada en cada eslabón	136
Tabla 3.31 Resultados de carga muerta.....	137
Tabla 3.32 Propiedades de cables de guarda de acero galvanizado 1x7	138
Tabla 3.33 Fuerzas del viento en elementos superiores	140

Tabla 3.34 Valores y punto de aplicación de la Fuerza del viento sobre columna	140
Tabla 3.35 Ubicación, valor y sentido de las cargas actuantes en la estructura.....	140
Tabla 3.36 Reacciones en los apoyos	142
Tabla 3.37 Comparación de esfuerzo y resistencia de elementos de la estructura.....	145
Tabla 3.38 Definición de cargas sobre el piñón.....	147
Tabla 3.39 Resultados de la simulación del piñón de mando.....	148
Tabla 3.40 Propiedades del GFRP	149
Tabla 3.41 Cargas actuantes sobre el habitáculo.....	149
Tabla 3.42 Resultados de la simulación del habitáculo	149
Tabla 3.43 Resultados de la simulación de la base superior.....	151
Tabla 3.44 Propiedades del cable 3/8”	152
Tabla 3.45 Resultados de cargas internas y factor de seguridad los cables	152
Tabla 3.46 Propiedades del acero inoxidable	153
Tabla 3.47 Cargas actuantes en el ala de anclaje de la brida	153
Tabla 3.48 Resultados de simulación del ala de anclaje de brida	154
Tabla 3.49 Resultados de la simulación de la abrazadera	155
Tabla 3.50 Valores de las cargas actuantes en la unión columna - base inferior	157
Tabla 3.51 Resultados de la simulación de la unión columna - base inferior	157
Tabla 3.52 Resultados de simulación de la base inferior - cinta de anclaje	159
Tabla 3.53 Costos de piezas de compra directa del sistema de inyección.....	164
Tabla 3.54 Costos de los pernos cabeza hexagonal de compra directa	165
Tabla 3.55 Costos para piezas de compra directa del sistema eléctrico	165
Tabla 3.56 Costos de manufactura de componentes del sistema inyector.....	166
Tabla 3.57 Costos de manufactura de componentes del sistema estructural.....	167
Tabla 3.58 Costo total de la construcción del VANT	168
Tabla 3.59 Costos para piezas de compra directa	169
Tabla 3.60 Costos para piezas manufacturadas en talleres de metalmecánica.....	169
Tabla 3.61 Costos para piezas manufacturas en industrias de proceso de pultrusión	170
Tabla 3.62 Costo total de la construcción de la estación portable.....	170
Tabla 3.63 Datos para análisis de inversión del proyecto	171
Tabla 3.64 Resultados del análisis de inversión del proyecto	171

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1	TUBOS BRAZOS
PLANO 2	PLACA RECTÁNGULAR INFERIOR
PLANO 3	PLACA HEXAGONAL SUPERIOR
PLANO 4	PLACA HEXAGONAL INFERIOR
PLANO 5	UNIÓN: BRAZO-PLACA-HEXAGONAL
PLANO 6	UNIÓN: TUBOS-LATERALES
PLANO 7	UNIÓN: ROTOR-BRAZOS
PLANO 8	TUBOS LATERALES
PLANO 9	TREN DE ATERRIZAJE
PLANO 10	TUBO DE BRAZO INYECTOR
PLANO 11	UNIÓN: BRAZO INYECTOR
PLANO 12	BOQUILLA DE SALIDA DE INYECCIÓN
PLANO 13	BOQUILLA: CAMISA MANGUERA
PLANO 14	HUSILLO
PLANO 15	CAMISA
PLANO 16	TAPA-CAMISA
PLANO 17	RESERVORIO
PLANO 18	ACOPLE DE INGRESO
PLANO 19	ACOPLE INFERIOR: SERVO - MANGUERA
PLANO 20	ACOPLE SUPERIOR: SERVO - MANGUERA
PLANO 21	ACOPLE: SERVO - TUBO BRAZO INYECTOR
PLANO 22	VANT INYECTOR DE LECHADA DE CEMENTO (VISTAS)
PLANO 23	VANT INYECTOR DE LECHADA DE CEMENTO
PLANO 24	BASE INFERIOR
PLANO 25	ESLABÓN DE COLUMNA
PLANO 26	BASE SUPERIOR
PLANO 27	HABITÁCULO
PLANO 28	BASE DE IRIS MECÁNICO
PLANO 29	SECCIÓN DE IRIS MECÁNICO
PLANO 30	CINTA DE APERTURA DEL IRIS MECÁNICO
PLANO 31	BRIDA
PLANO 32	ALA DE BRIDA

PLANO 33	PIÑÓN DE MANDO
PLANO 34	CINTA INFERIOR – CON CALCE INFERIOR
PLANO 35	CINTA INFERIOR – CON CALCE SUPERIOR
PLANO 36	ESTACIÓN PORTABLE (VISTAS)
PLANO 37	ESTACIÓN PORTABLE

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

El inicio y el uso de los drones se remonta a mediados del siglo XX principalmente para uso militar. Gracias al avance de la tecnología, en la actualidad existen diferentes tipos de vehículos no tripulados: aéreos, terrestres y acuáticos. El dron es un tipo de vehículo aéreo no tripulado (VANT) sus principales características son: sostenibilidad, pueden ser reusados y controlados remotamente (Addati & Pérez, 2014).

Pueden realizar tareas específicas de manera autónoma cuando son programados y son usados en diferentes aplicaciones como: eventos, situaciones de emergencia, búsqueda de personas, vigilancia, desarrollo de obras civiles, etc. (Boucher, 2015).

La industria de la construcción es una de las fuentes más grandes de empleos, la construcción de más casas y edificios van en aumento y con ello también la reparación de estructuras de hormigón que presenten grietas o desperfectos. El sector de la construcción siempre ha estado en la búsqueda de reducir costos para poder ganar licitaciones de obras (Gonzáles, 2019). Los trabajos de reparación y construcción de edificaciones implican el uso de andamios y personal capacitado con su adecuado equipo de seguridad, generando gastos operativos, por parte del empleador o de la organización y de prevención de riesgos laborales.

Dado que actualmente el uso de drones ha ido en aumento, gracias a su autonomía de vuelo y el acople de nuevas tecnologías como sensores y demás dispositivos, sería posible emplearlos para aumentar la rapidez en la ejecución de una obra civil. El planteamiento del diseño de un dron inyector de material junto con su estación portable para aplicaciones en el desarrollo de obras civiles, podría estar sujeto al reglamento de seguridad para la construcción y obras públicas de Ecuador en un futuro.

1.1 Definición del problema

El trabajo en altura es cualquier actividad que realice un trabajador mientras está expuesto a un riesgo de caída de distinto nivel, cuya diferencia de cota sea aproximadamente igual o mayor a 1.5 metros con respecto al plano inferior más próximo (Gavarito, 2009). Los efectos de una caída desde cierta altura pueden ser debido tanto a causas humanas, por ejemplo: mala condición física, desequilibrios por mareos, vértigo, falta de atención o como a causas materiales: falta de equipos de protección, rotura de elementos de sustentación, suelo húmedo. (Oña, 2015).

Según datos de la Organización Internacional del Trabajo (OIT), 42 de cada 1 000 trabajadores se accidentan cada año. En la construcción, el riesgo de caída en altura representa el 58.2% (Muprespa, 2006). Según cifras de FASECOLDA (federación de Aseguradores Colombianos), para el año 2013 se produjeron 542.406 accidentes laborales, de los cuales 750 fueron fatales, consolidándose este hecho en las empresas del sector construcción e inmobiliario (Paucar, 2018). Los tipos de trabajos en altura que se realizan más frecuentemente son: trabajos en andamios, trabajos en plataformas elevadoras, trabajos verticales, acceso y posicionamiento mediante cuerdas, entre otros.

Los usos más frecuentes de los andamios son: construcción, remodelación, mantenimiento, reparación y demolición de edificios. Para ello los trabajadores deberán disponer de andamios suficientes y apropiados para realizar todos los trabajos a cierta altura que no puedan efectuarse con seguridad desde una escalera de mano o por otro medio. Las causas más comunes de accidentes en andamios son: caídas de personas a distintos niveles, derrumbe de la estructura, caídas de materiales sobre personas, entre otros (Calles, 2009). De esta manera se exponen la vida, salud y el bienestar de los trabajadores a los imprevistos de un uso inadecuado o de la intervención de factores externos que podrían anular o reducir el nivel de seguridad.

Para poder solucionar las problemáticas relacionadas a la salud pública, seguridad y bienestar de los trabajadores en el desarrollo de una obra civil y

junto a la implementación de las tecnologías emergentes de nuestro entorno, implementar una nueva alternativa utilizando un VANT que posea un brazo inyector de material, cuyas propiedades sean parecidas a la mezcla de agua más cemento, con el fin de rehabilitar edificaciones en construcción o reparación de grietas con su propia estación portable es muy tentativo.

Esta alternativa tendría una amplia aplicación en el desarrollo de obras civiles: construcción, reparación, mantenimiento, disminuir los riesgos de accidentes para los trabajadores, menor requerimiento de personal, reducción de costos y menor impacto ambiental. También permitiría reducir: el número de accidentes de los trabajadores, lesiones físicas como discapacidades parciales o lesiones graves, pérdidas de ingresos y costos financieros para el empleador u organización en caso de accidentes y evitar la reinserción de trabajadores, ya que, entorpecen y detienen el avance del proyecto.

En los aspectos culturales y sociales, no posee mucha relevancia porque el proyecto se enfoca en las aplicaciones de la ingeniería civil y semejantes con proyección a rehabilitación de estructuras, ya sea en Ecuador o en cualquier parte del mundo. En el ámbito global utiliza las nuevas tecnologías emergentes para uso profesional, desarrollando conocimiento, ciencia e innovación, permitiendo la innovación de procesos y aplicación de nuevas tecnologías.

Por último, pero no menos importante, tenemos los siguientes aspectos: en el Ambiental, el planteamiento del diseño de un dron inyector de material junto con su estación portable reduciría la contaminación al medio ambiente que se generaría al montar un andamio de varias piezas. En cuanto al económico, se considera que es posible la elaboración y fabricación de ciertas partes con materia prima local.

1.2 Justificación del proyecto

El sector de la construcción en el Ecuador representa uno de los sectores más importantes para el país, en el año 2019 representó el 8,17 [%] del PIB real nacional traduciéndose en un valor de \$ 5 874 millones y generó el 6,1 % del total de empleos (Gestión, 2019). Debido a la crisis del coronavirus, este sector decayó, por lo tanto, se hace necesario realizar acciones y cambios para reactivarla.

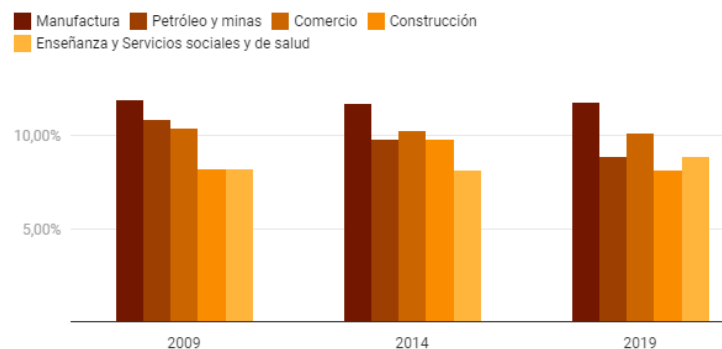


Figura 1.1 Principales sectores en Ecuador como porcentaje del PIB real (Gestión, 2019)

A pesar de las malas repercusiones que dejó la pandemia, hubo reactivación en la venta de materiales, puesto a que las personas pasaron más tiempo en casa, realizaron remodelaciones y/o reparaciones en sus viviendas o edificios (Primicias, 2021).

Teniendo en cuenta que la reparación de fisuras de concreto en paredes o losas es esencial para prevenir filtración de agua de lluvia o para evitar que se expandan daños estructurales, se debe buscar una solución que potencie esta tendencia y se vea más atractivo para la persona que quiera reparar y remodelar su edificación, ya que, actualmente esta actividad se realiza con el uso de andamios metálicos o de caña guadua que representa inconvenientes en tema de costos, tiempo y seguridad.

Debido a la creciente implementación e innovaciones del uso de drones, es conveniente realizar un análisis comparativo entre esta tecnología y las convencionales para las labores de reparación en alturas.

El alquiler durante 15 días andamio de estructura tubular de acero galvanizado en caliente hasta 10 [m] de altura máxima de trabajo para la ejecución de fachada de 100 [m²] cuesta \$ 159,62 (CYPE, 2021). La compra de un dron fumigador de plantaciones con capacidad de 20 [L], cuesta alrededor de \$4980; entonces vemos que el dron resulta más caro, pero posee un tiempo de vida útil más largo en comparación con los andamios metálicos y mucho más largo que los andamios de bambú, los cuales son desechados después de 3 usos representando un impacto ambiental reducido a diferencia de los andamios convencionales.

El uso de VANT permitiría una mayor rapidez en la ejecución, menor riesgo para los trabajadores, menor requerimiento de personal, reducción de costos y menor impacto ambiental. Por tal motivo se plantea una alternativa como diseño de un dron inyector para uso en obras civiles con su plataforma de soporte, teniendo mucha relevancia en el aspecto de seguridad y bienestar, ya que, el uso de drones permite la reducción de exposición a riesgos del personal encargado de las labores de reparación en altura de edificaciones.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar y analizar la estabilidad de vuelo de un dron inyector de materiales similares a la mezcla de cemento con agua, así como una estación portable de altura variable mediante el uso de herramientas computacionales y criterios de diseño con la finalidad de obtener un equipo que pueda ser usado en lugares de difícil acceso y gran altura en una construcción civil.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Conocer y analizar los parámetros más relevantes que afectan directamente a la estabilidad de un dron y conocer sus componentes.
2. Definir la cantidad del material a inyectar, seleccionar el sistema inyector y modelamiento 3D de la estructura del dron para poder realizar un ensamble completo.

3. Realizar el diseño de la estación portable capaz de soportar el peso de dron, la carga lateral del viento, equipos mecánicos, eléctricos y sensores de condiciones climáticas diferentes alturas.
4. Validar la estabilidad de la columna de la estación portable ante desplazamientos excesivos causados por la carga lateral del viento, proponiendo soluciones ingenieriles.
5. Utilizar materiales adecuados capaces de cumplir las solicitudes para la estructura del dron, el sistema inyector y la estación portable.
6. Elaborar un análisis de costos del equipo compuesto por el dron con su sistema de inyección, estación portable y componentes.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Antecedentes

Se han desarrollado drones atomizadores de pintura para fachadas de edificios como lo es el caso de la empresa Apellix con sus drones “Apellix Worker Bee”, estos van equipados con un “sistema umbilical”; es decir, están conectados a una base (en suelo) por un conducto, este se conecta al dron que va equipado con una boquilla destinada a pintar superficies verticales. (Grupo Cagel Comunicaciones, 2021). Los beneficios que ellos proponen a usar su dron son: reducción del tiempo de aplicación, poco desperdicio y seguridad en alturas.



Figura 1.2 Dron "Worker Bee" (Gardner Business Media, 2020)

La red de laboratorios de investigación de Walt Disney Company “Disney Research” en conjunto con la Escuela Politécnica Federal de Zurich “ETH Zurich”, crearon el dron que pinta en aerosol denominado PaintCopter, los desarrolladores personalizaron el modelo DJI Matrice 1002 para crear el PaintCopter (Wevolver, 2021), que es un cuadricóptero equipado de un brazo y una pistola rociadora con mecanismos de giro e inclinación para aplicar la pintura en lugares de difícil acceso. El dron realiza un escaneo 3D sobre la superficie a pintar para que los operadores tracen una ruta par que el PaintCopter realice el trabajo y para calcular la cantidad de pintura a usar (Vempati, 2018).

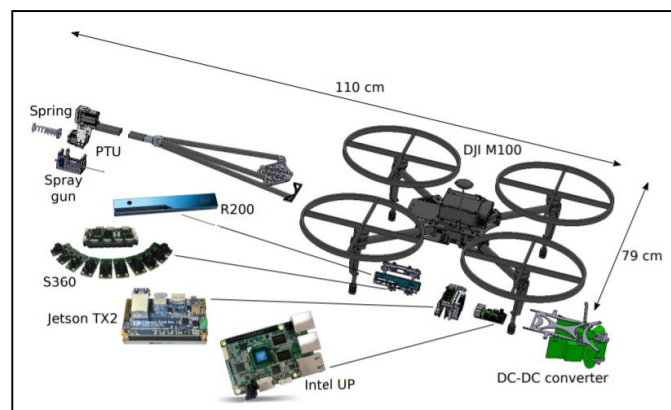


Figura 1.3 Componentes del dron (Vempati, 2018)

Dentro de los equipos de proyección de mezclas en base a cemento existen máquinas que manejan grandes volúmenes tales como bombas de hormigón móviles y portátiles las cuales para conducir las mezclas a diferentes alturas hacen uso de un brazo extensible; del lado contrario se tiene equipos con bajo caudal de inyección siendo estas bombas de pistón de simple accionamiento manual, dosificadora con aire comprimido y bombas tipo tornillo sin fin.

Un caso de estos equipos de bajo caudal es el desarrollado por Wylson R. Nyemba y sus compañeros en su trabajo “Conceptualization, development and design of a mortar spraying machine”, donde conceptualizaron desarrollaron y diseñaron un pequeño sistema rociador de mortero para mecanizar el proceso de enlucido, capaz de suministrar 10 [L/min] de mortero cubriendo un área de 31.5 m²/h; su fabricación con materiales

disponibles en Sudamérica tiene un costo aproximado de \$ 754. (Nyemba, 2020)

1.4.2 Definición y tipos de drones

Un dron es un vehículo aéreo no tripulado (VANT) que pueden ser controlados de manera remota o por ellos mismos de manera autónoma a través de algún programa. Los podemos hallar de diferentes tipos: de dos o más hélices como se expone en la Figura 1.4 y Tabla 1.1. Para explicar la física y aerodinámica del vuelo usaremos el cuadricóptero (4 hélices) como ejemplo. Las hélices son impulsadas mediante motores eléctricos de corriente continua sin escobillas que se encuentran en los extremos de los brazos (Ruipérez, 2016).

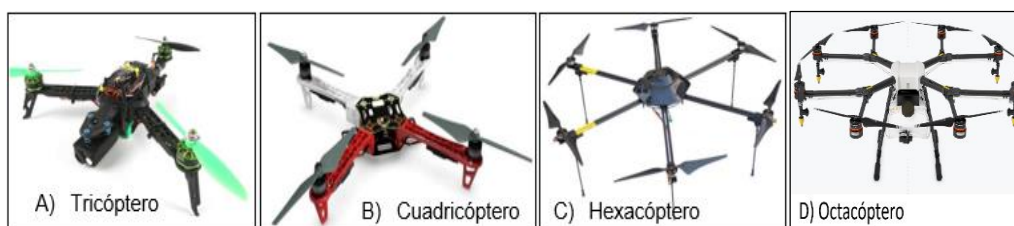


Figura 1.4 Tipos de drones (Ruipérez, 2016) y (DJI, 2021)

Tabla 1.1 Tipo de drones según su propulsión (Ruipérez, 2016)

TIPO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
A) Tricóptero	Más económicos, más ligeros	Escasos en el mercado, menos estable
B) Cuadricóptero	Mayor capacidad de carga, gran variedad en el mercado	Velocidad y estabilidad limitada,
C) Hexacóptero	Mayor estabilidad	Costo elevado, difícil transporte por su tamaño
D) Octacóptero	Mayor potencia y estabilidad	Costo elevado

Por definición un hexacóptero es un multirotor que dispone de seis motores, seis hélices y seis brazos en su estructura y basan su principio de vuelo al igual que un cuadricóptero, tres motores giran en sentido de las manecillas del reloj y tres en sentido contrario el tipo de disposición X es el más común de construcción (Kardasz, 2016).

1.4.3 Drones en la Ingeniería civil

El uso de VANT tienen muchas aplicaciones, por ejemplo, los modelos de cuadricóptero, como el Phantom de la empresa DJI, son utilizados para las fotográficas y video. Drones para Delivery están siendo implementados por Amazon (DronesCíclope, 2021). Las opciones en el mercado de drones son muy variadas, en la ingeniería civil las posibilidades son casi ilimitadas ver la Tabla 1.2.

Tabla 1.2 Usos del dron en la ingeniería civil (Ideconsa, 2019)

APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN
Inspección de edificios en construcción	Evaluar el estado de un edificio para encontrar defectos.
Seguridad y salud en obra civil	Permite describir los riesgos más relevantes en tiempo real.
Inspección de estructuras	Realiza la inspección sin poner en riesgo la vida de operarios.
Informes semanales del proyecto	Fotografías semanales/mensuales del avance del proyecto.
Controles ambientales	Permite almacenar datos geolocalizados de puntos de contaminación, temperatura, humedad y presión.
Escaneo láser e imágenes térmicas	Modelos digitales de elevaciones, mapas topográficos, mapas de suelos.

1.4.3.1 Drones en el Ecuador

La dirección General de Aviación civil emitió el Reglamento de Operación de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAs) aplica para aeronaves cuyo peso máximo de despegue sea superior a 0.25 kg y menos o igual a 150 kg. El Reglamento establece que los drones no podrán ser operados en las cercanías de aeródromos, zonas de seguridad del estado, helipuertos, zonas intangibles, entre otras. (Dirección general de aviación civil, 2021)

1.4.4 Funcionamiento y vuelo

Par explicar la aerodinámica del vuelo utilizaremos el diagrama mostrado en la Figura 1.5, en el que el motor 4 y el motor 2 giran en sentido de las manecillas del reloj y el motor 1 y el motor 3 giran en contra de las manecillas del reloj.

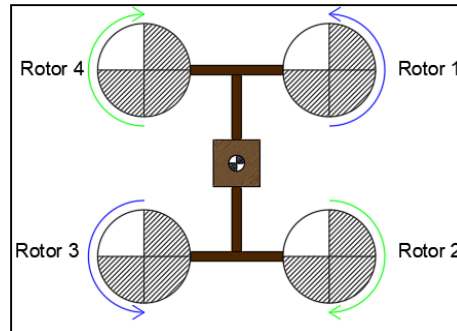


Figura 1.5 Esquema de rotores de un dron (Elaboración propia, 2021)

La estabilidad del vuelo se consigue cuando la fuerza de sustentación total producidas por las hélices de los motores que giran a la misma velocidad angular igual al peso total del sistema. Las hélices desplazan el aire circundante hacia abajo lo que por tercera ley de Newton el aire produce una fuerza de igual magnitud, pero en dirección contraria. El ascenso y descenso del dron se consigue mediante el aumento y reducción de las revoluciones de los motores a la misma velocidad en todos. Los movimientos del cuadricóptero mostrados en la Figura 1.6 son de rotación y traslación, determinados a tres ejes fijos (X, Y, Z) y a través de los ángulos de navegación: YAW, PITCH, y ROLL. (Nieto, 2020)

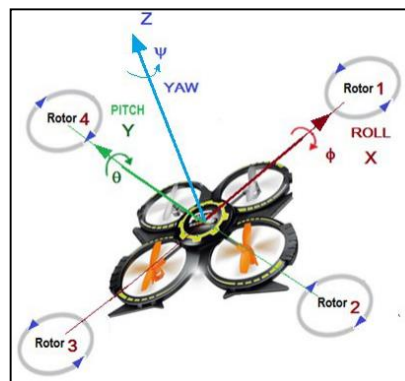


Figura 1.6 Esquema de cuadricóptero (Nieto, 2020)

Pitch es movimiento hacia delante y atrás que se consigue al modificar las velocidades de los motores 4 y 1, el par de motores restantes permanece invariable en velocidad; Roll es el movimiento de izquierda y derecha se consigue al modificar las velocidades de los rotores 3 y 4, el par de rotores restantes permanece invariable en velocidad, por último Yaw es el movimiento de giro del dron respecto a su eje vertical (eje Z), la velocidad de los rotores 1 y 3 aumentan, los rotores 2 y 4 disminuyen para mover la orientación a la derecha. (Nieto, 2020)

Fuerza de arrastre

$$F_{DRAG} = \frac{1}{2} \rho V^2 A C_l \quad (1.1)$$

Fuerza de sustentación

$$F_i = K_f W_i^2 \quad (1.2)$$

Momentos producidos

$$M_i = K_M W_i^2 \quad (1.3)$$

Donde K_f y K_M dependen de las hélices, números de álabes, diámetro de paso, material y viscosidad del aire

Fuerza neta

$$F = \sum F_i - mg \quad (1.4)$$

Momento Neto

$$M = \sum (r_i \times F_i) + \sum M_i \quad (1.5)$$

1.4.5 Sistemas conformantes del dron

En la implementación de un VANT se identifican los siguientes sistemas conformantes necesarios para su desarrollo: el estructural, el de control de vuelo, el electrónico y en el caso de este proyecto, el sistema de inyección

de material usando el principio de una bomba de desplazamiento positivo - bomba de tornillo. Cabe recalcar que se tomará el sistema de control dentro del sistema electrónico

1.4.6 Sistema electrónico

Es el sistema que se encuentra conformado por: los motores propulsores brushless DC, las baterías, la placa o tarjeta controladora, la cámara entre otras demandas de energía para la batería. En la placa de control están conectado los sensores de giroscopio, sensores de altitud, sensores de variación de altura, brújula, sensores de velocidad, sensores de posición, reguladores de velocidad o ESC. A continuación, se muestra la Figura 1.7 donde describe brevemente las partes conformantes.

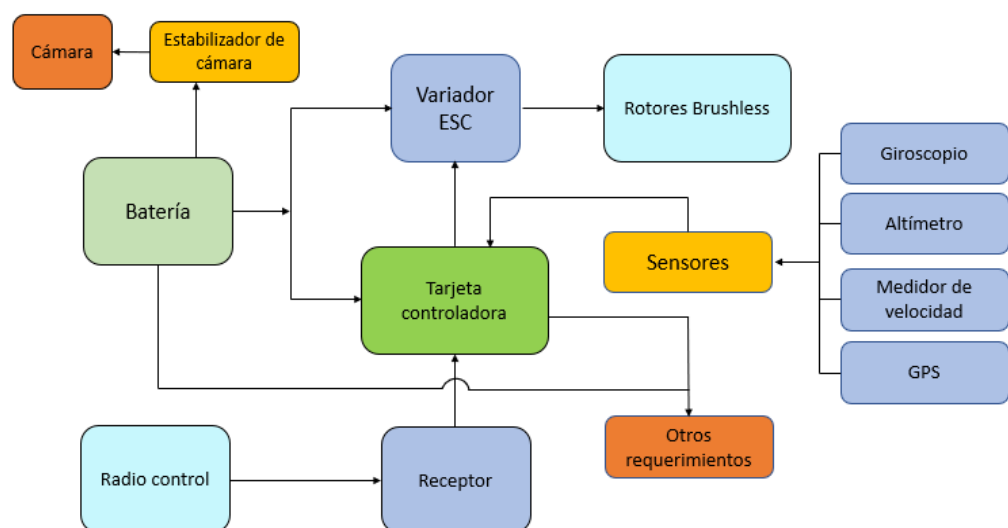


Figura 1.7 Esquema del sistema electrónico (Elaboración propia, 2021)

Motores propulsores: Consiste en un conjunto de motores que despegan, aterrizan y mantienen en el aire al dron a través del giro de las hélices que provocan la fuerza de sustentación, el tipo más común de motores empleados son los motores eléctricos trifásicos brushless (sin escobillas) que poseen las siguientes ventajas frente a los brushed (poseen escobillas) (Pascual, 2019). Una imagen referencial se muestra en la Figura 1.8.

- Poseen mayor potencia y torque
- Mejor precisión

- Mayor eficiencia
- Menor peso
- Menor interferencia electromagnética
- Mayor rango de velocidades de giro del rotor



Figura 1.8 Motor multirotor (Ruipérez, 2016)

Controladores de velocidad o ESC: Por sus siglas en inglés Electronic Speed Controller es el dispositivo que hace de puente o como interfaz entre la etapa de potencia mecánica, y la etapa de control del rotor. Como se menciona en (Saldaña, 2016). Una imagen referencial se muestra en la Figura 1.9.



Figura 1.9 Controladores de velocidad o variadores (Ruipérez, 2016)

Es el que permite controlar las revoluciones del rotor, para la elección de este dispositivo se debe tomar en cuenta el motor y la hélice a utilizar, ya que, de esto dependerá la demanda de corriente, ya que, se adquieren de acuerdo con el amperaje de consumo.

Tarjeta controladora: Es el cerebro del VANT, la tarjeta recibe, analiza y envía señales para controlar a todo el sistema, ya sea en velocidad y movimientos. Las tarjetas de control Ardupilot son ampliamente utilizados hoy en día y por lo general ya tiene incorporadas una IMU (unidad de medición inercial). Sin embargo, también se puede realizar un sistema de

control con otras tarjetas como: Raspberry PI, Arduino UNO, entre otros controladores como de la marca DJI. A continuación, se enlistan los sensores que van conectados (Saldaña, 2016).

- Giroscopio
- Acelerómetros
- Sensores de altitud y altura
- Sensor de variación de altura
- Brújula y magnetómetro
- Sensor de velocidad
- Sensores de posición GPS

Baterías: El tiempo que permanece el objeto que vuela en el aire depende del tipo de fuente de alimentación. Por lo general las baterías de un dron son un conjunto de dos o más celdas voltaicas del mismo tipo, que proporcionan una corriente más fuerte que una sola celda. Pueden ser desechables o baterías recargables (Kardasz, 2016). Una imagen referencial se muestra en la Figura 1.10.

Tabla 1.3 Diferentes tipos de baterías para drones (Kardasz, 2016) y (Padrón)

Acumuladores o baterías	Descripción	Ventajas
Lithium Ion	Temperaturas altas pueden causar una explosión, no tienen efecto de memoria, poseen un rango de temperatura para operar de - 40 C a 65 C	Tiene un alto voltaje de operación entre el rango de 4.1 a 2.5 V
Nickel metal hydride	Sustituyen a las Ni-Cd, tiene el efecto de memoria, menor vida útil.	Son menos nocivas para el medio ambiente que el Ni-Cd.
Nickel cadmiun	Son las más antiguas	Larga vida útil hasta 20 años, resistencia de temperaturas extremas.

Lithium polymer	Son las más usadas actualmente para drones	Poseen un voltaje nominal de operación de 3.7 V y un máximo de 4.2 V. Posee una alta resistencia mecánica. Puede trabajar en temperaturas mayores a 30 C. Son más seguras.
-----------------	--	--



Figura 1.10 Batería de Litio y Polímero (Roche, 2019)

1.4.7 Sistema estructural

El frame o estructura se conforma por: la estructura central, el tren de aterrizaje y los brazos como se muestra en la Figura 1.11; está influenciado por el análisis vectorial del peso que forman todos los componentes y el análisis de la sustentación necesaria para su elevación que producen las hélices de los motores. La estructura permite colocar las diferentes elementos y partes, da rigidez y forma, tiene una característica aerodinámica que reduce la resistencia del aire (Bajaña, 2020). Una imagen referencial se muestra en la Figura 1.12.

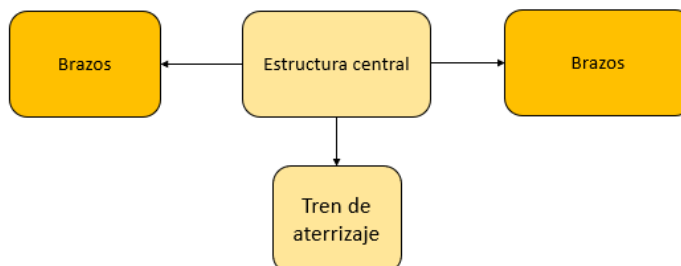


Figura 1.11 Esquema del sistema estructural (Elaboración propia, 2021)



Figura 1.12 Marco o frame de un dron (Bajaña, 2020)

Hélices: Es un dispositivo constituido por un número variable de aspas, que a girar alrededor de un eje producen una fuerza propulsora, cada pala se encuentra formada por un conjunto de perfiles aerodinámico que van cambiando progresivamente su ángulo de incidencia desde la raíz hasta el extremo. La hélice esta acoplada directamente al eje de salida de un motor, el cual proporciona el movimiento de rotación (Saldaña, 2016)

1.4.8 Sistema de inyección

Se encuentra conformado por: el reservorio o almacenamiento del material (cemento más agua), el inyector y el brazo. El inyector se basa en el principio de la bomba de tornillo, la rotación del tornillo y la geometría de la boquilla de salida generan la presión necesaria para llegar a la estructura en reparación. Para este proyecto el diseño del husillo se basa en los husillos de extrusión de termoplásticos verificado bajo simulación Ansys CFD. A continuación, se muestra el esquema en la Figura 1.13.

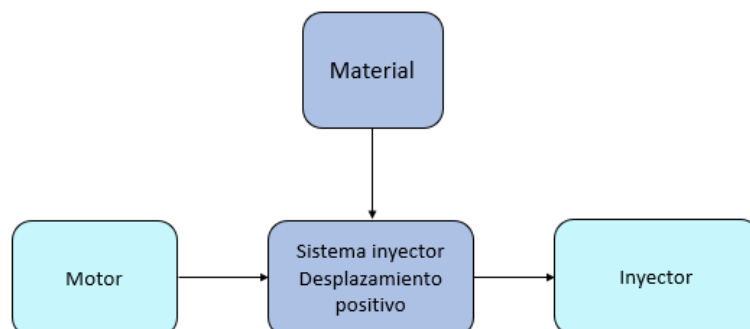


Figura 1.13 Esquema del sistema de inyección (Elaboración propia, 2021)

1.4.8.1 Material para inyectar

Se toma como base a la lechada de cemento que es una pasta muy fluida compuesta de cemento, agua y en algunos casos aditivos, una de sus aplicaciones es tapar las fisuras de muros. Posee una gran viscosidad y dependiendo de su composición, pueden tener comportamientos de fluido Newtoniano y Binghamianos.

En la cementación primaria de pozos petroleros con lechadas de cementos de baja densidad en formaciones de baja presión, hacen uso de dos tipos de lechada, una de relleno de densidad igual a 12.6 [lb/gal] y la otra denominada principal de densidad igual a 14.1 [lb/gal]; estas poseen las siguientes propiedades que se exponen en la Tabla 1.4.

Tabla 1.4 Propiedades de lechadas convencionales (Vite Rodríguez, 2019)

Propiedades de la mezcla	Relleno	Principal
Densidad [lb/gal]	12.6	14.1
Rendimiento [ft ³ /sx]	1.8	1.46
Req. Agua [gln/sx]	10.82	0.99
Bombeabilidad [min]	240	180
Agua libre [%]	0.8	0.1
Filtrado [mL/30min a 102°F]	320	230
Esfuerzo a la compresión [PSI/24 hrs a 130°F]	800	16000

Un parámetro importante para el diseño del sistema de inyección es la viscosidad plástica, la cual se debe tener en cuenta respecto a qué velocidad de cizallamiento estará sometida la inyección; en la práctica, la tasa de cizallamiento real de las lechadas durante la inyección suele estar entre 200s⁻¹ y 300s⁻¹ (Zhipeng, 2020). A continuación, se presenta la Tabla 1.5 con las diferentes viscosidades a diferentes temperaturas para una relación agua cemento dada.

Tabla 1.5 Viscosidad aparente inicial medida a 200 s^{-1} (Zhipeng, 2020)

Relación [a/c]	Temperatura [°C]	Viscosidad medida [mPa·s]
0.5	12	144.44
	25	157.22
	35	187.78
	45	200.56
0.6	12	66.39
	25	55.00
	35	86.11
	45	96.11
0.75	12	19.3
	25	15.3
	35	22.6
	45	24.7

1.4.8.2 Inyector de desplazamiento positivo

Consiste en una máquina compuesta por un tornillo de un hilo en espiral a lo largo de su eje encerrado dentro de una camisa con holgura precisa para dejarlo rotar. El núcleo del eje es de diámetro variable ensanchándose a medida que avanza hacia el extremo de la boquilla como se aprecia en la Figura 1.14, la razón de disminuir la profundidad del canal es incrementar la presión a lo largo del extrusor que permitirá que el material fundido pase a través de la boquilla.



Figura 1.14 Secciones del husillo de extrusión (Kalpakjian, 2008)

Para el diseño del husillo se determinan los parámetros más importantes tales como: Diámetro (D), Longitud (L), profundidad del canal (H) y (W) su ancho, ángulo de hélice (θ) y ancho del filete (w). Ver Figura 1.15.

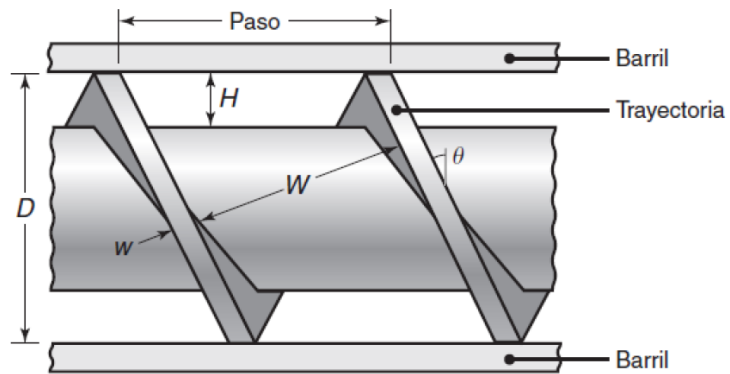


Figura 1.15 Geometría del husillo de extrusión (Kalpakjian, 2008)

Existen relaciones entre estos parámetros para realizar un dimensionamiento de acuerdo con el proceso y aplicación que desee satisfacerse, relaciones L/D típicas oscilan entre 24:1 a 32:1 pero en aplicaciones especiales es adecuado usar de 10:1 hasta 50:1; valores altos de L/D tienen mayor uniformidad del flujo mientras que valores pequeños reducen espacio requerido, coste inicial, torque requerido y potencia (Giles, Mount, & Wagner, 2013).

Para el cálculo de la profundidad del canal (H) (Giles, Mount, & Wagner, 2013) establece que debe ser de 0.1 a 0.3 veces el diámetro externo (D) del husillo mientras que para el ancho del canal (W) (Savgorodny, 1973) recomienda valores de 0.8 a 1.2 veces el diámetro externo (D).

Típicamente un tornillo de extrusión tiene tres secciones que deben ser similares en longitud y deben cumplir con las siguientes relaciones:

$$4 \leq \frac{L_{sa}}{D} \leq 5 \quad (1.6)$$

$$4 \leq \frac{L_{st}}{D} \leq 10 \quad (1.7)$$

$$l_{sb} = L_T - L_{sa} - L_{st} \quad (1.8)$$

Donde:

L_a : longitud de alimentación

L_{st} : longitud de transición

L_T : longitud total del husillo

D: Diámetro externo

Tabla 1.6 Ecuaciones para calcular parámetros principales del husillo (Savgorodny, 1973) y (Womer, 2005)

Descripción	Variable	Ecuación	Nomenclatura	Nº Ecu.
Ángulo de hélice	θ	$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{W}{\pi D_m} \right)$	W : ancho de canal D_m : diámetro menor	(1.9)
Holgura barril – husillo	λ	$(0.002 - 0.003) * D$	D : diámetro	(1.10)
Longitud de trabajo	l	$(0.6 - 0.9) * L_T$	L_T : longitud del total del husillo	(1.11)
Número de filetes del husillo	#	$\# = \frac{l}{D_T}$	l : longitud de trabajo del husillo	(1.12)
Número de revoluciones del husillo	N	$N = \frac{R}{2.3 * D^2 * H * G}$	R : cantidad de material procesado H : profundidad del canal G : gravedad específica	(1.13)
Flujo de arrastre	α	$\alpha = \frac{\pi * m * D * H * \left(\frac{W}{m} - e \right) * \cos^2 \theta}{2}$	m : número de canales del husillo e : ancho de cresta del filete θ : ángulo de hélice	(1.14)
Flujo de presión	β	$\beta = \frac{m * H^2 * \left(\frac{W}{m} - e \right) * \sin \theta * \cos \theta}{12 * l}$		(1.15)
Presión máxima dentro de la extrusora	P_{MAX}	$P_{MAX} = \frac{6\pi * D * l * N * \mu}{H^2 * \tan \theta}$	N : número de revoluciones del husillo μ : viscosidad efectiva	(1.16)
Variación de presión	ΔP	$\Delta P = \frac{P_{MAX}}{2}$	P_{MAX} : presión máxima	(1.17)
Flujo total dentro de la extrusora	Q_T	$Q_T = \alpha N - \beta \left(\frac{\Delta P}{\mu} \right)$	ΔP : variación de presión α : flujo de arrastre β : flujo de presión	(1.18)
Potencia en base al flujo	P_F	$P_F = Q_T * \Delta P$	Q_T : flujo total	(1.19)
Torque en base a potencia	T	$T = \frac{P_F}{N}$	P_F : Potencia	(1.20)

1.4.9 Estación portable para el dron

Se define como una estación colocada sobre una o varias secciones de viga portable de sección transversal circular o rectangular con un perfil alveolar de fácil portabilidad. La estación se encuentra conformada por la parte estructural y el sistema controlador del ambiente interno para dar un soporte técnico al dron inyector, optimizar su vida útil y protegerlo de las condiciones ambientales adversas externas. A continuación, se detalla su conformación.

1.4.9.1 Perfil estructural de la estación

Los perfiles estructurales para usar son los poliméricos alveolares son elementos para armar el esqueleto de una estructura, pero con la novedad de ser de material tipo polímero y con sección de geometría alveolar; esta geometría permite reducir el uso de material, disminuir su peso a la vez que mantiene la rigidez estructural del perfil. La geometría alveolar se inspira en la sección de la epífisis de los huesos, donde hay un entramado esponjoso y en la periferia una capa de hueso compacto. Este diseño de la naturaleza confiere una capacidad mecánica elevada con bajo peso (España Patente nº 2701779, 2019).



Figura 1.16 Perfil alveolar impresa en 3D (UPV, 2021)

1.4.9.2 Materiales para impresión 3 D

A través de la manufactura aditiva se puede lograr obtener tal complejidad de perfil propuesto con mayor facilidad y menor costo a diferencia de la manufactura convencional. Utilizando el proceso de impresión 3D tipo extrucción, el tipo de tecnología que es empleado el modelado por deposición fundida (FDP) los materiales empleados son: termoplásticos ABS y PLA. A continuación, se realiza una descripción de los materiales aptos para este tipo de estructuras en la Tabla 1.7 (Odremán, 2014).

Tabla 1.7 Materiales para impresión 3D (Bordignon, 2018)

Material	Definición	Características
ABS	Es el acrilonitrilo butadieno estireno es un termoplástico.	Resistencia al calor: se funde a partir de 190 C. La temperatura de extrusión recomendada es de 220 y 250 C. Rigidez: El ABS es resistente y fuerte. Permite buen acabado y es apropiado para realizar en castres.
PLA	Es el ácido poliláctico, es un plástico biodegradable derivado del almidón.	Resistencia al calor: comienza a fundirse a partir de 60 C Rigidez: ni tiene flexibilidad como el ABS, sufre menos deformación en la impresión de piezas grandes. Adecuado para: todo tipo de productor o piezas, especialmente aquellas que requieran una gran dureza pero que no vayan a estar sometidas a altas temperaturas.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

Para el diseño del VANT inyector y la estación portable en base a los requerimientos del cliente se realizó el establecimiento de objetivos, restricciones y funciones del proyecto para proponer las alternativas de solución; y según los criterios de selección jerarquizados, se empleó una matriz de selección para obtener la mejor alternativa de solución presentando el diseño de forma.

Se realizaron iteraciones en la geometría del sistema inyector hasta obtener los parámetros deseados, de la misma manera se procedió con el análisis de la geometría y diseño de forma de los componentes de la estación portable utilizando los programas de diseño ANSYS y Autodesk Inventor, mientras que para la estructura cables - columna se estableció el procedimiento de análisis estructural mediante el programa SAP2000. Por último, se obtuvo el diseño detallado y se seleccionó los componentes electrónicos y mecánicos.

La Figura 2.1 muestra la metodología de diseño seguida para el desarrollo del proyecto.

2.1 Descripción del problema

Para poder solucionar las problemáticas relacionadas a la salud pública, seguridad y bienestar de los trabajadores en el desarrollo de una obra civil y junto a la implementación de las tecnologías emergentes de nuestro entorno; implementar una nueva alternativa utilizando un VANT que posea un brazo inyector de material, cuyas propiedades sean parecidas a la mezcla de agua más cemento, con el fin de rehabilitar edificaciones en construcción o reparación de grietas con su propia estación portable es bastante tentativo.

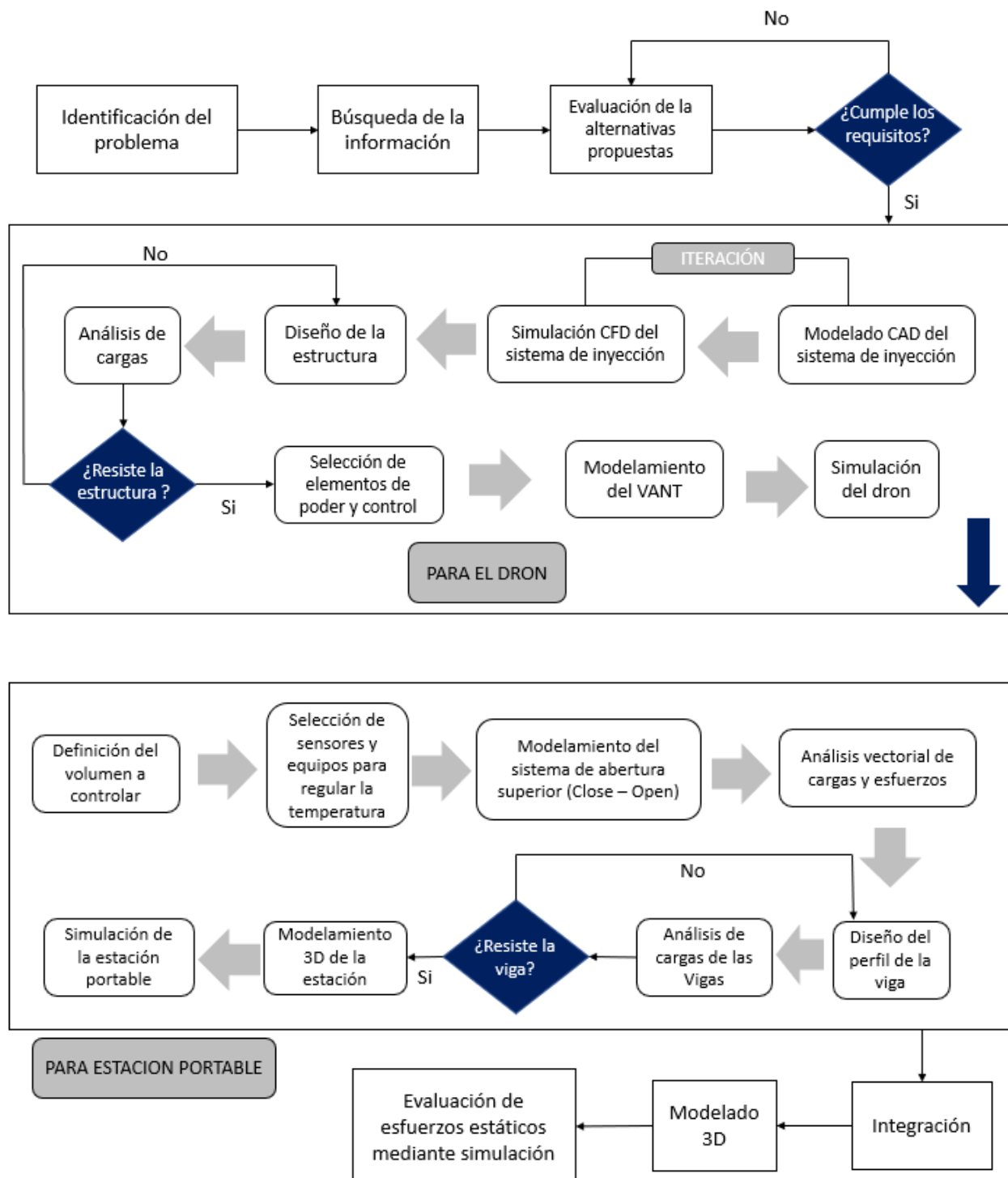


Figura 2.1 Diagrama de metodología de diseño para el diseño de un dron que posea brazo para inyectar material para rehabilitar estructuras de hormigón con estación portable (Elaboración propia, 2021)

2.2 Diseño conceptual

Para obtener la mejor solución se realizó la matriz de decisión. Pero primero se tuvo que obtener los requerimientos del cliente resumidos en objetivos, restricciones, funciones. A continuación, se muestran los requerimientos del cliente.

2.2.1 Establecimiento de objetivos

Se hizo uso de la herramienta de diseño “Árbol de objetivos” (Ver Figura 2.2), el cual jerarquiza los objetivos de tal manera que en el primer nivel se encuentra el tema del diseño, en el segundo nivel se encuentran los objetivos principales, tercer nivel se encuentran los objetivos secundarios, luego los derivados de los objetivos principales y así sucesivamente.

También se hizo uso de la comparación por pares para ordenar los objetivos principales en base a su importancia (Ver Tabla 2.1). Para indicar que el objetivo de la columna es más importante que el objetivo de la fila se designa el número “0”, caso contrario, de considerar el objetivo de la fila más importante que el objetivo de la columna, se designan un “1” en el respectivo casillero.

Tabla 2.1 Comparación por pares de objetivos principales (Elaboración propia, 2021)

Metas	Seguro	Innovador	Comerciable	Total
Seguro	1	0	1	2
Innovador	1	1	1	3
Comerciable	0	0	1	1

De esta manera según la Tabla 2.1 se obtiene como objetivo principal el ser innovador con un total de 3 puntos, seguro con un total de 2, y comerciable un total de 1 puntos. El hecho de que el aspecto de seguridad tenga un valor de 2 no implica que sea menos importante.

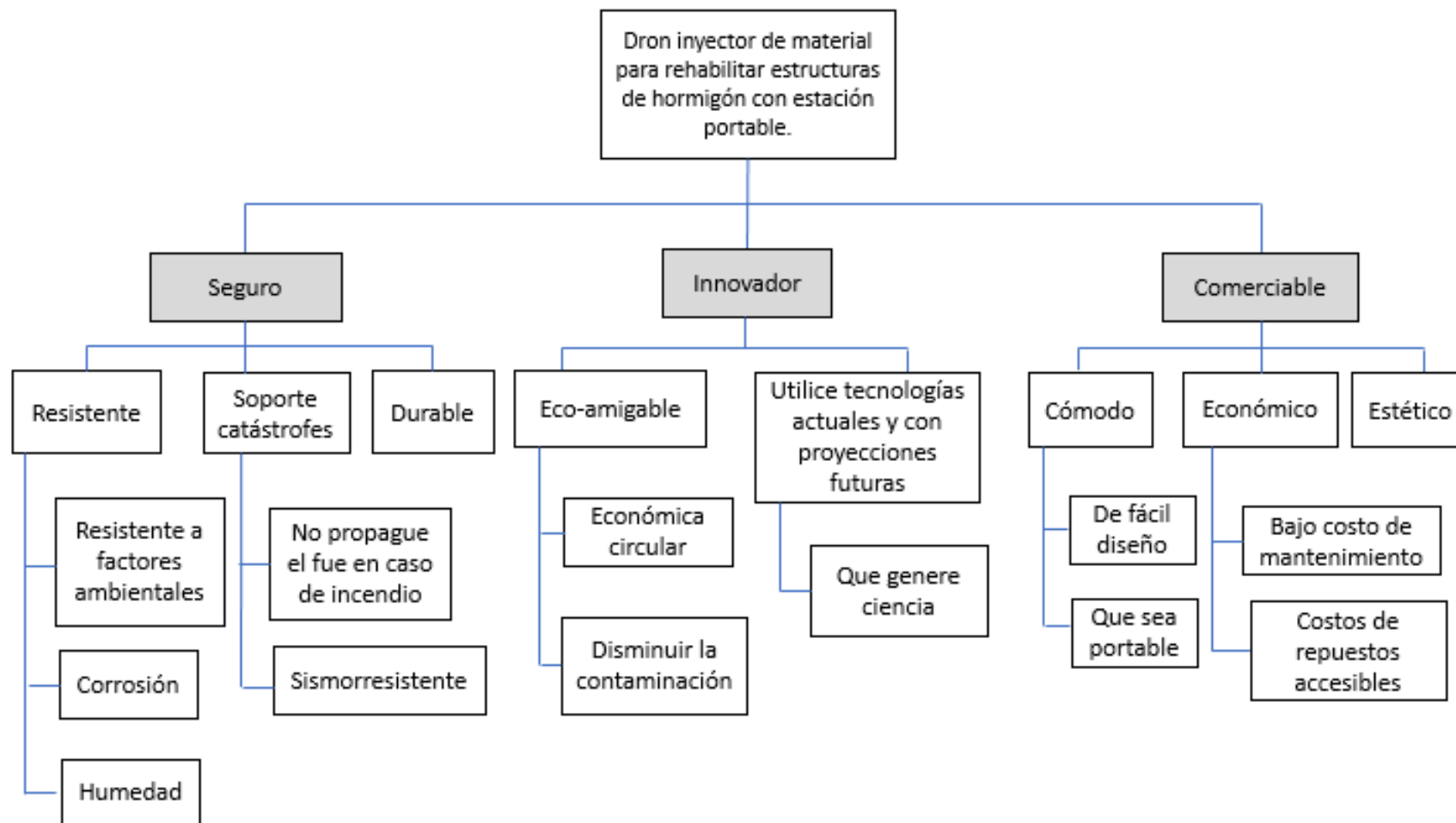


Figura 2.2 Árbol de objetivos (Elaboración propia, 2021)

2.2.2 Establecimiento de restricciones

A continuación, en la Tabla 2.2, se presentan las restricciones de diseño del VANT y la estación portable considerados para los cálculos físicos.

Tabla 2.2 Establecimiento de restricciones (Elaboración propia, 2021)

Restricción	Descripción	Valor
Área que cubrir	Máxima área para cubrir se da en la condición de rociado sobre superficies	5.6 [m ²]
Peso del VANT	Peso menor o igual del dron inyector incluida la carga.	35 [kg]
Carga útil para inyectar	Volumen aproximado del material	7 [L]
Boquilla de salida	Es la que va a permitir el paso del material hacia la pared o estructura de hormigón.	5 [mm]
Diámetro del VANT	Dependerá de los brazos y el diámetro de las hélices de los rotores	2 [m]
Autonomía de vuelo	Está relacionada directamente con la capacidad de las baterías	20-30 [min]
Altitud	El área de trabajo se encuentra en estructuras de hormigón de 60 m de altura pero a 100 msnm por lo que la altitud es 160 msnm	160 [m]
Estación portable		
Peso superior	El valor aproximado de la carga superior	65 [kg]
Número de secciones	Se compone de parte: superior, media e inferior.	3
Altura de sección media	La sección media puede ser máxima dos.	1.5 [m]
Diámetro de sección media	Posee una sección transversal circular	0.2 [m]

2.2.3 Establecimiento de funciones

Permite relacionar datos de entrada y salida, así como las transformaciones entre ella se conoce como caja negra. Se hacen las preguntas tale como ¿Qué les sucede a estos datos de entrada? ¿De dónde viene este dato de salida? Estas preguntas pueden responderse si se destapa la caja negra (Ver Figura 2.3) convirtiéndose en una caja transparente (Ver Figura 2.4) (Dym & Little, 2002).

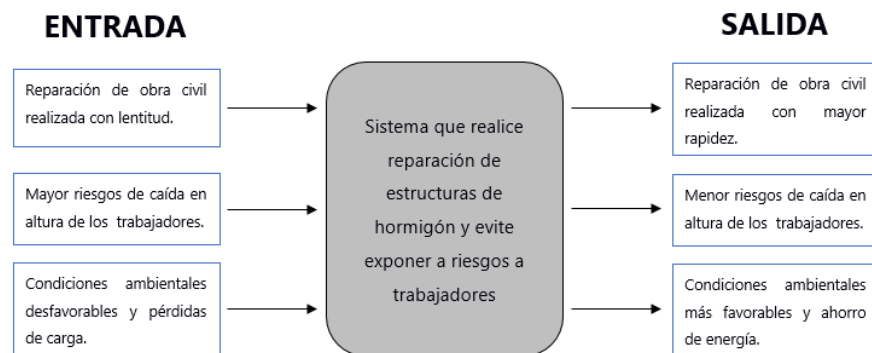


Figura 2.3 Diagrama de caja negra (Elaboración propia, 2021)

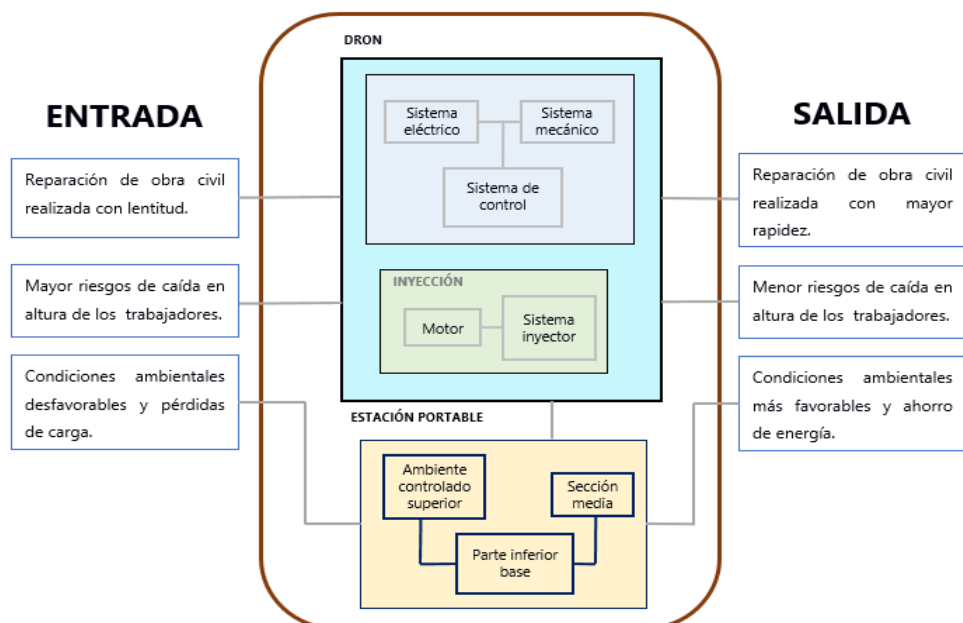


Figura 2.4 Diagrama de caja transparente (Elaboración propia, 2021)

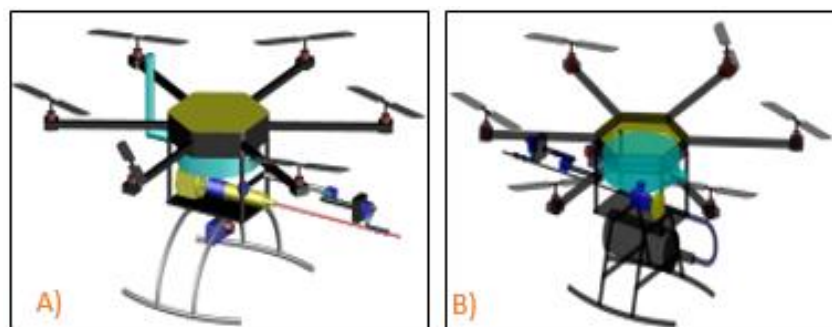
2.2.4 Alternativas de solución propuestas

Se generaron alternativas de solución que cumplen los requerimientos del cliente. A continuación, se muestran las alternativas para el VANT y para la estación portable. Una de las alternativas se desempeñará de manera más eficiente que las demás según los criterios de selección, y será la escogida para diseñarse.

2.2.4.1 Alternativas para el VANT

Diseño 1: Hexacóptero que posee un tanque de almacenamiento de material y sistema inyector, usando el principio de una bomba de tornillo. El brazo inyector tiene facilidad de maniobrabilidad debido a las 3 articulaciones que posee. El tren de aterrizaje del dron es tipo elipsoide y posee dos cámaras: una ubicada en la parte extrema del brazo inyector y otra debajo de la estructura del dron para una vista general. Ver Figura 2.5 gráfica A.

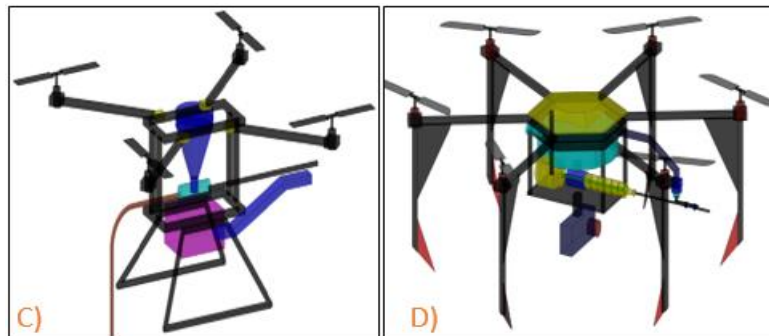
Diseño 2: Es un hexacóptero, posee un tanque de almacenamiento de material y sistema inyector usando un tanque de aire comprimido similar al que se usa en el juego de Paintball. El brazo inyector, tiene facilidad de maniobrabilidad debido a las 2 articulaciones que posee. El tren de aterrizaje posee la forma mostrada en la figura B. Posee una cámara ubicada en la parte extrema del brazo inyector. Ver Figura 2.5 gráfica B.



**Figura 2.5 Bosquejos de alternativa de solución A y B para el VANT
(Elaboración propia, 2021)**

Diseño 3: Cuadricóptero que posee un tanque de almacenamiento de material de la geometría y su respectivo sistema inyector usando aire comprimido a través de un cable que está conectado a un tanque ubicado en la estación de tipo umbilical. El brazo inyector, tiene facilidad de maniobrabilidad debido a las 2 articulaciones que posee. El tren de aterrizaje posee la forma mostrada en la figura C. Posee una cámara ubicada en la parte extrema del brazo inyector. Ver Figura 2.6 gráfica C.

Diseño 4: Hexacóptero que posee un tanque de almacenamiento de material y su respectivo sistema inyector usando el principio de una bomba de tornillo como se puede apreciar en la gráfica D. El brazo inyector, tiene facilidad de maniobrabilidad debido a una articulación que posee. El tren de aterrizaje se ubica en los brazos del dron y posee una cámara debajo de la estructura para una vista general. Ver Figura 2.6 gráfica D.



**Figura 2.6 Bosquejos de alternativas de solución C y D para el VANT
(Elaboración propia, 2021)**

Tabla 2.3 Comparación de ventajas y desventajas de las alternativas del dron inyector (Elaboración propia, 2021)

Características	Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3	Diseño 4
Mayor estabilidad	✓	✓	✗	✓
Libre movilidad	✓	✓	✗	✓
Diseño estructural del dron es sencillo	✓	✗	✓	✗
Sistema de inyección más compacto	✓	✗	✗	✗
Mayor capacidad de carga de material	✗	✗	✓	✗
Mayor libertad de movimiento en el brazo rotor	✓	✓	✗	✗
Presión de salida del material es variable	✓	✗	✓	✓
Caudal de salida del material es variable	✓	✗	✓	✓
Tren de aterrizaje simple y estable	✓	✓	✓	✗
Menor requerimiento de fuente de energía eléctrica	✗	✗	✓	✗
Mayor autonomía debido a menor consumo de energía eléctrica	✗	✓	✓	✗
Bajo peso de la carga en el fuselaje	✗	✗	✓	✗

La marca ✓ indica que la opción tiene ventaja en cuanto a la característica analizada mientras que la marca ✗ indica que posee desventaja

2.2.4.2 Alternativas para la estación

Diseño 5: Consiste en 3 secciones: la primera es la base de forma circular que se puede anclar al suelo, la sección media es la adicional y la superior de forma circular permite el cerrado y el abierto a través de un mecanismo conocido como iris mecánico. Ver Figura 2.7 gráfica A.

Diseño 6: Consiste en 3 secciones: la primera es la base de forma rectangular que se puede anclar al suelo, la sección media es la adicional y se sujeta a la base por medio de cables y la superior de forma rectangular permite el cerrado y el abierto a través de un mecanismo tipo correderas. Ver Figura 2.7 gráfica B.

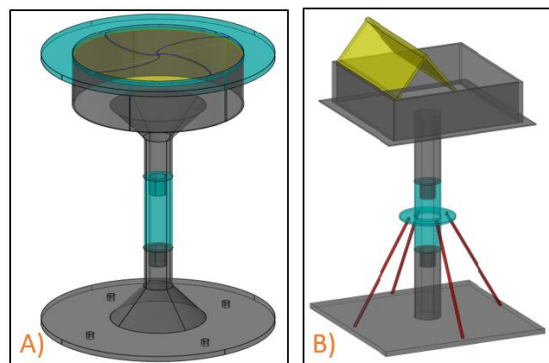


Figura 2.7 Bosquejos de alternativas de solución A y B para la estación portable (Elaboración propia, 2021)

Diseño 7: Consiste en 2 secciones: la primera se conforma de 4 elemento tipo columnas formando una estructura que están anclados al suelo y la superior es de forma rectangular, permite al VANT cargar el material a través de una bomba ubicada en el suelo. El sistema de compresión se encuentra ubicado sobre la estación en la sección superior. Ver Figura 2.8 gráfica C.

Diseño 8: Consiste en 3 secciones: la primera es la base que se puede anclar al suelo, la sección media es la adicional y la superior de forma circular permite el cerrado y el abierto a través de un mecanismo conocido como Iris mecánico. Ver Figura 2.8 gráfica D.

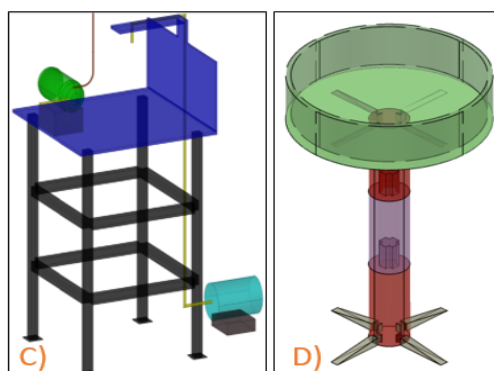


Figura 2.8 Bosquejo de alternativas de solución C y D para la estación portable (Elaboración propia, 2021)

Tabla 2.4 Lista de comparación de ventajas y desventajas de las opciones de estación portable (Elaboración propia, 2021)

Características	Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3	Diseño 4
Estabilidad en la base contra desplazamiento y rotación	✓	✓	✗	✗
Estructura sencilla	✗	✗	✓	✗
Poco peso	✓	✓	✗	✓
Compuerta no genera momento ya que apertura es simétrica	✓	✗	-	-
Sistema de apertura no necesita mucha fuerza	✓	✗	-	-
Compuerta de fácil fabricación y bajo costo	✗	✓	-	-
Fácil adquisición de materiales	✗	✗	✓	✗
Fácil variación de altura	✓	✓	✗	✓
Eco amigable debido a que está producido con material reciclado	✓	✓	✗	✓
No necesita mantenimiento (pintura anticorrosiva)	✓	✓	✗	✓
Protección del dron ante condiciones ambientales adversas	✓	✓	✗	✗
Fácil transportación	✓	✓	✗	✓
Menor número de piezas	✓	✓	✗	✗

La marca ✓ indica que la opción tiene ventaja en cuanto a la característica analizada mientras que la marca ✗ indica que posee desventaja; la marca - indica que no se puede analizar tal característica porque la opción no la posee

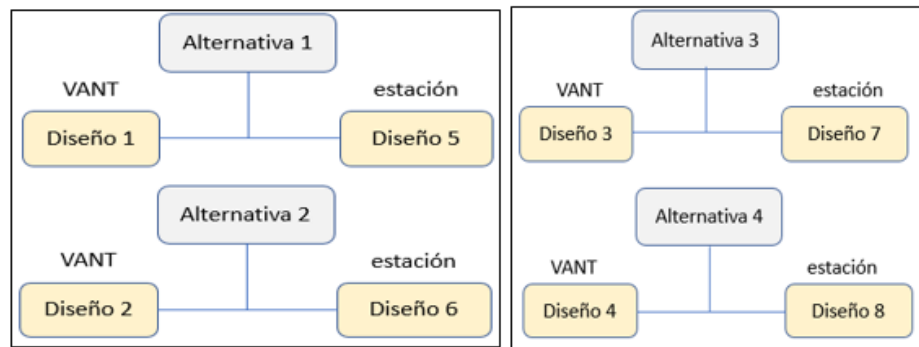


Figura 2.9 Propuestas de diseño (Elaboración propia, 2021)

2.2.4.3 Criterios de selección

Los criterios de selección que se tomaron en cuenta para la selección de la mejor alternativa de solución son descritos a continuación:

Innovación: permite evaluar el aporte de nuevas tecnologías y da paso para que se hagan mejoras futuras al diseño propuesto, se aplica para el sistema de inyección y la estación portable ya que se propone una forma única de reparación de estructuras de hormigón.

Portabilidad: consiste en valorar la facilidad de transportar las partes de la estación al lugar en el que se desarrolla la obra civil , también aplica para el dron.

Facilidad de simulación: permite justipreciar la cantidad del recurso computacional que se utilizaría, buscando que éstos sean lo más parecido a la realidad, pero a la vez menos demandantes.

Peso: permite tasar principalmente el peso de los componentes del sistema de inyección, el reservorio del material a inyectar y además del peso que debe soportar la estación portable.

Estabilidad: Consiste en evaluar la estabilidad de vuelo según los parámetros físico como: ubicación de los componentes y estructura de una manera casi subjetiva.

Autonomía: evalúa la distancia que podría moverse libremente el dron en el área de trabajo.

2.2.5 Selección de la mejor alternativa

A continuación, se muestra la Tabla 2.5 de comparación por pares para jerarquizar los distintos criterios de selección. En la comparación de criterios iguales se le asigna el valor de 1.

Tabla 2.5 Comparación por Pares (Elaboración propia, 2021)

Factor genérico: relevancia tecnológica							
Criterios	Innovación	Portabilidad	Facilidad de simulación	Peso	Estabilidad	Autonomía	TOTAL
Innovación	1	1	1	1	1	1	6
Portabilidad	0	1	1	0	1	0	3
Facilidad de simulación	0	0	1	0	0	1	2
Peso	0	1	1	1	0	1	4
Estabilidad	0	1	1	1	1	1	5
Autonomía	0	0	0	0	0	1	1
TOTAL							21

Una vez jerarquizados los criterios se les da una calificación de manera cualitativa y cuantitativa, (ver Tabla 2.6 y Tabla 2.7), para poder realizar la matriz de decisión que se visualiza en la Tabla 2.8.

Tabla 2.6 Calificación cualitativa y cuantitativa (Elaboración propia, 2021)

Cualitativo	Cuantitativo
Excelente	5
Bueno	4
Neutral	3
Regular	2
Malo	1

Tabla 2.7 Ponderación de criterios (Elaboración propia, 2021)

Criterios	Valor	Porcentaje
Innovación	6	28 %
Portabilidad	3	14%
Facilidad de simulación	2	10%
Peso	4	19%
Estabilidad	5	24%
Autonomía	1	5%

Tabla 2.8 Matriz de decisión de alternativas (Elaboración propia, 2021)

Alternativas		Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3		Alternativa 4	
Criterios	%	calificación	puntaje	calificación	puntaje	calificación	puntaje	calificación	puntaje
Innovación	28	5	1.4	4	1.12	3	0.84	4	1.12
Portabilidad	14	4	0.56	4	0.56	4	0.56	4	0.56
Facilidad de simulación	10	3	0.3	4	0.4	3	0.3	3	0.3
Peso	19	3	0.57	4	0.76	3	0.57	3	0.57
Estabilidad	24	5	1.2	5	1.2	3	0.72	4	0.96
Autonomía	5	5	0.25	4	0.2	4	0.2	5	0.25
		TOTAL	4.28	TOTAL	4.24	TOTAL	3.19	TOTAL	2.76

En base a los resultados obtenidos, se decidió por la alternativa 1 tanto para el VANT y la estación portable, ya que, obtuvo el mayor puntaje. A continuación, se muestra el diseño de forma (ver Figura 2.10 y Figura 2.11) y las partes que lo conforman de la alternativa ganadora (ver Tabla 2.9 y Tabla 2.10).

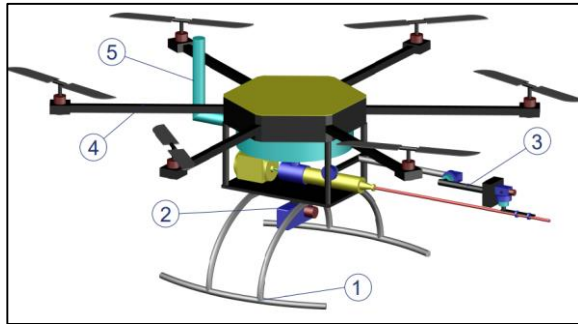


Figura 2.10 Alternativa de solución ganadora para el VANT (Elaboración propia, 2021)

Tabla 2.9 Descripción de los componentes de la alternativa ganadora para el VANT (Elaboración propia, 2021)

No	Descripción
1	Tren de aterrizaje
2	Cámara
3	Brazo inyector
4	Estructura mecánica
5	Reservorio del material

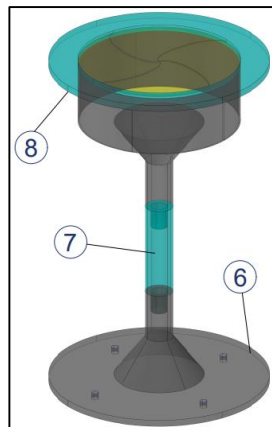


Figura 2.11 Alternativa de solución ganadora para la estación portable (Elaboración propia, 2021)

Tabla 2.10 Descripción de los componentes de la alternativa ganadora para la estación portable (Elaboración propia, 2021)

No	Descripción
6	Base inferior
7	Columna
8	Habitáculo en el que se controla la temperatura interna

2.3 Diseño detallado

En primer lugar, se realizó el diseño de una Bomba de desplazamiento positivo, la geometría del tornillo o husillo fue obtenida por medio de iteración basándose en principio geométrico de extrusión de termoplásticos, la simulación de flujo y presión se realizó en ANSYS CFD.

Posteriormente se diseñó la estructura VANT por medio de un análisis vectorial de cargas: un DCL general y de cada parte; para luego realizar el diseño de los sistemas componentes a través del cálculo de potencia. Junto a la selección de componentes del VANT se toman en cuenta los requerimientos del cliente y las restricciones. En cuanto a la estación portable, se realizó el diseño de forma de cada pieza, se definió el mecanismo de abertura y se delimitó las solicitaciones de cargas actuantes para luego diseñar las dimensiones de los componentes en base a su desempeño por resistencia y servicio.

2.3.1 Diseño del VANT

2.3.1.1 Diseño del sistema inyector del VANT

A continuación, se muestran las propiedades del fluido conocido como lechada de cemento, ver la Tabla 2.11. Las propiedades fueron claves para el diseño de la bomba de desplazamiento positivo. Primero se obtuvo el diseño geométrico, se obtuvo la presión interna y caudal de salida, luego el material, y por último la selección del motor y sus accesorios.

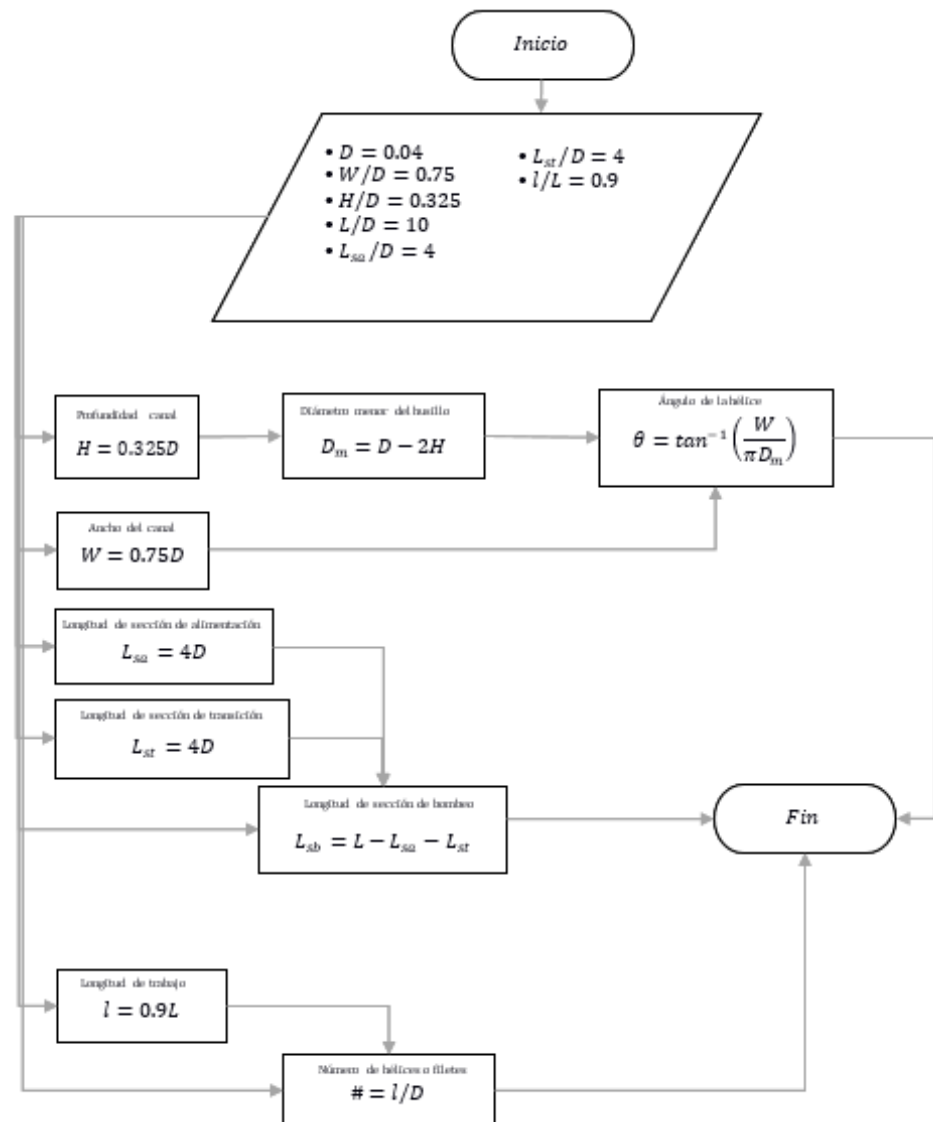
Tabla 2.11 Propiedades de la lechada de cemento a 21.3°C (Zhipeng, 2020)

Propiedades	Valor
Densidad	1573 [kg/m ³]
Viscosidad dinámica	0.167 [kg/ms]
Yields stress	23 [Pa]

2.3.1.1.1 Dimensionamiento geométrico del husillo

El diseño geométrico del husillo se basa en principios de extrusoras de termoplásticos, se realizaron iteraciones. Los cálculos están

expuestos en la sección de Apéndices A. A continuación, se muestra el diagrama de flujo de las ecuaciones utilizadas.



**Figura 2.12 Diagrama de flujo de ecuaciones de extrusión
(Elaboración propia, 2021)**

Donde:

D: diámetro del extrusor [m]

W: ancho del canal [m]

H: profundidad del canal [m]

L: longitud del extrusor [m]

L_{sa} : longitud de la sección de alimentación [m]

L_{st} : longitud de la sección de transición [m]

L_{sb} : longitud de la sección de bombeo [m]

l : longitud de trabajo [m]

D_m : diámetro menor del husillo [m]

#: número de hélices

θ : de hélice

Dado que para extrusión de termoplásticos se tienen las relaciones que se muestran en la Figura 2.12, se fijó D como 0.04 [m] para hallar las demás incógnitas mostradas en la Tabla 2.12 y visualizadas en la Figura 2.13.

Tabla 2.12 Parámetros geométricos del husillo (Elaboración propia, 2021)

Parámetro	Abreviatura	Valor
Diámetro	D	0.04 [m]
Longitud Total	L	0.4 [m]
Longitud entrada	L_{sa}	0.16 [m]
Longitud media	L_{st}	0.16 [m]
Longitud Salida	L_{sb}	0.08 [m]
Diámetro menor (entrada)	$d=D_m$	0.014 [m]
Diámetro Salida (compresión)	d_c	0.02614 [m]

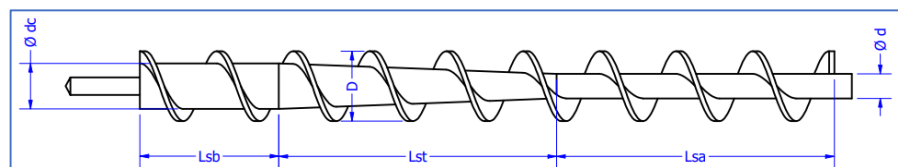


Figura 2.13 Geometría del husillo (Elaboración propia, 2021)

2.3.1.1.2 Parámetros de la bomba

Reservorio

Primero se definió el reservorio que contiene al material como se muestra en la Figura 2.14, posee un volumen ligeramente superior 7 [L]. Para los cálculos realizados a continuación se utilizó el valor propuesto.

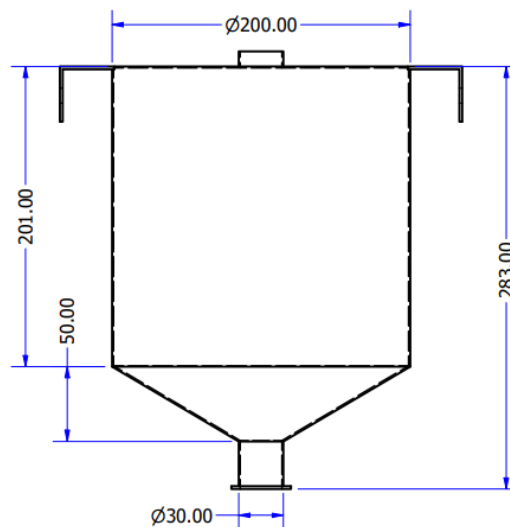


Figura 2.14 Dimensiones del reservorio (Elaboración propia, 2021)

Camisa o estator¹

Para realizar la simulación del husillo se colocó una envoltura conocida como estator de la bomba, el cual contiene al tornillo; con una holgura de 1 mm entre el estator y el husillo, y es por el cual el fluido ingresa cuando sale del reservorio. Ver imagen referencial en la Figura 2.15.

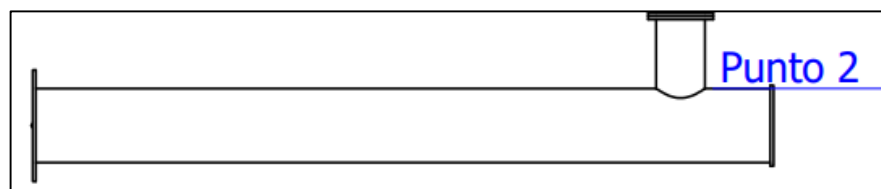


Figura 2.15 Bosquejo de camisa o estator (Elaboración propia, 2021)

Boquilla

Es por el cual el material es inyectado, el diámetro de salida es de 5 [mm], direcciona el material hacia la fisura en reparación. La Figura

¹ De ahora en adelante se tratará a la carcasa de la bomba solo como camisa

2.16 es la geometría que se utilizó para la simulación, no obstante, el diseño final se muestra en el Capítulo 3.

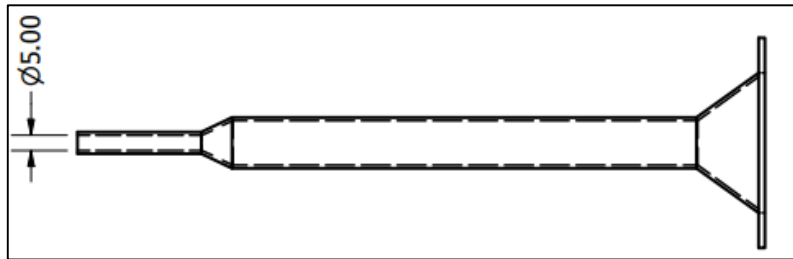


Figura 2.16 Boquilla de la bomba (Elaboración propia, 2021)

Los parámetros ingresados en ANSYS CFD (Ver Figura 2.17) se basan en los cálculos descritos a continuación, luego de varias iteraciones se obtuvo el resultado esperado en la sexta iteración (ver Tabla 2.13).

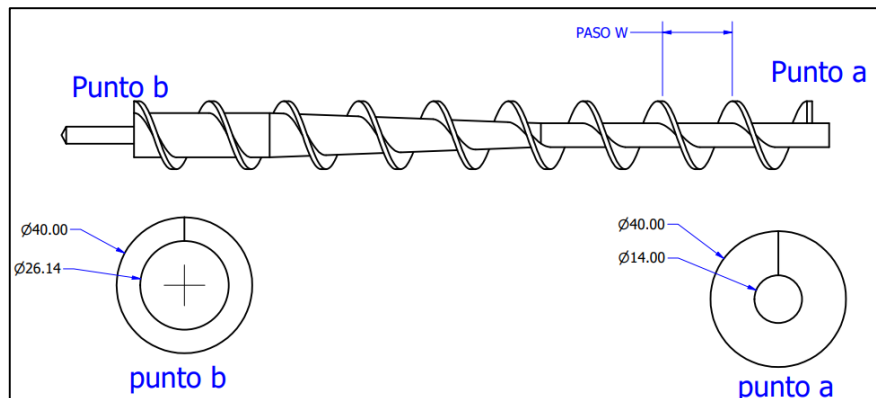


Figura 2.17 Datos utilizados para los parámetros de ingreso (Elaboración propia, 2021)

Mientras el husillo gira a 400 [Rpm] se tienen dos diámetros diferentes: punto a y punto b, el cambio aproximado se produce en la mitad.

Para el punto A

- Se obtiene el área de la corona $A_a = 1.1026 \times 10^{-3} [m^2]$
- Se halla el volumen tomando como espesor al paso W que tiene un valor de 0.0411 [m] y se obtiene $V_a = 4.532 \times 10^{-5} [m^3]$
- El caudal de salida es producto de la rotación del tornillo, son las revoluciones por el volumen. Una revolución es un volumen, se tiene que:

$$400 [rpm] = 6.667 \left[\frac{rev}{s} \right]$$

- El caudal de salida se obtiene $Qa = 3.021 \times 10^{-4} \left[\frac{m^3}{s} \right]$
- Se supone que el diámetro de entrada del fluido es de 0.03 [m], por continuidad se obtiene una velocidad de entrada de $V_{a2} = 0.427 \frac{m}{s}$

Para el punto B

- Se obtiene el área de la corona $A_b = 7.257 \times 10^{-4} [m^2]$
- Se halla el volumen tomando como espesor al paso W que tiene un valor de 0.0411[m] y se obtiene $V_b = 2.975 \times 10^{-5} [m^3]$
- El caudal de salida es producto de la rotación del tornillo, son las revoluciones por el volumen. Una revolución es un volumen se tiene que.

$$400rpm = 6.667 \frac{rev}{s}$$

- El caudal de salida se obtiene $Qb = 1.988 \times 10^{-4} \left[\frac{m^3}{s} \right]$
- Se supone que el diámetro de entrada del fluido es de 0.03 [m], por continuidad se obtiene una velocidad de entrada de:

$$V_{b2} = 0.2813 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Dado que:

$$A_a > A_b$$

$$V_a > V_b$$

$$Q_a > Q_b$$

Por lo que se concluye que la velocidad de entrada en el punto 2 está en el rango de:

$$0.2813 < V_2 < 0.427$$

Dado que no se tiene información se asume que la velocidad de entrada es el promedio 0.354 [m/s]. Antes de realizar la simulación se obtuvieron parámetros de salida el cual nos permite evaluar nuestros resultados.

- La velocidad de salida de inyección del material se obtiene con el caudal promedio y el área de salida, boquilla, lo cual da un valor de 12.73 [m/s].
- El flujo másico aproximadamente esperado 0.393 [kg/s]

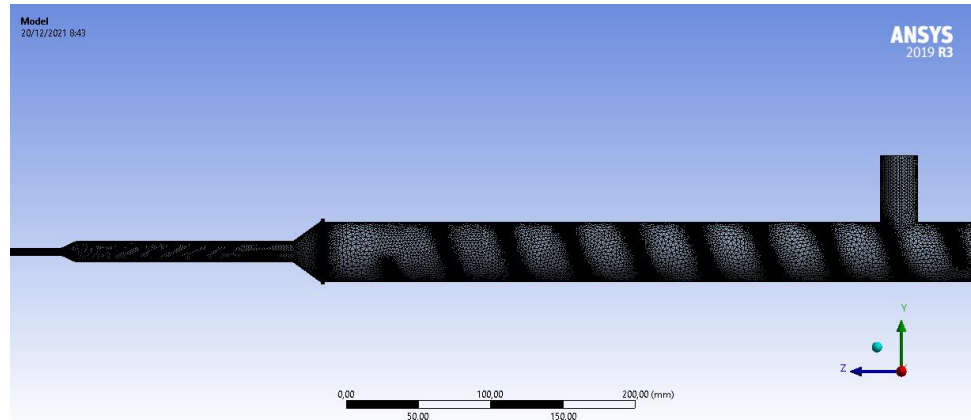


Figura 2.18 Mallado del modelo del inyector en ANSYS (Elaboración propia, 2021)

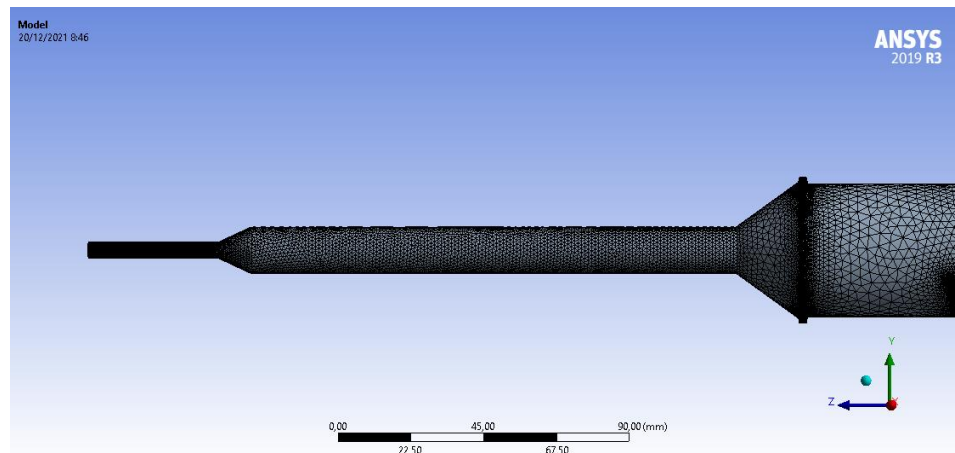


Figura 2.19 Mallado del modelo del inyector en ANSYS, zoom a la boquilla (Elaboración propia, 2021)

Los parámetros ingresados en ANSYS fueron:

- Velocidad 0.354 [m/s].
- Presión a la salida que es la atmosférica.

Se obtuvo:

Tabla 2.13 Datos obtenidos por ANSYS (Elaboración propia, 2021)

No. simulación	Rpm	Velocidad entrada de fluido	Presión interna camisa
6	400	0.35 [m/s]	515 [KPa]
Diámetro boquilla Salida		Velocidad boquilla Salida	Fuerza Reacción
5 [mm]		12.8 [m/s]	5 [N]

El flujo másico de salida obtenido por Ansys fue de 0.29 [kg/s], lo cual es de esperarse debido a las pérdidas por la condición de no deslizamiento en la camisa y el husillo simulados.

El husillo se encuentra dentro de la camisa y se modela como una carga uniforme distribuida, empotrada debido al rodamiento. En la Figura 2.20 se muestra el DCL del husillo y las reacciones sobre la camisa.

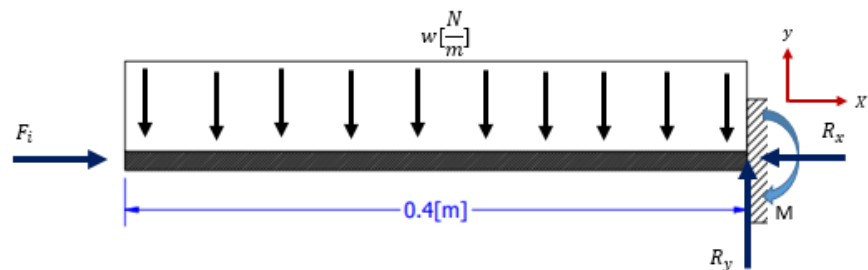


Figura 2.20 DCL del husillo (Elaboración propia, 2021)

Para determinar cada reacción, se reduce la carga distribuida a una carga puntual. Cabe recalcar que el centro de gravedad del husillo fue obtenido del programa INVENTOR. Para hallar las reacciones se realizó en análisis estático en x y y , de momentos como se muestra en la Figura 2.21. En donde: F es el peso del husillo, F_i es la fuerza de reacción que produce la lechada de cemento al salir de la boquilla, R_x y R_y son las reacciones y M es el Momento.

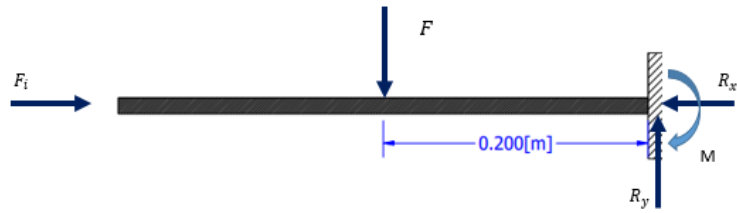


Figura 2.21 Puntualización de la carga distribuida (Elaboración propia, 2021)

$$\sum F_y = 0$$

$$F = mg = R_y$$

$$F = (1.327Kg)(9.8) = 13[N]$$

$$\sum F_x = 0$$

$$R_x = F_i = 5[N]$$

$$\sum M = 0$$

$$M = 13 * 0.2 = 2.6[Nm]$$

Una vez obtenidas las fuerzas del husillo, se realizó el DCL de la camisa de la bomba como se muestra en la Figura 2.22. Dado que el reservorio se encuentra apoyado sobre el punto P, se consideró el peor de los casos, es decir, cuando la camisa soporta todo el peso del reservorio lleno de material, situación que se evitó colocando apoyos en los tubos de la estructura. Por lo que P es la presión sobre las paredes en ese punto.

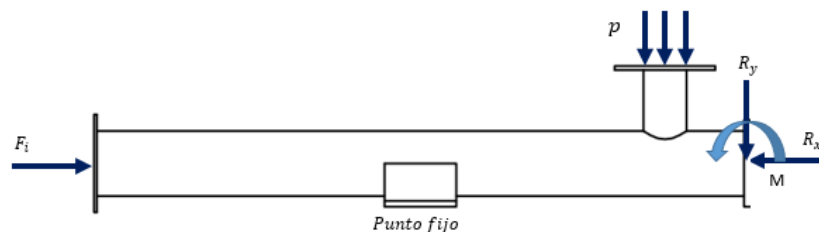


Figura 2.22 DCL de la camisa de la bomba (Elaboración propia, 2021)

El peso del reservorio lleno es de 119.364 [N] y dado que el diámetro del punto P es de 30 [mm] se tiene:

$$P = \frac{119.364}{\frac{\pi}{4} [0.03^2]} = 168\,866 \text{ [Pa]}$$

Una vez conocidas las fuerzas de reacciones, se realizó la simulación de la camisa en el programa ANSYS, los resultados están mostrados en el capítulo 3. A continuación se muestra la Tabla 2.14 de los datos obtenidos y las Figura 2.23 y Figura 2.24 de simulación.

Tabla 2.14 Resultados de las reacciones en el husillo y camisa (Elaboración propia, 2021)

Fuerzas	Abreviatura	Valor
Fuerza del peso del husillo	F	13 [N]
Reacción horizontal	Rx=Fi	5 [N]
Reacción vertical	Ry	13 [N]
Momento	M	2.6 [Nm]
Peso del Reservorio y material	w	119.364 [N]
Presion	P	168866 [Pa]

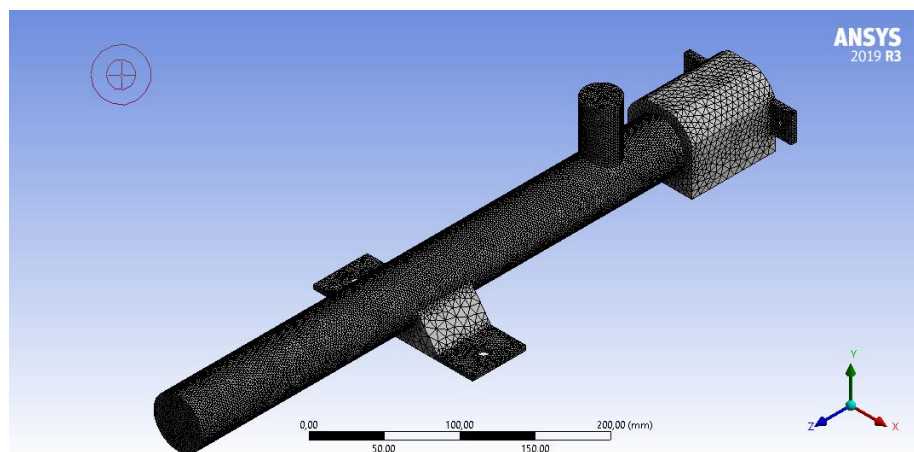


Figura 2.23 Mallado de la camisa de la bomba (Elaboración propia, 2021)

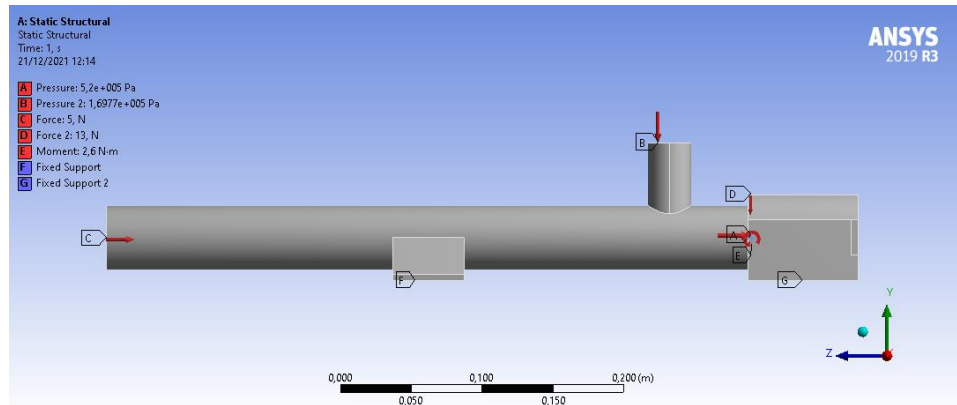


Figura 2.24 Definición de cargas y condiciones de apoyo en la camisa de la bomba (Elaboración propia, 2021)

2.3.1.1.3 Potencia del motor de la bomba

Potencia hidráulica es la energía que gana el fluido y se determina por medio de la ecuación (2.1).

$$P_h = \Delta P_{fluido} Q_{descarga} \quad (2.1)$$

Donde ΔP_{fluido} es el gradiente de presión interna de la camisa en [Pa] y $Q_{descarga}$ es el caudal de salida de la Bomba en [m^3/s]. Reemplazando se obtiene:

$$P_h = (5 \times 10^5)(1.84 \times 10^{-4})$$

$$P_h = 92 \text{ [Watts]}$$

Para hallar la potencia Mecánica se utiliza la ecuación (2.2), se asume que la bomba posee una eficiencia de 0.90 [%] esto se debe a las pérdidas debido al calor y a las vibraciones. Se tiene que T es el torque [Nm] y ω es la velocidad angular en [rad/s].

$$T = \frac{P_m}{\omega} \quad (2.2)$$

$$P_m = \frac{P_h}{0.90} = 102.22 \text{ [watts]}$$

$$T = \frac{102.22}{41.88} = 2.44 \text{ [Nm]}$$

2.3.1.1.4 Diseño del brazo inyector

Mejora la precisión de la inyección del material sobre las fisuras de las estructuras de hormigón. Se encuentra conformado por: una manguera, una boquilla de 5 [mm] de diámetro de salida, un servo motor que es el que permite que la manguera gire de manera muy precisa y sus acoples, un tubo que sale de la estructura y una cámara que transmite en tiempo real².

La boquilla de inyección se ubicará a 30 [cm] desde la pared en reparación. El área de reparación se da en una precisión de 60 grados, en la Figura 2.25 se muestra el ángulo de operación y la fuerza de reacción de la inyección del material F_i .

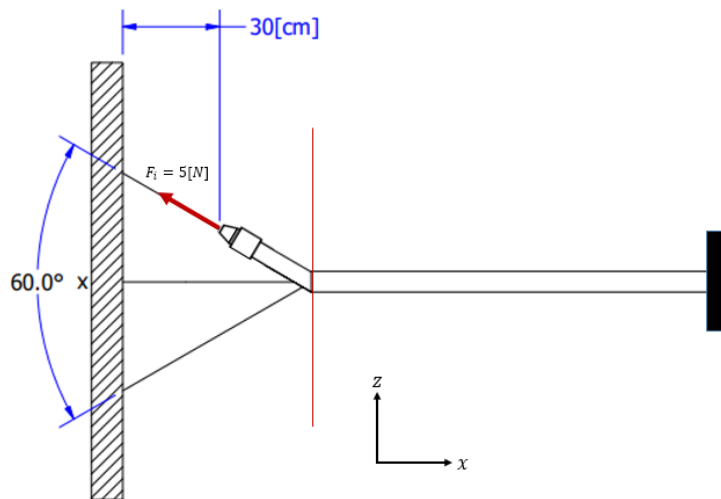


Figura 2.25 Operación del brazo inyector (Elaboración propia, 2021)

2.3.1.1.5 Cálculo del servo motor

Para hallar el servomotor se realizó lo siguiente. Primero se obtuvo la masa de la manguera Figura 2.26, la cual es de 0.107 [kg] y el material dentro es 0.102 [kg] dando una masa total de 0.209 [kg].

² Para los cálculos la masa del tubo es considerada dentro de la estructura, la cámara es considerada dentro del sistema eléctrico.

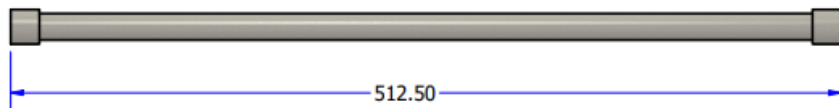


Figura 2.26 Dimensión de la manguera (Elaboración propia, 2021)

Se realizó el DCL como se muestra en la Figura 2.27 considerando los extremos como apoyos fijos y que la manguera es un cuerpo rígido. Obteniendo que $R = \frac{W}{2} = 1.024 \text{ [N]}$.

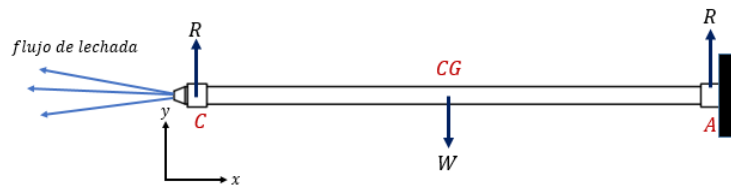


Figura 2.27 DCL de la manguera (Elaboración propia, 2021)

Este valor de R se utilizó para hallar el Torque de servo Motor. Para lo cual se consideró ubicarlo a una distancia coherente de 10 [cm] desde el extremo de la tubería como se muestra en la Figura 2.28.

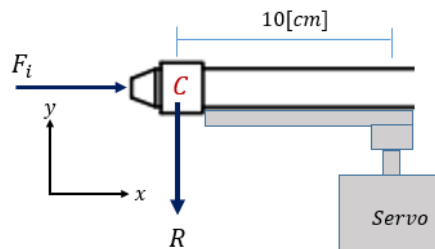


Figura 2.28 Ubicación del servomotor (Elaboración propia, 2021)

Se aproxima el valor de R a 1.1 [N], también se utiliza un factor de seguridad de 2.5 por lo que el torque hallado es 0.3 [Nm]. A continuación, en la Figura 2.29 se muestra el diseño de forma del brazo inyector y sus partes conformantes.

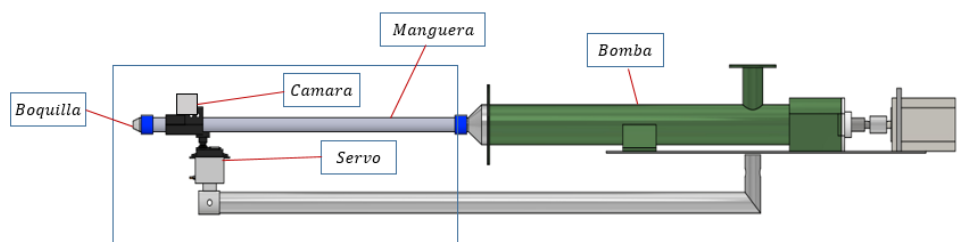


Figura 2.29 Diseño de forma del brazo inyector (Elaboración propia, 2021)

2.3.1.1.6 Materiales del sistema inyector

El material que es utilizado para la camisa comúnmente es acero tales como: AISI 1018 o acero inoxidable en aplicaciones de extrusión. Pero debido a que la presión de operación es de 515 [kPa], y el peso es una restricción para el VANT, se opta por un material comúnmente utilizado en la impresión 3D el ABS.

El material AISI 4140 es un acero de medio carbono aleado al cromo-molibdeno. Se utiliza generalmente en la industria automotriz, partes de maquinarias tales como: árboles de turbinas, ejes reductores, tuercas y tornillos de altas resistencias, husillos, industrial petrolera (Budynas & Nisbett, 2008). Ver las propiedades de los materiales en la Tabla 2.15.

Tabla 2.15 Propiedades de los materiales AISI 4140, ABS y fibra de carbono estándar (Elaboración propia, 2021)

Propiedades	Unidades	AISI 4140 Husillo	ABS Camisa y recipiente	Fibra de carbono Brazo inyector
		Valor	Valor	Valor
Resistencia a la tensión	MPa	1020	44	3100
Densidad	g/cm ³	7.86	1.05	1.75
Disponibilidad en el país	---	sí	sí	Casi nula
Maquinado en el país	---	sí	---	---

2.3.1.1.7 Diseño de forma del sistema inyector

A continuación, se muestra el pre-diseño final obtenido en la Figura 2.30; se le llama pre-diseño, porque la geometría de la bomba está validada y completa, sin embargo, los detalles geométricos finales se muestran en el Capítulo 3.

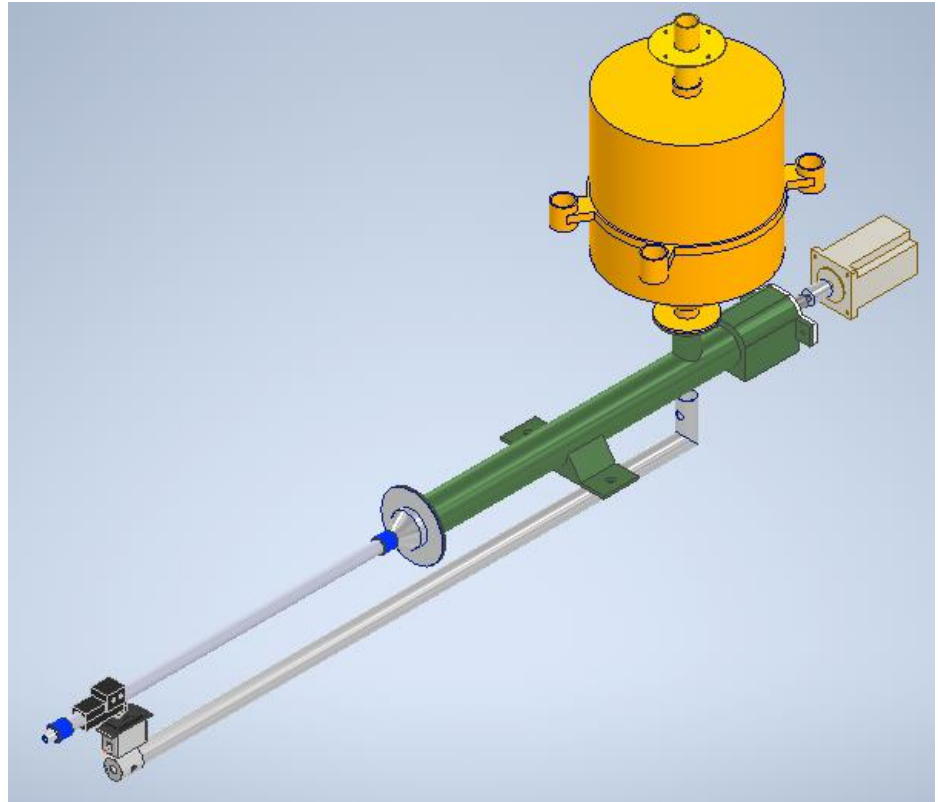


Figura 2.30 Prediseño final de forma del sistema inyector
(Elaboración propia, 2021)

2.3.1.1.8 Masa total del sistema inyector

Para los cálculos se obtuvo la masa de sus componentes del programa Autodesk Inventor y de las especificaciones técnicas del datasheet. Se supone que el material está en la camisa y el reservorio lleno. Se utiliza la ecuación (2.3).

$$M_T = M_{bomba} + M_{lechada} + M_{manguera} + M_{brazo} \quad (2.3)$$

Obteniendo un total de 16.965 [kg].

2.3.1.1.9 Área de trabajo y tiempo de autonomía de la bomba

Para encontrar el área de reparación se realizó una relación de volúmenes, ecuación (2.4) se asume que el espesor de las fisuras “e” en las superficies de pared o en estructuras es de 5 [mm].

El volumen del reservorio es de 0.007 [m^3].

$$e(Area) = 0.007[m^3] \quad (2.4)$$

Se obtiene el área a reparar, que es $1.4 [m^2]$ como se muestra en la Figura 2.31 de un cuadrado de lado A.

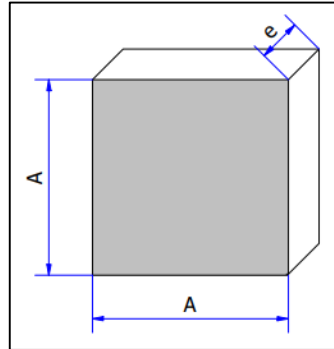


Figura 2.31 Esquematzación del área a reparar (Elaboración propia, 2021)

Para encontrar el tiempo de autonomía se hace uso de la masa total y del flujo másico de salida.

$$M_{material} = 11.744 [Kg]$$

$$\dot{m}_{outlet} = 0.29 \left[\frac{kg}{s} \right]$$

El tiempo que tomaría vaciarse completamente el reservorio cuando el motor funciona sin detenerse es de $41 [s]$. Si el área de reparación $A_i = \frac{1.4}{6} [m^2]$ siendo $i = 1,2,3,4,5,6$ y el tiempo que toma trasladarse en la misma pared es $30 [s]$ como se muestra en la Figura 2.32.

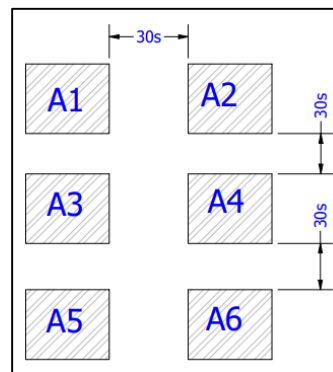


Figura 2.32 Tiempo de traslado en la pared (Elaboración propia, 2021)

$$T_{total} = T_{traslado} + T_{vaciado} \quad (2.5)$$

$$T_{total} = 6(30s) + 41s$$

Se obtiene un nuevo tiempo total de vaciado del reservorio de 221 [s] realizando las reparando el área propuesta. Si se demora 60 [s] en llenar el reservorio y es llenado 4 veces, la autonomía es de aproximadamente 1200 [s] o 20 [min] en un área total de 5.6 [m²].

Se propone que la distancia de inyección del material de la lechada de cemento sea a una distancia de 30 [cm] de la pared en reparación como se muestra en la Figura 2.33.

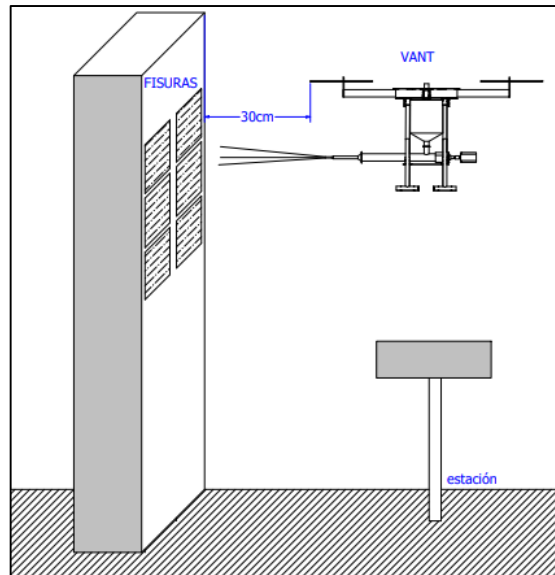


Figura 2.33 Bosquejo de la distancia de operación entre el VANT y pared (Elaboración propia, 2021)

2.3.1.2 Cálculo de potencia de vuelo del VANT

La potencia depende de la altitud en la que se va a operar. Dado que la costa ecuatoriana posee un territorio bastante regular entre 0 y 400 [m.s.n.m.] (metros sobre el nivel del mar), siendo el punto más alto 800 [m.s.n.m.] Se considera una altitud de 100 [m] y una temperatura media de 25 [°C].

La operación del dron se propone para estructuras de hasta 60 [m] de altura. Se utiliza la ecuación (2.6) para hallar la altura de operación.

$$h = \text{altitud} + h_{\text{reparación}} \quad (2.6)$$

Obteniendo la altura de operación de 160 [m]. Luego se obtuvo la densidad del aire, a partir del modelo de atmósfera estándar internacional ISA utilizando una calculadora online. Los datos ingresados son la altura geométrica de 0.160 [Km] y la temperatura de compensación de 10 [°C] respecto a la estándar de 15 [°C] (TranslatorsCafe, 2017). Se obtiene ρ con 1.16 [kg/m³] como se muestra en la Figura 2.34

Resultados

Presión
 p 99,418 kPa

Densidad del aire
 ρ 1,165693 kg/m³ (g/L)

Temperatura
 t 297,1 K 24 °C

Velocidad del sonido
 c 345,54 m/s 1243,96 km/h

Gravedad de la tierra a esta altitud
 g_e 9,8062 m/s²

Altura geopotencial
 h 159,996 m

Figura 2.34 Densidad del aire calculada (TranslatorsCafe, 2017)

Los 6 motores deben generar un empuje mínimo igual al peso del VANT incluyendo la carga. Se considera la siguiente Tabla 2.16.

Tabla 2.16 Masa de los sistemas conformante del VANT (Elaboración propia, 2021)

Cantidad	Descripción	Masa
1	Sistema mecánico	3.375 [kg]
1	Sistema eléctrico y de control	1.011 [kg]
2	Batería del Dron	7.038 [kg]
6	Sistema de propulsión	2.100 [kg]
1	Sistema de inyección	16.965 [kg]
1	Otros	1.011 [kg]
TOTAL		31.500 [kg]

La masa total del dron es de 31.500 [kg], dato que se obtuvo del modelo virtual en INVENTOR Utilizando la ecuación (2.7) se obtiene el empuje de un motor.

$$T_{motor} = \frac{M_{total}(g)}{6} \quad (2.7)$$

Se obtiene $T_{motor} = 51.45 [N]$ que es el valor mínimo para equilibrar el peso del VANT. Para el cálculo de potencia se utilizó la teoría de cantidad de movimiento TCM. Se consideran cuatro modos de desplazamiento que son: vuelo a punto fijo, vuelo ascendente, vuelo descendente y vuelo horizontal (Orna, 2015).

2.3.1.2.1 Potencia en vuelo a punto fijo

En este movimiento se asume que la velocidad relativa entre las hélices (ver Figura 2.35) y el aire es cero. Para determinar la potencia requerida en vuelo a punto fijo primero se debe calcular la velocidad inducida en el motor v_0 mediante las siguientes ecuaciones.

$$v_0 = \sqrt{\frac{T_{motor}}{2\rho A}} \quad (2.8)$$

Dónde: A es el área circular que se genera al rotar la hélice y ρ es la densidad del aire. Y se puede calcular con la ecuación donde r es el radio de la hélice el cual es de 0.3048 [m].

$$A = \pi r^2 \quad (2.9)$$

Realizando los cálculos se obtiene $0.2919 m^2$ y reemplazando este valor se obtiene según la TCM la potencia requerida para realizar vuelo a punto fijo se obtiene con la ecuación (2.10).

$$v_0 = \sqrt{\frac{51.45}{2(1.166)(0.292)}}$$

$$v_0 = 8.692 \frac{m}{s}$$

$$P_{i0} = T_{motor} v_0 \quad (2.10)$$

$$P_{i0} = 51.45(8.692)$$

Obteniendo una potencia de $P_{i0} = 447.221[W]$



Figura 2.35 Hélices seleccionadas del VANT (Xoar, 2021)

2.3.1.2.2 Potencia en vuelo axial ascendente

En este movimiento se asume que la velocidad relativa entre las hélices y el aire es diferente de cero, añadiendo el termino v_c a la ecuación. Se considera que v_c es $6 [m/s]$ tomando en cuenta el tamaño del VANT y la carga que se aplicada. La potencia en vuelo axial ascendente queda expresada en la ecuación (2.11).

$$P_i = T_{motor} * (v_c + v_i) \quad (2.11)$$

Donde:

v_c es la velocidad de ascenso

v_i es la velocidad inducida en vuelo axial ascendente

Según TCM existe una relación entre la velocidad inducida en el motor de vuelo a punto fijo con velocidad inducida en el motor de vuelo axial ascendente se expresa con la ecuación (2.12).

$$\frac{v_i}{v_o} = -\frac{1}{2} \left[\frac{v_c}{v_o} \right] + \sqrt{\frac{1}{4} \left[\frac{v_c}{v_o} \right]^2 + 1} \quad (2.12)$$

$$\frac{v_i}{8.692} = -\frac{1}{2} \left[\frac{6}{8.692} \right] + \sqrt{\frac{1}{4} \left[\frac{6}{8.692} \right]^2 + 1}$$

Reemplazando valores y despejando se obtiene v_i es 6.195 m/s. Con el valor utilizando se calcula la potencia en vuelo axial ascendente, obteniendo P_i .

$$P_i = 51.45 * (6 + 6.195)$$

$$P_i = 627.440 [W]$$

2.3.1.2.3 Potencia en vuelo axial descendente

En aeronáutica, cuando una aeronave desciende se produce turbulencia por lo que la desestabilización es potencial. Primero se consideran cuatro regímenes de trabajo:

- Funcionamiento normal, vuelo ascendente $v_c \geq 0$
- Anillos de vórtices $-1 \leq \frac{v_d}{v_o} \leq 0$
- Estela turbulenta $-2 \leq \frac{v_d}{v_o} \leq -1$
- Moliente frenante $\frac{v_d}{v_o} < -2$

Para los siguientes cálculos se considera una velocidad de vuelo axial descendente v_d es de $-3 [m/s]$. Se determina mediante la relación (2.13) que el régimen de trabajo es anillos de vórtices donde la TCM no es aplicable (Bosh, 2012).

$$\frac{v_d}{v_o} = \frac{-3}{8.692} = -0.345 \quad (2.13)$$

Para ello se realiza una compensación lineal correspondiente a este régimen que se muestra en la ecuación (2.14).

$$\frac{v_i}{v_o} = k - \frac{v_d}{v_o} \quad (2.14)$$

$$-1.5 \leq \frac{v_d}{v_o} \leq 0$$

Donde k es el factor de compensación $K = 1$ para hélices ideales $K = 1.15$ para caso real (se utilizó este caso). Aplicando la ecuación 2.14 se obtiene $v_i = 12.994 \text{ [m/s]}$.

Para obtener la potencia P_d se aplicación la ecuación (2.15) en donde v_i es la velocidad inducida vertical descendente.

$$P_d = T_{motor} * (v_d + v_i) \quad (2.15)$$

Reemplazando los valores se obtiene:

$$P_d = 51.45 * (-3 + 12.994)$$

$$P_d = 514.219 \text{ [W]}$$

2.3.1.2.4 Potencia en vuelo de avance horizontal

Este es el movimiento con el que se realiza el proceso de reparación de las fisuras estructuras (Carrillo, 2016). Se obtiene la velocidad de avance máxima en los motores. Para encontrar la v_a se aplica la ecuación (2.16).

$$T = \left[2\rho A v_i \sqrt{(v_a \cos \alpha_r)^2 + (v_a \sin \alpha_r + v_i)^2} \right] \quad (2.16)$$

En dónde:

α_r suponemos el ángulo de ataque de la hélice es de 30° con respecto al viento, aunque se recomienda 20°

v_a es la velocidad de avance máxima

v_i es la velocidad axial ascendente de 6.195 [m/s]

ρ es la densidad del aire es 1.166 Kg/m^3

A de la hélice es de 0.292 m^2

T es la fuerza necesaria a levantar de 51.45 N

Reemplazando e iterando se obtiene v_a igual a $7.85 \text{ [}\frac{\text{m}}{\text{s}}\text{]}$ para que la ecuación (2.17) sea aproximadamente igual en ambos lados. Dado que el hexacóptero no debe llegar a esa velocidad se toma v_a como máxima $7 \text{ [}\frac{\text{m}}{\text{s}}\text{]}$

$$P_a = T * (v_a \sin \alpha_r + v_i) \quad (2.17)$$

$$P_a = 51.45 * (7 * \sin 30 + 6.195)$$

$$P_a = 498.807 \text{ [W]}$$

2.3.1.3 Diseño del sistema estructural del VANT

Se realizó el dimensionamiento de la estructura o frame del hexacóptero, el largo de los brazos del VANT van a depender del diámetro de las hélices, y se debe evitar que se choquen entre sí, por lo que se dejó una distancia aproximada de 40 [mm] como se muestra en la Figura 2.36.

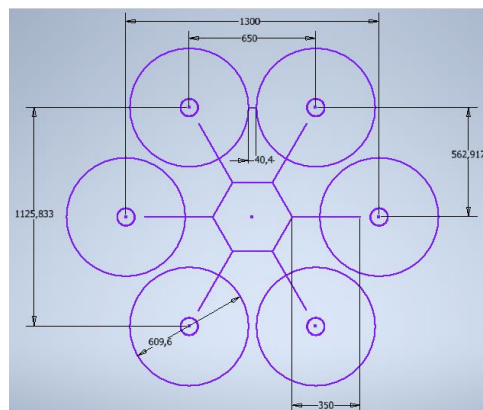


Figura 2.36 Frame del hexacóptero (Elaboración propia, 2021)

Se realizó el diagrama de cuerpo libre DCL del VANT cuando está en vuelo y en operación como se muestra en la Figura 2.37. Las fuerzas que aparecen son:

- F_s es la fuerza de sustentación de los motores
- F_a es la fuerza de arrastre del viento
- F_r es la fuerza de reacción del sistema de inyección
- P es el peso es la fuerza que actúa en el centro de gravedad CG (punto negro) del VANT

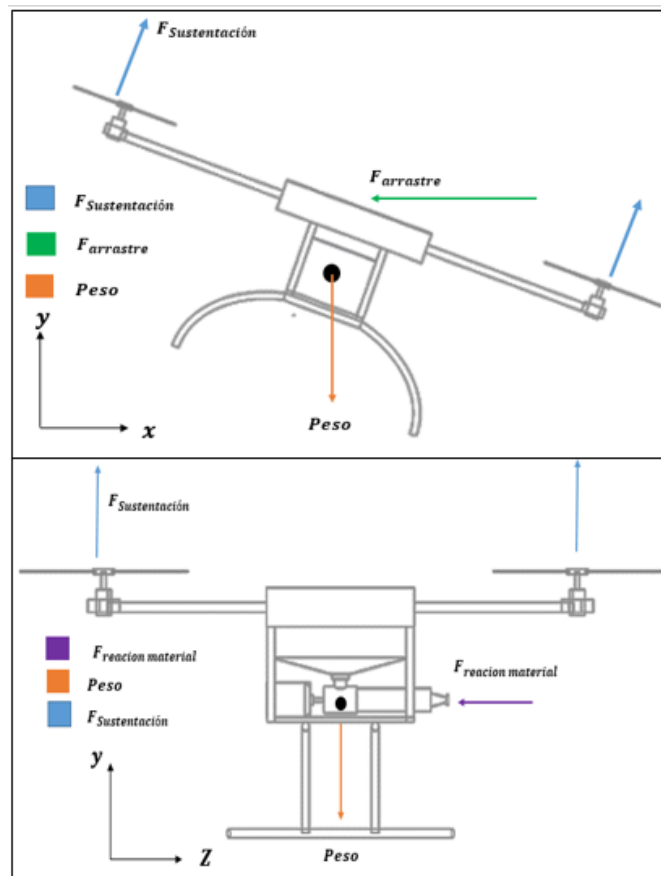


Figura 2.37 DCL del VANT (Elaboración propia, 2021)

Se considera que un motor transmite una fuerza de sustentación igual a $F_s = F/6$ y además transmite un momento, se utilizan uniones y pernos para unir la estructura. En la Figura 2.38 se muestran las piezas críticas que poseen la mayor parte de cargas y concentradores de esfuerzos.

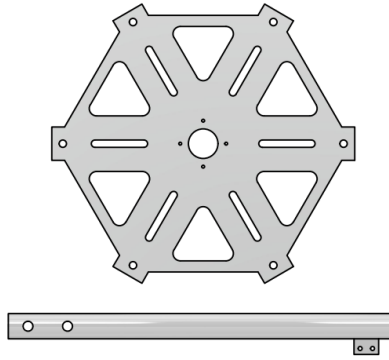


Figura 2.38 Piezas críticas del VANT (Elaboración propia, 2021)

Para la base y placa superior del VANT se empleó una forma hexagonal por contener menor área que la de un círculo.

2.3.1.3.1 Selección del material en la estructura

La fibra de carbono presenta ventajas como una mayor resistencia a la tracción, y una densidad mucho menor, mejor relación peso resistencia. En Ecuador pocas empresas son las que trabajan con este material, además, su costo de adquisición es elevado. Entre los materiales los disponibles que son utilizados para fabricación de estructura del dron se encuentra la fibra de carbono con una densidad de $1750 \text{ [kg/m}^3\text{]}$.

Este material no se encuentra disponible en nuestro país por lo que su adquisición es a través de importación. A continuación, se muestra en la Tabla 2.17 con las propiedades mecánicas de los materiales.

**Tabla 2.17 Propiedades mecánicas del acero y la fibra de carbono
(Liu, Zwingmann, & Schlaich, 2015)**

Tipo de material		Densidad [kg/m ³]	Resistencia a la tracción σ_u [GPa]	Módulo de elasticidad E [GPa]	Longitud de rotura $\sigma_u / (\rho g)$ [km]
Fibra de carbono	Estándar	1750	3.53	230	205
	Alta resistencia	1820	7.06	294	396
	Alto módulo de elasticidad	1870	3.45	441	188
Acero	S355	7850	0.50	210	6
	Wire	7850	1.77	210	23

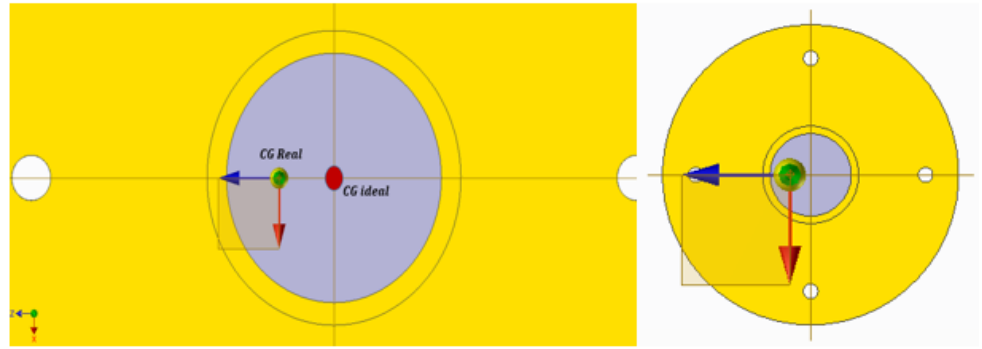
2.3.1.3.2 Distribución de las masas

La incorrecta distribución de masas afecta principalmente a lo siguiente:

- La estabilidad del vuelo del VANT
- La demanda de corriente en los rotores
- Su eficiencia y operación en general

La distribución de masas debe ubicarse respecto al CG ideal que forma la figura hexagonal de las placas. Para obtener una correcta distribución de masas se realizaron varias pruebas en el modelo virtual de inventor. Reduciendo la separación entre el CG ideal y real en 5 [mm], por lo que se recomienda insertar acoples y accesorios considerando su desfase y contrarrestarlo.

En la siguiente Figura 2.39 se muestra en CG real del VANT de la vista superior. El diámetro del círculo gris es de 22 [mm].



**Figura 2.39 Ubicación del centro de gravedad real del VANT
(Elaboración propia, 2021)**

2.3.1.3.3 Diseño de forma de la estructura

En la Figura 2.40 que se muestra a continuación, se visualiza el diseño obtenido en el modelo virtual de AUTODESK INVENTOR. La estructura es de fibra de carbono estándar.

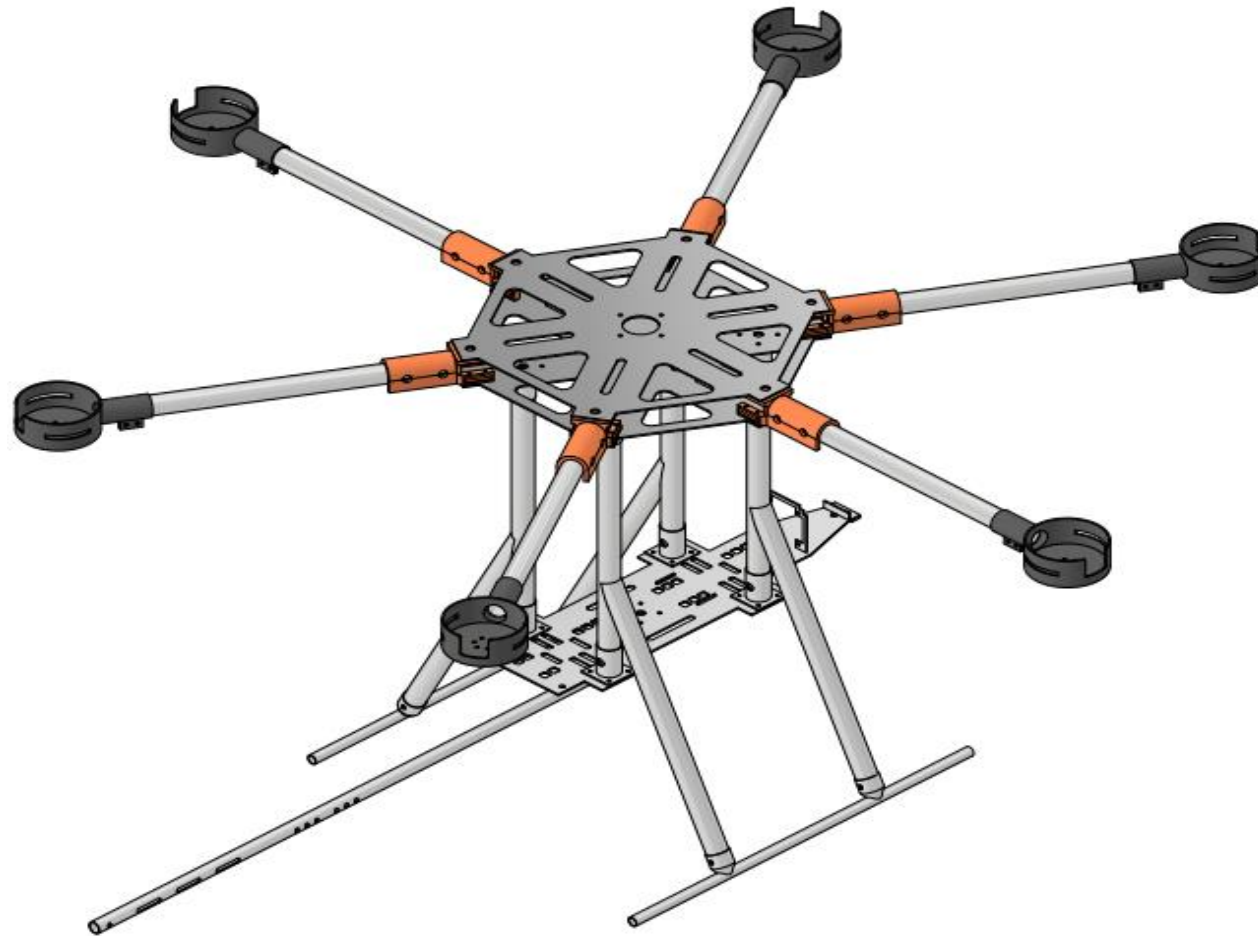


Figura 2.40 Diseño de forma de la estructura (Elaboración propia, 2021)

2.3.2 Diseño de la estación portable

El diseño de la estación portable se realizó a partir de la propuesta ganadora, se seleccionó el material a utilizar en la estructura, se estableció la longitud y diámetro de cada eslabón y se definió la sección transversal alveolar; luego en concordancia a las dimensiones del dron se estableció el tamaño adecuado de la cubierta de acceso y habitáculo donde reposará el VANT y sensores. Establecidas esas condiciones, se procedió a calcular la cantidad de eslabones necesarios para soportar las cargas ocasionadas por el peso propio, por el VANT y por el viento; analizando la resistencia de la columna y de la unión entre el primer eslabón y la base. Luego, según los esfuerzos ocasionado por las cargas, se diseñó el espesor adecuado para los demás componentes de la estación tales como base inferior, base superior, habitáculo y cubierta.

2.3.2.1 Selección de los materiales

El estudio de los compuestos FRP para el uso como refuerzo en estructuras ha sido amplio, obteniéndose los siguientes resultados para los distintos tipos de FRP como se observa en la tabla Tabla 2.18:

Tabla 2.18 Propiedades mecánicas de tipos de material FRP (Shakir, Odaa, Hasan, & Jasim, 2020)

Propiedad	Tipo de Polímero Reforzado				
	CFRP	GFRP	AFRP	BFRP	Acero
Densidad (g/cm ³)	1.5 – 2.10	1.25-2.50	1.25-1.45	1.90-2-10	7.85
Resistencia a la tracción (Mpa)	600-3920	483-4580	483-4580	600-1500	483-690
Módulo de Young (GPa)	37-784	35-86	35-86	50-65	200
Elongación (%)	0.5-1.8	1.2-5.0	1.2-5.0	1.2-2.6	6.0-12.0
Coef. de expansión lineal (10 ⁻¹ /°C)	-9.0-0.0	6.0-10.0	6.0-10.0	9.0-12.0	11.7

Se puede observar que la resistencia a la tracción del GFRP tiene valores similares y superiores al acero, por ende, este material tiene muy buenas propiedades para ser usado en estructuras.

Para diseñar la estación portable, se usó GFRP debido a que este tipo de material ha dado buenos resultados en el uso de estructuras; tomando como ejemplo la (España Patente nº 2701779, 2019) donde diseñan un perfil de viga con dicho material.

2.3.2.2 Diseño de forma

2.3.2.2.1 Eslabones de columna y elemento de unión

La sección del eslabón de columna tiene una forma tipo panal compuesta por hexágonos huecos de 9.6 [mm] separados a 4.17 [mm] de distancia entre sí y con un nervio central en forma de Y de 120° que le proporciona mayor rigidez al elemento; en cuanto a la longitud, se definió de 1.5 [m] para facilitar transporte y ensamblaje. Ver Figura 2.41.

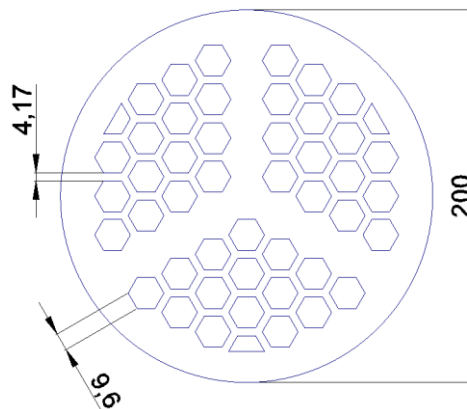


Figura 2.41 Diseño de forma de la sección transversal del eslabón (Elaboración propia, 2021)

Se definió la unión entre eslabones, como trabes en forma de Y sobresalientes en el caso de unión macho y deprimidos en caso de unión hembra para asegurar un buen ensamble que simule un apoyo empotrado ya que restringe desplazamientos y rotaciones. Ver Figura 2.42 para mayor entendimiento.

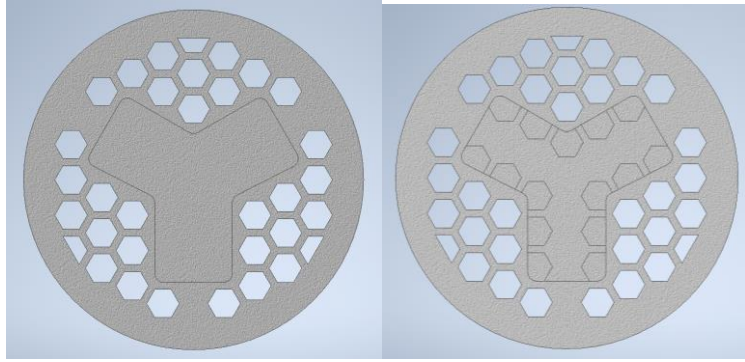


Figura 2.42 Diseño de forma de la unión macho y hembra de eslabones (Elaboración propia, 2021)

2.3.2.2.2 Compuerta de acceso: iris mecánico

La compuerta de acceso es un mecanismo denominado iris mecánico y está compuesto de las siguientes partes básicas:

- Placa base
- Palas que abren y cierran
- Anillo de accionamiento, que mediante movimiento circular permite abrir y cerrar el iris.

Como se observa en la Figura 2.43 y Figura 2.44 el iris mecánico posee 5 palas de forma de pétalos para permitir un mejor cierre y evitar abertura en el centro que suele suceder en palas de otras formas, en cuanto al anillo de accionamiento, éste tiene 5 aberturas curvas alargadas que funcionan como carriles o guías para mover las palas.

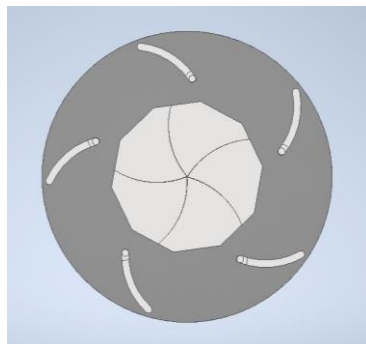


Figura 2.43 Vista superior 1 del iris mecánico (Elaboración propia, 2021)

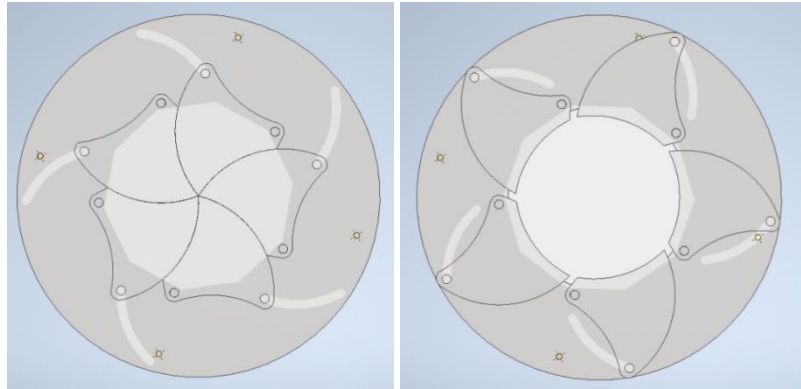


Figura 2.44 Vista superior 2 del iris mecánico (Elaboración propia, 2021)

2.3.2.2.3 Habitáculo

El habitáculo tiene forma de cilindro con un tablero en la parte superior en forma de anillo circular para que soporte a la compuerta. Las medidas del diámetro y altura aseguran holgura y bordes libre adecuada para que el VANT no choque con las paredes o compuerta y además haya espacio suficiente para ubicar los sensores de condiciones ambientales. Ver Figura 2.45. y Figura 2.46.

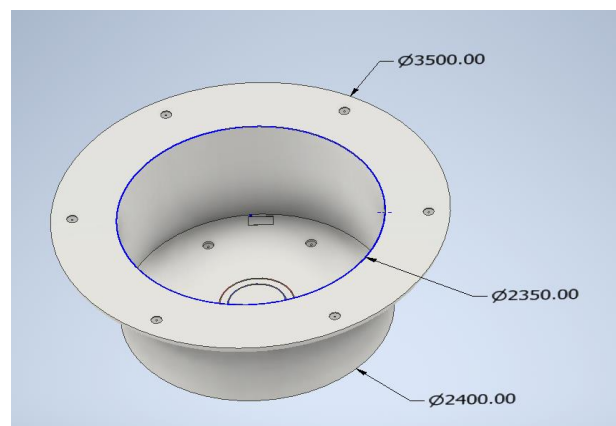


Figura 2.45 Vista 1 del habitáculo con dimensiones principales (Elaboración propia, 2021)

La altura total del habitáculo, es decir, entre los planos más extremos es de 1.1 [m], Se puede visualizar, que el objeto tiene forma de copa debido a que la cubierta de abertura (iris mecánico) tiene un mecanismo de anillo circular más grande que el piso del habitáculo, este mecanismo necesita reposar en un plano de gran diámetro y por tal motivo esa plataforma tiene un diámetro de 3.5 [m].

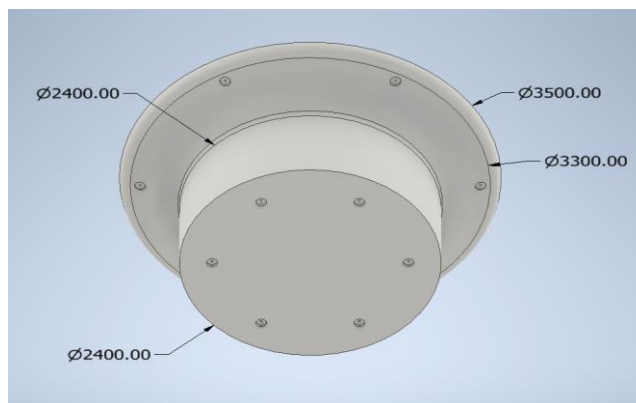


Figura 2.46 Vista 2 del habitáculo con dimensiones principales (Elaboración propia, 2021)

2.3.2.2.4 Base superior

Como se muestra en la Figura 2.47, la base superior está formada por una copa compuesta de círculos de diferentes diámetros y alturas, ésta forma asegura que haya una distribución suave de las cargas del habitáculo, cubierta y VANT hacia la columna; la cual se unirá a la base mediante una unión hembra en forma de Y.

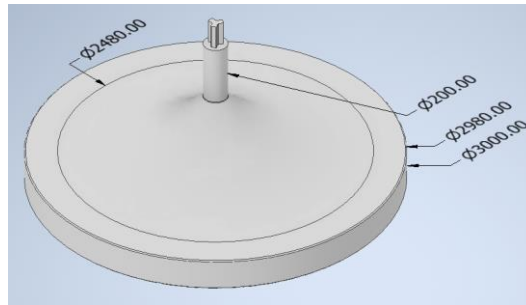


Figura 2.47 Vista de la base superior (Elaboración propia, 2021)

2.3.2.2.5 Base inferior

La base a tierra de la estación está formada por un disco circular de $\Phi = 3$ [m], altura igual a 26.57[cm] y bordes biselados; sobre el plano superior del disco hay un elemento macizo que sube, pero reduce su diámetro, cabe recalcar que tal elemento parte de un $\Phi = 2.48$ [m], es decir, hay un borde libre de 52 cm en el disco para unir un anillo de amordazamiento a éste mediante pernos. Encima del elemento curvo, continua un cilindro macizo que contiene al elemento de unión

encima, esta unión tiene forma de Y similar al elemento de unión entre columnas. Ver Figura 2.48.



**Figura 2.48 Vista de la base inferior con dimensiones principales
(Elaboración propia, 2021)**

2.3.2.3 Análisis de cargas

Para el análisis de las cargas a las que estará sometida la columna, se tomó en cuenta una combinación de cargas formada por la carga muerta correspondiente al peso propio de los componentes de la estación; la carga viva correspondiente al peso del VANT, la carga variable correspondiente a la fuerza del viento respecto a la altura de la estación, y por último la carga de pretensión de los cables.

Cabe recalcar que previo al análisis de la estructura, se analizó la capacidad de carga máxima de un eslabón de columna para tener idea del alcance que puede tener el elemento solo; tal análisis se realizó mediante el programa computacional ANSYS Workbench sin FS y con FS = 2, y luego se validó con un cálculo manual de pandeo siguiendo la ecuación (2.18) para sin FS, mientras que considerando FS se usó las fórmulas de la AISC descritas en la Figura 2.49, éste define el límite entre columnas intermedias y largas como el valor de relación de esbeltez C_c para columnas de acero, teniendo en cuenta que el GFRP tiene propiedades similares.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_e} \quad (2.18)$$

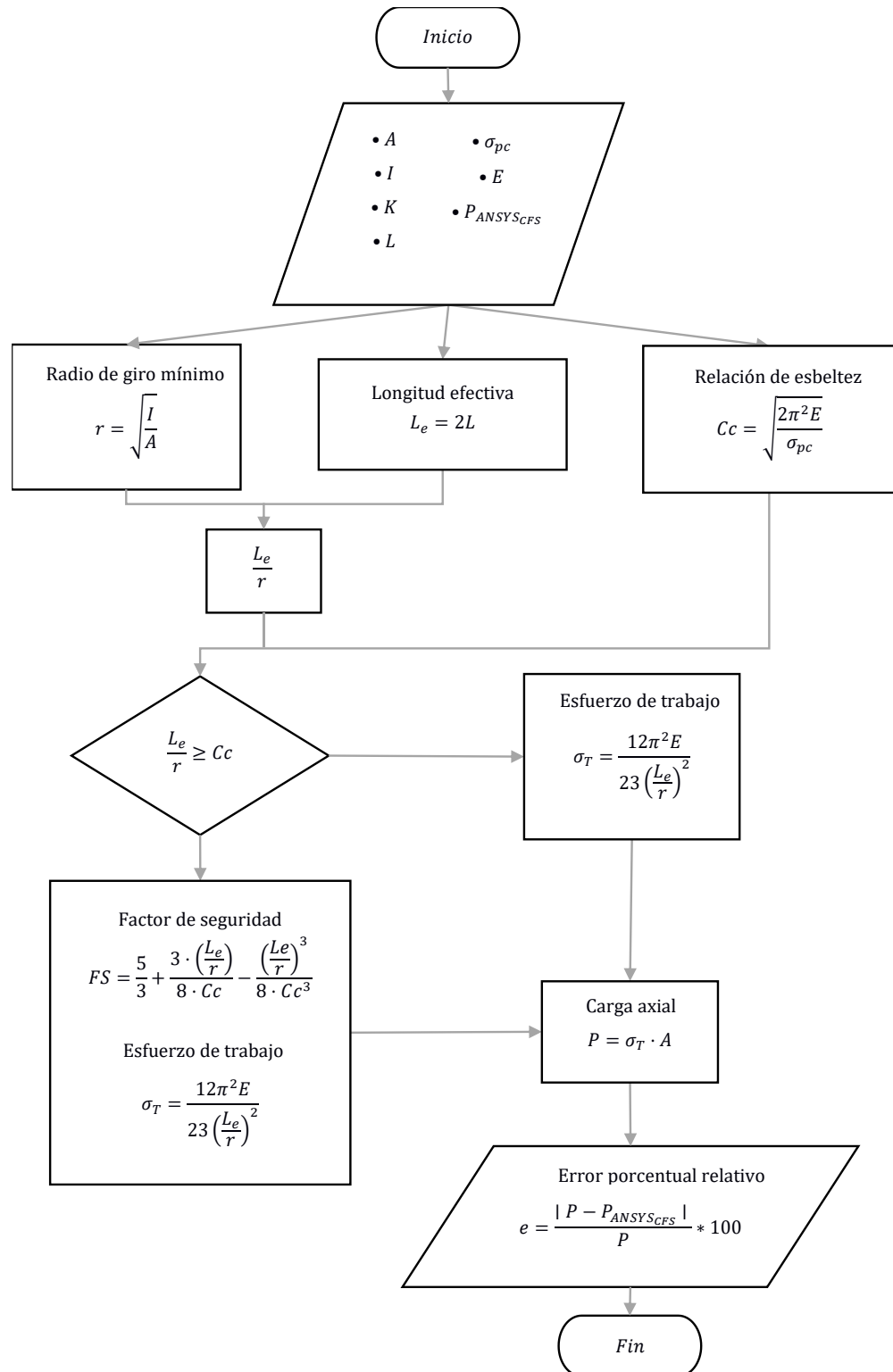


Figura 2.49 Diagrama de flujo del análisis de carga máxima para el eslabón de columna considerando Factor de Seguridad (Elaboración propia, 2021)

Donde:

L: longitud

I: Momento de inercia

A: Área de la sección

K: factor de longitud efectiva

L_e : Longitud efectiva

E: módulo de elasticidad

r: radio de giro mínimo

Cc: relación de esbeltez

σ_{pc} : Límite elástico por compresión

FS: Factor de seguridad

σ_T : esfuerzo de trabajo

P: Carga axial

P: carga axial máxima calculada en ANSYS

e: error relativo porcentual

2.3.2.3.1 Carga variable: Viento

En cuanto a la carga variable correspondiente al viento, se hizo uso de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) para la determinación de la presión que realiza el viento sobre una estructura siguiendo la metodología a continuación:

- Velocidad instantánea máxima del viento

La velocidad instantánea máxima escogida corresponde a 10 [m] de altura en determinada zona, este valor se escogió del análisis estadístico de los datos recopilados por las estaciones meteorológicas del INAMHI y no debe ser menor a 21 [m/s] según la NEC-2015; en nuestro caso como se trata de una estructura portable, entonces se consideró la situación más crítica en el país, es decir se escogerá la ciudad que tenga la mayor velocidad y que posea edificaciones de alturas aplicables para la estación portable.

La ciudad escogida es Riobamba con una velocidad instantánea máxima de 21 [m/s] (Hurtado, 2009) para un periodo de retorno $T_r =$

10 años debido a que es una estructura temporal. Ver tabla del Apéndice I.1.

- **Velocidad corregida del viento**

La velocidad instantánea máxima del viento se corregirá por un coeficiente respecto a la altura, características topográficas y de edificación del entorno; debido a la portabilidad de la estación se escogió la situación más crítica, es decir, la categoría A (sin obstrucción) correspondiente a edificios ubicados en espacios abiertos, frente al mar o en zonas rurales. Los coeficientes de corrección se escogieron de la Tabla 5 de la (NEC, 2015) dependiendo de las alturas que se van a simular, Ver tabla del Apéndice I.2.

$$V_b = V \cdot \sigma \quad (2.19)$$

Donde:

V_b : *velocidad corregida del viento (m/s)*

V : *velocidad instantánea máxima del viento registrada a 10 m sobre el terreno*

σ : *coeficiente de corrección*

- **Presión del viento**

Para determinar la resistencia del elemento frente al empuje de viento, se calcula la presión mediante la siguiente expresión:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_b^2 \cdot C_e \cdot C_f \quad (2.20)$$

Donde:

P : *presión (N/m²)*

ρ : *densidad del aire (kg/m³)*

C_e : *coeficiente de entorno/altura*

C_f : *Coeficiente de forma*

Analizando la tabla 7 de la (NEC, 2015), la estación portable y su entorno se adecuan mejor a la descripción “elementos en fachadas expuestas en edificaciones aisladas o fachadas de longitud menor que el doble de la altura”, por ende, el coeficiente de entorno C_e es 0.8; en cuanto al coeficiente de forma, se analiza la tabla 6 de la (NEC, 2015) donde lo más similar a la estación es la construcción de tanques de agua, chimeneas y otros de sección circular o elíptica obteniéndose un valor de +0.7 para el coeficiente. Ver tablas del Apéndice I.2.

A continuación, se expone el diagrama de flujo en la Figura 2.50 donde resumen la metodología propuesta por la NEC-2015. El diagrama inicia con un recuadro de bordes suaves, seguida de un recuadro en forma de romboide que representa los datos de entrada o condiciones con los que se efectuará las operaciones representadas por fórmulas en recuadros rectangulares; las líneas de flecha indica el sentido de ejecución de las operaciones. Por último, el final del proceso se ve representado por un recuadro similar al de Inicio.

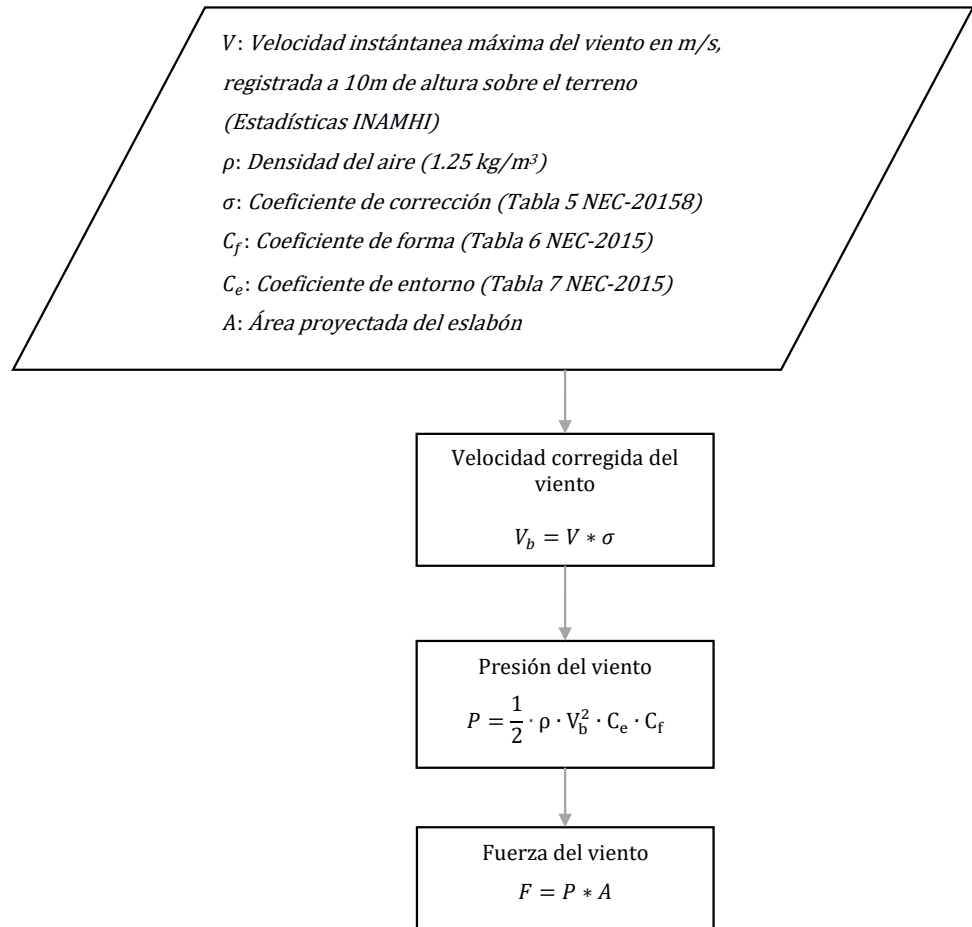


Figura 2.50 Diagrama de flujo del cálculo de presión y fuerza del viento (Elaboración propia, 2021)

Se realizó una tabla de velocidades corregidas, presiones y fuerzas respecto a alturas para encontrar la forma de la distribución de la carga del viento, esta tabla se la puede visualizar en el Apéndice I.3. De los datos obtenidos se realizó una gráfica que relaciona la Fuerza con la altura de aplicación, y mediante ayuda computacional se trazó las líneas de tendencia para identificar qué forma geométrica tienen las cargas para cada tramo; éstas sirvieron para puntualizar las cargas ya que resulta del área de la carga distribuida como se explica en la siguiente ecuación:

$$F_p = \int_{x_1}^{x_2} f(x) dx \quad (2.21)$$

Siendo:

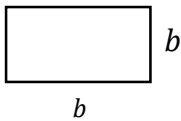
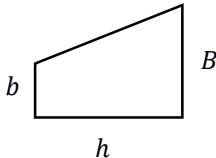
F_p : Fuerza puntualizada

$f(x)$: Línea de tendencia de la carga distribuida

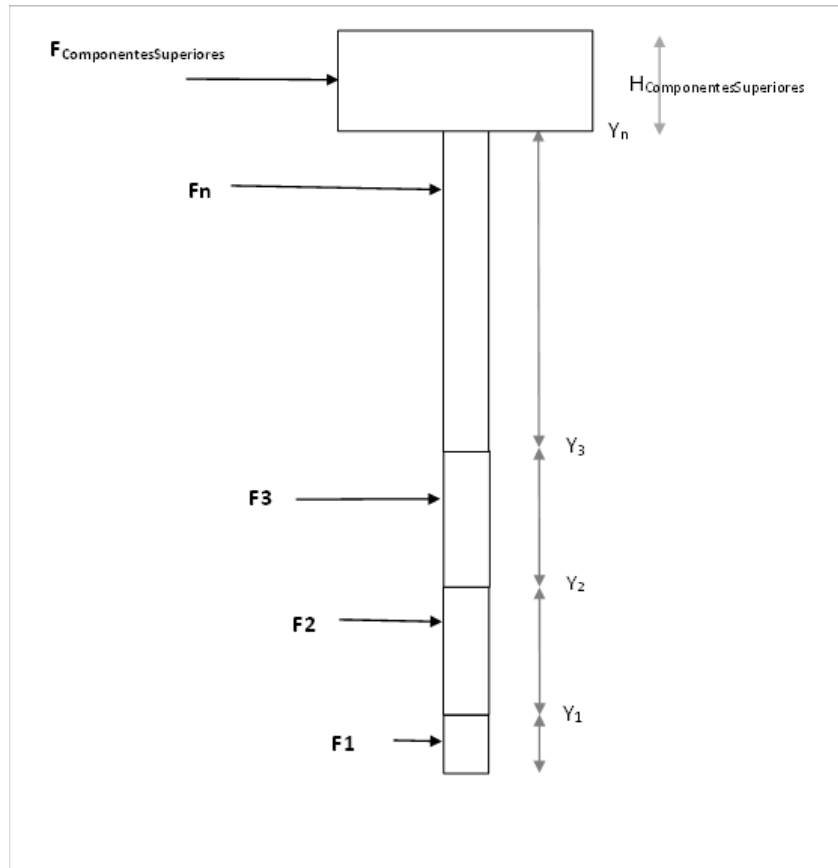
dx : diferencial de la altura x

De la misma gráfica se visualizó que las líneas de tendencia eran lineales, es decir las cargas tenían forma cuadrada y trapezoidal en algunos tramos, por ende, la distancia de aplicación de dichas cargas se calculó considerando la fórmula para los centroides de las figuras geométricas descritas en la Tabla 2.19 de a continuación.

Tabla 2.19 Centroide de figuras geométricas (Elaboración propia, 2021)

Figura	Centroide
Rectángulo 	$\frac{b}{2}$
Trapezio 	$\frac{h(b + 2B)}{3(b + B)}$

Determinada la puntualización de las cargas puntualizadas y las alturas de aplicación de cada una de ella como se observa en el diagrama de cuerpo libre en la Figura 2.51, se insertó los datos en el programa de análisis estructural.



**Figura 2.51 DCL de estación, reacciones en la unión de la base
(Elaboración propia, 2021)**

2.3.2.3.2 Carga muerta

La compuerta, habitáculo y base superior generan una carga gravitacional de peso sobre la columna y unión crítica debido al peso propio, entonces la carga muerta se expresa de la siguiente manera:

$$W_m = W_{hab} + W_{iris} + W_{bs} + W_{col} + W_{bi} \quad (2.22)$$

Donde:

W_m : carga muerta total

W_{col} : peso de columna

W_{hab} : peso del habitáculo

W_{iris} : peso del iris mecánico

W_{bs} : peso de la base superior

W_{bi} : peso de la base inferior

En el caso del peso propio de la columna, está va a depender de la cantidad de eslabones a colocar y va a ser distribuido a lo largo de la longitud de la columna.

$$W_{columna} = n * V_{eslabón} * \rho_{GFRP} \quad (2.23)$$

Donde:

$W_{columna}$: peso de la columna

n : cantidad de eslabones

$V_{eslabón}$: volumen del eslabón

ρ_{GFRP} : densidad del GFRP

Cabe recalcar que el valor de la carga muerta que se ingresará como dato al programa de análisis estructural para simular la columna no considera el peso de la base inferior porque solo se analiza la interacción cables – columna, ni el peso de la columna mismo porque el programa lo calcula automáticamente.

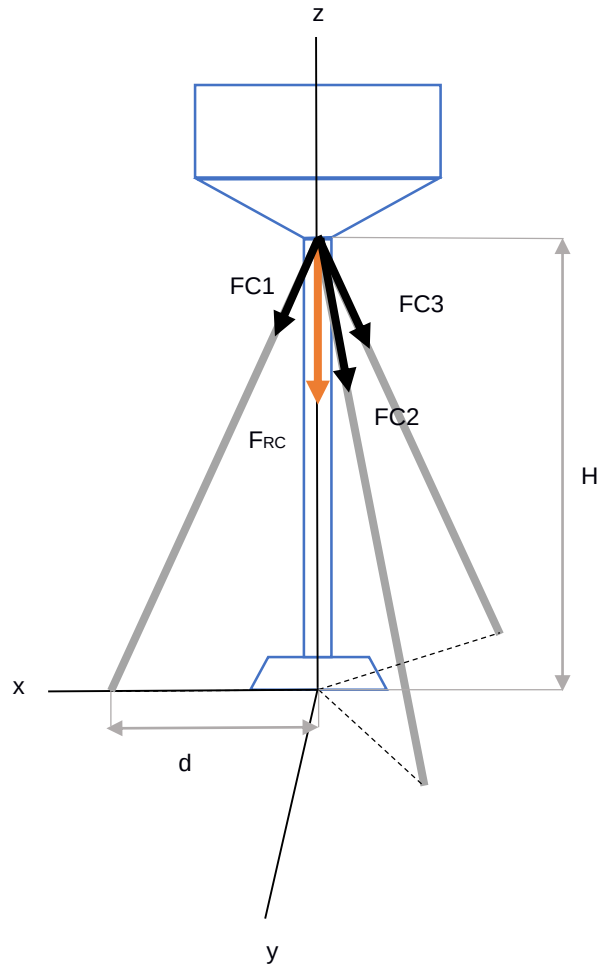
2.3.2.3.3 Carga viva

Considerando que la estación puede servir para el VANT de este proyecto o para cualquier otro, se consideró una carga viva de 50 [kg] + 10% de variación.

$$W_v \leq 50 [kg] \cdot 1.10 \quad (2.24)$$

2.3.2.3.4 Carga de tesado de cables

Para mantener la estabilidad y evitar deflexiones que den sensación de baja seguridad a la estación, se colocó 3 cables tensados a 120° fijados en el último eslabón; el diagrama de cuerpo libre de la estructura sometida a dichas fuerza se describe en la Figura 2.52.



**Figura 2.52 DCL de la columna debido a fuerzas de los cables
(Elaboración propia, 2021)**

La fuerza que mantiene estable la columna después del montaje se estableció como la resultante de las fuerzas de pretensión en los cables que según la literatura debe ser entre 8% a 15% del esfuerzo último de rotura para garantizar estabilidad y vibraciones (Parnás et al., 2012). En base a ese valor y las distancias se calculó los vectores directores que sirvieron para obtener las coordenadas de las fuerzas con la finalidad de realizar sumatoria de fuerzas, así:

$$FC_1: T \cdot \frac{d \cdot \hat{i} + 0 \cdot \hat{j} - H \cdot \hat{k}}{\sqrt{d^2 + (-H)^2}} \quad (2.25)$$

$$FC_2: T \cdot \frac{(-d \cdot \sin(30^\circ)) \cdot \hat{i} + (d \cdot \cos(30^\circ)) \cdot \hat{j} - H \cdot \hat{k}}{\sqrt{(-d \cdot \sin(30^\circ))^2 + (d \cdot \cos(30^\circ))^2 + (-H)^2}} \quad (2.26)$$

$$FC_3: T \cdot \frac{(-d \cdot \sin(30^\circ)) \cdot \hat{i} + (-d \cdot \cos(30^\circ)) \cdot \hat{j} - H \cdot \hat{k}}{\sqrt{(-d \cdot \sin(30^\circ))^2 + (-d \cdot \cos(30^\circ))^2 + (-H)^2}} \quad (2.27)$$

$$F_{RC} = FC_1 + FC_2 + FC_3 \quad (2.28)$$

Donde:

T: magnitud de la Tensión en los cables

FC₁, FC₂, FC₃ : Fuerzas con coordenadas en los cables 1,2 y 3 respectivamente

d: distancia desde la mitad de la base hasta el acnlaje del cable

H: altura total formada por columna, base inferior y parte de la base superior

F_{RC}: Fuerza resultante

Debido a que los cables están dispuestos equidistantemente, los componentes X y Y de la Fuerza resultante se anulan, quedando el vector con solo la coordenada Z, el cual genera una carga de compresión sobre la columna.

2.3.2.4 Definición de los apoyos

El elemento unión entre eslabones y piezas de la estructura tiene la forma descrita en la Figura 2.53; lo cual evita que haya desplazamientos y rotaciones entre los elementos, por ende, se define a estos apoyos como fijos. En cuanto a la base, ésta está fijada al suelo mediante una coraza anillada que amordaza a la base contra el piso, y no permite que se desplace ni rote, por lo tanto, también se considera a este apoyo como fijo.

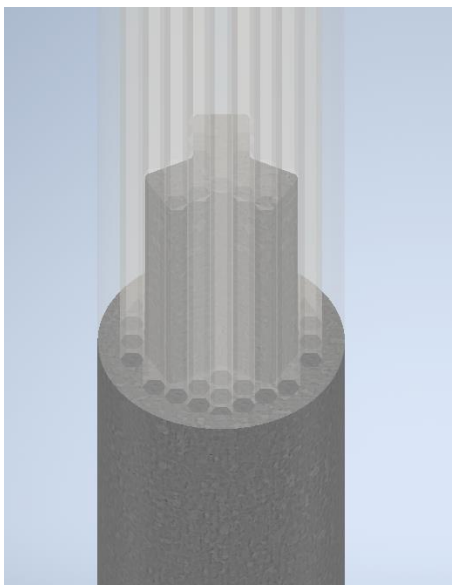


Figura 2.53 Unión entre componentes (Elaboración propia, 2021)

El anclaje de los cables tanto a la superficie terrestre como a la columna se definió como articulado debido a la naturaleza del elemento tipo cable hace que solo trabaje ante esfuerzos de tensión.

2.3.2.5 Determinación de las reacciones

Las reacciones se determinaron mediante un análisis no lineal con SAP2000 versión estudiantil debido a que la estructura tiene elementos cables, los cuales geométricamente no lineales porque son altamente elásticos y flexibles. Un análisis lineal – estático no es apropiado porque puede dar lugar a resultados muy inexactos.

Los resultados de las reacciones de la unión base inferior – columna, arrojadas por el programa sirvieron para ingresar como cargas para realizar un análisis a tensión por elementos finitos de la unión columna - base inferior mediante INVENTOR. Ver Figura 2.54.

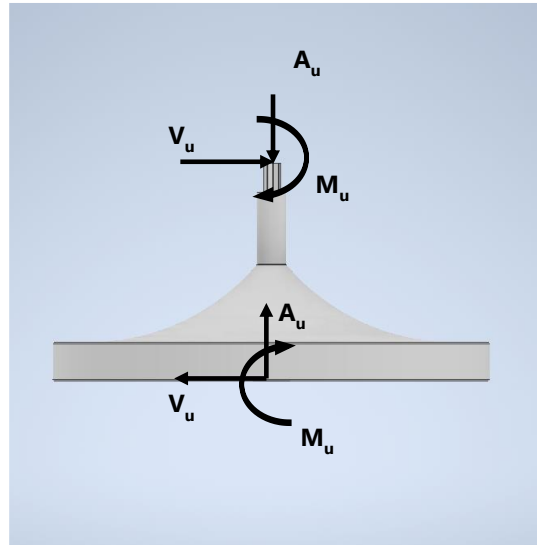


Figura 2.54 DCL de la base inferior (Elaboración propia, 2021)

2.3.2.6 Análisis de esfuerzos

Los esfuerzos que la columna experimenta son axiales, de flexión y cortante debido a las cargas puntuales. El cálculo del esfuerzo de compresión, flexión y cortante se expresa así:

$$\sigma_{comp} = \frac{P}{A} \quad (2.29)$$

$$\sigma_{cortante} = \frac{V}{A} \quad (2.30)$$

$$\sigma_{flexión} = \frac{Mc}{I} \quad (2.31)$$

Siendo P la carga axial, V la carga cortante, M el momento flector, A el área, c el centroide e I la inercia de la sección transversal. Para validar la resistencia estructural de los elementos se hace uso de programas de análisis estructural.

2.3.2.7 Simulación

Realizado los diseños de forma en archivo CAD mediante el programa de INVENTOR, estos se los importa como archivo.STEP al módulo Static Structure del programa de ANSYS Workbench utilizado para análisis

estático de sólidos. Se hizo uso de ANSYS para el elemento eslabón, los demás componentes fueron simulados en INVENTOR mediante la herramienta análisis estático. Estos programas descritos sirvieron para analizar elementos por elementos finitos, pero para determinar el comportamiento de la estructura columna – cable considerando que los cables son elementos con resistencia a la compresión nulos, se hizo uso del programa de análisis estructural SAP2000.

Las simulaciones del eslabón sirvieron para comprobar que el análisis manual se haya ejecutado correctamente, y además para obtener datos más precios. Ejemplo de uso de los programas de simulación se puede visualizar en la Figura 2.55 y Figura 2.56.

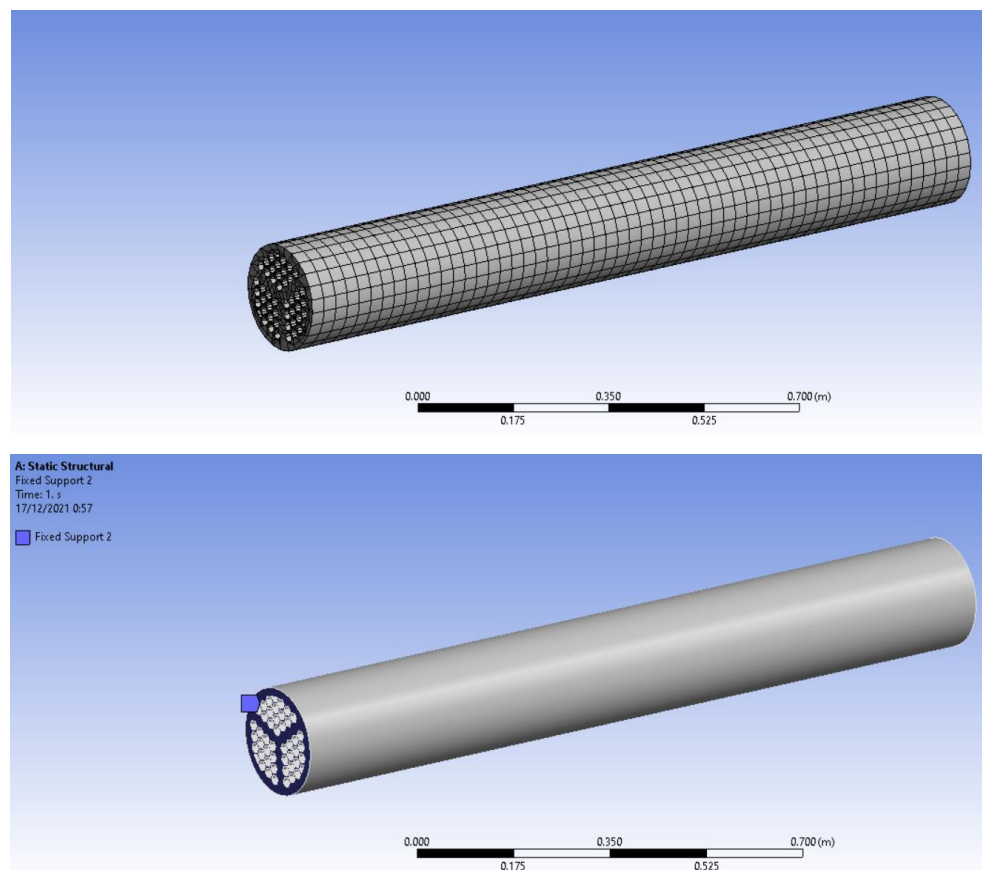
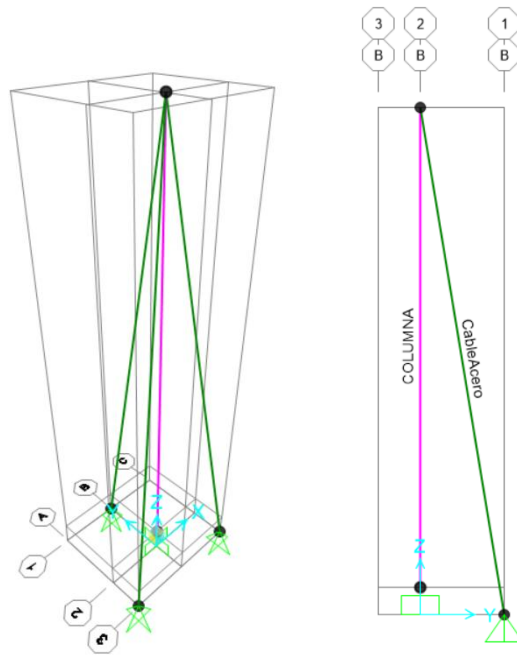


Figura 2.55 Definición de condiciones de simulación del eslabón de columna (Elaboración propia, 2021)



**Figura 2.56 Representación de la estructura cables- columna
(Elaboración propia, 2021)**

2.3.2.7.1 Simulación del habitáculo de la estación

Las cargas actuantes en el habitáculo corresponden a la carga muerta por el peso de la Tapa más sensores distribuida sobre el área del tablero, la carga viva por el peso del dron más sensores y la carga lateral del viento; como condiciones de apoyo se estableció la parte inferior del habitáculo como fija. Ver Figura 2.57 que muestra: el peso (1) de la compuerta más sensores en forma de presión está encima del alero de habitáculo, la fuerza (2) ejercida por el viento, el peso (3) del dron más sensores. Se define como apoyo fijo el fondo del habitáculo (4).

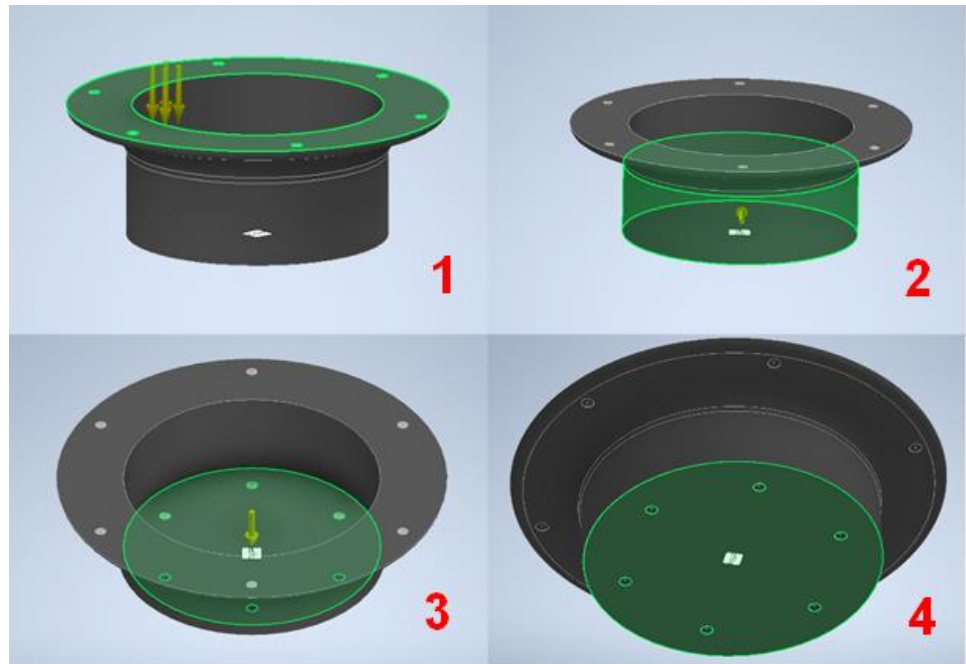


Figura 2.57 Definición de la cargas y restricción en el habitáculo
(Elaboración propia, 2021)

2.3.2.7.2 Simulación de la base superior

Para determinar los esfuerzos en la base superior se consideran las cargas que se utilizaron en el habitáculo y la carga por el peso propio del elemento en análisis. Como carga variable se consideró la fuerza del viento que ejerce sobre la base superior. Como condiciones para la simulación se estableció la parte inferior de la base superior como fija, y la suma de las cargas actuantes verticales se las colocó en la parte superior y finalmente la fuerza ejercida por el viento se tomará la máxima siendo está con una dirección perpendicular al área lateral de la base superior.

2.3.2.7.3 Simulación de la abrazadera

La abrazadera que sujeta los cables a la columna está compuesta de 3 piezas idénticas a 120°, donde cada pieza posee un ala de anclaje donde se une el cable y dos aletas donde pasan los pernos de sujeción. Después de obtener la tensión final de cada cable por medio del análisis estructural en SAP2000, se sometió a un análisis

por elementos finitos el ala de anclaje para determinar si la deformación del agujero no es excesiva; también una sección de la brida sometida a las tensiones de los 3 cables. A continuación, se muestran los esquemas de las cargas actuantes en los elementos (ver Figura 2.58: (1) La Tensión del cable descompuesta en tensión vertical y horizontal, (2) la restricción fija corresponde a la cara soldada), mientras que los resultados finales constan en el Capítulo 3.

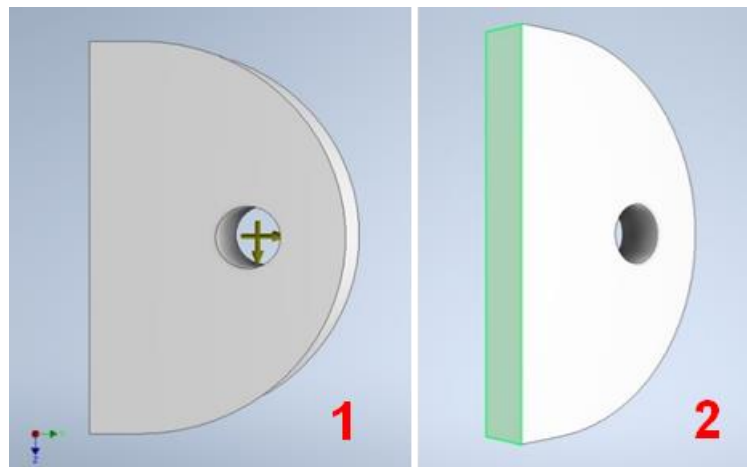


Figura 2.58 Definición de las cargas y restricciones en el ala de anclaje de la abrazadera (Elaboración propia, 2021)

Para la simulación de una pieza de la abrazadera, se consideró como cargas actuantes las tensiones de los cables tanto a Barlovento como a Sotavento, dichas tensiones se anulan en la componente horizontal de la estructura y por lo tanto se puede realizar un análisis estático para la abrazadera (ver Figura 2.59 y Figura 2.60: para simular en Inventor, se puso como restricción las platinas donde se atornilla los pernos y la muesca posterior, y se trasladó las tensiones de los cables a sotavento como sistemas equivalente Par – Fuerza en el agujero del ala de anclaje); en cuanto a la componente vertical existe la tensión vertical del cable que se ve contrarrestada con la reacción de la muesca que posee la sección de abrazadera en la parte posterior (ver Figura 2.61 y Figura 2.62: (1) y (2) se definieron como restricción ante desplazamiento normales a las caras de las platinas, (3) se definió como restricción

en la cara circular sombreada de verde que representa la profundidad de la muesca).

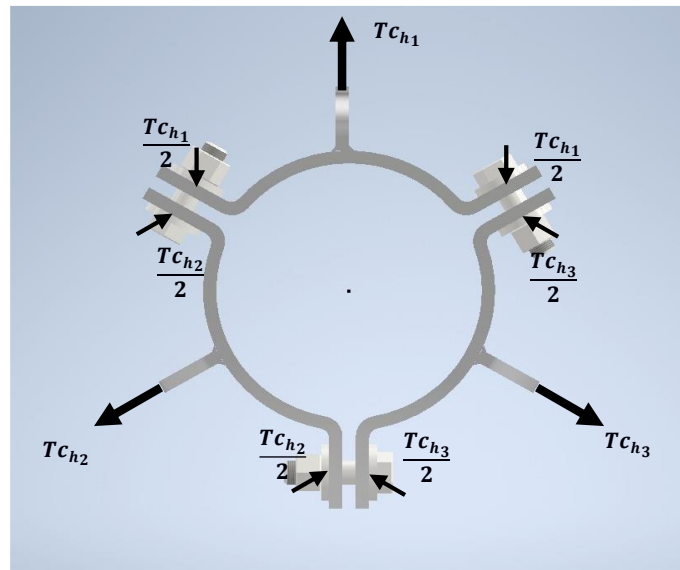


Figura 2.59 Descomposición de cargas actuantes en la brida (Elaboración propia, 2021)

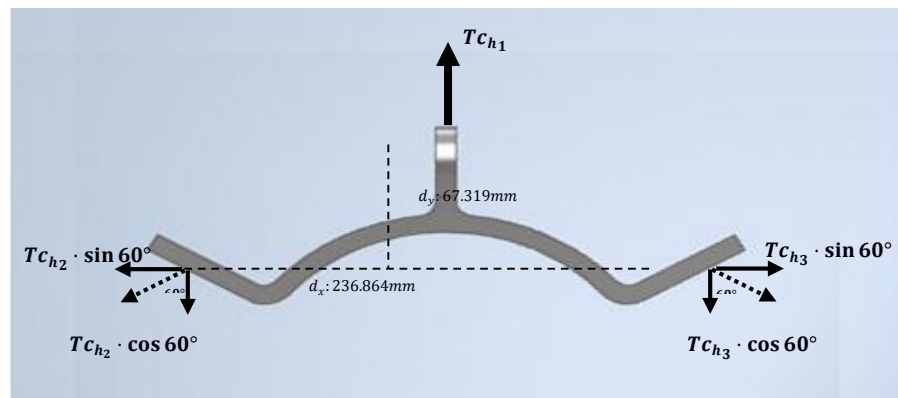


Figura 2.60 Aislamiento de una pieza de la brida con sus cargas actuantes (Elaboración propia, 2021)

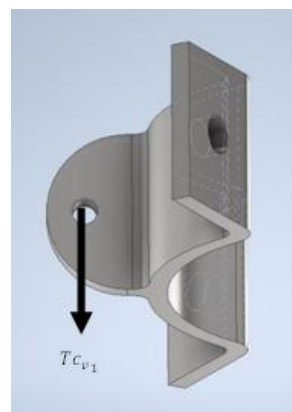


Figura 2.61 Cargas actuantes y reacciones verticales (Elaboración propia, 2021)

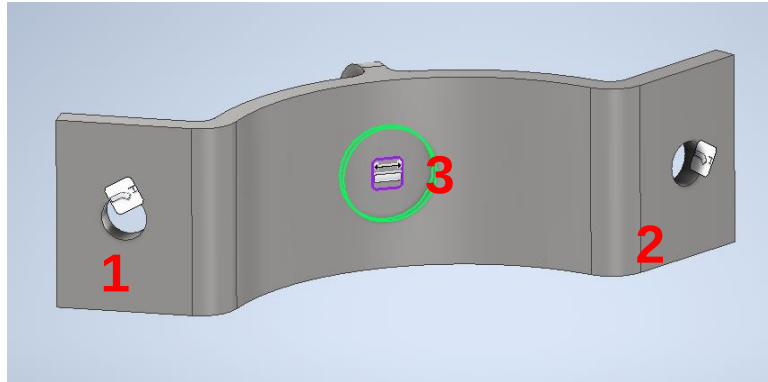


Figura 2.62 Restricciones de la sección de la abrazadera (Elaboración propia, 2021)

Del análisis de cargas de las figuras anteriores, se determinó las cargas que generan tensión y cortante al perno como se observa en la Figura 2.63.

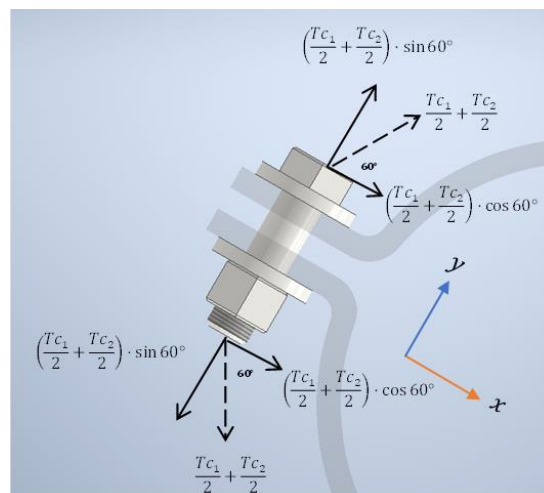
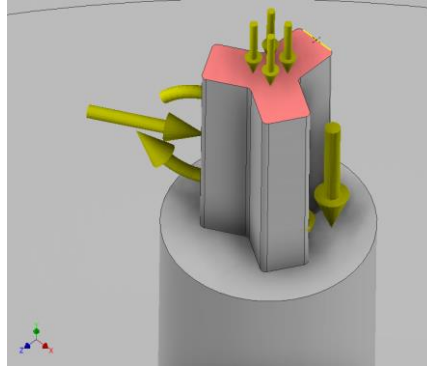


Figura 2.63 Cargas actuantes en el perno (Elaboración propia, 2021)

2.3.2.7.4 Simulación en la unión columna -base inferior

La unión entre la columna y base inferior representa la parte más crítica de ensamblaje y por lo tanto debe ser analizada, para ello se consideró como cargas actuantes las reacciones que arrojó el análisis estructural del programa SAP2000. La carga vertical correspondiente al peso de los componentes se distribuirá en una presión aplicada al área transversal de la unión y base, mientras que la carga lateral y momento de volteo solo se aplicará a una cara vertical de la unión considerando que el caso más crítico sea cuando el viento de en esa dirección. Ver Figura 2.64 y Figura 2.65.



**Figura 2.64 Cargas actuantes en la unión columna - base inferior
(Elaboración propia, 2021)**

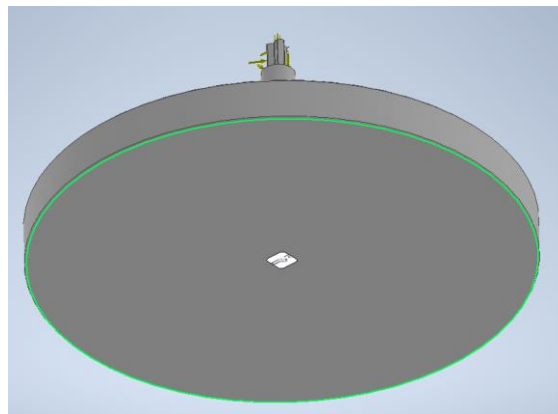


Figura 2.65 Restricción de la base inferior (Elaboración propia, 2021)

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se presentan las siguientes simulaciones y resultados de la bomba de desplazamiento positivo, componentes estructurales del VANT considerados críticos que se encuentran sometidas a cargas, se presentan los componentes electrónicos seleccionados para el VANT y por último el diagrama de circuitos de los componentes. También se muestran las simulaciones de los componentes estructurales y no estructurales de la estación portable junto a la selección de sus componentes mecánicos, sistema de carga compuesto por batería y cargador, y adicionalmente la selección de los sensores ambientales y calefactores.

3.1 Resultados de diseño del VANT

A continuación, se muestran los componentes y sus especificaciones técnicas.

3.1.1 Sistema inyector del VANT

Está compuesto de la bomba de inyección y el brazo inyector encargados de expulsar el material de mezcla de cemento hacia el área de trabajo.

3.1.1.1 Bomba de Inyección

La bomba se encuentra conformada por: reservorio, husillo, camisa, rodamientos, abrazaderas, sello de empaquetadura de cordón que evita que se salga el fluido, boquilla que permite el acople a la manguera, motor, acople entre el husillo y el motor, batería y driver o controlador del motor.

3.1.1.1.1 Reservorio

Contiene el material para reparación de las estructuras de hormigón de la bomba. Se recomienda que la pigmentación sea de color negro para disminuir los daños por el trabajo prolongado en la interperie. Una imagen referencial y resultados del elemento se visualiza en la Figura 3.1 y Tabla 3.1 respectivamente.

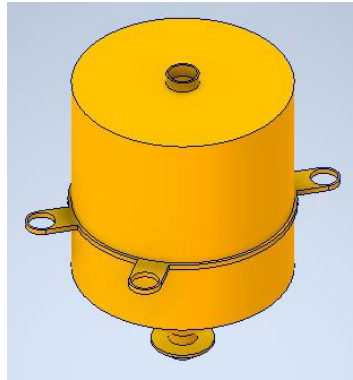
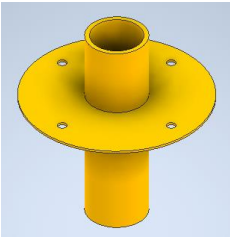


Figura 3.1 CAD Recipiente del material (Elaboración propia, 2021)

Tabla 3.1 Datos técnicos del recipiente (Elaboración propia, 2021)

Parámetros	Resultado
Masa	442 [g]
Capacidad nominal	7 [L]
Masa del reservorio y material	11.514 [kg]
Material para manufactura	ABS
Temperatura de operación recomendada	24 °C
Espesor de pared	2 [mm]
Norma	ISO 11469
Cantidad	1
 Acople para ingreso de material en el reservorio	Descripción Es el direcciona el material dentro del reservorio. Su material se manufactura es de ABS y su masa es de 18[g] se considera dentro del reservorio como una sola cosa.

3.1.1.1.2 Husillo o tornillo

Es el que transporta el material hasta la salida de la camisa y le transmite la energía al fluido través de la presión que genera. Posee 3 secciones: L_{sa} es donde se produce el transporte, L_{st} es la transición, L_{sb} es la compresión. Los cálculos geométricos del husillo

se muestran en Apéndice A. Una imagen referencial y resultados del elemento se visualiza en la Figura 3.2 y Tabla 3.2 respectivamente.

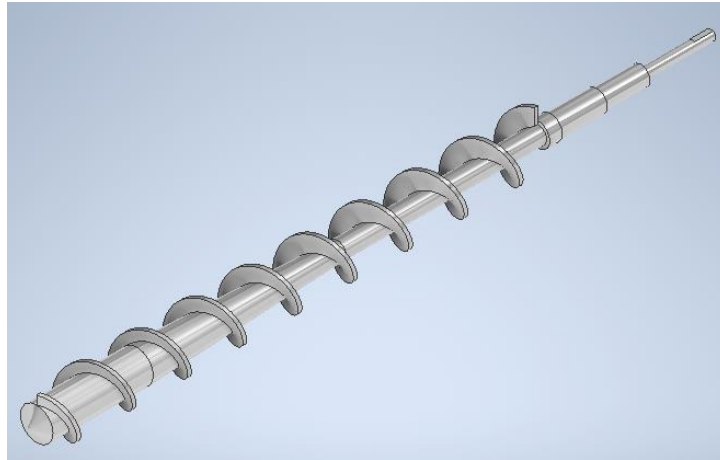


Figura 3.2 CAD del husillo (Elaboración propia, 2021)

Tabla 3.2 Especificaciones técnicas y geométricas del husillo
(Elaboración propia, 2021)

Parámetros	Abreviatura	Valor
Masa	----	1.35 [kg]
Cantidad	----	1
Material para manufactura	----	AISI 4140
Profundidad del canal	H	0.013 [m]
Número de filete	#	9
Espesor del filete	w	0.003 [m]
Ancho del canal	W	0.04411 [m]
Diámetro	D	0.04 [m]
Longitud Total	L	0.4 [m]
Longitud entrada	L_{sa}	0.16 [m]
Longitud media	L_{st}	0.16 [m]
Longitud Salida	L_{sb}	0.08 [m]
Diámetro menor (entrada)	$d=D_m$	0.014 [m]
Diámetro Salida (compresión)	d_c	0.02614 [m]

3.1.1.1.3 Camisa-estator o carcaza

Contiene al husillo. La holgura existente entre el husillo y la camisa es de 1 [mm] también se recomienda que la pigmentación sea de color negro para disminuir los daños por el trabajo prolongado en la interperie. Posee una tapa del mismo material. Una imagen referencial y resultados del elemento se visualiza en la Figura 3.3 y Tabla 3.3 respectivamente.

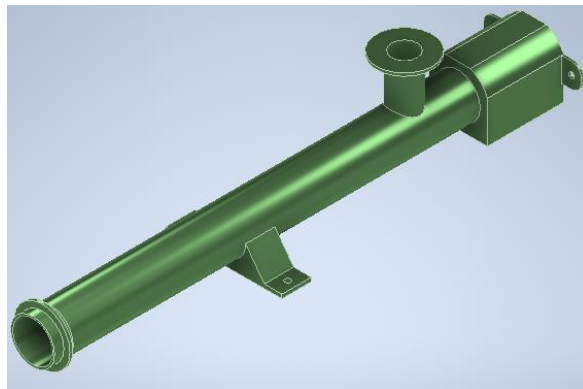


Figura 3.3 CAD de la Camisa (Elaboración propia, 2021)

Tabla 3.3 Especificaciones técnicas de la camisa de la bomba (Elaboración propia, 2021)

Parámetros	Resultado
Masa	396[g]
Material para manufactura	ABS
Presión de diseño	5240 [kPa]
Presión de operación máxima	515 [kPa]
Temperatura de operación recomendada	24 °C
Espesor promedio	2 [mm]
Cantidad	1
Holgura: camisa-husillo	1[mm]
Norma	ISO11469

A continuación, en la Tabla 3.4, se muestran los resultados obtenidos en la simulación para la camisa de la bomba cuando

actúan las fuerzas mostradas en la Tabla 3.4 y Figura 3.4. Se realizó: esfuerzos Von Mises, deformación y factor de seguridad.

Tabla 3.4 Cargas presentes en la camisa (Elaboración propia, 2021)

FUERZAS	ABREVIATURA	VALOR
Fuerza del peso del husillo	F	13 [N]
Reacción horizontal	$R_x = F_i$	5 [N]
Reacción vertical	R_y	13 [N]
Momento	M	2.6 [Nm]
Peso del Reservorio y material	w	119.364 [N]
Presión generada por reservorio y material	P	168866 [Pa]

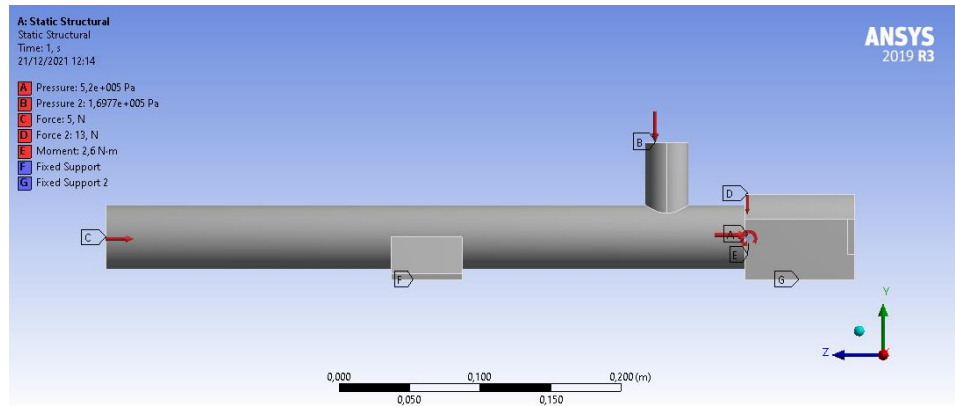


Figura 3.4 Cargas ingresada en ANSYS previo a simulación estructural (Elaboración propia, 2021)

En la Figura 3.5 y Figura 3.6 y se observa que cuando se somete la camisa a las cargas de la Tabla 3.4, los concentradores de esfuerzos se producen en las esquinas y se muestran de un color naranja, lo cual, en la escala de colores posee un factor de seguridad de 1.94. y de ocurrir el peor de los casos, la camisa no fallaría.

Sin embargo “el peor de los casos” no ocurre en realidad, ya que, el reservorio también se apoya de los tubos de la estructura aumentando el factor de seguridad en las esquinas.

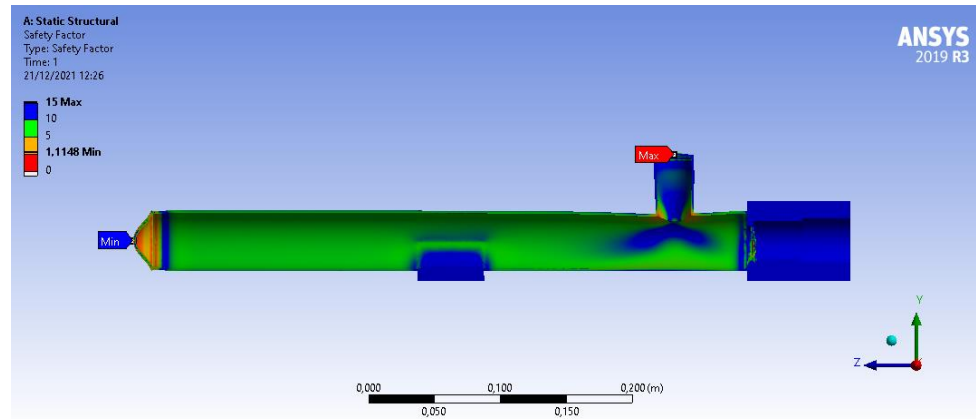


Figura 3.5 Factor de seguridad de la camisa (Elaboración propia, 2021)

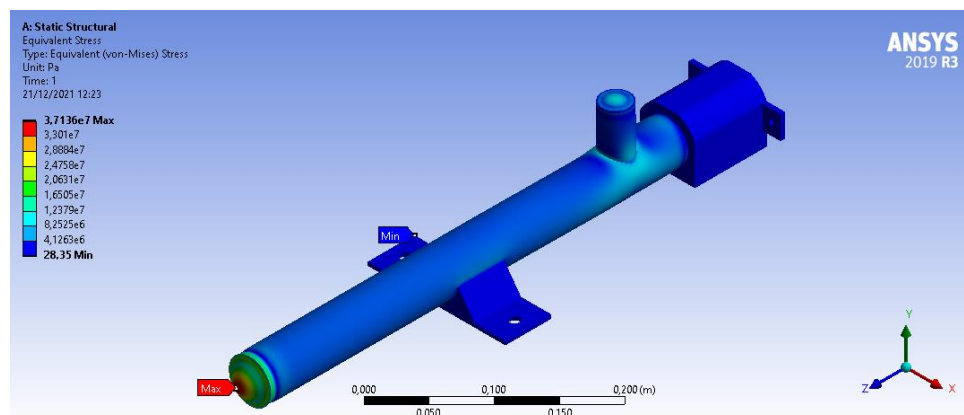


Figura 3.6 Esfuerzo de Von Mises (Elaboración propia, 2021)

En la Figura 3.7 se muestra la deformación total de la camisa. Para la simulación de presión interna de operación 515 [kPa], se colocó tapas para obtener resultados más parecidos a la realidad. La mayor deformación es de 1.18 milímetros en las tapas agregadas lo que muestra que la camisa sufre deformación mucho menor de 0.262 [mm].

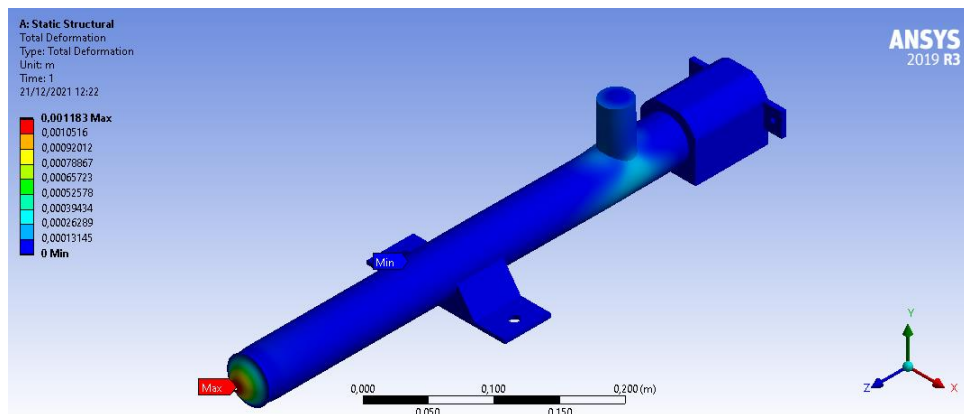


Figura 3.7 Deformación total (Elaboración propia, 2021)

A continuación, se muestran las especificaciones técnicas de: los rodamientos, acoples, boquillas en las siguientes tablas.

3.1.1.1.4 Rodamientos

Son los que soportan al husillo y lo acoplan a la camisa. Los cálculos realizados para la selección del rodamiento se encuentran en el Apéndice C. En base a los resultados se concluye que los rodamientos seleccionados son apropiados. Se utilizan dos rodamientos sellados de una hilera de bolas, específicos para soportar carga radial en el extremo del husillo, ver Figura 3.8.

Del catálogo SKF se toman las características descritas a continuación en la Tabla 3.5.

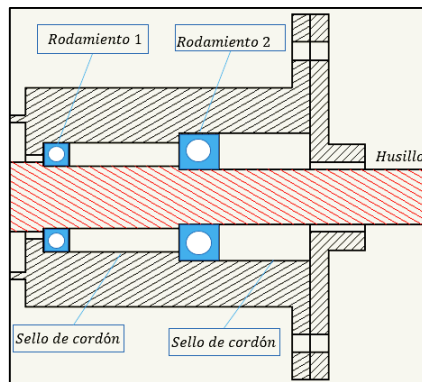
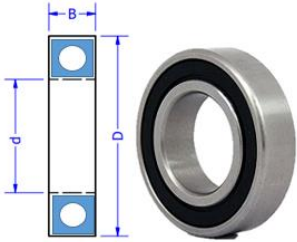


Figura 3.8 Ubicación de rodamiento SKF en la camisa (Elaboración propia, 2021)

Tabla 3.5 Especificaciones técnicas de los rodamientos (Elaboración propia, 2021)

Rodamientos SKF	Rodamiento1 61903	Rodamiento2 6202
	$B = 7 \text{ [mm]}$	$B = 11 \text{ [mm]}$
	$D = 30 \text{ [mm]}$	$D = 35 \text{ [mm]}$
	$d = 17 \text{ [mm]}$	$d = 15 \text{ [mm]}$

3.1.1.1.5 Sello y acople

El sello de cordón evita la fuga de la lechada de cemento desde la camisa o a través del rodamiento. El acople es para unir el árbol del husillo al motor Stepper Nema 23. Se muestra la descripción en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6 Descripción del sello y acople (ServilIndustrial, 2021) y (Mercado Libre.ec, 2021)

	Sello de empaquetadura	Acople Husillo-motor
Parámetro		
Material	Fibra acrílica texturizada, impregnada con 30% de grafito coloidal y aceite sintético.	Aluminio
Descripción	PTK 28 HILO CON GRAFITO	Acople flexible 8x8mm para Nema 23

3.1.1.1.6 Abrazadera y boquilla

La abrazadera V evita la separación entre la boquilla y la camisa debido a la alta velocidad de salida del material. La boquilla permite el acople de la manguera a la bomba. En la Tabla 3.7 se muestran las especificaciones técnicas.

Tabla 3.7 Descripción de la abrazadera y boquilla (Amazon, 2021)

	Abrazadera de banda de V	Boquilla
Parámetro		
Material	Acero inoxidable	Aluminio
Diámetro	2.25 [in]	Diámetro mayor: 48 [mm] Diámetro menor: 1/2 [in]

Fabricante	ETL Performance	---
Marca	ETL	---
Masa	227 [g]	23 [g]
Cantidad	2	1

3.1.1.1.7 Motor NEMA23

El motor seleccionado es el Stepper Nema 23 (mostrado en la Figura 3.9), se acopla al husillo, sus especificaciones técnicas se muestran en la Tabla 3.8.

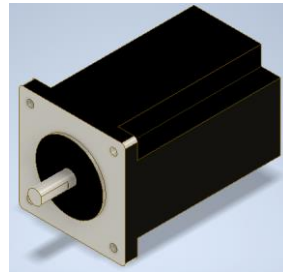


Figura 3.9 CAD del Motor NEMA 23 (Elaboración propia, 2021)

Tabla 3.8 Características del motor Nema 23 (Leadshine Technology Co. Ltda., 2018)

Parámetro	Valor	Gráfica de Rendimiento
Modelo	D57CM31	
Longitud de cuerpo	88 [mm]	
Torque	3.1 [Nm]	
Corriente	5 [A]	
Resistencia	0.26 [Ω]	
Inductancia	1.18 [mH]	
Torque de detención	0.1 [Nm]	
Inercia	0.84 [kg/cm ²]	
Driver	EM556S	
Masa	1.4 [kg]	

3.1.1.1.8 Driver controlador de NEMA23

Es el aquel que le entrega las señales de control al motor stepper Nema 23, ver Figura 3.10. Sus especificaciones técnicas se muestran en la Tabla 3.9. Posee una masa de 250 [g].



Figura 3.10 Drive controlador EM556S (Leadshine Technology Co. Ltda., 2018)

La orden de control proviene de un Arduino que dada la señal del controlador de vuelo permite que se encienda y apague la bomba.

Tabla 3.9 Características del drive controlador (Leadshine Technology Co. Ltda., 2018)

Parameters	Min	Typical	Max	Unit
Output Current	1.8	-	5.6 (4.0 RMS)	A
Supply Voltage	20	24 - 48	50	VDC
Logic signal current	7	10	16	Ma
Pulse input frequency	0	-	200	kHz
Minimal pulse width	2.5	-	-	μS
Minimal direction setup	5.0	-	-	μS
Isolation resistance	500	-	-	MΩ

3.1.1.1.9 Batería de motor NEMA23

El motor stepper debe trabajar a 24 [V] para obtener el torque deseado operando a 5 [A]; se quiere una autonomía de 20 [min].

$$Carga\ de\ bateria = [Amperio] \times [hora] \quad (3.1)$$

$$Carga\ de\ bateria = [5] \times \left[\frac{1}{3} \right] = 1.67 [Ah]$$

Se seleccionó una batería de ion litio de 24 voltios 4 [Ah], ver características en la Tabla 3.10.

Tabla 3.10 Características de las baterías del motor (AliExpress, 2021)

Parámetro	Valor	Gráfico
Voltaje nominal	24 [V]	
Voltaje de entrada	25.2 [V]	
Voltaje de salida	16.5-25.2 [V]	
Voltaje de carga	25.2 [V]	
Corriente de carga	<4 [A]	
Capacidad de la batería	4 [Ah]	
Masa	0.6 [kg]	
Cantidad	1	
Corriente Nominal de descarga	<10 [A]	
Corriente instantánea máxima	40 [A]	
Corriente máxima de funcionamiento	15 [A]	

Continuando con la descripción de la bomba inyectora, para validar los resultados obtenidos se realizó una simulación ANSYS CFD de la bomba³ lo cual nos permite evaluar los resultados teóricos obtenidos: la velocidad de salida, caudal de salida, y flujo másico. En los resultados teóricos se obtuvo lo siguiente, los cuales se compraran con los resultados de ANSYS expuestos en la Tabla 3.11.

³ La geometría y sus características fueron simplificadas debido al recurso computacional, ya que, para obtener resultados confiables era necesario realizar un buen mallado.

- La velocidad de salida de inyección del material se obtiene con el caudal promedio y el área de salida, boquilla de 5 [mm], lo cual da un valor de 12.73 [m/s].
- El flujo másico aproximadamente esperado 0.393 [kg/s].
- El caudal teórico calculado es de $2.4 \times 10^{-4} \left[\frac{m^3}{s} \right]$

Los parámetros ingresados en ANSYS se muestran en la tabla 3.11

**Tabla 3.11 Datos ingresado y obtenidos por ANSYS CFD
(Elaboración propia, 2021)**

No. simulación	Rpm	Velocidad entrada de fluido	Presión interna camisa
6	400	0.35 [m/s]	500 [kPa]
Diámetro boquilla Salida		Velocidad boquilla Salida	Fuerza Reacción
5 [mm]		12.8 [m/s]	5 [N]

En la Figura 3.11 se observa en escala de colores la presión interna que se produce cuando el husillo gira 400 [rpm] y el material ingresa a 0.35 [m/s]. El color rojo es la presión máxima manométrica de 5.15 [Mpa] generada por la compresión y la presión mínima de 0 [Mpa] color azul. Esto claramente tiene sentido físico, ya que, la descarga se produce al ambiente lo que muestra un resultado esperado y lógico.

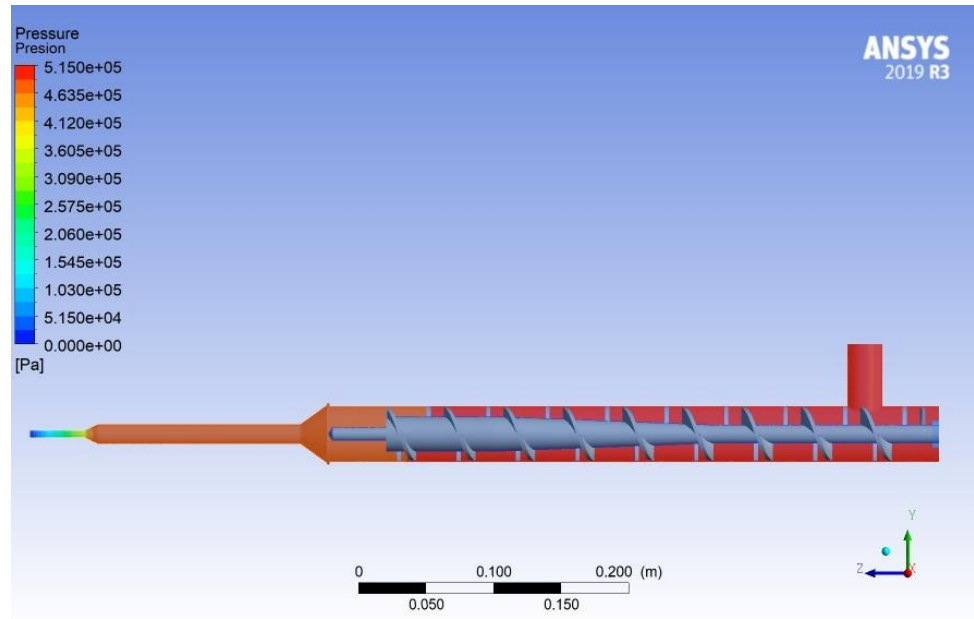


Figura 3.11 Escala de colores del gradiente de presión interna de operación (Elaboración propia, 2021)

El flujo másico de salida obtenido por Ansys fue de 0.29 [kg/s] y el teórico de 0.39 [kg/s] que corresponde a un error de 25.6 [%] aunque debido a las pérdidas por la fricción en las paredes de la camisa y las del husillo este error sigue siendo demasiado alto. Por lo que se recomienda realizar pruebas experimentales en el laboratorio.

La longitud total simulada fue de 0.67 [m]. En la Figura 3.12 se muestra que la velocidad real de salida de la boquilla es de 12.82 [m/s] y la teórica fue de 12.73 [m/s]. Obteniendo un error de 7.8 [%] lo que indica que es aceptable. Sin embargo, también se recomienda afinar los resultados en pruebas de laboratorio.

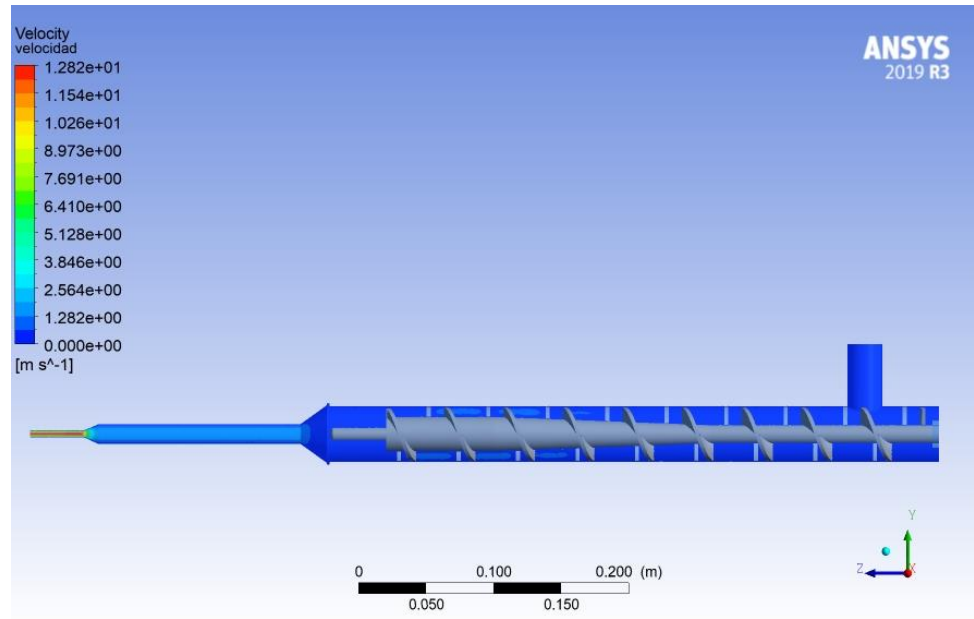


Figura 3.12 Escala de colores de velocidad del fluido dentro de la bomba (Elaboración propia, 2021)

La Figura 3.13 muestra las líneas de flujo de corriente de la lechada de cemento y al tornillo girando a 400 [rpm]. En ella se puede validar que el fluido avanza a la salida y no retrocede gracias a la holgura de 1 [mm] entre la camisa y el husillo, también que no se estanca en la entrada.

En la Figura 3.14 se muestra el diseño final de la bomba modelado virtualmente realizado en Autodesk Inventor en vista de corte, señalando las partes conformantes anteriormente especificadas: externas e internas.

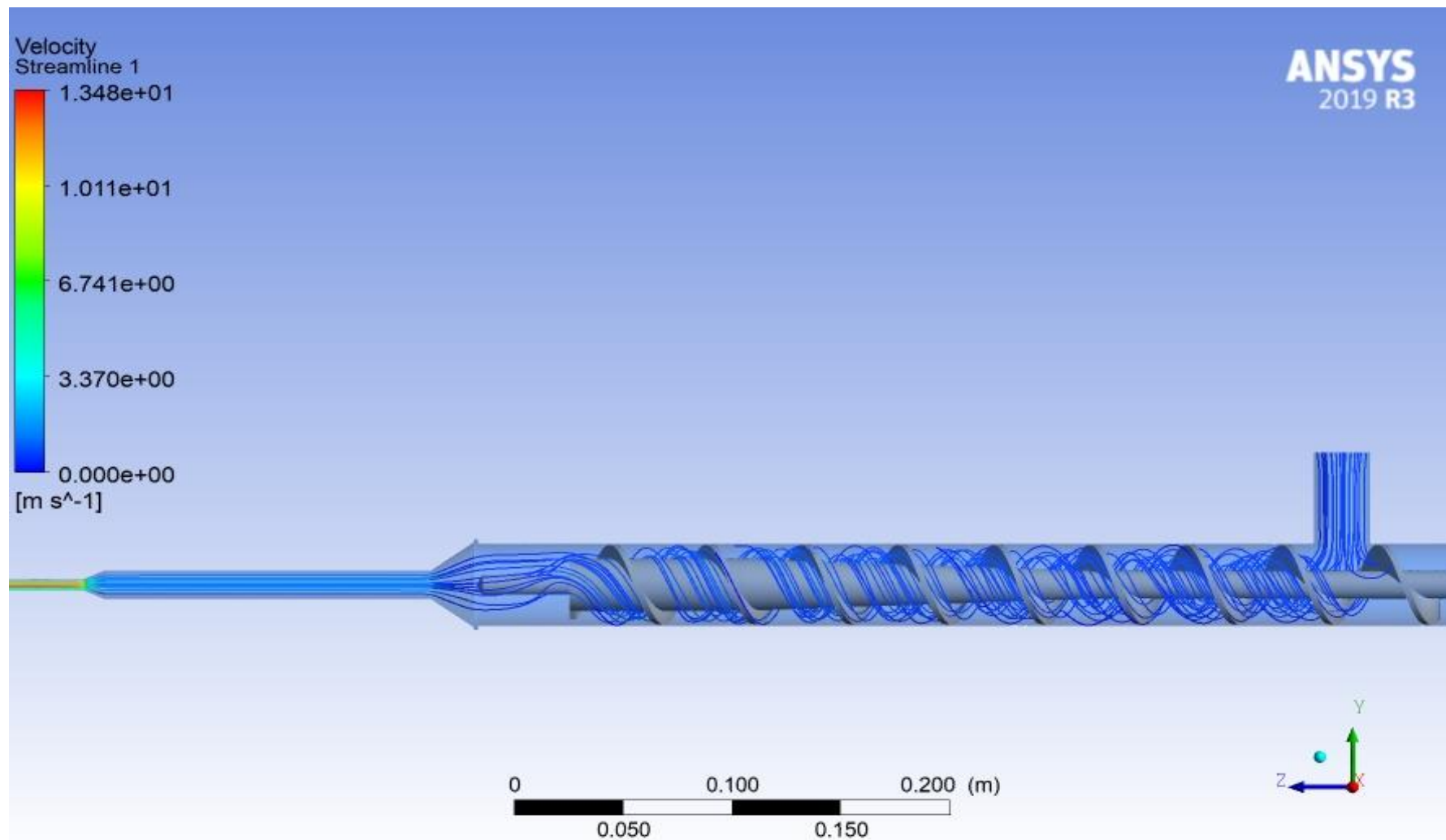


Figura 3.13 Líneas de flujo de corriente “stream line” de la lechada de cemento dentro de la bomba (Elaboración propia, 2021)

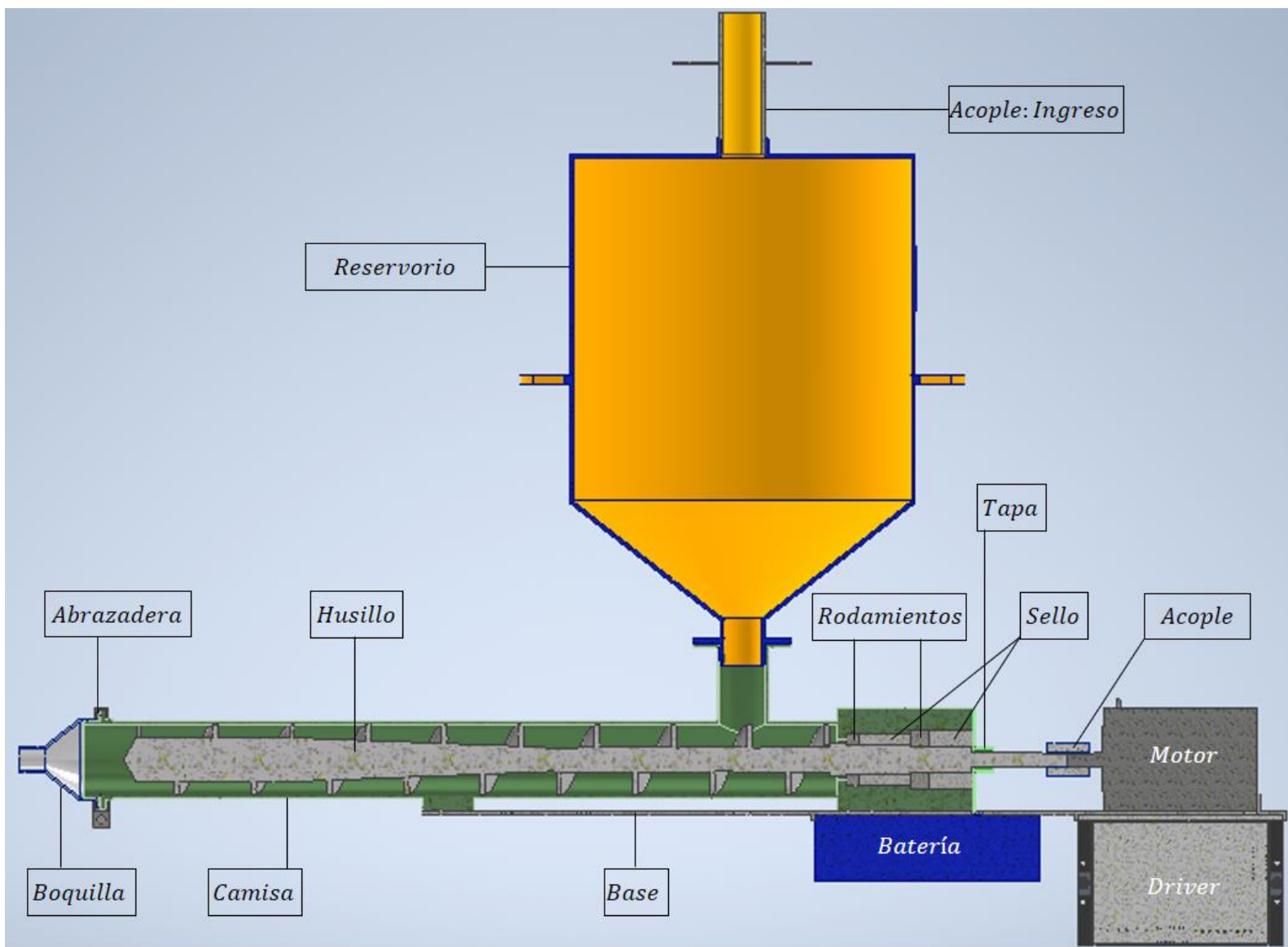


Figura 3.14 Componentes de la bomba de desplazamiento positivo diseñada (Elaboración propia, 2021)

3.1.1.2 Brazo inyector

En la Tabla 3.12 se muestran los componentes junto a sus especificaciones técnicas y una descripción en las Tabla 3.13 y Tabla 3.14. Los acoples y el servomotor se posan sobre un tubo de fibra de carbono que forma parte de la estructura, ver Figura 3.15.

Tabla 3.12 Componentes del brazo inyector (Elaboración propia, 2021)

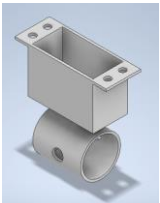
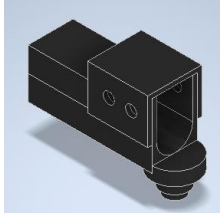
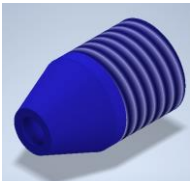
Componente	Descripción	Gráfico
Manguera	100R14 TEFLON LISO es un tubo recubierto de una malla trenzada de acero inoxidable. Se acopla a la camisa por medio de una boquilla y contiene a la boquilla inyectora. Posee una masa de 107[g]	
Servo Motor	El servo Motor seleccionado es el MG996R, se encarga de direccionar la posición de manguera con mayor precisión hacia las fisuras presentes en las estructuras de hormigón.	
Acople: servo-tubo	Su función es sostener el Servo Motor y poderlo acoplar al tubo. El material para realizar la manufactura es ABS. Norma ISO11469, su masa es de 12[g].	
Acople: manguera-servo	Su función es envolver y ajustar la manguera al servo Motor y transmitir el movimiento. El material para realizar la manufactura es ABS. Se compone de dos secciones. Se aseguran por medio de pernos. Norma ISO11469, su masa es de 18[g]	
Boquilla inyectora	Su función es dosificar la salida de la lechada de cemento es acoplada a la manguera. El material para la manufactura es de Aluminio. Su masa es de 4[g]	

Tabla 3.13 Especificaciones técnicas del Servo motor MG996R tomada del datasheet (Elaboración propia, 2021)

Parámetro	Valor
Masa	55 [g]
Dimension	40.7x19.7x42.9 [mm]
Stall torque	9.4 [kg•cm] a 4.8 [V], 11 [kg•cm] a 6[V]
Velocidad de operación	0.17s/60° a 4.8 [V], 0.14s/60° a 6 [V]
Voltaje de operación	4.8 [V] a 7.2[V]
Corriente de arranque	500 [mA] - 900 [mA]
Stall current	2.5 [A] - 6 [V]
Ancho de banda	5 μ s
Rango de temperatura	0-55 °C

Tabla 3.14 Características de la manguera (Bacruflex, 2021) y (Masino S.A.C, 2021)

Parámetro	Valor
Diámetro interior	12.7 [mm]
Diámetro exterior	16 [mm]
Espesor	1.7 [mm]
Presión de operación	1750 [psi]
Masa/longitud	0.21 [kg/m]

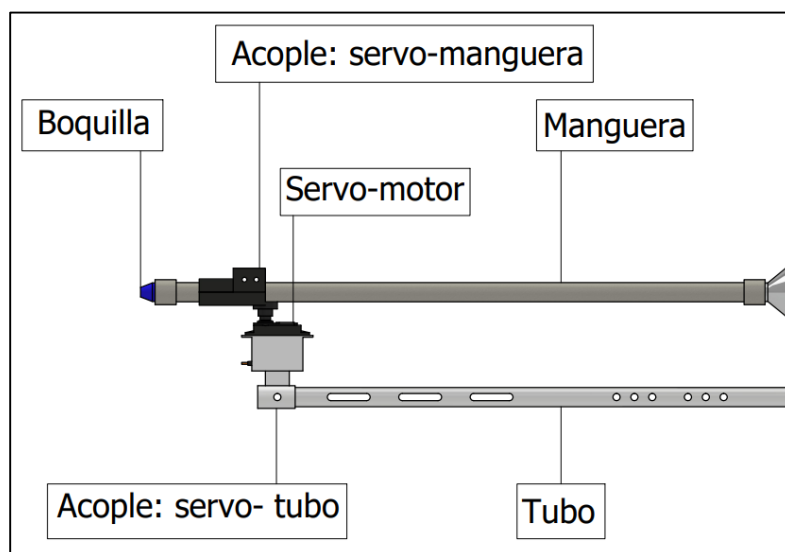


Figura 3.15 Ubicación de los componentes del brazo inyector (Elaboración propia, 2021)

3.1.1.3 Diseño final del sistema de inyección

En la Tabla 3.15 se muestran los componentes del sistema de inyección y su correspondiente masa, la cual fue calculada y obtenidas de las especificaciones técnicas obteniendo un total de 16.738 [kg].

En la Figura 3.16 se muestra el diseño final del sistema de inyección modelado virtualmente en Autodesk Inventor en vista de corte, enumerando las partes conformantes especificadas en la Tabla 3.15.

Tabla 3.15 Componentes del sistema inyector y sus masas (Elaboración propia, 2021)

No	Componente	Masa
1	Camisa	0.396 [kg]
2	husillo	1.340 [kg]
3	Reservorio + acople de ingreso	0.460 [kg]
4	Abrazadera	0.227 [kg]
5	Boquilla: manguera-bomba	0.023 [kg]
Total bomba: 2.446 [kg]		
6	Batería de motor	0.60 [kg]
7	Driver de motor	0.25 [kg]
8	Motor stepper Nema	1.40 [kg]
Total motor: 2.25 [kg]		
9	Manguera	0.107 [kg]
10	Acoples	0.030 [kg]
11	Servo Motor	0.055 [kg]
12	Boquilla inyectora	0.004 [kg]
Total Brazo inyector: 0.196[kg]		
---	Total-Material-lechada	11.846 [kg]
MASA TOTAL		16.738 [kg]
Nota: A parte del reservorio, se consideró también la masa de la lechada de cemento que está dentro de la camisa y de la manguera.		

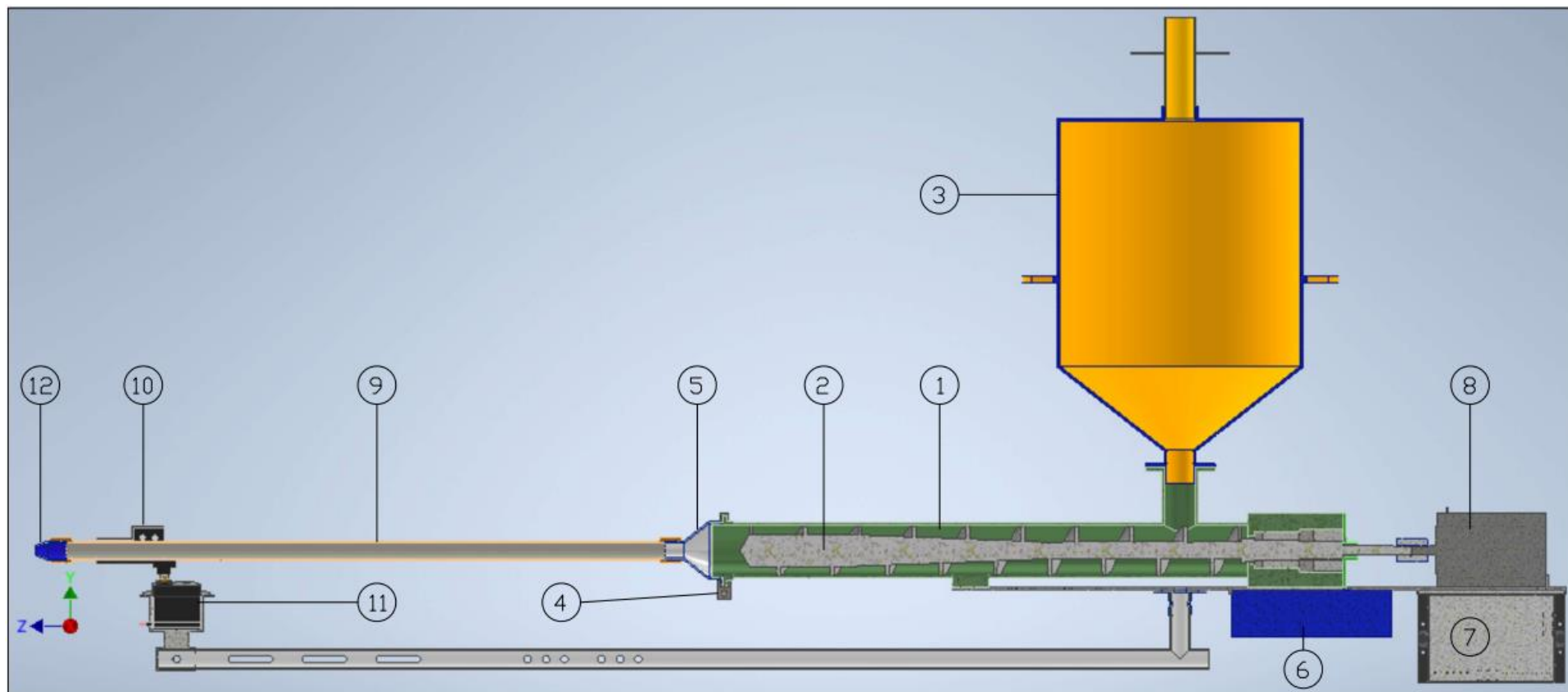


Figura 3.16 Componentes del sistema inyector (Elaboración propia, 2021)

3.1.2 Sistema estructural del VANT

El sistema estructural o frame se encuentra conformado por: placas, tubos de perfil circular, uniones, el tren de aterrizaje, soportes y los pernos que serán utilizados para armar la estructura de fibra de carbono.

3.1.2.1 Resultado del brazo

El tubo del brazo son los que transmiten la fuerza de sustentación de los rotores hacia todo el VANT. Cada brazo soporta $\frac{M}{6}$ donde M es la masa total del VANT de 31.5 [kg] por lo que cada brazo soporta 5.25 [kg]. La fuerza de sustentación máxima de los rotores cuando están girando al 65 [%] es de 5.4 [kg] las cuales son transmitidas hacia el VANT por medio de los tubos de fibra de carbono. La longitud de los brazos depende del diámetro de las hélices, ya que, estos deben evitar que se toquen entre sí. En la Figura 3.17 y Figura 3.18 se muestra el proceso de simulación ANSYS ACP.

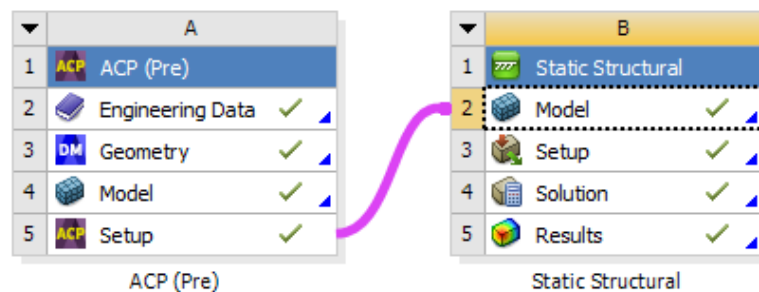


Figura 3.17 bloque de análisis en ANSYS (Elaboración propia, 2021)

Para la simulación se utilizó el compuesto de fibra de carbono Epoxy Carbon Woven 230 [GPa] wet del ANSYS Engineering Data Sources el cual posee una resistencia a la tracción de 513 [Mpa] en dirección X-Y, sus propiedades se muestran en Apéndices F. El elemento más crítico en la estructura son los brazos de la estructura y se encuentran sometidos a flexión.

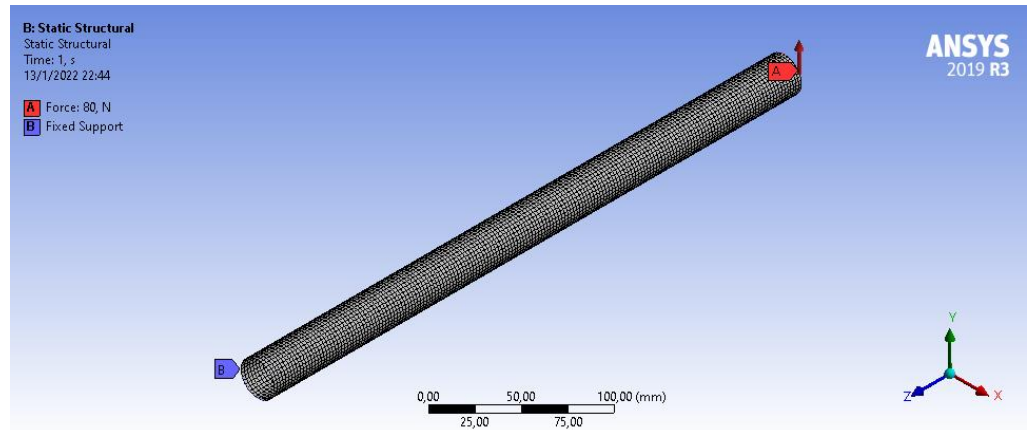


Figura 3.18 Ingreso de las condiciones del brazo y mallado (Elaboración propia, 2021)

La fuerza de sustentación máxima presente en un tubo del brazo es de 53 [N], se le colocó un factor de seguridad de 1.5 para evitar que el tubo se rompa cuando se choca contra algún objeto o si el VANT llegara a caerse. En la Figura 3.18 se muestra los parámetros ingresados con una calidad de la malla de 0.9932, se colocó una fuerza de 80 [N] en el extremo del brazo manteniendo fijo el otro extremo.

En la Figura 3.19 se observa que el máximo esfuerzo se produce en el extremo del tubo que está fijo siendo 35 [MPa], el cual es un valor muy por debajo de la resistencia a la tracción lo que muestra que dicho tubo resiste el valor de 80 [N].

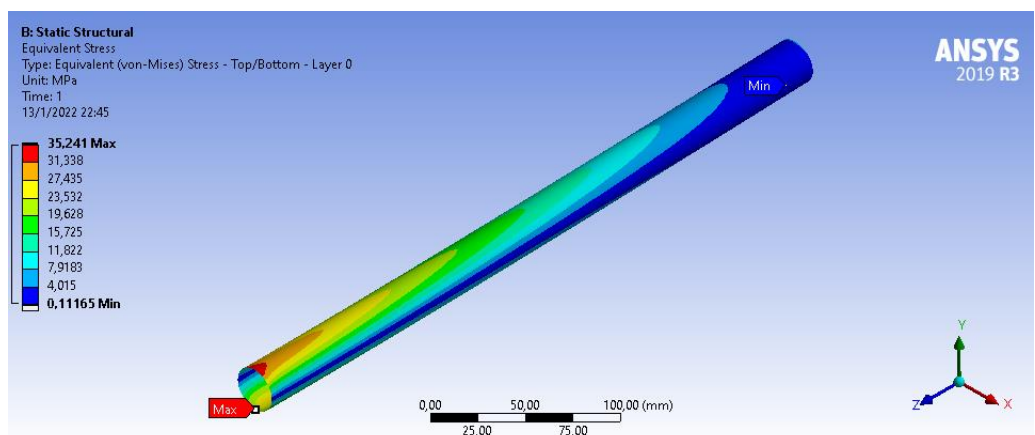


Figura 3.19 Esfuerzos presentes en el brazo en ANSYS (Elaboración propia, 2021)

En la siguiente Figura 3.20 se observa que la máxima deformación es producida en el extremo siendo de 2 [mm] bajo las condiciones de cargas

establecidas (ver tonalidad roja). Las especificaciones técnicas de los tubos se muestran en Tabla 3.16.

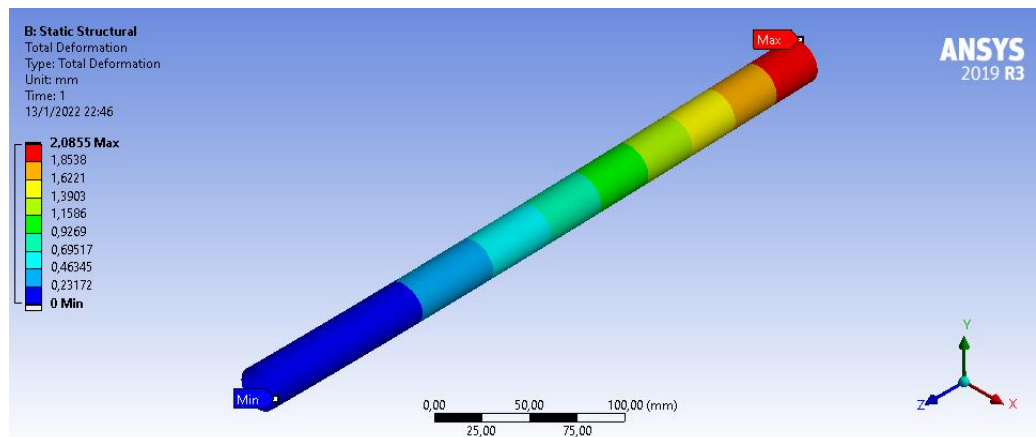


Figura 3.20 Deformación presente en el brazo en ANSYS (Elaboración propia, 2021)

Tabla 3.16 Especificaciones técnica de los tubos (Elaboración propia, 2021)

Espesor	2 [mm]	Esquemetización 
Longitud	390 [mm]	
Material	Fibra de carbono	
Diametro externo	25.4 [mm]	
Cantidad	6	
Empuje de operación	5.4 [kg]	
Empuje total de operación	32.4[kg]	
Pasantes	D 10x2	
	D 4x2	

3.1.2.2 Resultados de uniones

En la Figura 3.21 se muestran las uniones estructurales enumeradas: (7) son aquellas que unen los brazos y las placas hexagonales, (11) son las uniones entre el brazo y el rotor, (8) son las uniones de los tubos laterales y las placas y (9) es la unión del tubo del brazo inyector y la placa rectangular.

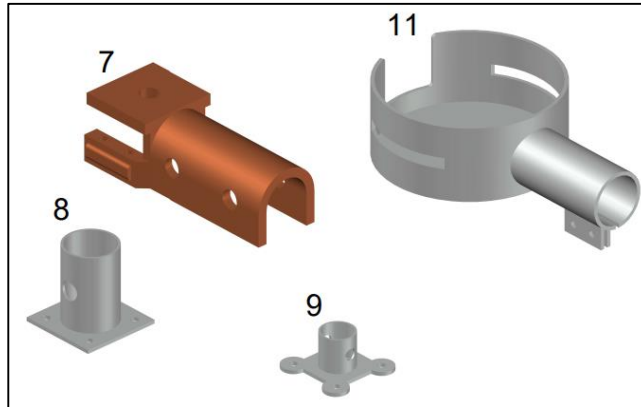


Figura 3.21 Uniones a fabricar de fibra de carbono (Elaboración propia, 2021)

3.1.2.3 Resultados de placas

En la Figura 3.22 se muestran las placas estructurales de fibra de carbono, (1) es la placa hexagonal superior, (2) es placa hexagonal inferior, (3) es la placa rectangular que soporta el peso de la bomba.

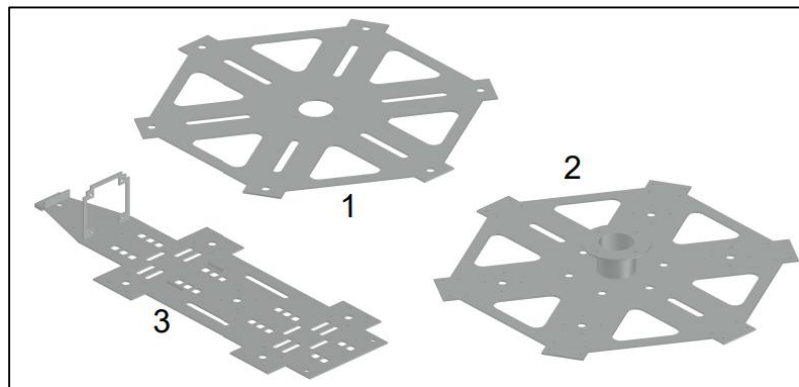


Figura 3.22 Placas a fabricar de fibra de carbono (Elaboración propia, 2021)

3.1.2.4 Resultados de los tubos

En la Figura 3.23 se muestran los tubos estructurales, (5) son los tubos laterales de la estructura de fibra de carbono, (6) tubo de brazo inyector, (10) son los tubos del tren de aterrizaje.

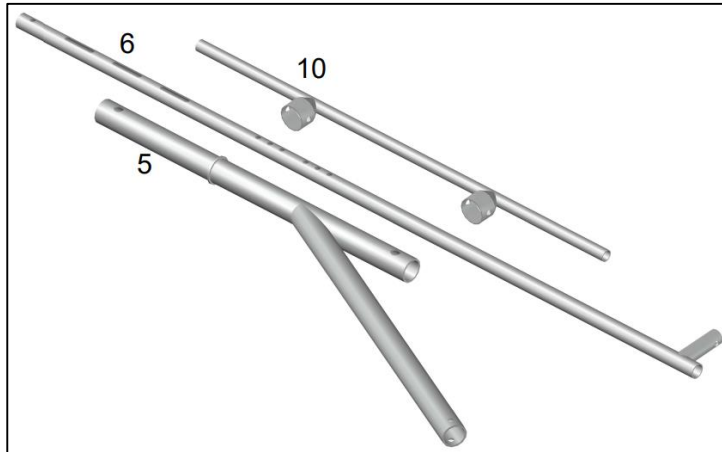


Figura 3.23 Tubos a fabricar de fibra de carbono (Elaboración propia, 2021)

Cabe recalcar que primero se realizó el modelado 3 D de estructura de Aluminio A 2017 obteniendo un peso inicial de 6.400 [kg] para luego cambiarlo a fibra de carbono obteniendo 3.375 [kg] lo que representa una reducción de 47 [%] en peso. A continuación, en la Figura 3.24 se muestra una vista lateral con las medidas generales de la estructura desmontable.

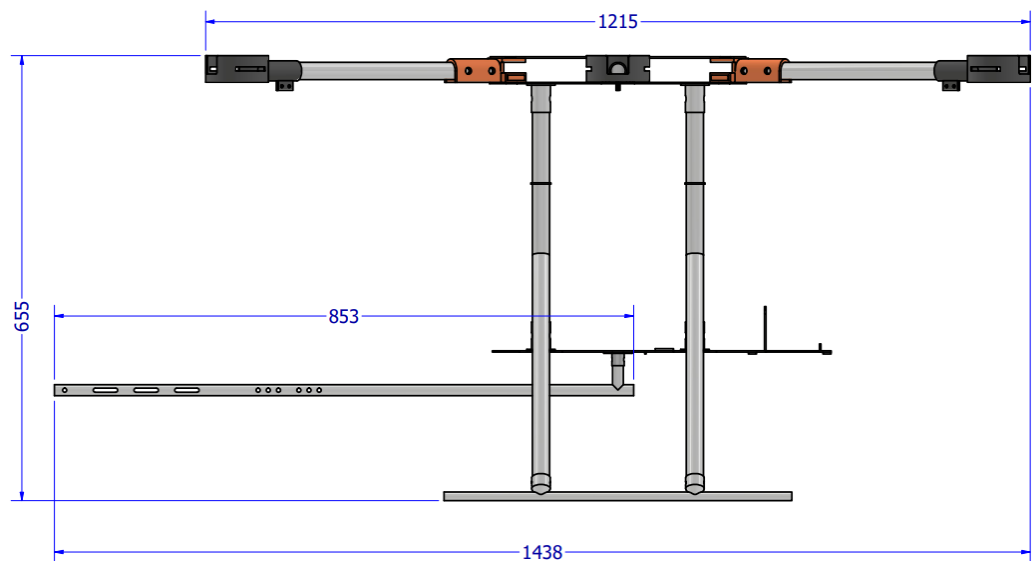


Figura 3.24 Medidas generales de la estructura ensamblada del VANT (Elaboración propia, 2021)

En la Figura 3.25 se muestra la vista isométrica de la estructura, los componentes se encuentran enumerados en la Tabla 3.17 la cual muestra la masa de cada componente.

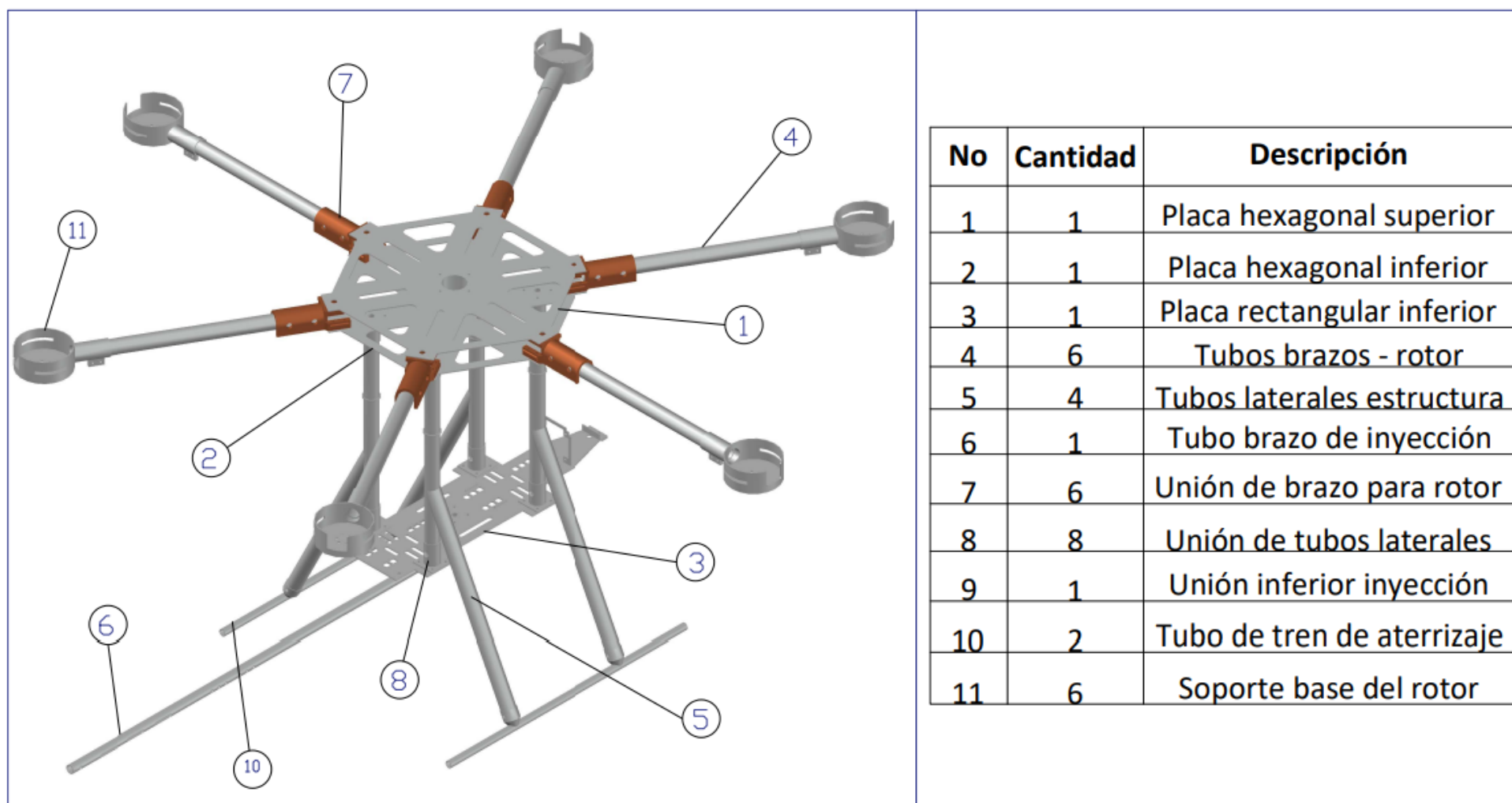


Figura 3.25 Vista isométrica de la estructura y sus componentes (Elaboración propia, 2021)

Tabla 3.17 Componentes de la estructura y su masa (Elaboración propia, 2021)

No	Cantidad	Componente	Masa [kg]
1	1	Placa hexagonal superior	0.273
2	1	Placa hexagonal inferior	0.320
3	1	Placa Rectangular inferior	0.195
4	6	Tubos brazos-rotor	0.600
5	4	Tubos laterales estructura	0.756
6	1	Tubo brazo de inyección	0.086
7	6	Unión de brazo para rotor	0.522
8	8	Unión de tubos laterales	0.104
9	1	Unión inferior inyección	0.005
10	2	Tubo de tren de aterrizaje	0.080
11	6	Soporte base del rotor	0.432
TOTAL ESTRUCTURA			3.375 [kg]
PESO DEL VANT			29.478 [kg]
PESO DEL VANT COMPLETO El peso de 2.022 kg adicional se debe a los pernos, acoples posibles que sean necesario y componentes electrónicos tales como: tarjeta controladora, ESC, y cámara.			31.500 [kg]
TOTAL SUSTENTACIÓN ROTORES			32.400 [kg]

Al peso obtenido de 29.478 [kg] se agregó un peso de 2.022 [kg] dando un peso de 31.5 [kg] el cual fue utilizado para los cálculos y posteriores resultados. Dado que las roscas métricas se especifican mediante el diámetro y el paso en milímetros, de forma general se muestran la cantidad total de pernos. La lista de pernos completamente especificada se encuentra en análisis de costos.

Tabla 3.18 Pernos necesarios para ensamblar la estructura (Elaboración propia, 2021)

Diámetro	Paso de rosca	Cantidad	
M10	1.25	26	
M6	1.00	8	
M4	0.70	124	
TOTAL PERNOS		158	

3.1.3 Sistema eléctrico del VANT

Para este proyecto, el sistema eléctrico está conformado por: los 6 rotores con su correspondiente ESC y su hélice, la tarjeta controladora de vuelo incluyendo los accesorios necesarios para su correcto funcionamiento, la cámara del brazo inyector y las baterías de alimentación.

3.1.3.1 Componentes electrónicos

A continuación, se muestran las especificaciones técnicas de los componentes electrónicos seleccionados.

Motores brushless de sustentación

Dado que el peso total del VANT es 31.5 [kg] la fuerza de sustentación mínima para equilibrar el peso del dron es de $31.5/6$ [kg]. Por ese motivo se seleccionó un motor sin escobillas que posea un empuje ligeramente mayor, ver Figura 3.26. Las características de estos motores son que requieren poco mantenimiento y no generan temperaturas muy elevadas en comparación a motores con escobillas.



Figura 3.26 Motor Titan T8110 (Xoar, 2021)

En la Figura 3.27 se muestran las características del motor de la serie T8000 del fabricante Titán, el motor seleccionado fue T8110. Cuando el motor se encuentra trabajando al 65 [%] su potencia requerida es de 732.9 [W] provocando un empuje de 5.4 [Kg]. Para la selección de la batería de alimentación se utilizó la corriente de 15 [A], la cual, al ser 6 motores es 90 [A].

$$90[A] \times 25[\text{min}] \times \frac{1h}{60[\text{min}]} = 37.5[Ah]$$

Se obtuvo que la alimentación mínima debe ser de 48 voltios y 37.5 [Ah].

SPECIFICATIONS

Model	KV	Config.	Shaft Diameter	Motor Dimension	Weight	Idle Current(10)	No. of Cells(Lipo)	Max. Continuous Current(A)	Max. Continuous Power(W)	Internal Resistance	Performance Data
T8110	140	36N40P	Φ20mm	Φ88.6*37.9mm	350g	0.66A	12s	38.85	1812.6	86mΩ	Click to view data
Volts(V)	Prop	Throttle	Amps(A)	Watts(W)	Thrust(g)	Efficiency(g/W)	Operating Temp. (°C)	AUW with voltage 6s			
48	PJP-T-L 24X9	50%	7.81	381.3	3520.00	9.23	65°C	quadcopter - 19.2 KG hexacopter - 28.8 KG octocopter - 38.4 KG			
		55%	10.20	504.3	4180.00	8.29					
		60%	12.60	618.8	4750.00	7.68					
		65%	15.00	732.9	5400.00	7.37					
		70%	16.56	792.4	5750.00	7.26					
		75%	19.37	952.5	6450.00	6.77					
		80%	23.43	1124.1	7180.00	6.39					
		85%	26.97	1284.3	7820.00	6.09					
		90%	30.62	1446.9	8500.00	5.87					
		95%	34.68	1624.2	8900.00	5.48					
		100%	38.85	1812.6	9630.00	5.31					

Figura 3.27 Características técnicas del motor T8110 (Elaboración propia, 2021)

El fabricante brinda además el diámetro de la hélice recomendada, la PJP-T-L 24X9 con un diámetro de 24 pulgadas como se muestra en la Figura 3.27 y Figura 3.28.

Los motores requieren de un ESC (*Electronic Speed Controller*) que es el encargado de tomar la señal desde el controlador de vuelo hasta los motores, realiza variaciones del tren de pulso para regular la velocidad de los motores para realizar los diferentes movimientos.

Se seleccionó un ESC recomendado por el fabricante para el motor T8110, el Pulse ESC P80 cuya capacidad máxima de corriente es 80 [A] mostrado en la Figura 3.29.



Figura 3.28 Hélices PJP-T-L 24X9 (Xoar, 2021)



Figura 3.29 ESC pulse P80 (Xoar, 2021)

Autonomía del hexacóptero: alimentación

La autonomía del hexacóptero se refiere al tiempo que este puede estar en el aire, prácticamente depende de las baterías y el consumo energético. Se identificaron las 4 potencias requeridas y el tiempo de operación definido fue 25 minutos.

Dado que los rotores trabajan a un voltaje de 48 Voltios, se obtienen las corrientes utilizando la ley de Ohm (potencia/voltaje) mostrada en la Tabla 3.19.

Tabla 3.19 Requerimiento de potencia especificadas a un voltaje de 48 V (Elaboración propia, 2021)

Maniobra	Potencia[W]	Corriente[A]	Tiempo [%]
Vuelo estático a punto fijo	447.221	$i_1 = 9.317$	25
Vuelo axial ascendente	627.440	$i_2 = 13.072$	25
Vuelo axial descendente	514.219	$i_3 = 10.712$	25
Vuelo avance horizontal	498.807	$i_4 = 10.392$	25
TOTAL			100

Para que la aeronave vuele durante 25 minutos, según los tiempos de operación establecidos la capacidad requerida C_r se obtiene a través de la ecuación (3.2) (Orna, 2015).

$$Cr = n * FS * t * 0.25[i_1 + i_2 + i_3 + i_4] \quad (3.2)$$

En donde:

- El número de rotores n es 6
- Fs es el factor de seguridad de 2.5
- i es la corriente
- Cr es la capacidad requerida
- t es el tiempo de operación del VANT

Reemplazando los valores de la Tabla 3.19 se obtiene:

$$Cr = 6 * 2.5 * 0.4167 * 0.25[9.32 + 13.07 + 10.72 + 10.39]$$

$$Cr = 67\,975 \text{ [mAh]}$$

Se seleccionaron dos baterías Lipo las cuales son conectadas en serie, de 24 voltios y su carga es de 40 [Ah], entonces el tiempo de vuelo se obtiene mediante la ecuación 3.3.

$$t_{vuelo} = \frac{60nC_b}{C_r} \quad (3.3)$$

En donde: n es el número de batería, el cual, es 1 porque las 2 baterías conectadas en serie forman una con el fin de lograr los 48 voltios, C_b es la carga de la batería es de 40 [Ah], C_r es la capacidad requerida.

Reemplazando se obtiene

$$t_{vuelo} = \frac{60(1)(40\,000)}{67\,975}$$

$$t_{vuelo} = 35.3 \text{ [min]}$$

La batería seleccionada se muestra en la Figura 3.30. Es de 6 [S] con voltaje de DC de 24 [V] con carga de 40 [Ah]. En la Figura 3.31 se muestran sus especificaciones técnicas, el correcto funcionamiento del VANT requiere de 2 baterías seleccionadas conectadas en serie.



Figura 3.30 Batería de Ion Litio de 24 V con carga de 40 [Ah] (ebay, 2021)

Country/Region of Manufacture:	United States	Output Lead Length:	158mm
Type:	Li-Ion Battery	Pack Weight:	7 lbs 12 oz
Cell Voltage:	3.7 VDC nominal	Output Connector:	XT90S Anti Spark
BMS:	6S 40A	Product Type:	24VDC Battery Pack
MPN:	DTB-6S-8P-B40	Battery Size:	8 x 5 x 3.5 in
Battery Mfr:	Tesla	Battery PN:	Model3-NCR21700
Brand:	Drone-Tek	Manufacturer Warranty:	None
Application:	Various 24VDC systems	Amp Hours:	40 Ah
Chemical Composition:	Li-Ion	Voltage:	24 V

Figura 3.31 Características de la Batería de Ion Litio de 24V (ebay, 2021)

Controladora de vuelo

Es la encargada para enviar las operaciones de vuelo, movimientos de desplazamiento y rotación del hexacóptero, y los pulsos de control a los motores y demás componentes. El controlador seleccionado se muestra en la Figura 3.32 (donde muestra A es la PMU, B es la controladora, C es el LED y, por último, el D es el GPS) fue el NAZA M-V2 de la marca DJI, es importante mencionar que el controlador de vuelo viene incorporado en un kit con los siguientes accesorios como se muestra.

- Modulo LED (C)
- Módulo PMU (A): Distribuye la energía a los componentes
- Módulo GPS (D)



Figura 3.32 Controladora NAZA M-V2 (Alibaba, 2021)

En la siguiente Tabla 3.20 se muestran las especificaciones técnicas de la tarjeta controladora.

Tabla 3.20 Datasheet de NAZA M-V2 (DJI Innovations, 2014)

Compatibilidad	Cuadricóptero
	Hexacóptero
	Octacóptero
Frecuencia de salida ESC	400 Hz
Programa requerido	Windows 8
Transmisor recomendado	PCM o 2.4 GHz con mínimo 4 canales
Voltaje de entrada PMU	7.4 [V] – 26 [V]
Consumo potencia	Max: 1.5 [W] @ 0.3 [A] x 5 [V]
	Normal: 0.6 [W] @ 0.12 [A] x 5 [V]
Temperatura de operación	-10 °C hasta 50 °C
Peso	MC: 27 [g]
	GPS: 27 [g]
	PMU: 28 [g]
	LED: 13 [g]
Protección de bajo voltaje	si
Protección contra fallas de potencia	si

Velocidad de ascenso/ descenso	4.5 [m/s], 6 [m/s]
Dimensiones (Unidades mm)	MC: 45.5x32.5x18.5
	GPS: D46x10
	PMU: 39.5x27.5x10
	LED: 25x25x7

Radio Control remoto

Es un control remoto para pilotear manualmente el multirotor, se conforma del transmisor y el receptor. En la Figura 3.33 se muestra el radio control seleccionado y sus especificaciones técnicas en la Tabla 3.21.



Figura 3.33 Control remoto (A) y receptor (B) (AliExpress, 2021)

Tabla 3.21 Datasheet del control remoto y receptor (AliExpress, 2021)

(A)Radio control: T8FB	
Tamaño	173x102x206 mm
Peso	0.40 kg
Frecuencia	2.4 GHz
Potencia del Transmisor	100 [mW]
Salida PWM	1 ms – 2 ms
Voltaje de funcionamiento	4.8 [v] – 18[v]
Corriente de operación	110 mA
Distancia de control	Mayor a 1000 m
(B)Receptor: R8EH	
Número de canales	8
Voltaje de funcionamiento	10 v
Corriente de funcionamiento	19 a 25 mA

Tamaño	48.5 x 21x 11 mm
Peso	7 gr
Señal de salida	PWM – PPM- S BUS
Modo de señal	LED verde

Cámara del Brazo inyector

La tarjeta controladora NAZA M-V2, ver Figura 3.34 es compatible con i OSD Mini, lo que permite una visualización en tiempo real de los parámetros de vuelo en la pantalla. Permite conexión de una cámara FPV (*first person view*). Las siguientes características se muestran en la Tabla 3.22.



Figura 3.34 i OSD Mini de DJI (DJI, 2021)

Tabla 3.22 Datasheet del IOSD mini (Elaboración propia, 2021)

Voltaje	6 [V]
Temperatura de trabajo	-20°C hasta 60°C
Modo de salida	NTSC
Modo de entrada	PAL
Peso	14 [g]
Corriente de operación	180 [mA] @6[v]
Marca	DJI

La cámara seleccionada fue la RunCam Swift 2 Mr. Steele, ver Figura 3.35. En la siguiente Figura 3.36 se muestran las especificaciones técnicas.



Figura 3.35 RunCam Swift 2 Mr. steele (Amazon, 2021)

Parameters

Model	RunCam Swift Mini 2
Image Sensor	1/3" SONY Super HAD II CCD
Horizontal Resolution	600TVL
Lens	2.1mm (M12) FOV165° / 2.3mm(M12) FOV 150°
Signal System	PAL/NTSC
Integrated OSD	Yes
One Key Scene	Personal / Lightrax / Outdoor / Indoor / Cloudy / Twilight
S/N Ratio	>60dB (AGC OFF)
Electronic Shutter Speed	PAL: 1/50~100,000; NTSC: 1/60~100,000
Auto Gain Control (AGC)	Yes
Min. Illumination	0.01Lux@1.2F
WDR	D-WDR
DNR	2DNR
Day/Night	Color/Auto/B&W
Power	DC 5-36V
Current	120mA@5V / 60mA@12V
Net Weight	12g
Dimensions	L22.3mm*W22mm*H26mm

Figura 3.36 Especificaciones técnicas de la cámara (Amazon, 2021)

3.1.3.2 Diagrama de sistema eléctrico

En la Figura 3.37 se muestra el diagrama de conexiones se los componentes eléctricos de manera general.

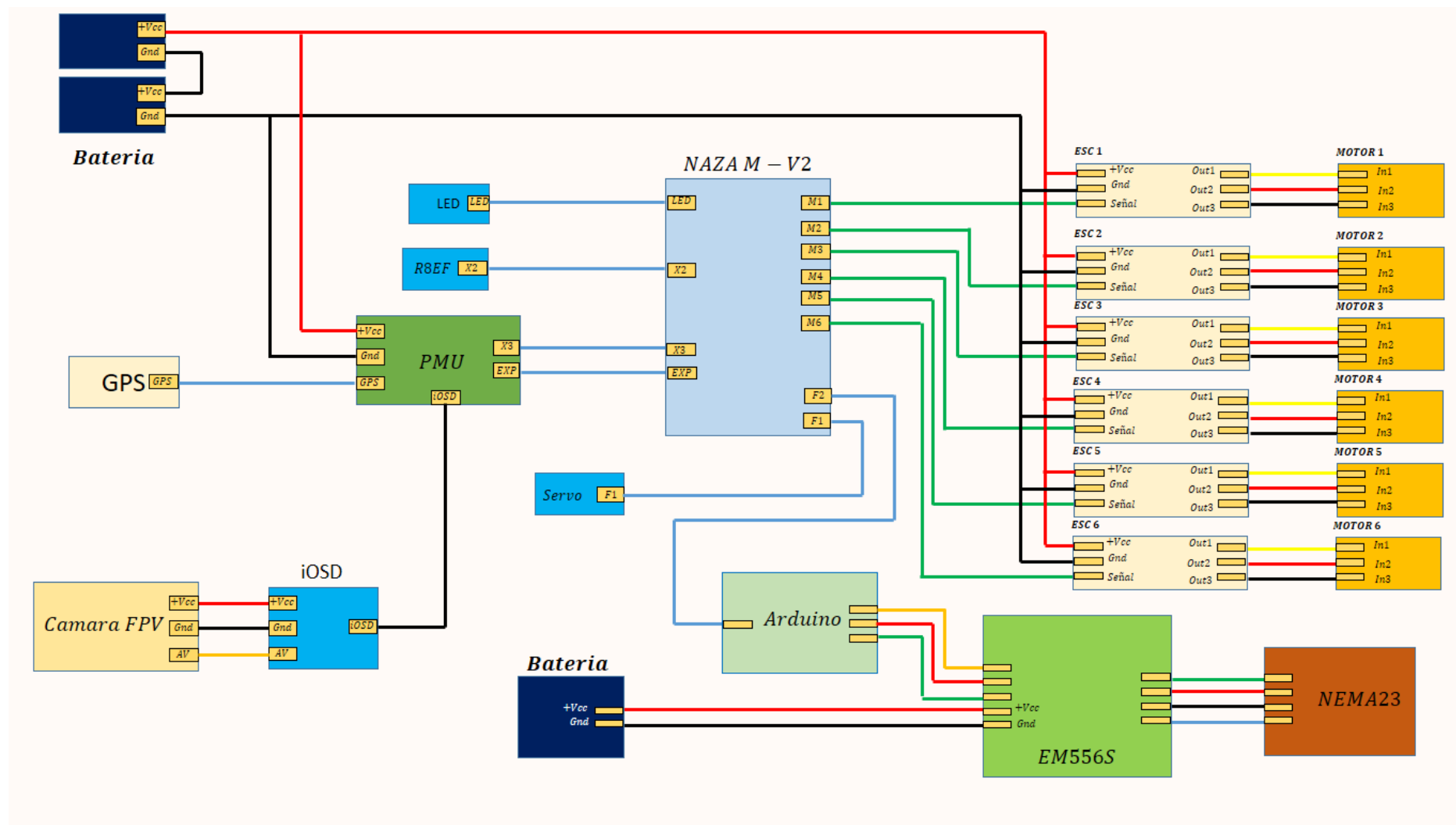


Figura 3.37 Esquema de conexiones del sistema eléctrico del VANT (Elaboración propia, 2021)

3.1.4 Ficha técnica del diseño final del VANT

Se muestran en las siguientes tablas (Tabla 3.23, Tabla 3.24, Tabla 3.25 y Tabla 3.26) las especificaciones técnicas de operación del producto terminado, para este caso el VANT.

Tabla 3.23 Detalle de la estructura (Elaboración propia, 2021)

Estructura de avión	
Distancia entre ejes máxima en diagonal	1296 mm
Dimensiones	742x1797x1906 mm brazos y hélices desplegadas
Masa estructural	3.375 [kg]

Tabla 3.24 Detalle del sistema de Inyección (Elaboración propia, 2021)

Sistema de inyección	
Reservorio-tanque	Nominal: 7 [L]
Carga útil operativa	Nominal: 11.846 [kg]
Boquilla de inyección	D 5 [mm]
Flujo másico de salida	0.29 [kg/s]
Presión de operación	515 [kPa]
Velocidad de entrada del material	0.35 [m/s]
Velocidad de impacto	12.8 [m/s]
Área de reparación recomendada	5.6 [m ²]
Revoluciones del husillo de la bomba	400 [Rpm]
Batería Lipo	Voltaje: 24[V]
	Capacidad de batería: 4 000 [mAh]
Driver	EM556S
Motor	Modelo: D57CM31
	Stepper Nema 23
Tiempo de operación	Nominal: 20 minutos

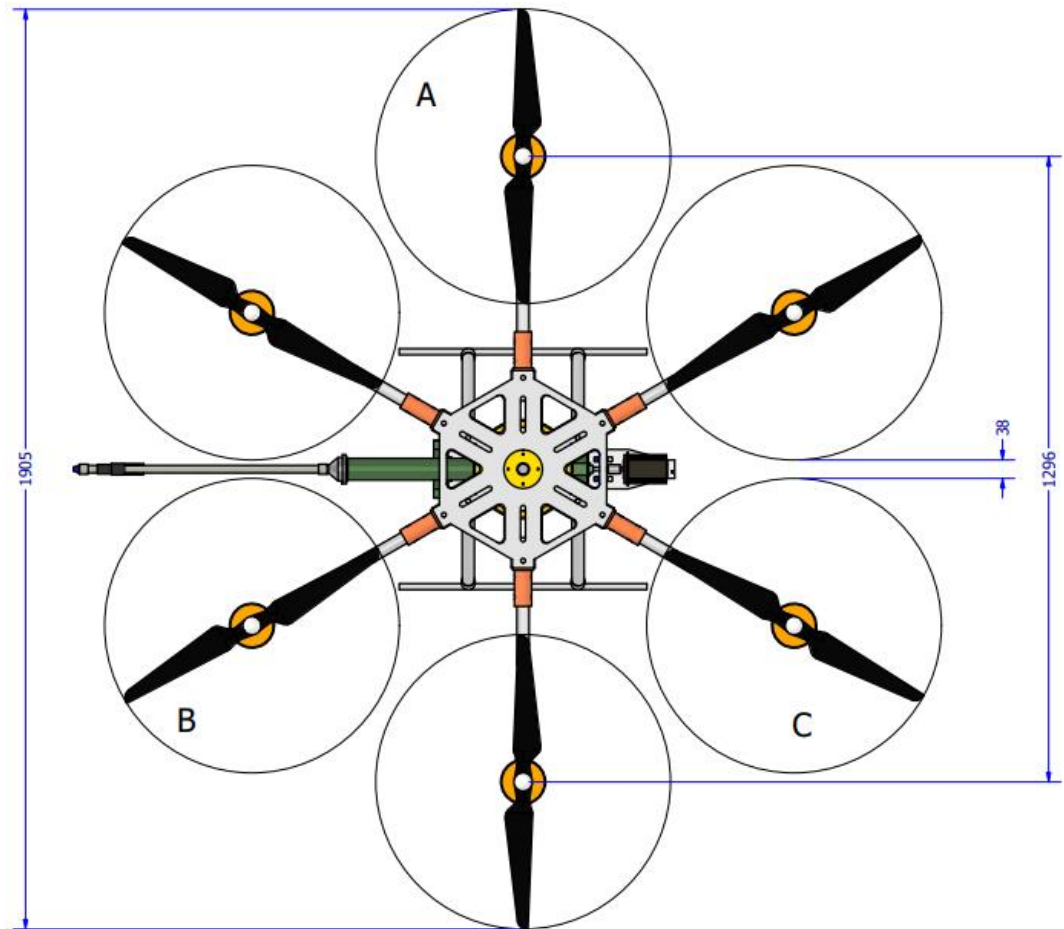
Tabla 3.25 Detalle de vuelo (Elaboración propia, 2021)

Parámetros de vuelo	
Peso máximo de despegue	31.5 [kg]
Peso total sin baterías	24.462 [kg]
Bateria Lipo	Voltaje: 48 [V]
	Capacidad de bateria: 40 000 [mAh]
Consumo máximo de energía	4320 [W]
Angulo de inclinación	30°
Velocidad máxima de avance horizontal recomendada	7 [m/s]
Altura máxima de operación	160 [m.s.n.m.]
Temperatura de operación recomendada	25 [°C]
Tiempo de vuelo recomendado	25 minutos

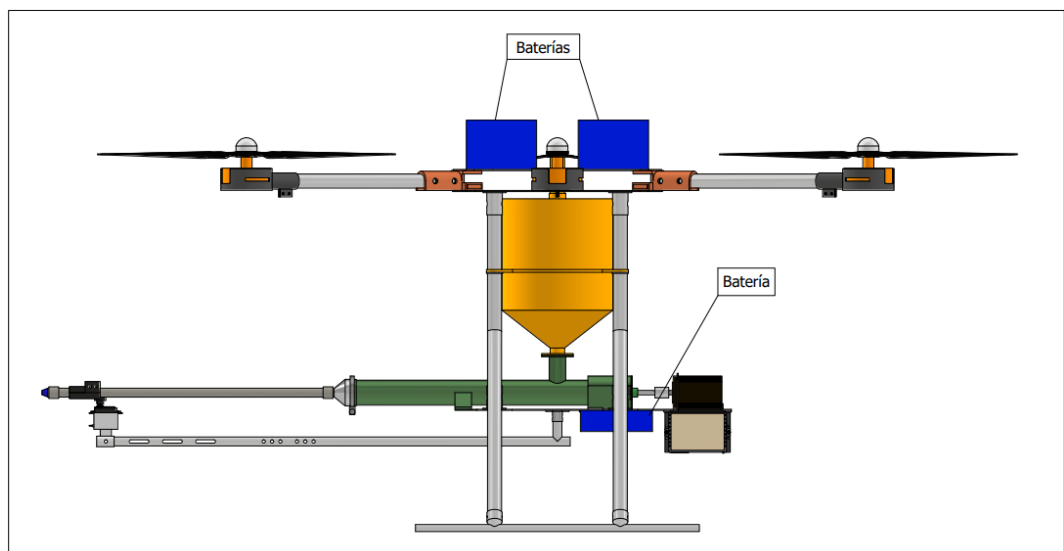
Tabla 3.26 Detalle del sistema de propulsión (Elaboración propia, 2021)

Sistema de propulsion	
Corriente máxima de operación	90 [A]
Voltaje máximo de operación	48[V]
Sustentación máxima	32.4 [kg]
Rotor	Modelo:T8110
hélice	Xoar PJP-T-L 24X9 2490
ESC	P80 xoar

A continuación, se muestra el diseño final en las Figura 3.38 que muestra que las hélices A, B, C giran en sentido antihorario, mientras que las demás en sentido horario, Figura 3.39 y Figura 3.40 donde la gráfica A muestra claramente las placas hexagonales sin baterías de alimentación y la gráfica B muestra las baterías de alimentación de color azul.



**Figura 3.38 Vista superior del VANT inyector sin baterías de alimentación
(Elaboración propia, 2021)**



**Figura 3.39 Vista lateral del VANT inyector con baterías de alimentación
(Elaboración propia, 2021)**

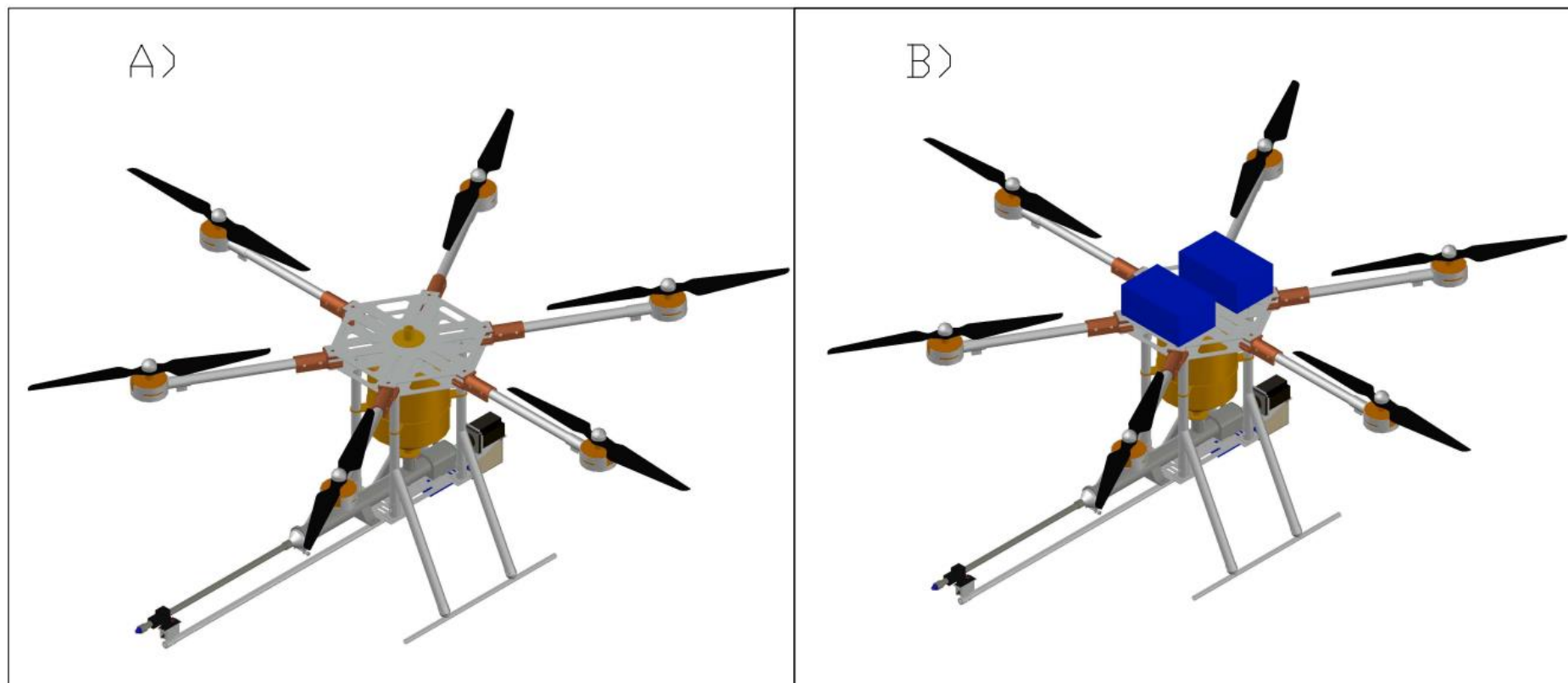


Figura 3.40 Vista isométrica del VANT inyector (Elaboración propia, 2021)

3.1.5 Plan de mantenimiento del VANT

Tabla 3.27 Plan de mantenimiento preventivo (Elaboración propia, 2021)

Plan de trabajo No. 1		Elaborado el: 06 de enero de 2022 Elaborado por: Bowen - Solórzano Controlado: Bowen - Solórzano		MANTENIMIENTO PREVENTIVO	
Denominación: Limpieza del reservorio, bomba, mangueras del sistema de inyección.		Número Analítico: 001	Lugar: Zona de trabajo civil y reparación	Intervalo: 30 min después de haberse utilizado.	Operador responsable: Samuel Bowen
No	Operación	Herramienta	Repuesto	Tiempo [min]	Observaciones
1	Llevar el VANT debajo de la estación el suelo	----	----	2	----
2	Desconectar el sistema eléctrico de vuelo	----	----	1	----
3	Verificar que los rotores estén desconectados	----	----	1	----
4	Retirar las hélices de los rotores	----	----	3	Se retiran las hélices para evitar algún accidente
5	Verter agua al ambiente por el reservorio	----	----	4	Asegurarse que el material sobrante de la lechada de cemento se haya retirado completamente.
6	Encender el motor de la bomba	----	----	0	----
7	Retirar acoples y servomotor		----	2	----
8	Retirar la boquilla inyectora, manguera, boquilla de la camisa-manguera y la abrazadera y verter agua.	----	----	3	----
9	Apagar el motor stepper de la bomba	----	----	0	----
10	Parar el ingreso de agua por el reservorio	----	----	0	----
11	Colocar boquillas, abrazadera y manguera	----	----	3	----
12	Colocar acoples y servomotor	----	----	2	----
13	Colocar las hélices de los rotores	----	----	3	----
14	Conectar el sistema eléctrico de vuelo	----	----	2	----
15	Llenar el reservorio de lechada de cemento	----	----	1	----
16	Pilotear el VANT dentro de la estación	----	----	2	----
			TOTAL	29 MINUTOS	

3.2 Resultados de diseño de la estación portable

Los resultados de los diseños y resistencia de los elementos de la estación portable fueron validados mediante programas de análisis estructural. Los accesorios tales como batería, motores, sensores y calefactor se seleccionaron en base a las condiciones y resultados del diseño final.

3.2.1 Eslabón de columna

En el Capítulo 2, se describió las dimensiones del diseño de la sección del eslabón de columna, y de las cuales se calculó las propiedades geométricas expuestas en la Tabla 3.28.

Tabla 3.28 Propiedades geométricas de la sección de eslabón de columna (Elaboración propia, 2021)

Nomenclatura	Símbolo	Valor
Área transversal	A_t	202.82cm
Momento de Inercia	I	5.692x10 ³ cm ⁴

Luego, mediante el programa computacional ANSYS Workbench se analizó el eslabón con un mallado de 27 [mm] y considerando apoyo libre en un extremo y empotrado en el otro, entonces, analizando con carga unitaria pero debido a que se define un factor de seguridad igual a 2, la carga a definir se duplica a 2N; se obtiene que el multiplicador de carga es de 1.5017x10⁶ N, es decir que este elemento puede soportar una gran cantidad de carga axial (hasta 1.5017x10⁶ N) para ocasionar pandeo y deformaciones, y por ende llegar a la falla.

Para validar los resultados del programa computacional, se realizó un cálculo manual, con y sin factor de seguridad, obteniéndose los siguientes resultados expuestos en la Figura 3.41.

Tabla 3.29 Comparación de resultados de carga máxima de compresión para eslabón de columna (Elaboración propia, 2021)

¿FS?	Carga máxima ANSYS [kN]	Carga máxima Manual [kN]	Error relative [%]
No	3216.83	3037.45	5.91
Si	1501.7	1584.76	5.24

La magnitud del error relativo se debe a la cantidad de mallado definido en el elemento

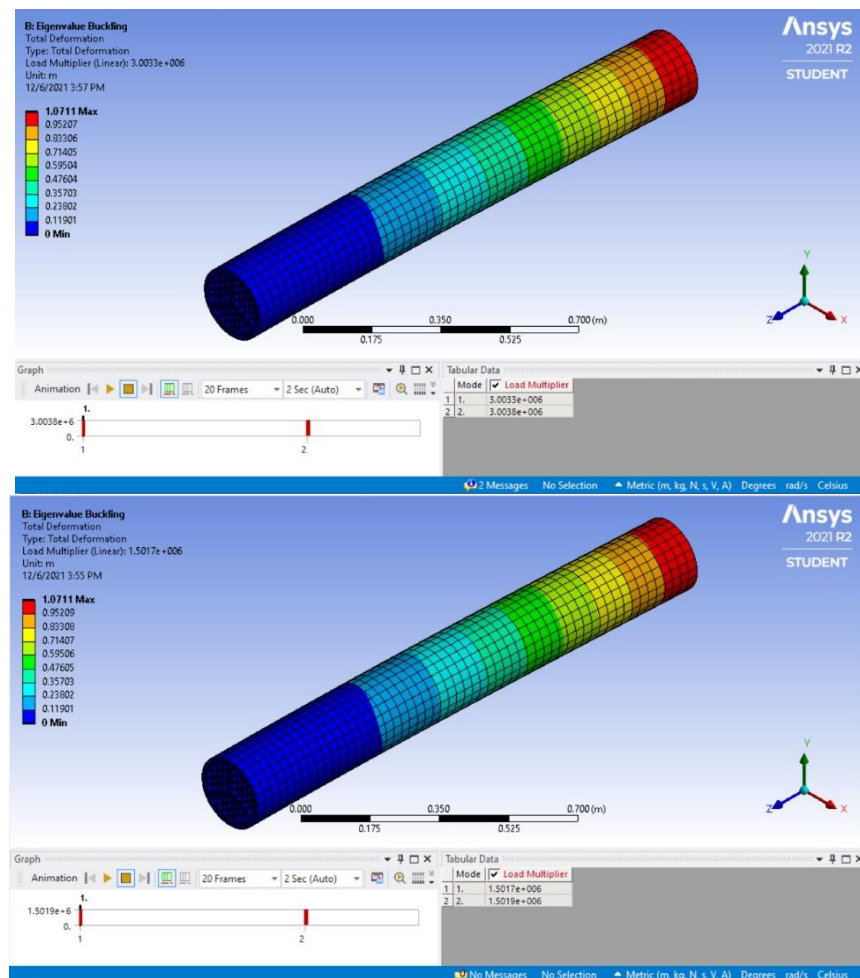


Figura 3.41 Análisis con ANSYS de eslabón de columna sometido a compresión (Elaboración propia, 2021)

Con éstos resultado se concluyó que la estación portable no va a fallar por los eslabones, sino que es necesario analizar otro punto que sea más crítico; tal punto visualizado en la Figura 3.42 resulta la unión entre la base inferior y el primer eslabón,

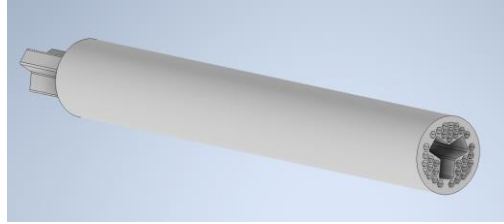


Figura 3.42 Visualización del eslabón de columna con uniones macho y hembra (Elaboración propia, 2021)

3.2.2 Cargas

En este apartado se obtuvieron los valores de las cargas actuantes sobre la estructura cables - columna.

3.2.2.1 Carga variable: Viento

Siguiendo el diagrama de flujo expuesto en la Figura 2.50 y lo explicado en el apartado 2.3.2.3.1, se obtuvo la siguiente distribución de la Presión del viento según la altura, ver Figura 3.43, que indica que esta es de mayor magnitud mientras se aumenta la altura; esta presión se transformó a Fuerza considerando el área proyectada de cada eslabón de columna, ver Tabla 3.30, y graficando los datos de la misma se obtuvo la Figura 3.44, en la cual se hizo uso de la herramienta de Excel para determinar las ecuaciones de las líneas de tendencia y entender la forma de la Fuerza distribuida.

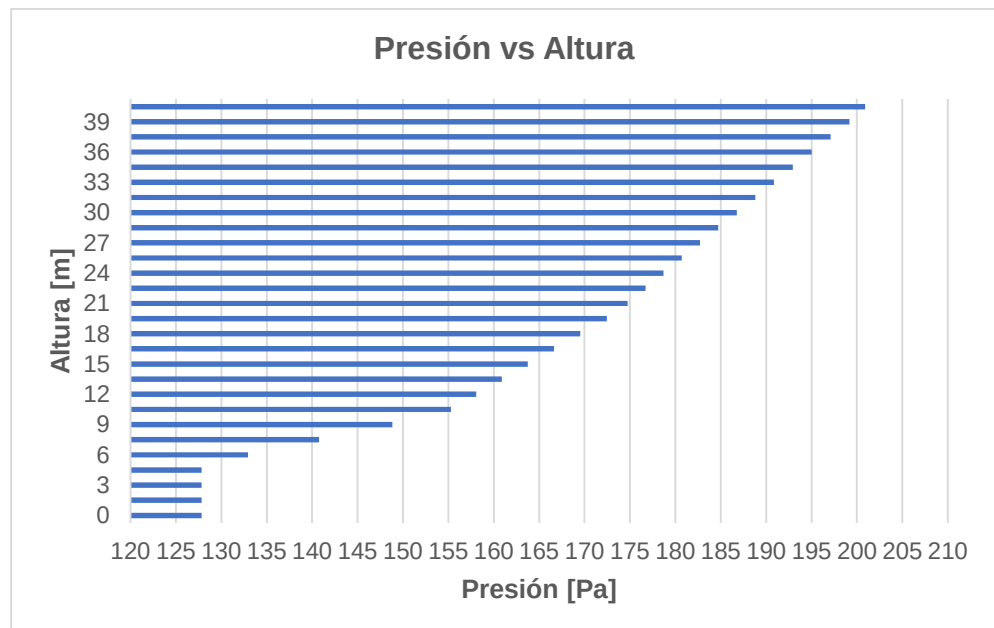


Figura 3.43 Fuerza en cada altura de eslabón de columna (Elaboración propia, 2021)

Tabla 3.30 Fuerza calculada en cada eslabón (Elaboración propia, 2021)

N° eslabones	Altura [m]	Altura acumulada [m]	Presión [Pa]	Área expuesta [m²]	Fuerza [N]
0	0	0	127.82	0.3	38.35
1	1.5	1.5	127.82	0.3	38.35
2	1.5	3.0	127.82	0.3	38.35
3	1.5	4.5	127.82	0.3	38.35
4	1.5	6.0	132.92	0.3	39.88
5	1.5	7.5	140.77	0.3	42.23
6	1.5	9.0	148.84	0.3	44.65
7	1.5	10.5	155.28	0.3	46.58
8	1.5	12.0	158.08	0.3	47.42
9	1.5	13.5	160.90	0.3	48.27
10	1.5	15.0	163.75	0.3	49.12
11	1.5	16.5	166.62	0.3	49.99
12	1.5	18.0	169.52	0.3	50.86
13	1.5	19.5	172.45	0.3	51.73
14	1.5	21.0	174.74	0.3	52.42
15	1.5	22.5	176.72	0.3	53.01
16	1.5	24.0	178.70	0.3	53.61
17	1.5	25.5	180.70	0.3	54.21
18	1.5	27.0	182.71	0.3	54.81
19	1.5	28.5	184.73	0.3	55.42
20	1.5	30.0	186.76	0.3	56.03
21	1.5	31.5	188.81	0.3	56.64
22	1.5	33.0	190.86	0.3	57.26
23	1.5	34.5	192.93	0.3	57.88
24	1.5	36.0	195.00	0.3	58.50
25	1.5	37.5	197.09	0.3	59.13
26	1.5	39.0	199.19	0.3	59.76
27	1.5	40.5	200.90	0.3	60.27

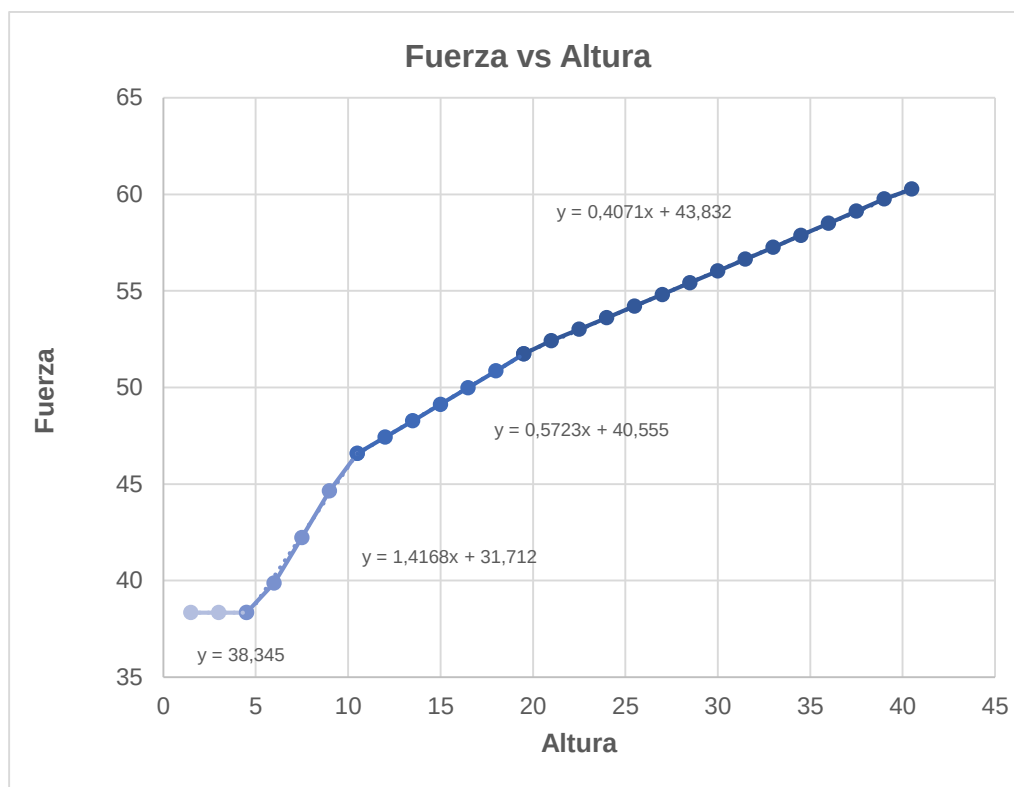


Figura 3.44 Distribución de la Fuerza del viento según la altura (Elaboración propia, 2021)

3.2.2.2 Carga viva y muerta

Definido en el Capítulo 2 las formas y dimensiones de cada componente, se obtuvo los pesos multiplicando la densidad del GFRP por los volúmenes obtenidos con Inventor y por la aceleración de la gravedad, ver Tabla 3.31.

Tabla 3.31 Resultados de carga muerta (Elaboración propia, 2021)

Nombre	Cantidad	Volumen [m³]	Densidad del GFRP [g/cm³]	Masa [kg]	Peso [N]
Base superior	1	0.819	1.602	1312.038	12871.093
Habitáculo	1	1.596	1.602	2557.442	25088.508
Tapa	1	0.718	1.602	1150.578	11287.168
Columna	15	-	1.602	49.301	7254.642
TOTAL			56501.411		

Se usó valor de gravedad igual a 9.81 m/s^2

En cuanto a la carga viva, se consideró un peso de 50 [kg] más un margen de error de 10 [kg], obteniéndose 588 [N].

3.2.2.3 Carga de tesado de cables

Se consideró dos cables de acero galvanizado de diferentes diámetros (ver Tabla 3.32) con diferentes cargas de ruptura mínima para analizar mediante el programa computacional cuál de los dos es lo suficientemente necesario para soportar la interacción cables – columna debido a las cargas antes expuesta y la carga de tesado de los mismos (8% al 15% de carga de ruptura mínima (Parnás et al., 2012)). Las propiedades de estos se los describe a continuación.

**Tabla 3.32 Propiedades de cables de guarda de acero galvanizado 1x7
(Elaboración propia, 2021)**

Nombre	Mensajero 1/4"	Mensajero 3/8"
Diámetro	1/4"	3/8"
Acero	Alta resistencia	Alta resistencia
Carga de ruptura mínima [kg]	2154	4898
Área de acero transversal [mm²]	22.65	51.08
Resistencia última a la tensión [N/mm²]	933	940.38
Módulo de elasticidad [N/mm²]	147.105	147.105
Coefficiente de expansion térmica [°C⁻¹]	12.5x10 ⁻⁶	12.5x10 ⁻⁶
Norma de fabricación	ASTM-A-475	ASTM-A-475
Peso neto del cable [kg/m]	0.180	0.407

3.2.3 Análisis de la estructura columna – cables

La estructura se sometió a las cargas calculadas en el apartado anterior y probando con diferentes cantidades de eslabones de columna, se determinó que la estructura es resistente a cuanto a esfuerzos y estable en cuanto a desplazamientos y rotaciones considerando 13 eslabones, es decir, 19.5 [m] de columna más 0.25 [m] de traslape unión Base superior - columna y tres cables de acero galvanizado de 3/8" de diámetro con una tensión inicial anclados en el suelo a un radio de 4[m] respecto a la columna. Ver Figura 3.45

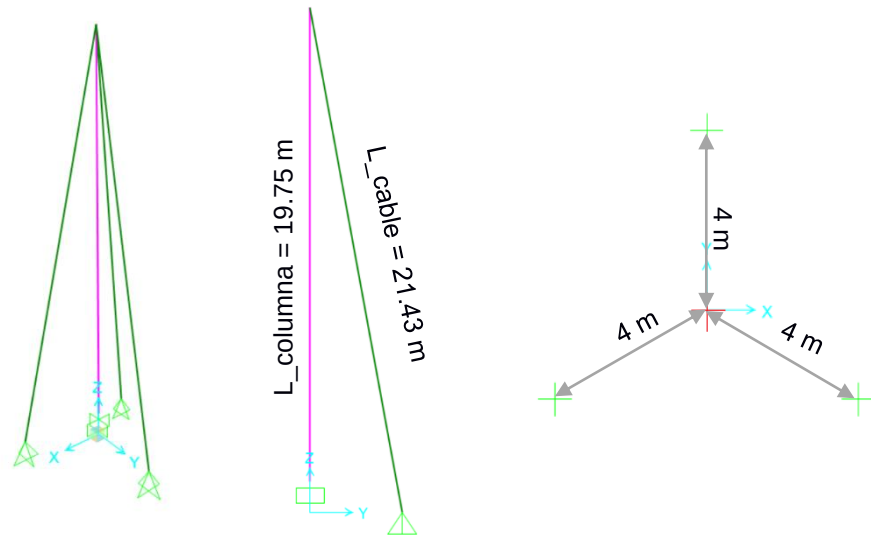


Figura 3.45 Dimensiones de la estructura cables – columna (Elaboración propia, 2021)

En la Tabla 3.33 y Tabla 3.34 se detalla los valores y ubicaciones de las cargas debido al viento para una altura de hasta 22.936 [m] considerando los elementos encima de la columna y la altura de la Base Inferior; mientras que en la Tabla 3.35 se detalla los valores, ubicación y sentido de colocación de todas las cargas respecto a los ejes globales de la estructura.

Tabla 3.33 Fuerzas del viento en elementos superiores (Elaboración propia, 2021)

Objeto	Presión [Pa]	Área expuesta [m ²]	Fuerza [N]	Punto de aplicación [m]	Momento [N•m]
Base superior	178.04	0.701	124.77	0.506	58.652
Habitáculo	179.50	2.817	505.61	1.328	671.558
Tapa	179.55	0.181	32.58	1.868	60.854

El punto de aplicación y momento se da respecto al punto de ubicación de la abrazadera que sujetan los cables con la columna.

Tabla 3.34 Valores y punto de aplicación de la Fuerza del viento sobre columna (Elaboración propia, 2021)

Fuerza	Valor [N]	Punto de aplicación [m]
F1	172.553	2.25
F2	254.028	7.6
F3	442.256	15.079

El punto de aplicación se da respecto al punto de unión Base Inferior – columna

Tabla 3.35 Ubicación, valor y sentido de las cargas actuantes en la estructura (Elaboración propia, 2021)

En unión cables - columna	Valor	Sentido
Carga Muerta + Viva	49737.268 [N]	-z
Carga lateral Viento en habitáculo, tapa y base superior	639.57 [N]	-y
Momento debido al transporte de la carga lateral del viento en componentes superiores hacia punto de unión cables - columna	773.55 [N•m]	+x
En columna	Valor	Sentido
F1	172.553 [N]	-y
F2	254.028 [N]	-y
F3	442.256 [N]	-y
Tensado inicial de cables	Valor	Sentido
(8% a 10%) Carga ruptura mínima	4716.64 [N]	A lo largo de cada cable

Se analizó la situación más crítica de acción de la carga lateral, donde la Fuerza del viento irá en el sentido en el cual un cable soportará más esfuerzo comparado con los demás, esto quiere decir, un cable a Barlovento y los otros dos a Sotavento. El esquema de las cargas actuantes se expone en la Figura 3.46.

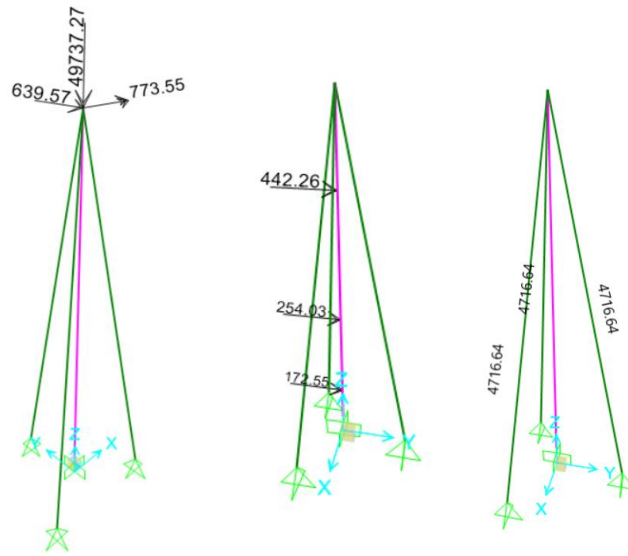


Figura 3.46 Definición de cargas actuantes (Elaboración propia, 2021)

Las reacciones de los apoyos de la estructura se visualizan en la Figura 3.47 donde los ejes locales 1,2,3 representan x, y, z respectivamente en la Tabla 3.36; como era de esperarse, la reacción del cable a barlovento tiene mayor magnitud debido al relajamiento de los dos cables a sotavento.

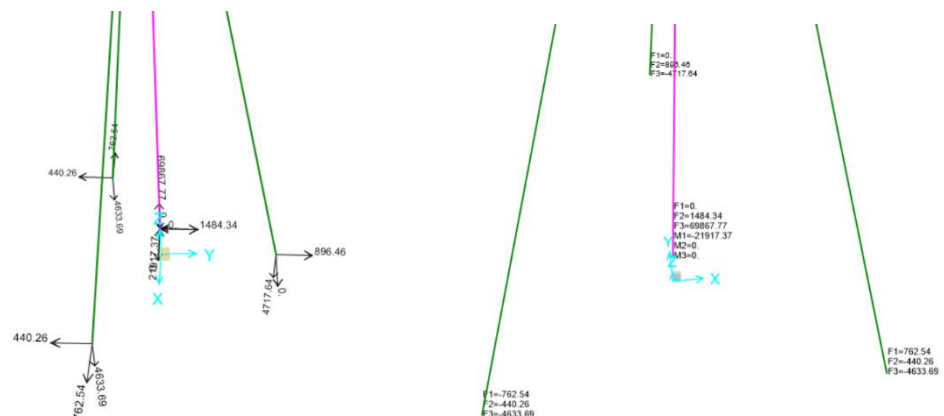


Figura 3.47 Reacciones en los apoyos (Elaboración propia, 2021)

Tabla 3.36 Reacciones en los apoyos (Elaboración propia, 2021)

Apoyos	Fuerzas [N]			Momentos [Nm]		
	X	Y	Z	X	Y	Z
Apoyo articulado de Cable a barlovento	0	+896.46	-4717.64	0	0	0
Apoyo articulado de Cable 1 a sotavento	+762.54	-440.26	-4633.69	0	0	0
Apoyo articulado de Cable 2 a sotavento	+762.54	-440.26	-4633.69	0	0	0
Apoyo fijo de Columna	0	+1484.34	69867.77	-21917.37	0	0

Las reacciones internas y esfuerzos de los cables y la columna se visualizan desde la Figura 3.48 hasta la Figura 3.54 y en la Tabla 3.37 se puede observar que los elementos resisten las cargas ya que no sobrepasan la resistencia a la tensión y compresión para cable y columna respectivamente.

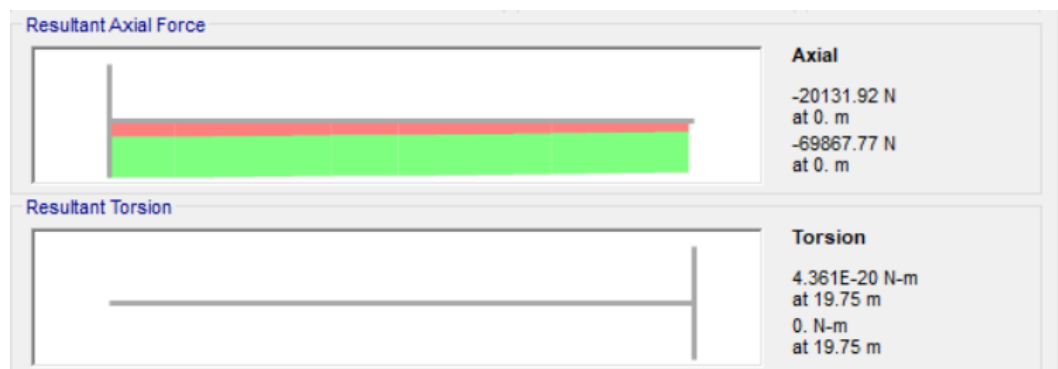


Figura 3.48 Diagrama de fuerza axial y torsión en columna (Elaboración propia, 2021)

El diagrama contempla la envolvente de reacciones de la combinación de casos de carga: Condición inicial, Viento, Carga Viva y muerta. Los colores rosa y verde indican el máximo y mínimo de la envolvente respectivamente.

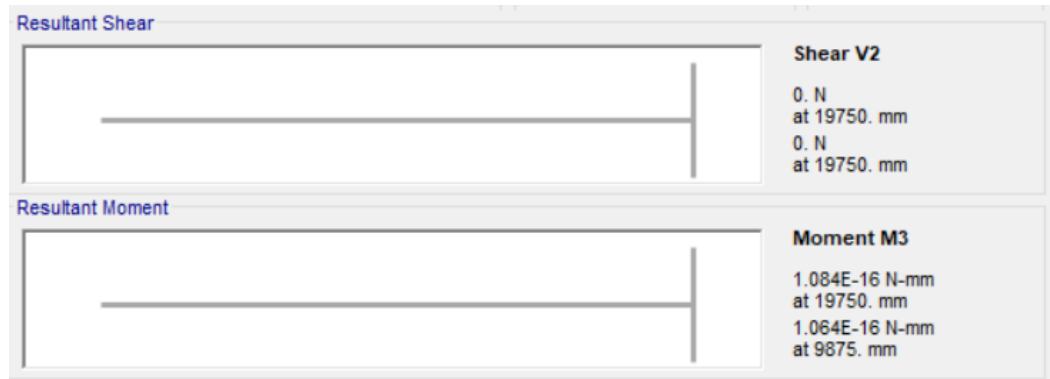


Figura 3.49 Diagrama de Cortante en eje local 2 y Momento alrededor del eje local 3 de la columna (Elaboración propia, 2021)

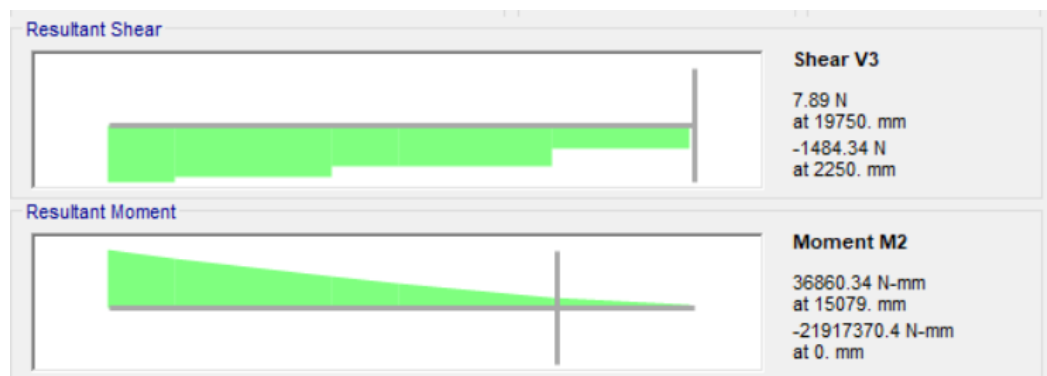


Figura 3.50 Diagrama de Cortante en eje local 3 y Momento alrededor del eje local 2 de la columna (Elaboración propia, 2021)



Figura 3.51 Diagrama de esfuerzo máximo en la columna (Elaboración propia, 2021)

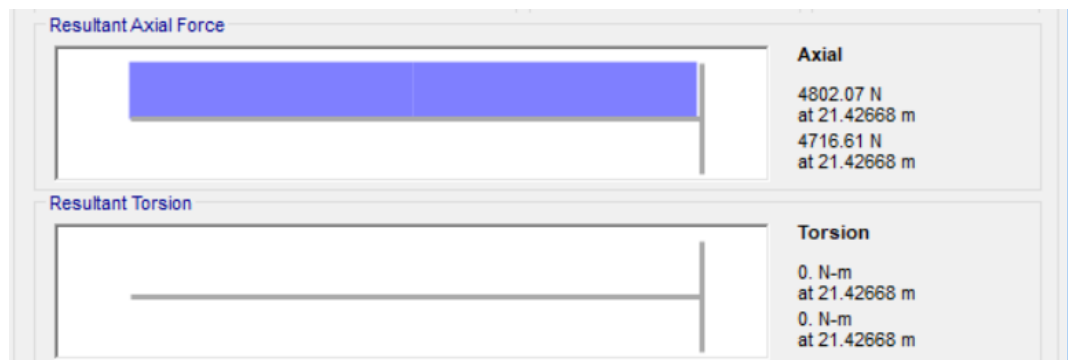


Figura 3.52 Diagrama de Fuerza axial y Torsión en el cable más crítico (Elaboración propia, 2021)

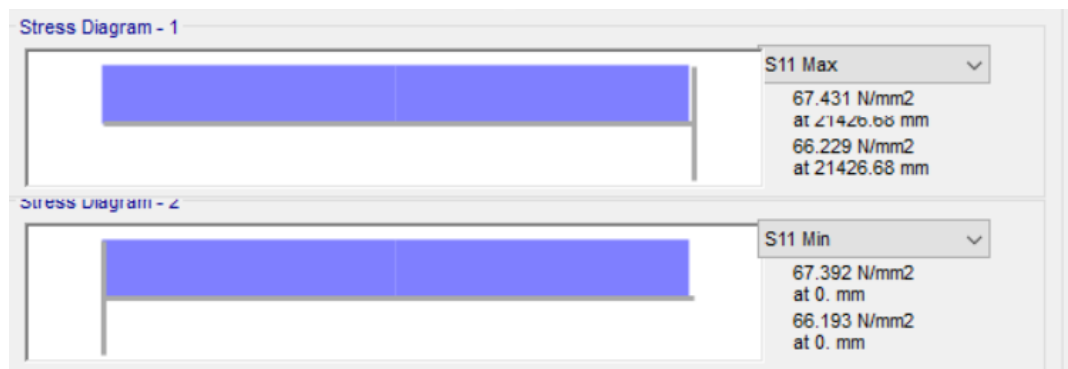


Figura 3.53 Diagrama de esfuerzo axial en el cable más crítico (Elaboración propia, 2021)

Debido a que el cable es un elemento que no soporta compresión y sus puntos de unión zona articulados, el único esfuerzo que soporta es el axial

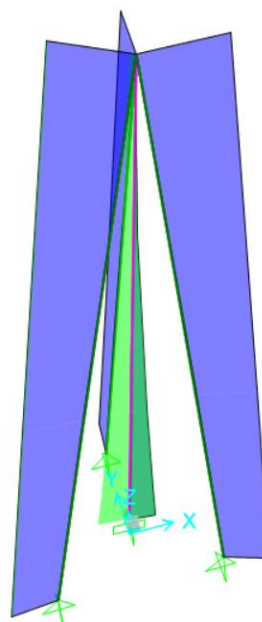


Figura 3.54 Diagrama de esfuerzos máximos en estructura (Elaboración propia, 2021)

A pesar de que la columna tiene un Fuerza axial interna más grande que los cables, los cables están más esforzados debido a su pequeña sección transversal

Tabla 3.37 Comparación de esfuerzo y resistencia de elementos de la estructura (Elaboración propia, 2021)

Elemento	Material	Esfuerzo máximo [MPa]	Resistencia [MPa]
Columna	GFRP	41.984	A compression sin FS 995.5
Cable	Acero galvanizado Alta resistencia	67.431	A tension sin FS 940.38

FS significa factor de seguridad

Analizando la Tabla 3.37, se observa que los factores de seguridad para cada elemento son grandes y, por lo tanto, se puede aumentar la altura de la columna pero existe la limitante del diseño por servicio ya que a mayor altura mayor Fuerza del viento, mayor flexión y por ende mayor desplazamiento en la cima de la estructura (ver Figura 3.55), ocasionando que el VANT valla a sufrir daños por reposar en un habitáculo inestable; por tal razón el diseño de la estructura finaliza con las dimensiones expuestas en la Figura 3.45

Observando la deformada de la estructura y revisando los valores de desplazamiento de las uniones (Ver Figura 3.55: unidades en m y radianes. U corresponde a desplazamientos y R a rotaciones), se comprobó que la estabilidad de la estructura no se ve comprometida ya que los cables cumplen su función de evitar desplazamientos excesivos, obteniéndose una rotación de 2.79° de la columna respecto a la vertical.

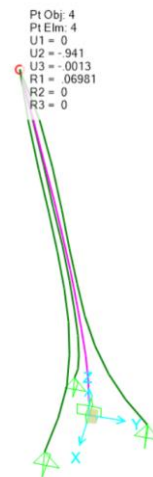


Figura 3.55 Deformada de la estructura (Elaboración propia, 2021)

3.2.4 Compuerta de acceso

Debido a que la compuerta de acceso no está sometida a cargas muy extremas, no se realizó una simulación del elemento, sino más bien se determinó el motor adecuado para accionar la apertura y cierre del iris mecánico.

3.2.4.1 Motor para accionamiento de compuerta

Luego de definir la geometría de los componentes del iris mecánico y de analizar un sistema de apertura adecuado, se decidió que lo más idóneo es un sistema corona dentada y piñón de GFRP, siendo la cantidad de dientes 1536 para la corona y 12 para el piñón dando una relación de reducción de 128, ver Figura 3.56.

Después de realizar el cálculo de velocidades y pares de torsión, se simuló el piñón de mando considerando que el máximo esfuerzo ocurre en el punto de la cara del diente en contacto debido a una fuerza tangencial que se expone en la

Tabla 3.38. Los resultados del análisis de la simulación se muestran en la Figura 3.57 y Tabla 3.39.

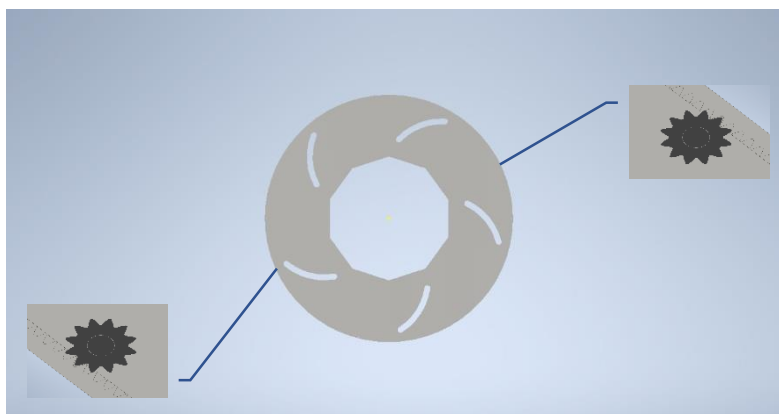


Figura 3.56 Corona dentada – piñones (Elaboración propia, 2021)

Tabla 3.38 Definición de cargas sobre el piñón (Elaboración propia, 2021)

Carga	Valor	Zona de aplicación
Fuerza tangencial	245 [N]	Cara lateral del diente del piñón

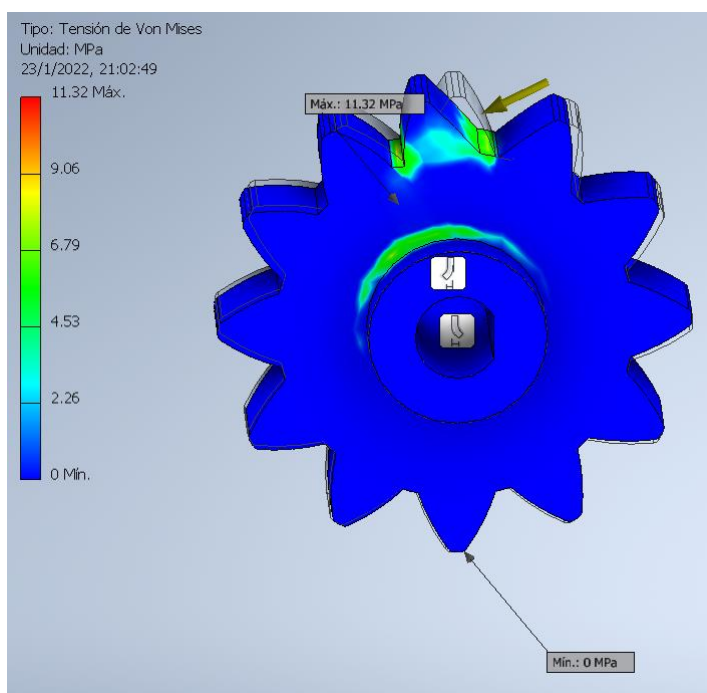


Figura 3.57 Esfuerzo Von Mises en el piñón de mando (Elaboración propia, 2021)

Tabla 3.39 Resultados de la simulación del piñón de mando (Elaboración propia, 2021)

Variable	Mínimo	Máximo
Tensión de Von Mises	5.908×10^{-04} [MPa]	11.322 [MPa]
Deformación equivalente	1.15441×10^{-8}	2.065×10^{-04}
Desplazamiento	0 [mm]	2.522×10^{-03} [mm]
Coefficiente de seguridad	15	15

El motor adecuado para accionar el sistema de apertura debe tener una velocidad en el piñón como mínimo 35 [RPM] y un Torque de aproximadamente 6 [Nm]. Por razones de seguridad y para reducir el Torque y por lo tanto la corriente, se decidió colocar dos motores de las mismas especificaciones como se muestra en la Figura 3.58.



Figura 3.58 Motor seleccionado para accionar compuerta de estación portable (Amazon, 2021)

3.2.5 Habitáculo

Considerando que el habitáculo está sometido al peso de la compuerta de acceso más sensores, el peso del VANT más sensores y a la carga lateral del viento como se expone en la Tabla 3.41, se procedió a la simulación del objeto con propiedades de GFRP (ver Tabla 3.40) con la finalidad de definir los espesores idóneos de la pared y tablero en base a los esfuerzos y deformaciones que están sometidas estas áreas como se muestra en la Figura 3.59 y Tabla 3.42.

Tabla 3.40 Propiedades del GFRP (Elaboración propia, 2021)

General	Densidad de masa	1.6205 [g/cm ³]
	Límite de elasticidad	653.75 [MPa]
	Resistencia máxima a tracción	296.5 [MPa]
Tensión	Módulo de Young	48.66 [GPa]
	Coefficiente de Poisson	0.33 su
	Módulo cortante	18.2932 [GPa]

Tabla 3.41 Cargas actuantes sobre el habitáculo (Elaboración propia, 2021)

Carga	Valor	Zona de aplicación
Peso Tapa + sensores	1.9489x10 ⁻⁴ [MPa]	Área del tablero
Peso VANT + sensores	588.6 [N]	Fondo del tablero
Viento	494.42 [N]	Pared

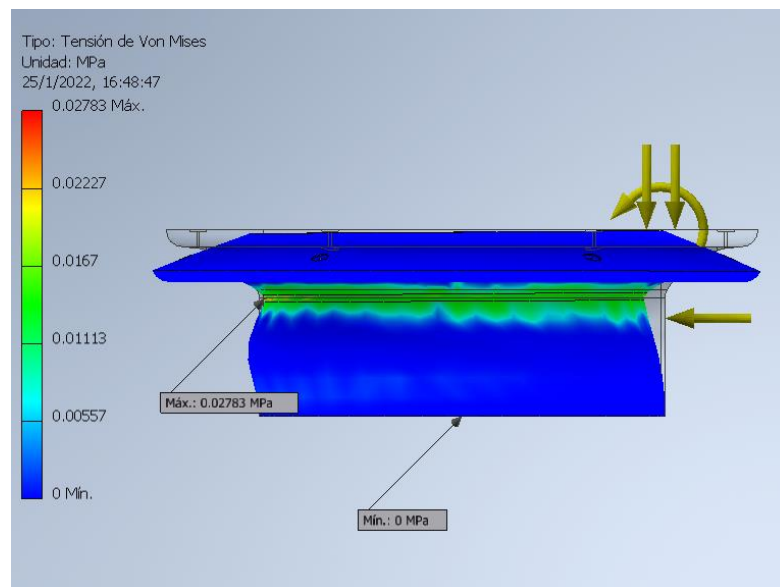


Figura 3.59 Esfuerzo de Von Mises en el habitáculo (Elaboración propia, 2021)

Tabla 3.42 Resultados de la simulación del habitáculo (Elaboración propia, 2021)

Variable	Mínimo	Máximo
Tensión de Von Mises	6.36x10 ⁻⁷ [MPa]	2.78x10 ² [MPa]
Deformación equivalente	1.35x10 ⁻¹¹	5.44x10 ⁻⁰⁷
Desplazamiento	0 [mm]	7.57x10 ⁻⁰⁴ [mm]
Coefficiente de seguridad	15	15

El esfuerzo máximo que se obtuvo en el habitáculo fue de 1.232×10^{-2} [MPa] siendo éste sumamente inferior a la resistencia del material, como resultado de esto la deformación del elemento es insignificante. Las principales dimensiones finales del elemento se muestran en la Figura 3.60.

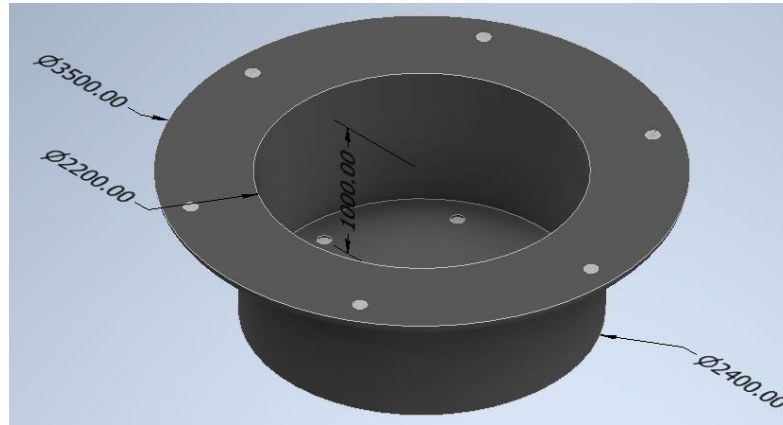


Figura 3.60 Dimensiones principales del habitáculo (Elaboración propia, 2021)

3.2.6 Base superior

La base superior tiene como cargas el peso de los componentes que descansan sobre ella, es decir, el VANT, habitáculo con sensores, compuerta, cargas laterales del viento. Definido los valores se procedió con la simulación de la base superior, en la cual los resultados indicaban que el objeto es resistente ante las cargas actuantes (ver Figura 3.61 y Tabla 3.43). Las dimensiones finales del objeto se muestran en la Figura 3.62.

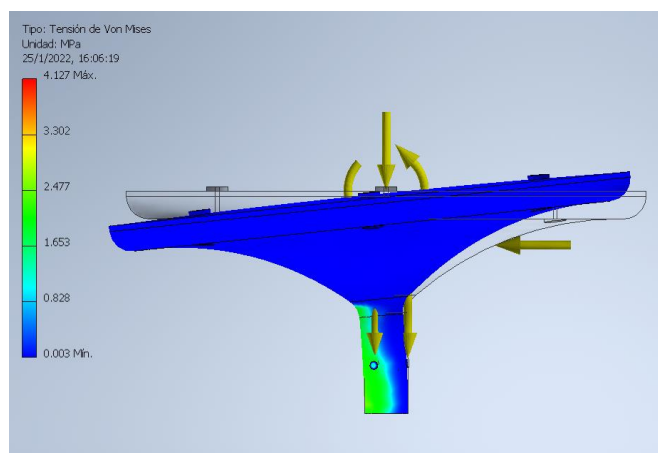


Figura 3.61 Esfuerzo Von Mises en la Base Superior (Elaboración propia, 2021)

Tabla 3.43 Resultados de la simulación de la base superior (Elaboración propia, 2021)

Variable	Mínimo	Máximo
Tensión de Von Mises	3.25×10^{-3} MPa	4.13 MPa
Deformación equivalente	5.95×10^{-8}	7.69×10^{-5}
Desplazamiento	0 mm	0.18 mm
Coefficiente de seguridad	15	15



Figura 3.62 Dimensiones principales de la Base Superior (Elaboración propia, 2021)

3.2.7 Cables y accesorios

Del análisis estructural del apartado anteriormente descrito se determinó las reacciones de los apoyos y puntos de unión de los elementos, los cuales se usaron como cargas para el análisis de elementos finitos de los componentes y piezas de unión.

3.2.7.1 Cables

El cable que mejor desempeño tuvo en el análisis estructural de la estructura cables – columna como se muestra en la Tabla 3.45 fue la que tiene su sección transversal como se esquematiza en la Figura 3.63 con propiedades descritas en la Tabla 3.44.

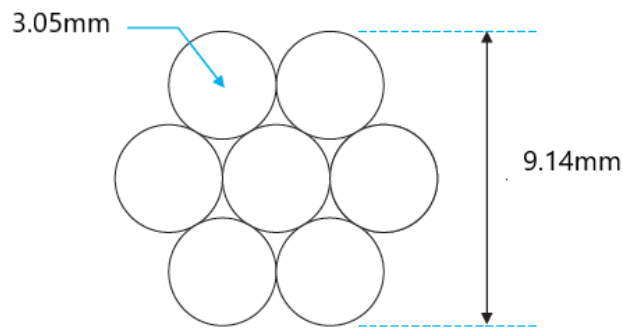


Figura 3.63 Cable mensajero 3/8" (Elaboración propia, 2021)

Tabla 3.44 Propiedades del cable 3/8" (Elaboración propia, 2021)

Propiedad física y mecánica	Valor
Carga de ruptura mínima	4898 [kg]
Límite elástico	2204.1 [kg]
Área sección transversal	51.08 [mm ²]
Esfuerzo último a la tensión	940.38 [N/mm ²]
Módulo de elasticidad	156.912 [N/mm ²]

Tabla 3.45 Resultados de cargas internas y factor de seguridad los cables (Elaboración propia, 2021)

Cable	Tensión inicial [N]	Tensión final [N]	Carga de ruptura mínima [N]	Factor de seguridad
1: a barlovento	4716.64	4802.07	48049.38	10
2: a sotavento	4716.64	4716.61	48049.38	10.19
3: a sotavento	4716.64	4716.61	48049.38	10.19

Analizando la Tabla 3.45, se observa que el factor de seguridad es muy grande, es decir estaría sobredimensionado y por lo tanto sería mejor usar un cable de diámetro más pequeño; el inconveniente con el cable de denominación menor 1/4" es que a pesar de que resiste, no asegura estabilidad en la cima de la columna generando desplazamientos muy grandes; por tal motivo, se decidió optar por el cable 3/8" que restringe más los desplazamientos.

3.2.7.2 Abrazadera

La abrazadera consta de 3 piezas de acero inoxidable, las propiedades del material están descritos en la Tabla 3.46, donde cada pieza posee 1 ala donde se fija el cable y 2 alas de sujeción de pernos. Es la encargada de transmitir estabilidad a la columna mediante los cables.

Se simuló una pieza afectada por las tensiones de los 3 cables y se simuló el ala de anclaje sometida a la tensión del cable más crítico (ver cargas en Tabla 3.47).

Ala de anclaje

Tabla 3.46 Propiedades del acero inoxidable (Elaboración propia, 2021)

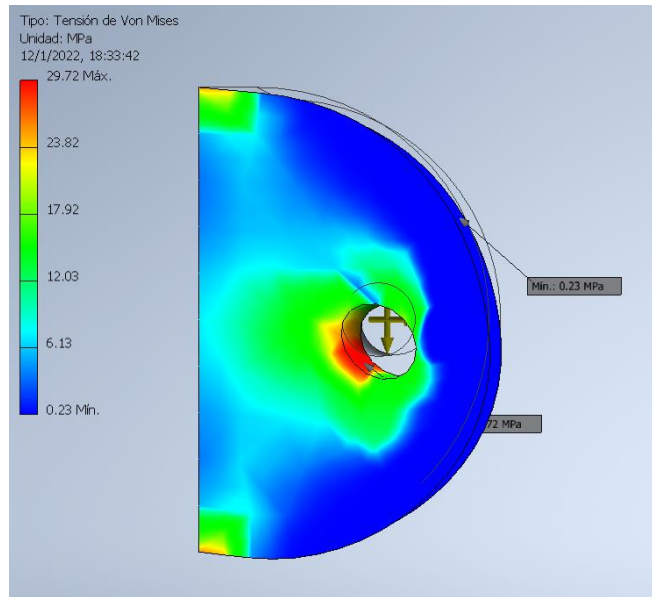
General	Densidad de masa	8 [g/cm ³]
	Límite de elasticidad	250 [Mpa]
	Resistencia máxima a tracción	540 [Mpa]
Tensión	Módulo de Young	193 [GPa]
	Coeficiente de Poisson	0.3 su
	Módulo cortante	74.2308 [GPa]

Tabla 3.47 Cargas actuantes en el ala de anclaje de la brida (Elaboración propia, 2021)

Carga	Valor	Zona de aplicación
Tensión cable en Y	896.46 [N]	Agujero de anclaje
Tensión cable en Z	-4717.64 [N]	Agujero de anclaje

En la Figura 2.58 se visualiza el esquema de ubicación de las cargas

Los resultados de la simulación del ala de anclaje se visualiza en la Figura 3.64 y Tabla 3.48.



**Figura 3.64 Esfuerzo de Von Mises en el ala de anclaje de brida
(Elaboración propia, 2021)**

**Tabla 3.48 Resultados de simulación del ala de anclaje de brida
(Elaboración propia, 2021)**

Variable	Mínimo	Máximo
Tensión de Von Mises	0.256 [Mpa]	29.719 [Mpa]
Deformación equivalente	1.028×10^{-06}	1.321×10^{-04}
Desplazamiento	0 [mm]	4.723×10^{-03} [mm]
Coeficiente de seguridad	7.23	15

El esfuerzo máximo que se obtuvo en el ala de anclaje fue de 29.719 [MPa] siendo éste sumamente inferior a la resistencia del material, como resultado de esto la deformación del elemento es insignificante y no existe riesgo de que la tensión del cable ocasione un desgarre en el elemento. Las principales dimensiones finales del elemento se muestran en la Figura 3.65.

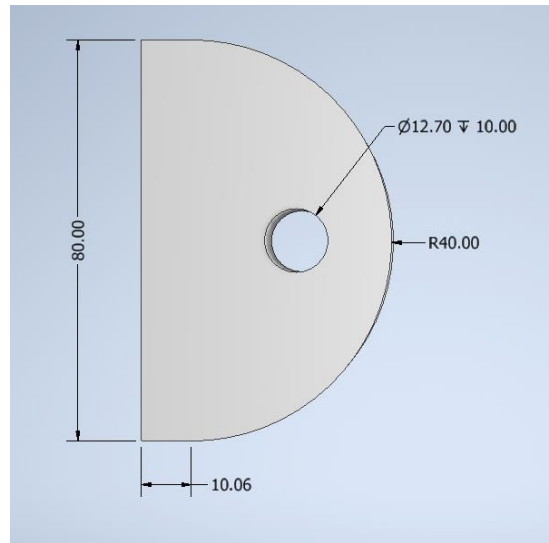


Figura 3.65 Dimensiones principales del ala de anclaje (Elaboración propia, 2021)

Sección de brida

Los resultados de la simulación de la sección de brida se visualiza en la Figura 3.66 y Tabla 3.49. Las dimensiones principales se muestran en la Figura 3.67.

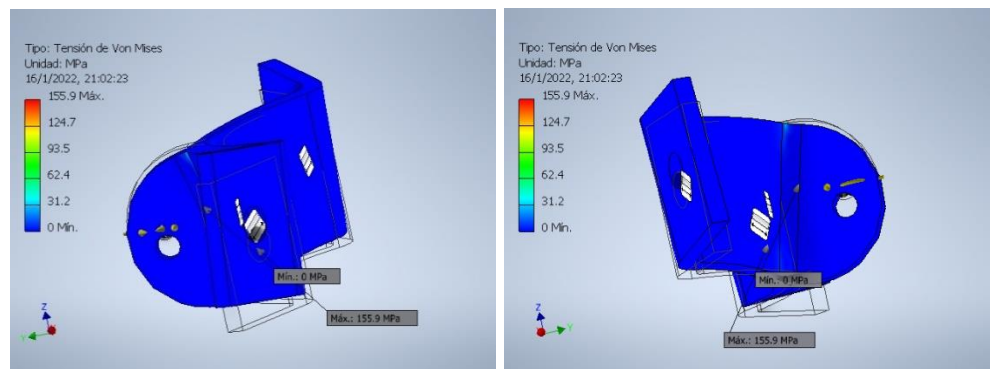


Figura 3.66 Tensión de Von Mises en la abrazadera (Elaboración propia, 2021)

Tabla 3.49 Resultados de la simulación de la abrazadera (Elaboración propia, 2021)

Variable	Mínimo	Máximo
Tensión de Von Mises	4.10×10^{-03} [Mpa]	155.898 [Mpa]
Deformación equivalente	1.87×10^{-08}	7.47×10^{-04}
Desplazamiento	6.75×10^{-05} [mm]	6.64×10^{-02} [mm]
Coeficiente de seguridad	1.60	15

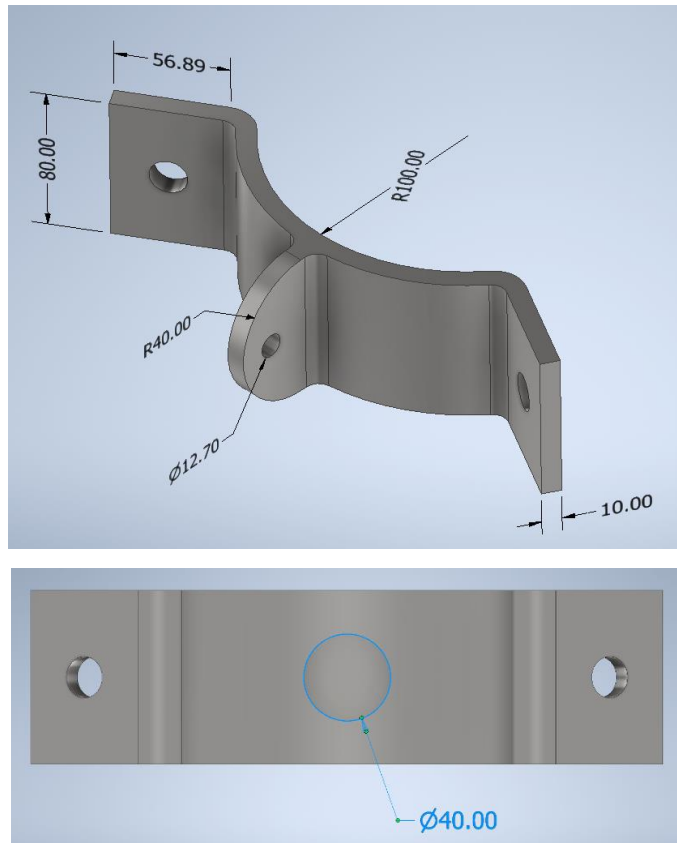


Figura 3.67 Dimensiones principales de brida (Elaboración propia, 2021)

3.2.7.3 Pernos para la brida

De acuerdo con los resultados de las fuerzas que actúan sobre el perno, se obtuvo que el que el perno grado 5 cabeza hexagonal en pulgadas $\frac{3}{4}$ - 16 UNF-2.75 (ver Figura 3.68) resiste los esfuerzos y tiene la capacidad de dar precarga ideal para el aseguramiento de la brida en la columna. Se optó por seleccionar paso fino ya que éste permite ajuste suave y baja probabilidad de desajuste ante carga de vibración.

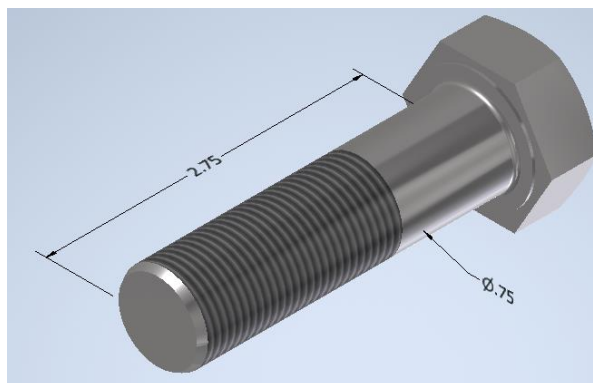


Figura 3.68 Perno grado 5 cabeza hexagonal en pulgadas $\frac{3}{4}$ - 16 UNF-2.75 (Elaboración propia, 2021)

3.2.8 Unión columna – base inferior

Definida la ubicación de las cargas actuantes y la restricción en el Capítulo 2, a continuación, se muestran los valores de dichas cargas en la Tabla 3.50 y los respectivos resultados en la Figura 3.69 y Tabla 3.51.

Tabla 3.50 Valores de las cargas actuantes en la unión columna - base inferior (Elaboración propia, 2021)

Carga	Ubicación	Valor
Carga vertical	Presión en la sección Y	$69867.7 \text{ [N]} / 7326.10[\text{mm}^2] = 9.537 \text{ [MPa]}$
	Presión en la sección circular menos sección Y	$69867.7 \text{ [N]} / 24089.83[\text{mm}^2] = 2.9 \text{ [MPa]}$
Carga lateral	Cara vertical del nervio	-1484.34 [N]
Momento de volteo	Cara vertical del nervio	21917370 [Nmm]

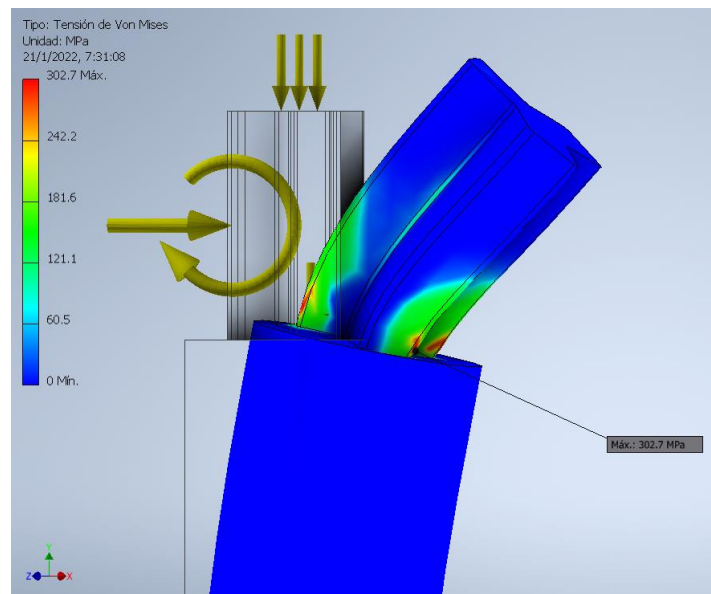


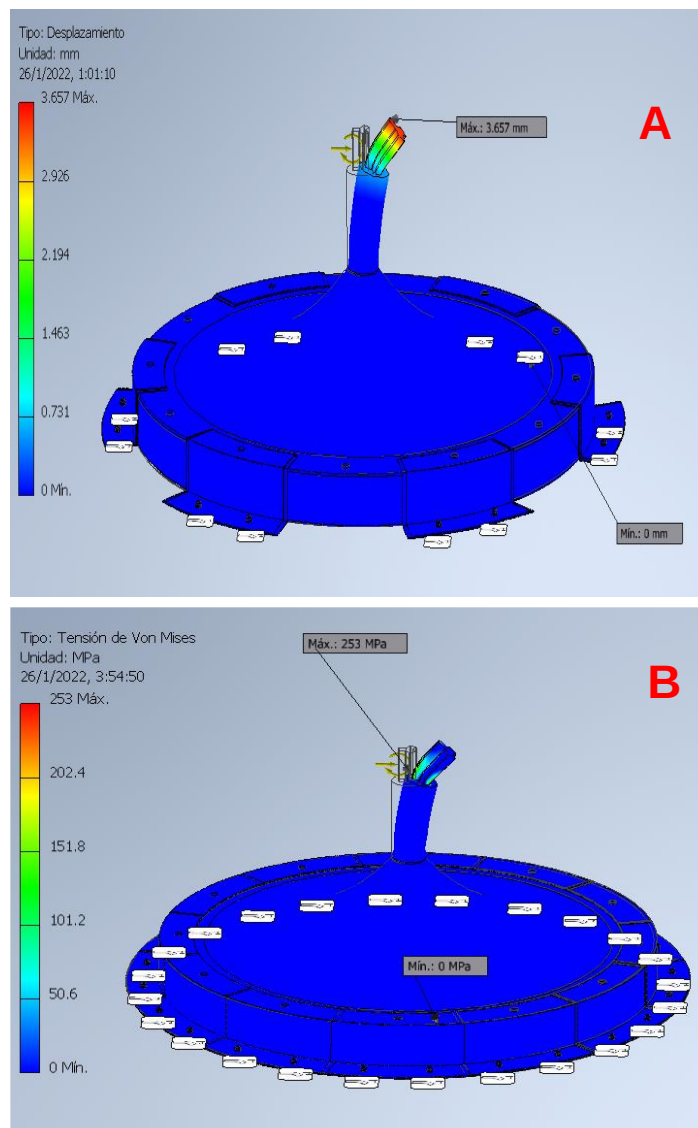
Figura 3.69 Tensión de Von Misses en la unión columna - base inferior (Elaboración propia, 2021)

Tabla 3.51 Resultados de la simulación de la unión columna - base inferior (Elaboración propia, 2021)

Variable	Mínimo	Máximo
Tensión de Von Mises	$1.89 \times 10^{-05} \text{ [MPa]}$	302.722 [MPa]
Deformación equivalente	3.45×10^{-10}	5.71×10^{-03}
Desplazamiento	0 [mm]	3.29 [mm]
Coeficiente de seguridad	2.16	15

3.2.9 Sistema de anclaje al suelo de la base inferior

Definido el sistema de anclaje en el Capítulo 2, el cual consta de 12 placas con 2 pernos de anclaje al piso cada uno dando un total de 24 pernos; se realizó 2 simulaciones: una con 6 placas y la otra con las 12 en totalidad. Los resultados se visualizan en la Figura 3.70 ((A) se simularon 6 placas, (B) se simularon 12 placas) y se resumen en la tabla Tabla 3.52, donde se puede observar que el desempeño no difiere mucho, por lo cual se puede exponer que basta usar 6 placas de anclaje, pero para proporcionar más seguridad se usa 12 ya que las 6 placas de más contribuyen a que el sistema de anclaje se rigidice más.



**Figura 3.70 Tensión de Von Mises en la base inferior - cinta de anclaje
(Elaboración propia, 2021)**

**Tabla 3.52 Resultados de simulación de la base inferior - cinta de anclaje
(Elaboración propia, 2021)**

	Para 6 placas		Para 12 placas	
Variable	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Tensión de Von Mises	0 [MPa]	252.52 [MPa]	4.20×10^{-05}	252.975 [MPa]
Deformación equivalente	0	4.78×10^{-03}	8.56×10^{-09}	4.8010^{-03}
Desplazamiento	0 [mm]	3.66 [mm]	0 [mm]	3.70 [mm]
Coeficiente de seguridad	2.56	15	2.56	15

3.2.10 Sensores de condiciones ambientales

Para el monitoreo de las condiciones ambientales externas se estableció el uso de un sensor compacto modelo METSENS500 (ver Figura 3.71) el cual tiene la capacidad de medir parámetros ambientales tales como temperatura ambiente, humedad relativa, presión barométrica, velocidad y dirección del viento; y para las internas el sensor HygroVUE10 (ver Figura 3.72) que solo mide temperatura y humedad relativa. Los datos leídos por ambos sensores pueden ser enviados al ordenador de control por cualquiera de los siguientes modos de comunicación: Serial RS-232, RS-485, SDI-12, NMEA, Modbus, y ASCII.



Figura 3.71 Sensor METSENS 500 (Campbell scientific, 2021)



Figura 3.72 Sensor HygroVUE10 (Campbell scientific, 2021)

El sensor de radiación escogido CS320 (ver Figura 3.73) sirve para analizar si la captación de imagen de las fisuras de la superficie a reparar que realiza la cámara del dron no se ve afectada por la intensidad de la radiación solar, de tal manera que se pueda decidir que el VANT no realice vuelos de inspección en vano.



Figura 3.73 Sensor CS320 (Campbell scientific, 2021)

3.2.11 Baterías y calefactor

Se escogieron 4 baterías de litio que se muestran en Figura 3.74, donde 2 están destinadas a cargar el dron, 1 a proporcionar energía al calefactor y la última a proporcionar energía a los motores de la compuerta. En cuanto al calefactor, su función principal es mantener la humedad relativa óptima para el material que se valla a inyectar; se escogió un calefactor para autos como el que visualiza en la Figura 3.75, debido a que estos funcionan a 12 [V] y además porque la potencia es la suficiente para calentar el volumen del interior de un auto, siendo esta similar al volumen del habitáculo.



Figura 3.74 Batería portátiles de 250 [W] (Zelong, 2021)



Figura 3.75 Calefactor portátil 12 [V] y 150 [W] para vehículo (Amazon, 2021)

3.2.12 Ensamblaje del diseño final

A continuación, en la Figura 3.76, se muestra el ensamble del diseño final dónde se puede observar que el VANT se encuentra dentro del habitáculo. La altura final del ensamble es de 22.936 [m] desde el ras del suelo hasta la parte superior de la compuerta de acceso, su altura varía desde un mínimo de 4.5 [m] en pasos de 1.5 [m], siendo esto posible gracias a los eslabones de columna. La estructura se diseñó considerando 3 cables de acero los cuales ayudan a que la columna no se deflexiones tanto, pero por seguridad y de manera opcional se puede colocar otros 3 cables a 1/3 de la cima de la columna, reduciendo mucho más los efectos de la carga lateral del viento.



Figura 3.76 Ensamble de diseño final (Elaboración propia, 2021)

3.3 Análisis de costos

El proyecto tiene dos partes diferenciables por lo que el análisis de costo se lo realizó de manera separada. Para la mayoría de los componentes se priorizó que éstos serán adquiridos en el mercado local, para aquellos componentes que no tienen disponibilidad local se realizó la cotización en páginas web de compras, cabe recalcar que a estos componentes se les agregó el valor adicional por importación. Por otro lado, las piezas que necesitan fabricación local en talleres de metalmecánica, se realizó la cotización final del producto es decir que el valor considera materia prima y manufactura.

3.3.1 Análisis de costos del VANT

Para obtener costos confiables para el diseño final del VANT se realizaron cotizaciones claramente separadas por los sistemas: estructural, inyección y eléctrico. Las partes cotizadas son: materiales que se pueden adquirir como son los pernos, componentes del sistema de inyección, componentes del sistema eléctrico. También los elementos que necesitan realizarse por medio de manufactura tanto tradicional como manufactura 3D son presentadas en las tablas a continuación.

Costos de materiales

De la Tabla 3.53 hasta la Tabla 3.55 se muestran los costos de materiales y componentes disponibles en el mercado tanto local como internacional y páginas de venta tales como Amazon, Alibaba, e-bay, Marketplace, mercado libre Ecuador entre otras.

**Tabla 3.53 Costos de piezas de compra directa del sistema de inyección
(Elaboración propia, 2021)**

SISTEMA DE INYECCIÓN			
DETALLE	CANT.	COSTO UNIT. [\$]	COSTO TOTAL [\$]
Rodamiento SFK 6202 sellados	1	6.26	6.26
Rodamiento SFK 61903 sellados	1	18.45	18.45
Sello de empaquetadura de cordón PTK 28 HILO CON GRAFITO	1	191.00	191.00
Acople: husillo motor Nema23	1	3.99	3.99
Abrazadera de banda de V de diámetro 2.25 [in]	1	18.00	18.00
Motor stepper Nema 23 modelo D57CM31	1	95.66	95.66
Driver Nema 23 EM556S	1	75.00	75.00
Arduino Uno	1	14.99	14.99
Bateria Lipo 24 [V] y 4 [Ah]	1	42.53	42.53
Manguera 00R14 TEFLON LISO con sus acoples	1	35.00	35.00
Servo motor MG996R	1	15.00	15.00
SUBTOTAL [\$]		518.88	

**Tabla 3.54 Costos de los pernos cabeza hexagonal de compra directa
(Elaboración propia, 2021)**

PERNOS CABEZA HEXAGONAL			
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNIT. [\$]	COSTO TOTAL [\$]
M10x1.25x40	20	1.10	22.00
M10x1.25x16	6	0.65	3.90
M6x1.00x40	4	0.85	3.40
M6x1.00x25	2	0.55	1.10
M6x1.00x15	2	0.40	0.80
M4x0.70x20	20	0.35	7.00
M4x0.70x10	104	0.25	26.00
SUBTOTAL [\$]			64.20

**Tabla 3.55 Costos para piezas de compra directa del sistema eléctrico
(Elaboración propia, 2021)**

SISTEMA ELÉCTRICO			
DETALLE	CANT.	COSTO UNIT. [\$]	COSTO TOTAL [\$]
Motores brushless Titan T8110	6	263.91	1583.43
Helices PJP-T-L 24X9	6	90.00	540.00
ESC Pulse P80	6	98.99	593.94
Bateria de Ion Litio de 24 [V] 40 [Ah]	2	347.99	695.98
Controladora NAZA M-V2 y sus complementos	1	189.00	189.00
Radio control T8FB y receptor R8EH	1	41.33	41.33
iOSD Mini de DJI	1	76.49	76.49
Cámara FPV RunCam Swift 2 Mr. steele	1	92.71	92.71
SUBTOTAL [\$]			3 812.88

Costos de manufactura y fabricación

En la Tabla 3.56 y Tabla 3.57 se muestran los costos de componentes a ser obtenidos por procesos de mecanización y manufactura tanto convencional como aditiva. Los valores fueron cotizados en empresas especializadas.

Tabla 3.56 Costos de manufactura de componentes del sistema inyector (Elaboración propia, 2021)

SISTEMA INYECTOR			
DETALLE	CANT.	COSTO UNIT. [\$]	COSTO TOTAL [\$]
Reservorio: manufactura 3D material ABS y su acople para el ingreso	1	60.00	60.00
Husillo: manufactura tradicional de AISI 4140	1	1 504.73	1 504.73
Camisa: manufactura 3D material ABS y su tapa	1	80.00	80.00
Boquilla de Aluminio entre la camisa y la manguera de inyección	1	99.84	99.84
Acople: manufactura 3D material ABS entre el servo y tubo de la estructura	1	15.00	15.00
Acople: manufactura 3D material ABS entre el servo y la manguera	1	15.00	15.00
Boquilla inyectora de aluminio diámetro de salida 5 [mm]	1	48.41	48.41
SUBTOTAL [\$]			1 822.98

**Tabla 3.57 Costos de manufactura de componentes del sistema estructural
(Elaboración propia, 2021)**

SISTEMA ESTRUCTURAL			
DETALLE	CANT.	COSTO UNIT. [\$]	COSTO TOTAL [\$]
Placa hexagonal superior con Volumen 155861.628 [mm ³]	1	10	10
Placa hexagonal inferior con Volumen 182714.465 [mm ³]	1	10	10
Placa rectangular inferior con Volumen 11375.2 [mm ³]	1	10	10
Tubos brazos de diámetro 25.4 [mm] y longitud 390 [mm]	6	15	90
Tubos laterales estructura de diámetro 25.4 [mm]	4	20	80
Tubo brazo de inyección de diámetro 16.1 [mm] y longitud 838 [mm]	1	20	20
Soporte del rotor y uniones de componentes	1	70	70
Tubo de tren de aterrizaje de diámetro 12.7 [mm] y longitud 512 [mm]	1	10	10
SUBTOTAL [\$]			300.00

Costo total de la construcción del VANT

Se presenta la Tabla 3.58 con los valores totales.

Tabla 3.58 Costo total de la construcción del VANT (Elaboración propia, 2021)

PARÁMETRO	DETALLE	COSTO [\$]
Subtotal sistema de inyección	Fabricación	1 822.98
	Materiales	515.88
Subtotal de sistema estructural	Fabricación	300.00
	Materiales	64.20
Subtotal del sistema eléctrico	Materiales	3 812.88
COSTO TOTAL [\$]		6 515.94

Siendo \$ 6 515.94 el costo total de la construcción del VANT inyector de lechada de cemento.

3.3.2 Análisis de costos de la estación portable

Dentro de la estación portable, tenemos tres campos de piezas diferenciables, tales como: los que serán comprados directamente (ver Tabla 3.59), los que necesitan fabricarse en talleres de metalmecánica luego de la entrega de los respectivos planos (ver Tabla 3.60) y los que deben ser fabricados en industrias que cuenten con máquinas para el proceso de pultrusión o similar (ver Tabla 3.61).

Tabla 3.59 Costos para piezas de compra directa (Elaboración propia, 2021)

DETALLE	CANT.	COSTO UNIT. [\$]	COSTO TOTAL [\$]
Perno ¾ - 16 UNF x 9.5	6	7.75	46.50
Perno ¾ - 16 UNF x 4.5	6	4.50	27.00
Tuerca con arandela ¾ - 16 UNF	12	1.75	16.00
Tuerca con arandela M16 x 2.0 UNC	24	0.90	21.60
Espárrago M16 x 2.0 x 100	24	2.35	56.4
Perno ½ - 12 UNF x 2.5	3	2.35	7.05
Tuerca con arandela ½ - 12 UNF	3	0.80	2.40
Arandela plana ½	6	0.60	3.60
Sensor METSENS 500	1	730	730.00
Sensor CS320	1	241.65	241.65
Sensor HygroVUE10	1	17.40	17.40
Motor BEMONOC (43237-2) 12V	2	85.04	170.08
Batería de litio AC INVENRTER 60000 mAh 250 W	4	151.20	604.80
Calentador portátil 12 V 150 W	2	35.08	70.16
SUBTOTAL [\$]			2 014.64

Tabla 3.60 Costos para piezas manufacturadas en talleres de metalmecánica (Elaboración propia, 2021)

DETALLE	CANT.	COSTO UNIT. [\$]	COSTO TOTAL [\$]
Fabricación de anillos 100x19.51x10mm	12	10	120
Fabricación de anillos 100x12.7x x10 mm	12	10	120
Fabricación de brida	3	35	105
Fabricación y soldadura en ala de la brida	3	25	75
Fabricación de soportes de base	12	75	900
SUBTOTAL [\$]			1 320

Estas piezas deben ser fabricadas en taller de metalmecánica

Tabla 3.61 Costos para piezas manufacturas en industrias de proceso de pultrusión (Elaboración propia, 2021)

DETALLE	CANT.	COSTO UNIT. [\$]	COSTO TOTAL [\$]
Manufactura de la base inferior de la estación	1	2 182.62	2 182.62
Manufactura de eslabón de columna	13	250.75	3 259.75
Manufactura de la base superior de la estación	1	2.90	1 925.6
Manufactura del habitáculo	1	1 925.6	1 193.06
Manufactura de la base de la compuerta	1	1523.23	1 523.23
Manufactura de la sección del iris mecánico de la compuerta	5	135.20	676.00
Manufactura del accionador de la compuerta	1	1873	1873
SUBTOTAL [\$]			10 400.8

Estos valores son establecidos mediante el costo por cada kilogramo de materia prima

Costo total de la construcción de la estación portable

Se presenta la Tabla 3.62 con los valores totales.

Tabla 3.62 Costo total de la construcción de la estación portable (Elaboración propia, 2021)

DETALLE	COSTO [\$]
Piezas de compra directa	2 014.64
Piezas manufacturadas en taller de metalmecánica	1 320.00
Piezas manufacturas con proceso de pultrusión	10 400.8
SUBTOTAL [\$]	13 735.44

Siendo \$ 13 735.44 el costo total de la construcción de la estación portable.

3.3.3 Análisis de la inversión del proyecto

La inversión total de proyecto es de \$ 20 251.38, para lo cual se consideró una tasa mínima atractiva de retorno (TMAR) del 16%, adicionalmente se considera ganancias netas de \$4500 a final de cada año durante los primeros 6 años. Debido a la constante innovación tecnológica, después de los 6 años las ganancias disminuirán porque nuestro equipo no será eficiente con respecto a las nuevas tecnologías; por lo que se presumirá una disminución progresiva anual de \$500 durante 3 años.

El valor de salvamento al año 9 de los componentes del VANT y la estación será de \$5000, debido sobre todo por la estación portable ya que sus componentes son de GFRP (material con alta resistencia al desgaste) y su aplicación puede extenderse a ser una estación meteorológica o ser una estación para otros tipos de VANT. En la Tabla 3.63 se resumen los datos mencionados anteriormente y en la Tabla 3.64 se muestra el resultado del análisis de inversión del proyecto mediante el uso de los valores VPN y TIR.

Tabla 3.63 Datos para análisis de inversión del proyecto (Elaboración propia, 2021)

TMAR = 16%		Valor [\$]
Año 0	Inversión	20 251.38
Año 1-6	Ganancias	4500
Año 7	Ganancias	4000
Año 8	Ganancias	3500
Año 9	Ganancias	3000
Año 9	Valor de Salvamento	5000

Tabla 3.64 Resultados del análisis de inversión del proyecto (Elaboración propia, 2021)

VPN	\$ 916.46
TIR	17.25%

Analizando los resultados, se observa que en este proyecto el $VPN \geq 0$ y el $TIR \geq TMAR$, por lo tanto, se considera que el proyecto es rentable y conviene realizarlo a pesar de que el VPN es bajo, pero ayuda al empresario ampliar su cartera de contactos o inversiones.

3.4 Análisis de resultados

En este proyecto se presenta el diseño de un sistema conformado por un dron inyector de lechada de cemento compuesto por una bomba inyectora y un reservorio capaz de almacenar el material; y una estación portable de altura variable formada por una compuerta tipo iris mecánico, un habitáculo con sistema de carga para el dron, sensores y acondicionadores ambientales.

El resultado del diseño realizado para el dron que posee un brazo inyector de material conocido como lechada de cemento (ver figura 3.37, figura 3.38 y figura 3.39) tiene un costo de \$ 6 515.94 es capaz de lograr trabajos en altura de difícil acceso, la altura de reparación propuesta es de 160 metros sobre el nivel del mar. Sin embargo, se realizaron cálculos utilizando la teoría de autonomía vuelo del VANT, descrita anteriormente, manteniendo constante la temperatura de 25 grados Celsius; para una altitud de 1500 msnm la autonomía obtenida es de 35 minutos, para la ciudad Riobamba cuya altitud es de 2750 msnm la autonomía obtenida fue de 30 minutos, lo que muestra que el equipo diseñado es capaz de funcionar tanto en la costa ecuatoriana como Sierra. Las simulaciones realizadas en ANSYS demuestran la confiabilidad del equipo diseñado, los resultados se dividen en tres partes: estructurales, eléctricos y de inyección.

Para el sistema de inyección diseñado para el VANT se obtuvo la geometría de los cálculos de extrusión, la cual fue validada en ANSYS. El sistema está compuesto de la bomba de inyección y el brazo inyector encargados de expulsar el material de mezcla de cemento hacia el área de trabajo. La bomba se encuentra conformada por: reservorio, husillo, camisa, rodamientos, abrazaderas, sello de empaquetadura de cordón que evita que se salga el

fluido, boquilla que permite el acople a la manguera, motor, acople entre el husillo y el motor, batería y driver o controlador del motor.

Bajo los parámetros descritos en metodología: tiempo de llenado, área definida y tiempo de recorrido entre áreas, dada la capacidad nominal del reservorio de 7 litros cuando el reservorio es llenado y vaciado 4 veces, el área a reparar es aproximadamente 5 metros cuadrados. Bajo las condiciones propuestas de llenado y vaciado y condiciones de operación de la bomba propuestos (400 [rpm], presión interna de operación 515 [kPa]) se espera reparar 5 [m²] en 20 minutos.

Para el sistema estructural se realizó el diseño de la estructura de fibra de carbono obteniendo un peso estructural de 3.375 [kg] utilizando una densidad de fibra de 1750 [kg/m³]. El elemento más crítico de la estructura son los tubos de los brazos, para los cuales se realizó la simulación utilizando la fibra de carbono (ver Figura 3.19 y Figura 3.20). Se colocó un factor de seguridad FS de 1.5 obteniendo que los brazos empleados de diámetro 25.4 [mm] y de largo 390 [mm] no fallan. El tipo de dron seleccionado fue el hexacóptero, ya que, posee mayor estabilidad y fuerza de empuje. Aunque el centro de gravedad real se encuentra ubicado a 5 [mm] del centro de gravedad idea la distribución de las masas del diseño cumplen con los criterios de estabilidad.

El resultado del dron diseñado se puede comparar con diseños existentes en el mercado tales como: drones atomizadores de pintura para fachadas de edificios como lo es el caso de la empresa Apellix con sus drones “Apellix Worker Bee”, estos van equipados con un “sistema umbilical”; es decir, están conectados a una base (en suelo) por un conducto, este se conecta al dron que va equipado con una boquilla destinada a pintar superficies verticales (Grupo Cagel Comunicaciones, 2021). Los beneficios que ellos proponen a usar su dron son: reducción del tiempo de aplicación, poco desperdicio y seguridad en alturas.

También con drones que han sido desarrollados para fumigación de plantaciones de la marca DJI. Por lo tanto, nuestro resultado es comparado dentro de modelos similarmente geométricos. Las dimensiones del dron son: 742 x 1797 x 1906 [mm] brazos y hélices desplegadas, estas dimensiones se encuentran dentro del rango de equipos con enfoque de fumigación de plantaciones por lo que podemos decir que, en al menos en dimensiones, tiene una potencial aceptación comercial.

En cuanto a la estación portable para el dron, los resultados de las piezas de GFRP indican que los esfuerzos predominantes en la columna de la estructura se deben a la flexión debido a las cargas laterales del viento ya que la columna es muy esbelta, por tal motivo se colocan 3 cables de acero galvanizado 3/8" 7x1 que ayudan a disminuir este efecto y a evitar que haya desplazamientos excesivos en la cima, generando inseguridad en el reposo del VANT; dichos cables se los dispuso a 120° para garantizar estabilidad a la estructura ante cualquier dirección del viento. Debido a que la estructura se usará para reparar fisuras en edificios ubicados en algunos cascos urbanos densamente contruidos, se ubicó el anclaje de los cables al suelo a un radio de 4 [m] para no invadir mucho el espacio de la vía o calle transitada.

El elemento que une los cables con la estructura denominado brida o abrazadera se la diseñó considerando que la estructura tiene solo 3 cables y no 6 debido a que, en el proceso del ensamblaje, los ensambladores pueden colocar primero los 3 cables en la cima y después de los otros 3 cables cerca del medio de la columna y por lo tanto se asegura que los esfuerzos ocasionados por todas las cargas no afecten demasiado a la estructura antes de colocar los últimos 3 cables.

La implementación de una estructura con piezas portables y que encajan entre sí, es factible cuando el material de los elementos es ligero, por tal motivo se usó el GFRP guiándonos por trabajos realizados en el campo de estructuras, tal es el caso una viga híbrida compuesta por hormigón y perfil polimérico registrada como (España Patente nº 2701779, 2019) que posee una sección alveolar de GFRP y es armable por tramos; la metodología del armado de las piezas consiste en verter hormigón en el ala superior del perfil una vez que

estén enfiladas las secciones una detrás de otra; en el caso del ensamblado de columna de la estación portable, la metodología del armado de los eslabones y bases no hace uso de hormigón para unir las piezas debido a que la estación será desarmada después de usarla, por lo tanto, solo están unidos por calces macho y hembra en forma de Y que restringe movimientos transversales y rotarios. El análisis de la unión entre elementos se realizó mediante elementos finitos, arrojando resultados satisfactorios ante las cargas, sobre todo la carga lateral del viento que era la más crítica.

Analizando trabajos de construcción de estructuras compuestas por elementos que hagan uso del GFRP, se observa que este material se ha usado como refuerzo reemplazando al acero ya sea en forma de barras o en láminas; pero en este proyecto los elementos tanto estructurales como no estructurales se han diseñado de GFRP en su totalidad obteniendo buenos factores de seguridad ante las actuaciones de las cargas pero con el único inconveniente de que existe mucho desplazamiento en la cima de la columna debido a que el módulo de elasticidad es bajo, por tal motivo, se ubicó cables con cargas de pretensión cercana a 10% de la carga de rotura del cable de acero galvanizado 3/8" para mitigar el efecto a solo 1 metro de desplazamiento horizontal.

El sistema de descanso y carga para drones autónomos "Dronebox" de (H3DYNAMICS, 2021) , que es una caja de 450 kg y 2,7x1,42x1,96 [m] que dentro de sus funciones está cargar el dron de forma inalámbrica usando como fuente de energía unos paneles solares o baterías auxiliares y hacer mediciones meteorológicas con sensores lluvia, velocidad y dirección del viento; sirvió para guiarnos en el proceso de diseño de nuestra estación portable, estableciendo las mismas funcionalidades pero con las siguientes mejoras: nuestro diseño es de altura variable (hasta 23.435m considerando todas las piezas), nuestra fuente de carga es una batería de litio 60000mAh AC INVERTER portátil Solar Power Station 250W que hace uso de cableado y que puede ser recargada por energía solar o fuente local antes de la instalación de la estación, y por último, en cuanto a las sensores meteorológicos, se consideró unos equipos compactos y robustos que miden

varias variables climáticas en reducido número de equipos. Se escogieron los tipos de sensores en base al uso que se le van a dar, es decir si son para uso externo o interno; los sensores de ambiente externo sirven para indicar si las condiciones meteorológicas (temperatura, humedad relativa, presión barométrica, velocidad y dirección del viento, y radiación solar) son adecuadas para operar el VANT asegurando estabilidad en el vuelo y reparación de fisuras; en cuanto a los sensores de ambiente internos, sirven para verificar si el VANT necesita un acondicionamiento de temperatura y humedad, lo cual se logrará mediante un calefactor. Los sensores de ambiente externo están agrupados en un solo equipo especializado para ser usado en estaciones meteorológicas y tienen que ser ubicados a una altura de 1.8 a 2 [m] para asegurar que los datos recopilados no se vean afectados por interferencias por vórtices.

El análisis de costos del proyecto compuesto por equipo VANT – Estación portable indica que la fabricación de los elementos de GFRP por el proceso de pultrusión representa el 51.36% del costo total, es decir un poco más de la mitad del valor de todo el proyecto debido a que el proceso de manufactura denominado pultrusión genera productos en masa de piezas con moldes ya definidos y como nuestro posee piezas personalizadas se tendría que pagar un valor mucho más alto que una pieza comercial. En cuanto al análisis del flujo de caja del proyecto, éste indica que en un período de 9 años la rentabilidad del proyecto es relativamente baja, pero cabe recalcar que el uso de la estación se está limitando exclusivamente para el dron de este proyecto, caso contrario generaría más ingresos.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- El resultado del diseño del dron es capaz de reparar fisuras de hormigón en estructuras altas y de difícil acceso, tanto en la Costa como Sierra ecuatoriana; las simulaciones realizadas en ANSYS respaldan la confiabilidad del equipo diseñado. El tipo de dron seleccionado fue el hexacóptero, ya que, posee mayor estabilidad y fuerza de empuje, aunque el centro de gravedad real se encuentra ubicado a 5 [mm] del centro de gravedad ideal la distribución de las masas del diseño cumple con los criterios de estabilidad establecidos. Las dimensiones del dron son: 742 x 1797 x 1906 [mm] brazos y hélices desplegadas, estas dimensiones se encuentran dentro del rango de equipos con enfoque de fumigación de plantaciones, por lo que podemos decir que, en dimensiones, tiene una potencial aceptación comercial. El costo del VANT es aproximadamente de \$ 6 515.94.
- Para obtener un diseño confiable se han estudiado principios de funcionamiento de aeronaves no tripuladas, principalmente en multirrotores; un profundo análisis muestra que las principales variables que afectan a su funcionamiento son la capacidad de las baterías y el peso total del equipo, es por esto, que la eficiencia del equipo aumenta cuando el peso disminuye.
- La finalidad del uso de la estación portable es para reposar el dron a una altura variable desde 2.4 [m] hasta 21.9 [m], evitar que el VANT descienda demasiado, recargar su batería y analizar si las condiciones climáticas tales como presión atmosférica, humedad, temperatura y radiación solar por medio de sensores ambientales externos e internos son adecuadas para operar y climatizar el VANT con el propósito de que su rendimiento sea adecuado y su integridad no se vea afectada. Debido a que la estación

portable es de material GFRP, el cual es un elemento ligero, permite facilidad en la operación constructiva durante el ensamblaje de las piezas, de tal manera que se requiere equipos más livianos y se reduce costos asociados al transporte. El costo de la estación portable es de \$13 735.44.

- El diseño del equipo dron – estación portable aumenta la producción y disminuye los riesgos laborales en la reparación de fisuras de hormigón en estructuras de gran altura, requiere menor cantidad de personal, reduce costos y genera un menor impacto ambiental; además de que tiene como criterio principal la innovación el cual abre puertas a nuevas investigaciones.

4.2 Recomendaciones

- Se sugiere realizar pruebas en el laboratorio de la bomba del sistema de inyección, prestando principalmente atención a la presión de operación dentro de la carcasa de la bomba (en la entrada y la descarga del material) y de la velocidad de salida de la lechada de cemento. Los componentes principales sometidos a prueba sugeridos: husillo y camisa, por lo que, podrían ser mejorados para que se adapten a las condiciones reales manteniendo los parámetros de operación especificados.
- Se recomienda realizar otras simulaciones de fuerzas externas tales como: vibraciones dinámicas presentes en la estructura generada por los motores, la fuerza de arrastre del viento que provoca sobre el equipo en general cuando el equipo posee una velocidad de avance horizontal de 7 [m/s], por lo que, también se sugiere mejorar el diseño aerodinámico respecto a la velocidad del viento.
- Se debe someter a prueba la velocidad de salida de la bomba obtenida del ANSYS, la velocidad de impacto de 13 [m/s] a una distancia de 30 [cm] con respecto a la pared que presente fisuras a reparación. Y realizar una validación de la eficiencia de reparación sobre distintos tipos de fisuras.

- El equipo debe volar con carga útil y muerta, por lo que, esta debe ser balanceada y repartirse simétricamente en la estructura con la finalidad de no variar el control de gravedad CG real respecto al ideal, la mala distribución de masa genera un vuelo inestable y que los rotores sean forzados de manera diferente en cuanto a potencia.
- Antes de empezar un vuelo se deben verificar las condiciones climáticas, no se recomienda volar al equipo bajo las siguientes condiciones: ráfagas de viento fuerte, lluvia oscuridad.
- Se recomienda realizar el sistema de control del VANT diseñado principalmente un controlador PID, ya que, las respuestas del movimiento del equipo deben ser subamortiguadas y precisas. Manteniendo una respuesta inmediata. Esto es debido a que no es alcance del proyecto.
- Dado que ciertos componentes del VANT están diseñados para ser manufacturados con plástico ABS se sugiere que posean un recubrimiento de protección ante las condiciones de trabajo también que su pigmentación sea un poco oscura ya que estudios realizados muestran que dicha tonalidad aumenta la vida útil.
- Se recomienda realizar pruebas de laboratorio para conocer en cuánto afecta a la estabilidad si se conecta el sistema eléctrico de vuelo del dron junto al sistema inyector. Dado que si el pico del arranque del motor Nema 23 no genera inestabilidad se podría reducir una batería logrando restar peso.
- Se recomienda analizar el desempeño de la estructura portable ante acciones dinámicas tales como la presión dinámica del viento y un sismo para verificar la estabilidad de sus componentes estructurales; además se recomienda diseñar una losa o zapata de hormigón para anclar la base inferior al suelo.

- Mediante ingeniería en programación, se recomienda elaborar un programa que recopile los datos al ordenador de control por cualquiera de los modos de comunicación (Serial RS-232, RS-485, SDI-12, NMEA, Modbus y ASCII) y los relacione para poder realizar una toma de decisión para operar el VANT.
- Cuando se instale los cables, se deben tensarlo con un valor cercano al 10% de la carga de rotura mínimo, para aquello se debe hacer uso de tensiómetros para cables de acero. El proceso debe ser simultaneo y parejo en los 3 o 6 cables que se vayan a usar, para evitar esfuerzos de flexión en la columna ya que la finalidad de la pretensión de ellos cables es que la componente horizontal se anule y la vertical comprima a la columna.

BIBLIOGRAFÍA

- Addati, G., & Pérez, G. (2014). Introducción a los UAV's, drones o VANTS de uso civil. *ECONSTOR*, sf(551), 7-12.
- Albiol, J., Bonet, J., Mas, J., & Sánchez, M. (25 de febrero de 2019). *España Patente nº 2701779*. Recuperado el 20 de octubre de 2021, de http://www.oepm.es/pdf/ES/0000/000/02/70/17/ES-2701779_A1.pdf
- Alibaba. (s.f.).
- Alibaba. (2021). *Componentes DJI, controladores de vuelo, Naza-M V2 (incluye GPS), piezas de accesorios para drones*. Catálogo de productos. Obtenido de <https://spanish.alibaba.com/product-detail/in-stock-now-dji-components-flight-controllers-naza-m-v2-includes-gps-drone-accessories-parts-62376381742.html>
- AliExpress. (2021). *24V 4Ah Battery Pack*. Catálogo de producto. Obtenido de https://es.aliexpress.com/item/4000751282030.html?spm=a2g0o.search0302.0.0.14d82902f14bpi&algo_pvid=b1d3e010-5fee-4200-99c2-b0ed3df6b7ee&algo_exp_id=b1d3e010-5fee-4200-99c2-b0ed3df6b7ee-1
- AliExpress. (2021). *RadioLink-transmisor de Control remoto F18738/9 T8FB 2,4 GHz 8ch RC, receptor R8EF, Combo para helicóptero RC, DIY, Quadcopter, avión*. Catálogo de productos. Obtenido de <https://es.aliexpress.com/item/32742031561.html>
- Amazon. (2021). *2.25" Abrazadera de banda de V de acero inoxidable*. Obtenido de <https://www.amazon.com/-/es/2-25-abrazadera-banda-acero-inoxidable/dp/B07DK5LQQM>
- Amazon. (2021). *BEMONOC Motor de engranajes de ángulo recto PMDC de alto par 12 V reversible 50 RPM (caja de engranajes derecha) con eje roscado*. Catálogo de productos. Obtenido de https://www.amazon.com/BEMONOC-engranajes-reversible-derecha-roscado/dp/B01GJ4VPH2?ref_=ast_sto_dp
- Amazon. (2021). *Calentador portátil para coche, 12 V, 150 W, de alta potencia en el calentador de coche*. Catálogo de productos. Obtenido de https://www.amazon.com/-/es/Calentador-calentador-ventilador-calentamiento-descongelar/dp/B09KKZ3HW7/ref=sr_1_15?__mk_es_US=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crd=23L76B9GSF400&keywords=car+heater&qid=1642655283&srefix=calefactor+para+auto%2Caps%2C244&sr=8

- Amazon. (2021). *RunCam Swift Mini 2 Mr. Steele Edition 600TVL CCD FPV Cámara Inergrated OSD NTSC One Touch Escena Ajuste 0.098 in FOV 140° para FPV Quadcopter Racing Drone Mr. Steele Edition*. Catálogo de productos. Obtenido de <https://www.amazon.com/-/es/RunCam-Steele-600TVL-Inergrated-Quadcopter/dp/B083HWJLDB>
- Bacruflex. (2021). *Balflon SAE 100R14 - American Size - 10.2000*. Catálogo de producto.
- Bajaña, M. (2020). *Diseño y simulación de un dron para realizar fumigación en plantaciones de banano [Tesis de grado, ESPOL]*. Repositorio Institucional, Guayaquil.
- Bordignon, F. (2018). *Diseño e impresión de objetos 3D. Una guía de apoyo a escuelas*. Buenos Aires: UNIPE. Editorial Universitaria. Obtenido de <https://ri.unlu.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/rediunlu/789/Bordignon%20-%20disenioeimpresiondeobjetos3DV4.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bosh, M. T. (2012). *Diseño de un simulador de helicóptero [Tesis de grado, Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial de Terrassa]*. Repositorio Institucional, Terrassa, España. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/16772/Memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Boucher, P. (2015). Domesticating the Drone: The Demilitarisation of Unmanned Aircraft for Civil Markets. *Science and Engineering Ethics*, sf(sf), 1393-1412. doi:<https://doi.org/10.1007/s11948-014-9603-3>
- Budynas, R., & Nisbett, R. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (Octava ed.). McGraw-Hill.
- Calles, L. M. (2009). *Proyecto de prevencion de riesgos profesionales en obras de construccion enfocada en andamios*. Tesis de grado, Universidad San Francisco, Facultad Regional San Francisco, sf. Recuperado el 25 de octubre de 2021, de <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/1241/1/T-UTC-0866.pdf>
- Campbell scientific. (2021). *CS320. Piranómetro de termopila - salida digital*. Catálogo de productos. Obtenido de <https://www.campbellsci.es/cs320>
- Campbell scientific. (2021). *HygroVUE10. Temperature and relative humidity probe*. Catalógo de productos. Obtenido de <https://www.campbellsci.com/hygrovue10>
- Campbell scientific. (2021). *METSENS500*. Catálogo de productos. Obtenido de <https://www.campbellsci.com/metsens500>

- Carrillo, I. (2016). *Diseño y construcción de un quadcopter controlado por radio frecuencia [Tesis de grado, Universidad Internacional del Ecuador]*. repositorio institucional.
- CYPE. (2021). *Generador de precios*. (CYPE Ingenieros S.A.) Recuperado el 24 de octubre de 2021, de http://www.ecuador.generadordeprecios.info/rehabilitacion/calculaprecio.asp?Valor=100|0_1|0|0XA110|apr_0xa_110:_0_0_0_0_0_0_0_0_0_0_0_0
- Dirección general de aviación civil. (2021). *Gobierno del Encuentro*. Recuperado el 17 de octubre de 2021, de <https://www.aviacioncivil.gob.ec/ecuador-ya-cuenta-con-un-reglamento-para-el-uso-de-drones/>
- DJI. (2021). *DJI*. Recuperado el 17 de octubre de 2021, de <https://www.dji.com/mg-1>
- DJI. (2021). *IOSD MINI*. Catálogo de productos. Obtenido de <https://www.dji.com/iosd-mini>
- DJI Innovations. (2014). *Naza - M V2*. Especificaciones técnicas de producto. Obtenido de <https://www.dji.com/naza-m-v2/spec>
- DronesCíclope. (2021). *DronesCíclope*. Recuperado el 17 de octubre de 2021, de <http://www.dronesciclope.com/tipos-de-drones/>
- ebay. (2021). *Nuevo DRONE-Tek USA construido 24VDC 40Ah Bicicleta Eléctrica Batería drone radio control*. Obtenido de <https://www.ebay.com/itm/313703773521?hash=item490a33b551:g:XpoAAOSwYnJhX4ah>
- Electrostore. (2021). *SERVOMOTOR TOWER PRO MG996R 13 KG.CM STANDARD 180°*. Catálogo. Obtenido de <https://grupoelectrostore.com/shop/motores/servomotores/servomotor-tower-pro-mg996r-13-kg-cm-standard-180/>
- Gardner Business Media. (2020). Apellix y AkzoNobel desarrollan un dron para pintar controlado por computadora. *Products finishing*, sf(sf), sf.
- Gavarito, J. (2009). *Trabajo en Altura Protocolo*. Escuela colombiana de ingeniería. Colombia: sf. Obtenido de http://199.89.55.129/scorecolombia/documents_co/herramientas/M5/Material_tecnico_apoyo/SGSST_2015/3.%20Planificaci%C3%B3n/1.%20Accidente_Trabajo/Actividades_Alto_Riesgo/1.%20Alturas/Gu%C3%ADas/Protocolo_EINGENIERO S.pdf

- Gestión. (19 de julio de 2019). La construcción, un pilar de la economía debilitado por la pandemia. (K. Lucero, Ed.) *Gestión*. Recuperado el 24 de octubre de 2021, de <https://www.revistagestion.ec/economia-y-finanzas-analisis/la-construccion-un-pilar-de-la-economia-debilitado-por-la-pandemia>
- Giles, H., Mount, E., & Wagner, J. (2013). *Extrusion: The definitive processing guide and handbook*. (Segunda ed.). William Andrew. Recuperado el 29 de octubre de 2021
- González, R. (2019). Drones Aplicaciones en Ingeniería civil y Geociencias. *Interciencia*, 44(6), 326-331.
- Grupo Cagel Comunicaciones. (2021). ¿Drones en la construcción y arquitectura? *México proyecta, diseña y construye*, sf(4), sf. Obtenido de <http://www.revistaconstruye.com.mx/noticias/1512-%C2%BFdrones-en-la-construccion-y-arquitectura.html>
- H3DYNAMICS. (2021). *DBX*. Obtenido de <https://dbx.h3dynamics.com/>
- Hurtado, A. (2009). *Normativa de diseño por viento para prevenir daños en pórticos, galpones industriales, soportes de tuberías y estructuras tridimensionales en celosía para el Ecuador*. Tesis de maestría, Universidad técnica de Ambato, Facultad de ingeniería civil y mecánica. Centro de estudios de posgrado, Ambato. Recuperado el 1 de Diciembre de 2021, de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/2195/1/Maestr%C3%ADa%20E.S.R.%2060%20-%20Hurtado%20Yugcha%20Alex%20Bladimir.pdf>
- Ideconsa. (2019). *Ideconsa*. Recuperado el 17 de octubre de 2021, de <https://ideconsa.net/2019/04/17/drones-ingenieria-civil-2/>
- INCOM. (2021). *Cable mensajero de acero galvanizado 3/8"*. Catálogo.
- Kalpakjian, S. (2008). *Manufactura, ingeniería y tecnología* (Quinta ed.). Pearson Education.
- Kardasz, P. (17 de Septiembre de 2016). Drones and Possibilities of Their Using. *Journal of Civil & Environmental*, 6(sf), sf. doi:<http://dx.doi.org/10.4172/2165-784X.1000233>
- Leadshine Technology Co. Ltda. (2018). *CM Open Loop Stepper Motors*. Obtenido de <http://www.leadshineusa.com/UploadFile/Down/CM%20Motors.pdf>
- Liu, Y., Zwingmann, B., & Schlaich, M. (22 de Octubre de 2015). Carbon fiber reinforced polymer for cables structures. *MDPI*. doi:10.3390/polym7101501
- Masino S.A.C. (2021). *Manguera Hidráulica SAE-100-R14 LISO*. Catálogo de productos.

- Mecintec S.A. (2021). *Cotización de mecanizado de elementos del sistema de inyección*. Catálogo, Guayaquil.
- Mercado Libre.ec. (2021). *Acople flexible 8*8mm para motor a pasos*. Obtenido de https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-505864202-acople-flexible-8mm-a-8mm-eje-motor-pasos-cnc-electrostore-_JM#redirectedFromParent
- Muprespa. (sf de Junio de 2006). Seguridad y salud en mi trabajo. Manual de prevención de riesgos laborales. Trabajos en altura avanzado. (275). Madrid, España: GSM Impresores S.A. Recuperado el 17 de octubre de 2021, de <https://www.fraternidad.com/descargas/previene/manuales/PR-MAN-26-0-TRABAJO%20EN%20ALTURA%20AVANZADO.pdf>
- NEC. (2015). *Norma ecuatoriana de la construcción: Cargas (No sísmicas)*. República del Ecuador, Ministerio de desarrollo urbano y vivienda. Quito: Dirección de comunicación social , MIDUVI. Recuperado el 1 de Diciembre de 2021
- Nieto, E. (5 de Abril de 2020). Desarrollo de un modelo matemático, cinemático y dinámico con la aplicación de software, para modificar el funcionamiento de un dron, para que este realice monitoreo automático. *Recimundo*, 4(1), 332-343. doi:10.26820/recimundo/4.(1).esp.marzo.2020.332-343
- Nyemba, W. (2020). Conceptualization, development and design of a mortar spraying machine. *ELSEVIER*, sf(sf), sf. doi:10.1016/j.procir.2020.03.105
- Odremán, J. (2014). *Impresión 3D en la industria: un acercamiento a la tecnología y su influencia en la industria petrolera*. Nota técnica, Universidad Nacional Experimental Politécnica "Antonio José de Sucre", Dirección de investigación y postgrado, Guayana. Obtenido de <http://ve.scielo.org/pdf/uct/v18n73/art03.pdf>
- Oña, C. (2015). Evaluación y prevención de riesgos de trabajo en alturas de los técnicos de la corporación nacional de telecomunicaciones CNT E.P.[Tesis de grado,Universidad de Guayaquil]. 2015. Repositorio Institucional, Guayaquil. Recuperado el 17 de octubre de 2021, de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/20957/1/HOJA%20INICIAL.pdf>
- Orna, J. (2015). *Diseño, construccion y control de un hexacoptero de monitoreo [Tesis de magister,Universidad Politecnica Nacional]*. Repositorio Institucional.
- Padrón, F. (s.f.). *Manual de baterías y acumuladores*. Manual, Universidad Pontificia Bolivariana, Estudiante de Ingeniería Electrónica. Obtenido de https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2018-05-24_12-50-46144398.pdf

- Parnás, V., Martín, P., Carrasco, A., Fernández, I., & López, A. (2012). *Metodología de cálculo de torres atirantadas de telecomunicaciones bajo la acción del viento*. Monografía, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Departamento de Ingeniería civil.
- Pascual, A. (2019). *Comparativa entre motores brushed y brushless [Trabajo de Fin de Master, Universidad Oberta de Cataluña]*. Repositorio Institucional. Obtenido de http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/89945/3/antoniopascual_vTFM0119memoria.pdf
- Paucar, R. (2018). Impacto de Accidentes laborales en el sector de la construcción de la ciudad de Quito [Tesis de licenciatura, Universidad de Fuerzas Armadas]. 2018. Repositorio Institucional, Quito. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/14088/1/T-ESPE-057646.pdf>
- Primicias. (7 de enero de 2021). La construcción trabaja en tres frentes para reactivarse en 2021. (G. Coba, Ed.) *Primicias*. Recuperado el 24 de octubre de 2021, de <https://www.primicias.ec/noticias/economia/construccion-trabaja-tres-frentes-reactivacion-ecuador-economia/>
- Roche, L. (2019). *Sistema de estabilización y control de un dron, mediante arduino para video vigilancia, de las barras de los equipos de la Liga Rodrigo Paz [Tesis de grado, Universidad tecnologica Israel]*. Repositorio Institucional, Quito. Obtenido de <http://repositorio.uisrael.edu.ec/bitstream/47000/2120/1/UISRAEL-EC-ELDT-378.242-2019-056.pdf>
- Ruipérez, P. (2016). *Diseño y fabricación de un dron [Tesis de grado, Universidad Politecnica de Valencia]*. Repositorio institucional, Valencia, Valencia, España. Recuperado el octubre de 2021, de <http://hdl.handle.net/10251/73170>
- Saavedra, W. (2017). *Desarrollo de tecnología para la elaboración de duraluminio en abse a la norma ASTM-B211 con aplicación en a fabricación de elementos de maquiaria*. Universidad de las Fuerzas Armadas, Departamento de ciencias de la energía y mecánica, Sangolquí. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/13488/1/T-ESPE-057394.pdf>
- Saldaña, J. (2016). Análisis y selección de las plataformas digitales y componentes de potencia para accionar un dron de fabricación propia. *Academia Journals*, 8(2), sf. Recuperado el 5 de Noviembre de 2021, de https://www.researchgate.net/profile/Roberto-Morales-Caporal/publication/300947400_Analisis_y_Seleccion_de_las_Plataformas_Digit

ales_y_Componentes_de_Potencia_para_Accionar_un_Dron_de_Fabricacion_P
ropia/links/570b19ce08ae2eb942200601/Analisis-y-Seleccion-

Sanz, G. (2016). *Optimización estructural y aerodinámica de la plataforma alar de un avión UAV*. Trabajo de Fin de grado, Universidad Carlos III de Madrid, Departamento de mecánica de medios continuos y teoría de estructuras. Obtenido de https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/24761/TFG_Gabriel_Sanz_Senor_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Savgorodny, V. (1973). *Transformación de plásticos*. Barcelona: Gustavo Gili. Recuperado el 30 de octubre de 2021

ServiIndustrial. (2021). *PTK 28 Hilo con grafito*. Catálogo de producto, Quito. Obtenido de <http://www.serviindustrial.com/index.php/ds/emabalaje-y-selladores?id=88:1077g&catid=27:emabalaje-y-selladores>

Shakir, I., Odaa, S., Hasan, K., & Jasim, M. (2020). Properties evaluation of fiber reinforced polymers and their constituent materials used in structures. *Elsevier*, 2-3. Recuperado el 27 de noviembre de 2021, de <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2214785320357618?token=3EE7CB4B9362717AD1445963FB72CFB24FE958CC4D430F06F2903804C3F132B5661A9DB44056B22B8266750F95153A47&originRegion=us-east-1&originCreation=20211203161928>

Teknika4. (2021). Obtenido de <https://www.teknika4.com/es/aluminio-2017>

TranslatorsCafe. (2017). *Convertidor de unidades*. Recuperado el 5 de diciembre de 2021, de <https://www.translatorscafe.com/unit-converter/es-ES/calculator/altitude/#altitude-scheme-big>

UPV. (1 de Marzo de 2021). *Universidad Politécnica de Valencia*. Recuperado el 30 de octubre de 2021, de <http://www.upv.es/noticias-upv/noticia-12722-vigas-impresas-es.html>

Vempati, A. S. (Junio de 2018). PaintCopter: An Autonomous UAV for Spray Painting on 3D Surfaces. *IEEE Robotics and Automation Letters*, sf(sf), sf. doi:10.1109/LRA.2018.2846278

Vite Rodríguez, H. (2019). *Cementación primaria con lechadas de cmeentos de baja densidad en formaciones de baja presión*. Piura, Perú: Universidad nacional de Piura. Recuperado el 20 de octubre de 2021, de

<https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/1976/PET-VIT-ROD-2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Wevolver. (2021). *Disney Research PaintCopter*. Recuperado el octubre de 2021, de Wevolver: <https://www.wevolver.com/wevolver.staff/paintcopter>

Womer, T. (Abril de 2005). Tecnología del de plástico. Recuperado el 31 de octubre de 2021, de <https://www.plastico.com/temas/Lo-que-usted-debe-saber-sobre-diseno-de-tornillos+3038729>

Xoar. (2021). *Pulse ESC P80*. Catálogo de productos. Obtenido de <https://shop.xoarintl.com/collections/esc/products/pulse-esc-p80>

Xoar. (2021). *Titan T8000*. Catálogo de producto. Recuperado el Diciembre de 2021, de <https://www.xoarintl.com/brushless-electric-motors/titan/titan-T8000-heavy-lifting-series/>

Xoar. (2021). *XOAR PJP-T-L 24x9 2490 Precision Pair Carbon Fiber Propellers for Multicopter*. Catálogo de productos. Obtenido de <https://shop.xoarintl.com/products/xoar-pjp-t-l-24x9-2490-precision-pair-carbon-fiber-propellers-for-multicopter>

Zelong. (2021). *60000mAh batería de litio AC INVERTER portátil Solar Power Station para el uso de emergencia exterior*. Catálogo de productos. Obtenido de https://es.made-in-china.com/co_zelong/product_60000mAh-Lithium-Battery-AC-Inverter-Solar-Portable-Power-Station-for-Outdoor-Emergency-Use_uoyuurnshy.html

Zhipeng, X. (30 de Junio de 2020). Estimation of Viscosity and Yield Stress of Cement Grouts at True Ground Temperatures Based on the Flow Spread Test. *Materials*, 23. doi:10.3390/ma13132939

APÉNDICES

APÉNDICE A

CÁLCULOS DEL SISTEMA INYECTOR

A.1 Profundidad del canal, ancho y ángulo de hélice

De un rango de relaciones se escoge $L/D = 10$, y $D = 0.04$ se tiene que la longitud del tornillo extrusor es:

$$L = 0.4 \text{ m}$$

Iterando el valor de la profundidad del canal H , y tomando como referencia valores de extrusión de pellets optamos por 0.325 veces el diámetro exterior del husillo. Para obtener W se escoge 0.75 veces el diámetro exterior. Se obtiene:

$$H = 0.325 * D$$

$$H = 0.013 \text{ m}$$

$$W = 0.75 * D$$

$$W = 0.03 \text{ m}$$

Este valor del ancho del canal W no fue utilizado, se utilizó un valor de 0.04411[m] para obtener los resultados deseados. El diámetro menor del husillo D_m , es decir la sección sin considerar las hélices resulta:

$$D_m = D - 2H$$

$$D_m = 0.04 - 2 * 0.013$$

$$D_m = 0.014[m]$$

Se procede a calcular el ángulo de la hélice, con el diámetro menor establecido:

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{W}{\pi D_m} \right)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{0.03}{\pi 0.014} \right)$$

$$\theta = 34.29^\circ$$

A.2 Longitudes de secciones del husillo

El husillo está dividido en tres secciones que deben tener longitudes iguales, las cuales son longitud de alimentación, de transición y de bombeo.

Según lo recomendado por (Womer, 2005), la longitud de la sección de alimentación es de 4 a 5 veces el diámetro del husillo, para este caso se escoge la siguiente relación:

$$\frac{L_{sa}}{D} = 4$$

$$L_{sa} = 0.16 \text{ m}$$

Para la sección de transición (Womer, 2005) recomienda entre 4 a 10 veces el diámetro, para este caso se escoge la siguiente relación:

$$\frac{L_{st}}{D} = 4$$

$$L_{st} = 0.16 \text{ m}$$

Considerando que las tres secciones componen la sección total, se procede a calcular la longitud de la sección de bombeo:

$$L_{sb} = L - L_{sa} - L_{st}$$

$$L_{sb} = 0.08 \text{ m}$$

A.3 Longitud de trabajo y número de filetes del husillo

(Savgorodny, 1973) indica un valor de 0.6 a 0.9 por la longitud del husillo, donde 0.6 recomienda para diámetro grande y 0.9 para pequeños, para este caso se escoge el valor:

$$\frac{l}{L} = 0.9$$

$$l = 0.36 \text{ m}$$

El número de hélices o filetes se calcula así:

$$\# = \frac{l}{D}$$

$$\# = 9$$

APÉNDICE B

SIMULACIONES REALIZADAS A LA CARCAZA DE LA BOMBA

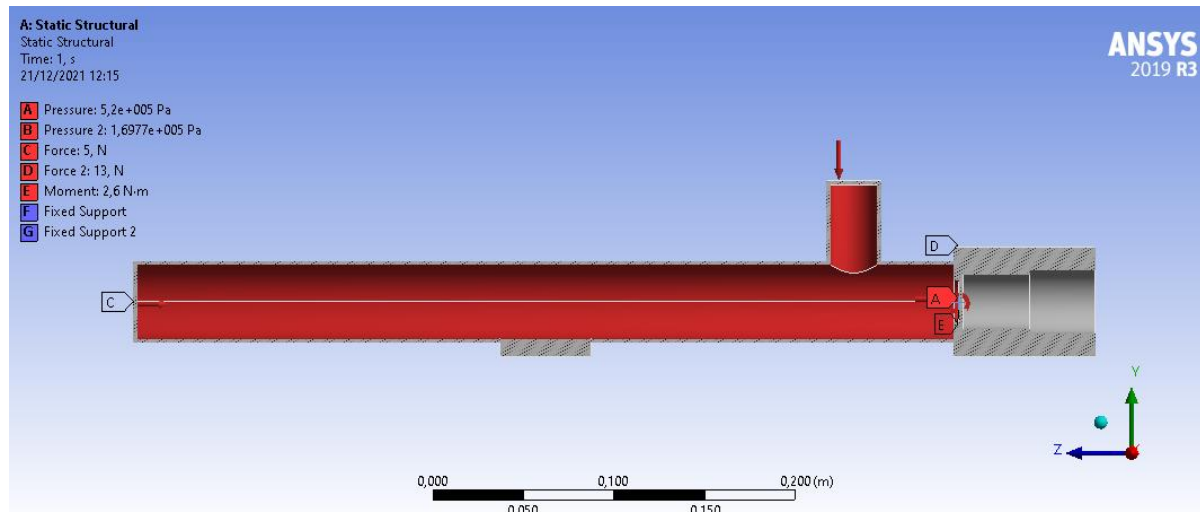


Figura B.1 Diagrama de fuerzas es vista de corte (Elaboración propia, 2021)

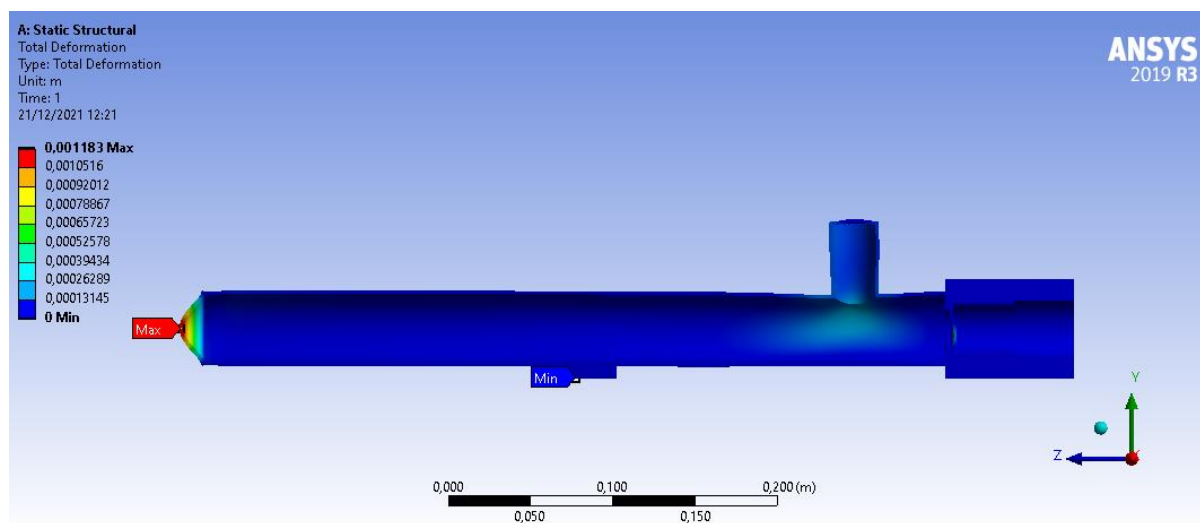


Figura B.2 Deformación total en vista de corte (Elaboración propia, 2021)

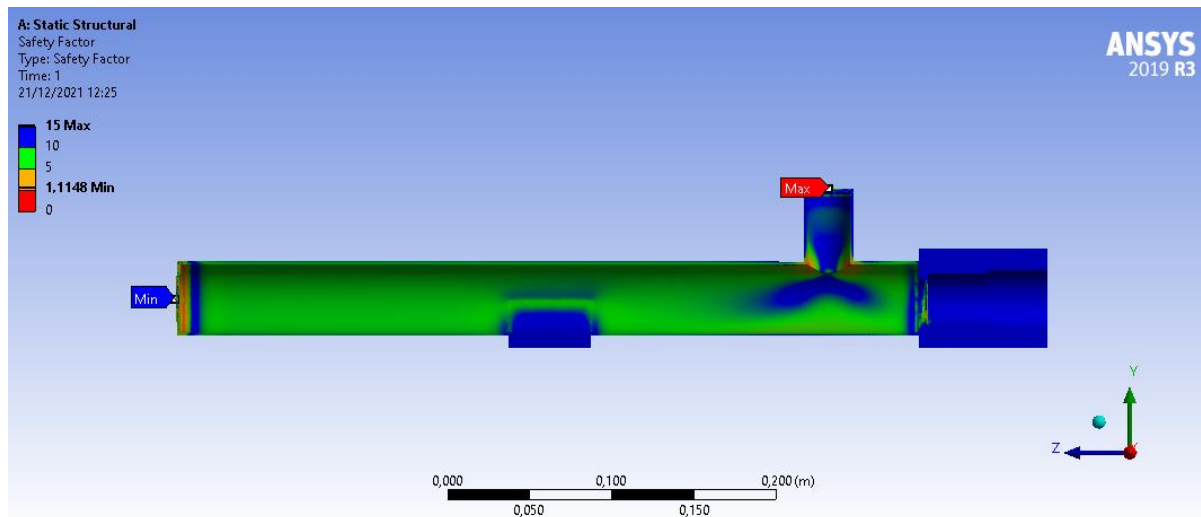


Figura B.3 Factor de seguridad con la deformación estructural en vista de corte (Elaboración propia, 2021)

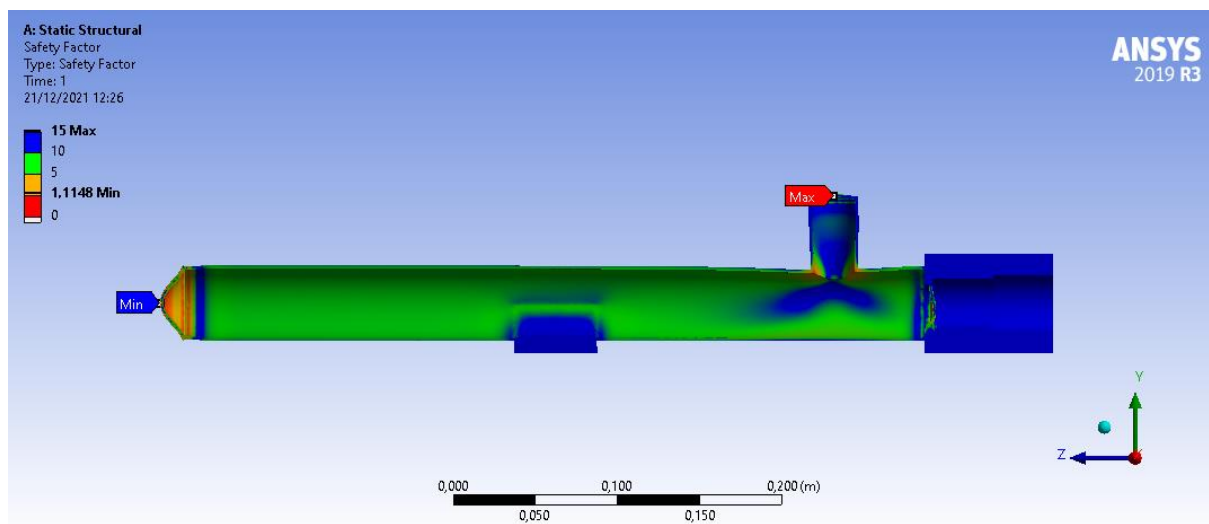


Figura B.4 Factor de seguridad con la deformación aumentada en vista de corte (Elaboración propia, 2021)

Tabla B.1 Simulaciones realizadas de la bomba inyectora (Elaboración propia, 2021)

No Simulación	Rpm	Velocidad entrada de fluido	Presión interna camisa	Diámetro boquilla Salida	Velocidad boquilla Salida	Fuerza Reacción
1	1200	4.50 [m/s]	405.00 [kPa]	14.28 [mm]	21.00 [m/s]	12.40 [N]
2	900	3.14 [m/s]	158.2 [kPa]	14.28 [mm]	14.70 [m/s]	30.50 [N]
3	900	3.14 [m/s]	14.40 [MPa]	5.00 [mm]	25.00 [m/s]	304.70 [N]
4	600	2.88 [m/s]	164.50 [kPa]	14.28 [mm]	11.58 [m/s]	27.00 [N]
5	600	2.88 [m/s]	16.00 [MPa]	5.00 [mm]	80.00 [m/s]	252.60 [N]
6	400	0.35 [m/s]	500.00 [kPa]	5.00 [mm]	12.80 [m/s]	5.00 [N]

APÉNDICE C

CÁLCULOS DE LOS RODAMIENTOS SELECCIONADOS

Se tiene solo carga radial R y no se tiene carga Axial T sobre el rodamiento de bolas, se utiliza el catalogo SKF

$$R = 132.36 [N]; \quad T = 0$$

Dado que el reservorio y el material producen una fuerza de 119.36 [N] muy cerca del rodamiento se toma $R = 132.36 [N]$;

Se tienen los siguientes datos de operación:

Temperatura 24 °C

Diametro interno: 17 mm

Revoluciones: 400 rpm

Contaminación típica

$$P = VxR + YT$$

Se debe tomar $x = 0.56$ (factor radial de tabla) y $V = 1$

$$P_d = 0.56(132.36) = 74.1216[N]$$

Establecemos una vida útil de $L_d = 10$ años de operación girando a 400RPM.

$$L_d = 10 \text{ años} = 87600[h]$$

$$L_d = 87600[h] \times \left[400 \frac{rev}{min}\right] \times \left[60 \frac{min}{h}\right]$$

$$L_d = 2.1024 \times 10^9 [rev]$$

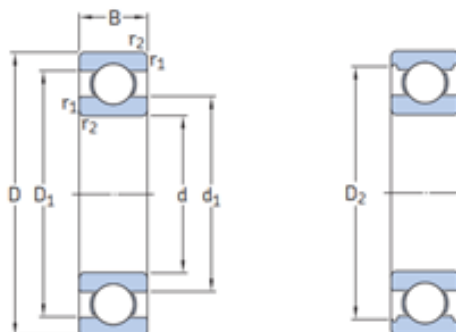
$$C = P_d \left[\frac{L_d}{10^6} \right]^{\frac{1}{k}} \quad \text{para rodamientos de bolas } k = 3$$

$$C = 74.1216 \left[\frac{2.1024 \times 10^9}{10^6} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$C = 949.48[N]$$

El C de carga es de aproximadamente 1 [kN] se elige el rodamiento

1.1 Rodamientos rígidos de una hilera de bolas d 12 – 22 mm



Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designación
d	D	B	C	C ₀	P _u	Velocidad de referencia	Velocidad límite		
mm			kN		kN	r. p. m.		kg	–
12	21	5	1,74	0,915	0,039	70 000	43 000	0,0063	61801
	24	6	2,91	1,46	0,062	67 000	40 000	0,011	61901
	28	8	5,4	2,36	0,1	60 000	38 000	0,021	* 6001
	30	8	5,07	2,36	0,1	60 000	38 000	0,026	16101
	32	10	7,28	3,1	0,132	50 000	32 000	0,037	* 6201
	37	12	10,1	4,15	0,176	45 000	28 000	0,06	* 6301
15	24	5	1,9	1,1	0,048	60 000	38 000	0,0065	61802
	28	7	4,36	2,24	0,095	56 000	34 000	0,016	61902
	32	8	5,85	2,85	0,12	50 000	32 000	0,03	* 16002
	32	9	5,85	2,85	0,12	50 000	32 000	0,03	* 6002
	35	11	8,06	3,75	0,16	43 000	28 000	0,045	* 6202
	42	13	11,9	5,4	0,228	38 000	24 000	0,082	* 6302
17	26	5	2,03	1,27	0,054	56 000	34 000	0,0075	61803
	30	7	4,62	2,55	0,108	50 000	32 000	0,016	61903
	35	8	6,37	3,25	0,137	45 000	28 000	0,038	* 16003
	35	10	6,37	3,25	0,137	45 000	28 000	0,038	* 6003
	40	12	9,95	4,75	0,2	38 000	24 000	0,065	* 6203
	40	12	11,4	5,4	0,228	38 000	24 000	0,064	6203 ETN9
20	47	14	14,3	6,55	0,275	34 000	22 000	0,11	* 6303
	62	17	22,9	10,8	0,455	28 000	18 000	0,27	6403
	32	7	4,03	2,32	0,104	45 000	28 000	0,018	61804
	37	9	6,37	3,65	0,156	43 000	26 000	0,037	61904
	42	8	7,28	4,05	0,173	38 000	24 000	0,05	* 16004
	42	12	9,95	5	0,212	38 000	24 000	0,067	* 6004
22	47	14	13,5	6,55	0,28	32 000	20 000	0,11	* 6204
	47	14	15,6	7,65	0,325	32 000	20 000	0,098	6204 ETN9
	52	15	16,8	7,8	0,335	30 000	19 000	0,14	* 6304
	52	15	18,2	9	0,38	30 000	19 000	0,14	6304 ETN9
	72	19	30,7	15	0,64	24 000	15 000	0,41	6404
	50	14	14	7,65	0,325	30 000	19 000	0,13	62/22
	56	16	18,6	9,3	0,39	28 000	18 000	0,18	63/22

* Rodamiento SKF Explorer

Figura C.1 Catálogo SKF de rodamientos seleccionados (Elaboración propia, 2021)

APÉNDICE D

FICHAS TECNICAS DE COMPONENTES DEL SISTEMA INYECTOR

Descripción								
Código	Diámetro		Espesor		Diámetro Exterior	Presión trabajo	Peso metro	Rollos Aprox de:
	Interior		de pared					
	Pulg.	mm	mm	mm				
MHR14000108	1/8"	3.2	1.6	6.4	233	3500	-	100
MHR14000316	3/16"	4.8	1.3	7.3	233	3500	-	50
MHR14000104	1/4"	6.4	1.5	9.4	200	3000	-	50
MHR14000516	5/16"	7.9	1.6	11.2	167	2500	-	50
MHR14000308	3/8"	9.5	1.8	13.0	133	2000	-	50
MHR14000102	1/2"	12.7	1.7	16.0	117	1750	-	30
MHR14000508	5/8"	15.9	1.7	19.3	100	1500	-	30
MHR14000304	3/4"	19.1	1.6	22.4	67	1000	-	30
MHR14000708	7/8"	22.2	1.7	25.6	67	1000	-	50
MHR14010000	1"	25.4	1.7	28.7	67	1000	-	30

Figura D.1 Datasheet de la manguera del sistema de inyección 1 (Bacruflex, 2021)

BALFLON SAE 100R14 – AMERICAN SIZE – 10.2000.

According to **SAE J517** type **SAE 100R14 A**

High pressure, single steel wire reinforced hydraulic hose with smooth PTFE lining

Inner tube: seamless smooth polytetrafluorethylene (PTFE)

Cover: 1 stainless steel wire braid

Safety factor: 4: 1

Application: water base, petroleum base or synthetic base hydraulic fluids, corrosive, food liquids and high temperature gases and liquids.

Temperature range: - 50°C (- 58°F) + 200°C (+ 392°F)

Couplings: crimped fittings 23 serie with ferrules series 20.107.

part number	Ø nom.	dash size	Ø internal		Ø external		working pressure		min. burst pressure		min. bend radius		weight
			mm	inch	mm	inch	MPa	PSI	MPa	PSI	mm	inch	
10.2001.03	1/8"	- 3	3,2	0.13	6,3	0.25	27.5	3900	110.0	15600	40	1.57	0,07
10.2000.04	3/16"	- 4	4,8	0.19	7,6	0.30	19.0	2755	76.0	11020	55	1.97	0,07
10.2000.05	1/4"	- 5	6,3	0.25	8,8	0.35	18.0	2610	72.0	10440	75	2.95	0,09
10.2000.06	5/16"	- 6	8,0	0.31	11,0	0.43	17.5	2538	70.0	10152	100	3.94	0,13
10.2000.08	3/8"	- 8	10,3	0.41	13,0	0.51	14.2	2059	56.8	8236	120	4.72	0,16
10.2000.10	1/2"	- 10	12,7	0.50	15,7	0.62	12.0	1740	48.0	6960	140	5.51	0,21
10.2000.12	5/8"	- 12	16,0	0.63	19,3	0.76	10.5	1523	42.0	6092	165	6.50	0,26
10.2000.16	7/8"	- 16	22,0	0.88	26,1	1.03	6.8	970	27.2	3880	240	9.45	0,36
10.2000.20	1.1/8"	- 20	28,6	1.13	32,6	1.28	4.4	638	17.6	2552	330	13.0	0,53

Figura D.2 Datasheet de la manguera del sistema de inyección 2 (Bacruflex, 2021)

MG996R High Torque Metal Gear Dual Ball Bearing Servo

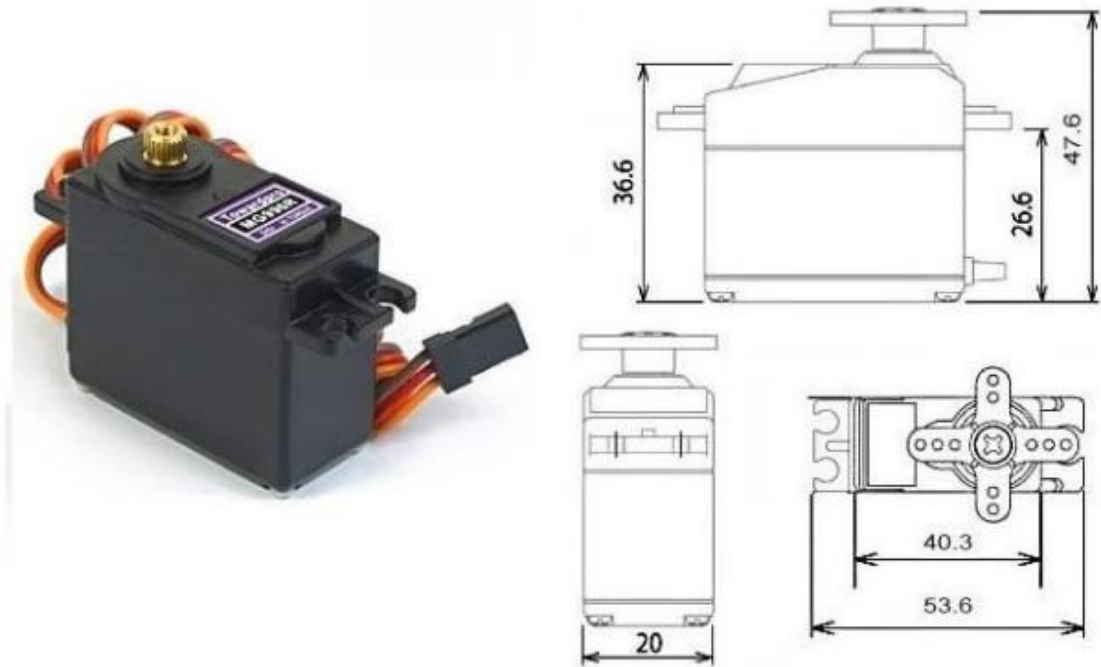


Figura D.3 Medidas del MG996R (Electrostore, 2021)

APÉNDICE E

MODELO VIRTUAL DEL SISTEMA DE INYECCIÓN

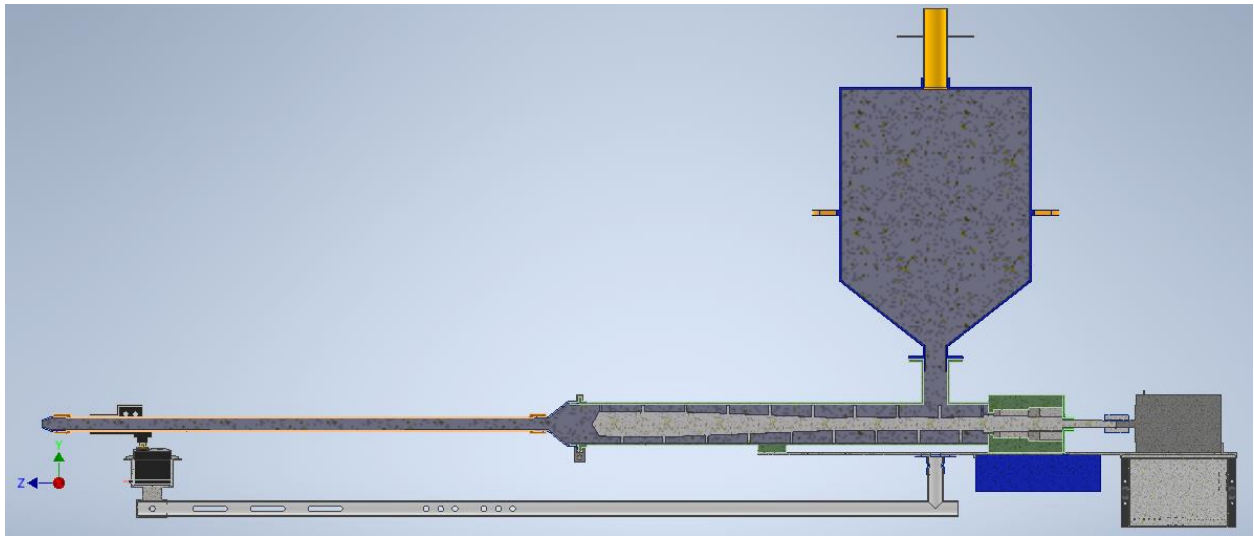


Figura E.1 Vista de corte con el material de la lechada de cemento ingresado
(Elaboración propia, 2021)

APÉNDICE F

SIMULACIÓN DE LA PIEZA CRÍTICA

Properties of Outline Row 11: Epoxy Carbon Woven (230 GPa) Wet			
	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	Density	1451	kg m ⁻³
3	Orthotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion		
8	Orthotropic Elasticity		
9	Young's Modulus X direction	5,916E+10	Pa
10	Young's Modulus Y direction	5,916E+10	Pa
11	Young's Modulus Z direction	7,5E+09	Pa
12	Poisson's Ratio XY	0,04	
13	Poisson's Ratio YZ	0,3	
14	Poisson's Ratio XZ	0,3	
15	Shear Modulus XY	3,3E+09	Pa
16	Shear Modulus YZ	2,7E+09	Pa
17	Shear Modulus XZ	2,7E+09	Pa
18	Orthotropic Stress Limits		
18	Orthotropic Stress Limits		
19	Tensile X direction	5,13E+08	Pa
20	Tensile Y direction	5,13E+08	Pa
21	Tensile Z direction	5E+07	Pa
22	Compressive X direction	-4,37E+08	Pa
23	Compressive Y direction	-4,37E+08	Pa
24	Compressive Z direction	-1,5E+08	Pa
25	Shear XY	1,2E+08	Pa
26	Shear YZ	5,5E+07	Pa
27	Shear XZ	5,5E+07	Pa
28	Orthotropic Strain Limits		
38	Tsai-Wu Constants		

Figura F.1 Propiedades de la fibra de carbono Woven data ANSYS (Elaboración propia, 2021)

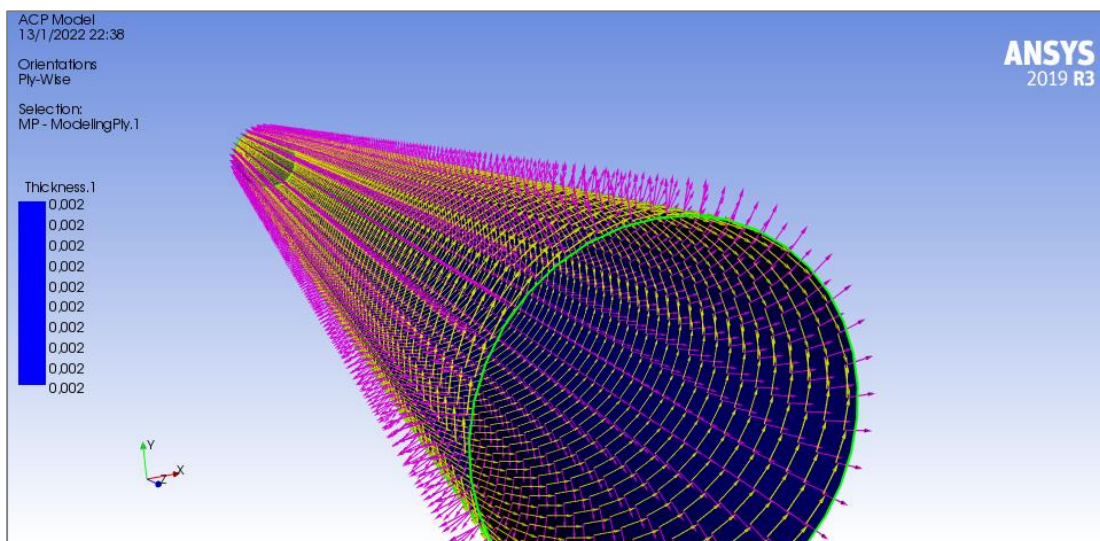


Figura F.2 Definición de las fibras y orientaciones (Elaboración propia, 2021)

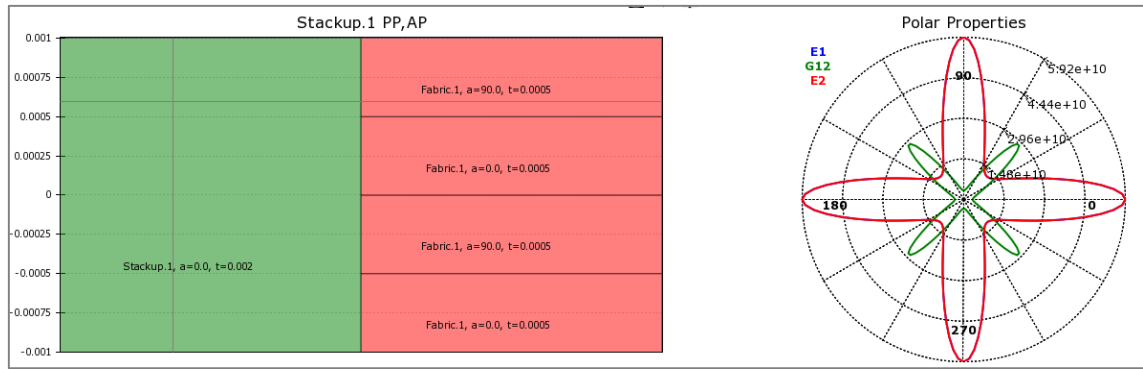


Figura F.3 Definición del espesor de la fibra y las propiedades polares (Elaboración propia, 2021)

APÉNDICE G

FICHAS TÉCNICAS COMPONENTES ELECTRÓNICOS DEL VANT

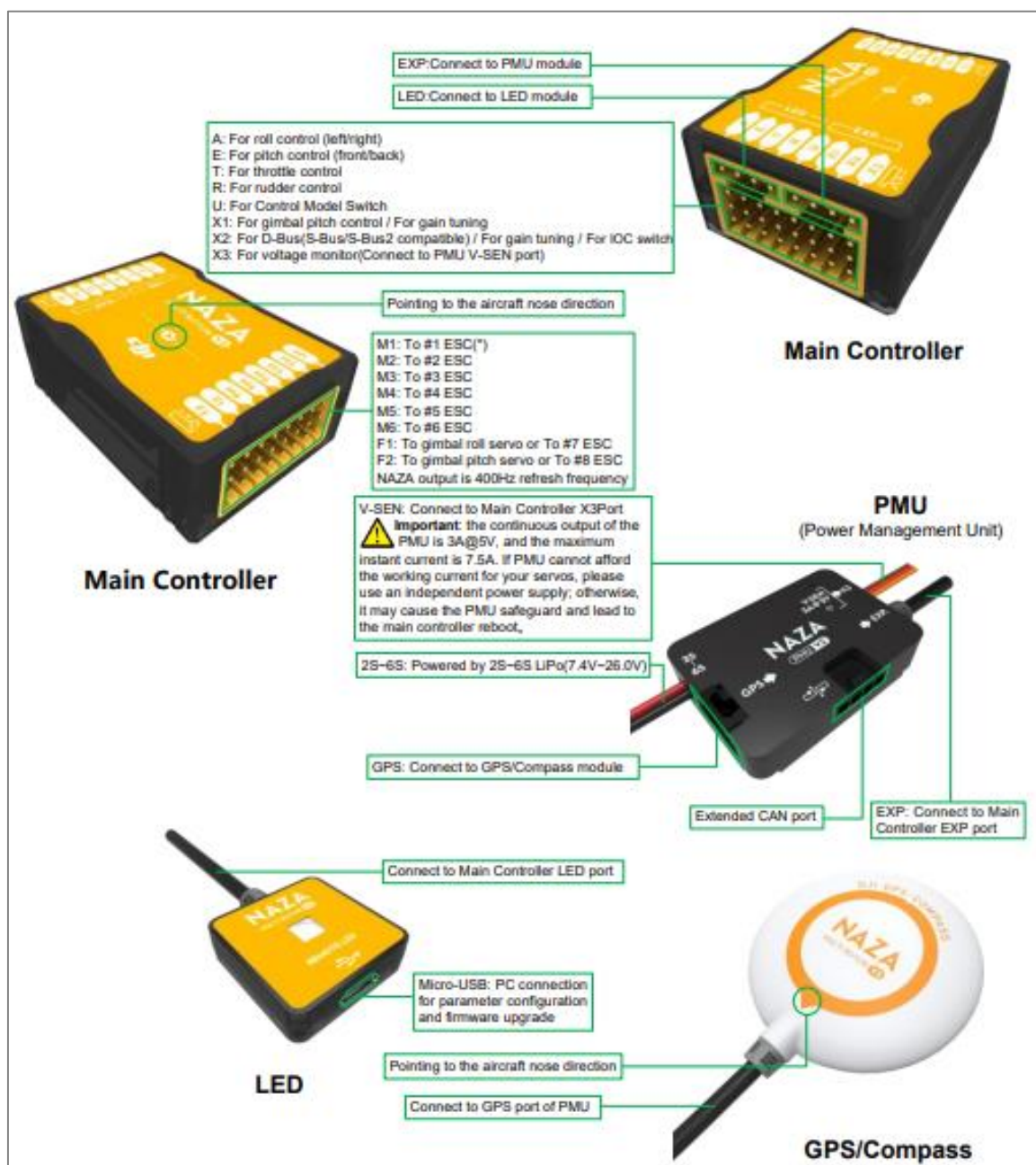


Figura G.1 Datasheet y conexiones del controlador NAZA MV2 (DJI Innovations, 2014)

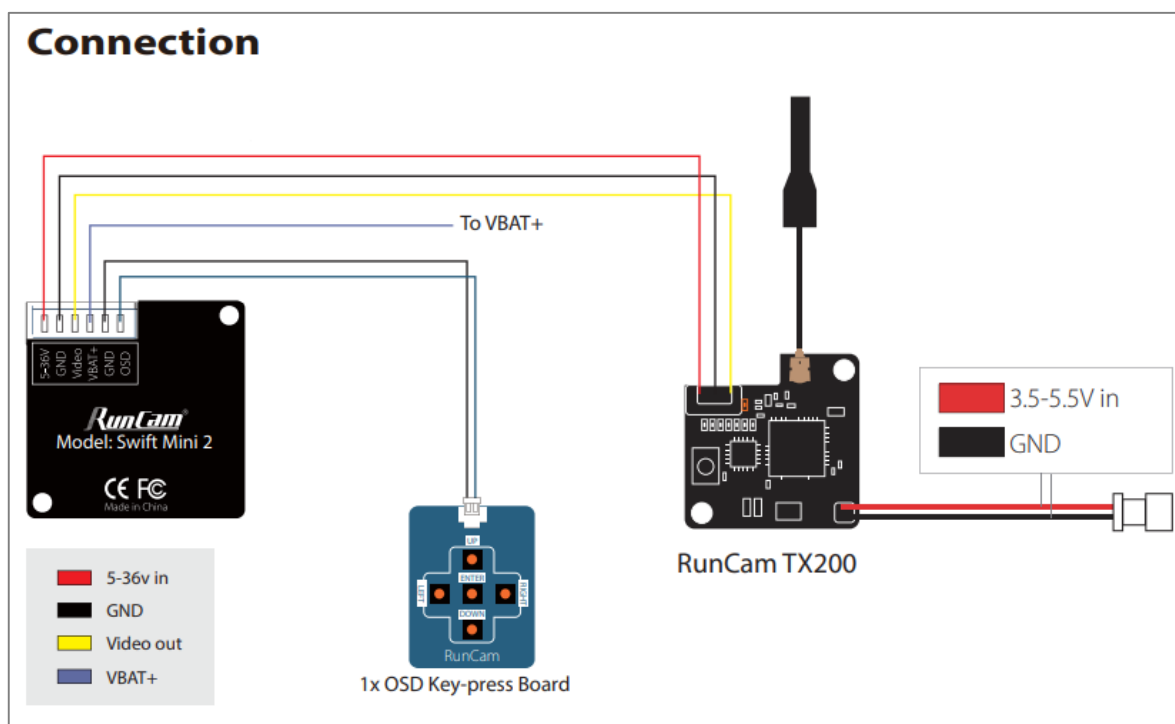


Figura G.2 Datasheet de las conexiones de la cámara seleccionada RunCam (Elaboración propia, 2021)

APÉNDICE H

COTIZACIÓN DE ELEMENTOS A MECANIZAR DEL SISTEMA DE INYECCIÓN

MECINTEC S.A.
INGENIERIA TECNOLÓGICA AL SERVICIO DE LA INDUSTRIA

DISEÑO, CONSTRUCCION, MONTAJE
Y MANTENIMIENTO DE HERRAMENTAL,
EQUIPO Y MAQUINARIA INDUSTRIAL

R.U.C.: 0992582324001
DIRECCION: Cdla. Pájaro Azul Mz. C 6 S. 1
FONO: 04-2042186 - **0999284017** - **0959451308**
E-mail: mecintec1@hotmail.com



Gquil, 26 enero 2022

Sr. SAMUEL BOWEN

PROFORMA # 6544

Atención:
Ciudad
De mis consideraciones

Por medio de la presente ponemos a consideración nuestra oferta relacionada con la construcción de HUSILLO Y BOQUILLAS.

DESCRIPCION	UNIDAD	CANT.	PRECIO	
			UNITARIO	COSTO
Construcción de husillo de diámetro 40x445,55 mm, en acero inox 304.	global	1	1.504,73	1.504,73
Construcción de boquilla de diámetro de 15,7x25 mm, en aluminio.	global	1	48,41	48,41
Construcción de boquilla de diámetro de 57,15x2547 mm, en aluminio.	global	1	99,84	99,84
			SUBTOTAL	1.652,98

SON: ciento noventa y dos 96/100 USD + IVA

Tiempo de entrega: 6 días laborable.

Duración de la oferta: 30 días.

Garantía: por defecto de fabricación

Forma de pago: 50% anticipo, saldo contra entrega de la obra.

Disponibilidad: inmediato.

Es espera de sus gratas órdenes. Quedo de Usted.

Atentamente

Miguel Pisco López
Gerente General

Figura H.1 Cotización de mecanizado de elementos del sistema de inyección (Mecintec S.A., 2021)

APÉNDICE I

ANÁLISIS DE CARGAS POR VIENTO PARA LA ESTACIÓN PORTABLE

I.1 Cuadro de velocidades de las ciudades del Ecuador

Tabla I.1 Cuadro de velocidades de las ciudades más importantes (Hurtado, 2009)

No.	CIUDAD	VELOCIDADES [m/s]					ALTURA s.n.m.mt.	TEMP. ANNUAL MEDIA °C
		V10	V50	V100	V200	V1000		
1	ESMERALDAS	14.8	17.2	19.0	21.9	24.0	4	25
2	PORTOVIEJO	10.0	13.0	14.0	16.0	17.0	36	25-36
3	SANTA ELENA	10.0	13.0	14.0	16.0	17.0	-	-
4	GUAYAQUIL	12.0	19.0	22.	28.0	32.5	5	25
5	MACHALA	10.2	13.8	15.2	18.0	20.0	5	23
6	SANTO DOMINGO	10.3	12.0	13.0	14.75	16.0	550	-
7	BABAHOYO	11.1	13.9	14.9	16.8	18.25	500	22-33
8	TULCAN	20.0	22.0	25.0	27.5	30.0	-	10-15
9	IBARRA	18.3	20.0	22.0	24.5	26.8	2214	8-28
10	QUITO	14.0	16.0	17.01	18.0	20.0	2816	8-24
11	LATACUNGA	14.5	17.0	8.0	19.0	20.5	2800	15-17
12	AMBATO	16.0	18.5	19.5	21.0	22.0	2801	15
13	GUARANDA	13.0	16.25	17.6	19.8	22.0	-	8-20
14	RIOBAMBA	21.0	27.0	30.0	34.0	37.0	2750	13
15	AZOGUEZ	13.0	16.0	19.0	22.0	25.0	2518	12-20
16	CUENCA	13.4	16.5	18.0	20.5	22.5	2800	12-20
17	LOJA	18.0	22.0	23.0	25.0	19.0	2317	16
18	NUEVA LOJA	13.8	19.0	22.0	27.2	31.0	300	-
19	TENA	14.0	17.25	18.5	21.0	22.5	527	25
20	FCO. DE ORELLANA	13.7	18.9	21.2	25.0	26.3	527	25
21	PUYO	11.5	14.0	15.0	15.0	18.0	950	25
22	MACAS	9.8	13.0	14.0	16.5	18.5	1070	18-25
23	ZAMORA	17.0	22.0	22.5	25.5	28.0	924	18-22
24	PTO. B. MORENO	-	-	-	-	-	-	-

I.2 Tablas de coeficientes y factores de la NEC-2015

Tabla I.2 Coeficiente de corrección σ_c (NEC, 2015)

Altura [m]	Sin obstrucción (Categoría A)	Obstrucción baja (Categoría C)	Zona edificada (Categoría C)
5	0.91	0.86	0.80
10	1.00	0.90	0.80
20	1.06	0.97	0.88
40	1.14	1.03	0.96
80	1.21	1.14	1.06
150	1.28	1.22	1.15

Obtenido de la tabla 5 de la NEC-2014

Tabla I.3 Factor de forma C_f (NEC, 2015)

Construcción	Barlovento	Sotavento
Superficies verticales de edificios	+0.8	-
Anuncios, muros aislados, elementos con una dimensión corta en el sentido del viento	+1.5	-
Tanques de agua, chimeneas y otros de sección circular o elíptica	+0.7	-
Tanques de agua, chimeneas y otros de sección cuadrada o rectangular	+2.0	-
Arcos y cubiertas cilíndricas con un ángulo de inclinación que no exceda los 45°	+0.8	-0.5
Superficies inclinadas a 15 o menos	+0.3 a 0	-0.6
Superficies inclinadas entre 15° y 60°	+0.3 a +0.7	-0.6
Superficies inclinadas entre 60° y la vertical	+0.8	-0.6

Obtenido de la tabla 6 de la NEC-2015

Tabla 1.4 Factor de entorno Ce (NEC, 2015)

Construcción	Coeficiente
Elementos situados en patios interiores, cuyo ancho es inferior a la altura del edificio y sin conexión con el espacio exterior por su parte inferior, así como ventanas interiores (en el caso de que se dispongan dobles ventanas)	0.3
Elementos en fachadas protegidas en edificios alineados en calles rectas, a una distancia de la esquina, mayor que la altura de la edificación, en bloques exentos en la parte central de una fachada, de longitud mayor que el doble de la altura o en patios abiertos a fachadas o patios de manzana	0.8
Elementos en fachadas expuestas en edificaciones aisladas o fachadas de longitud menor que el doble de la altura	1.3
Elementos en fachadas muy expuestas, situadas al borde de la orilla de lagos o del mar, próximos a escarpaduras, laderas de fuerte inclinación, desfiladeros, y otros.	1.5

Obtenido de la tabla 7 de la NEC-2015

I.3 MathCAD del análisis de la carga por viento

ANÁLISIS DE CARGAS - ESTACIÓN PORTABLE

CÁLCULO DE FUERZA DISTRIBUIDA DEL VIENTO NORMA ECUATORIANA NEC-2015

a) Velocidad instantánea máxima del viento V

La velocidad de diseño para viento hasta 10 m de altura será la adecuada a la velocidad máxima para la zona de ubicación de la edificación, pero no será menor a 21m/s (75 km/h).

Análisis estadístico INAMHI

ANEXO No. 44 CUADRO DE VELOCIDADES DE LAS CIUDADES MAS IMPORTANTES

No	CIUDAD	VELOCIDADES (m/s)					ALTURA s.n.m. m.	TEMP. ANUAL MEDIA °C
		V10	V50	V100	V200	V1000		
1	ESMERALDAS	14.8	17.2	19.0	21.9	24.0	4.0	25
2	PORTOVIEJO	10.0	13.0	14.0	16.0	17.0	36.0	25-36
3	SANTA ELENA	10.0	13.0	14.0	16.0	17.0	-	-
4	GUAYAQUIL	12.0	19.0	22.0	28.0	32.5	5.0	25
5	MACHALA	10.2	13.8	15.2	18.0	20.0	5.0	23
6	SANTO DOMINGO	10.3	12.0	13.0	14.75	16.0	550	-
7	BABAHOYO	11.1	13.9	14.9	16.80	18.25	500	22-33
8	TULCAN	20.0	22.0	25.0	27.5	30.0	-	10-15
9	IBARRA	18.3	20.0	22.0	24.5	26.8	2214	8-28
10	QUITO	14.0	16.0	17.01	18.0	20.0	2816	8-24
11	LATACUNGA	14.5	17.0	8.0	19.0	20.5	2800	15-17
12	AMATO	16.0	18.5	19.5	21.0	22.0	2801	15
13	GUARANDA	13.0	16.25	17.6	19.8	22.0	-	8-20
14	RIOBAMBA	21.0	27.0	30.	34.0	37.0	2750	13
15	AZOGUEZ	13.0	16.0	19.0	22.0	25.0	2518	12-20
16	CUENCA	13.4	16.5	18.0	20.5	22.5	2800	12-20
17	LOJA	18.0	22.0	23.0	25.0	19.0	2317	16
18	NUEVA LOJA	13.8	19.0	22.0	27.2	31.0	300	-
19	TENA	14.0	17.25	18.5	21.0	22.5	527	25
20	FCO.DE ORELLANA	13.7	18.9	21.2	25.0	26.3	527	25
21	PUYO	11.5	14.0	15.0	15.0	18.0	950	25
22	MACAS	9.8	13.0	14.0	16.5	18.5	1070	18-25
23	ZAMORA	17.0	22.0	22.5	25.5	28.0	924	18-22
24	PTO.B. MORENO	-	-	-	-	-	-	-

■ Ciudad más crítica: Riobamba
■ $Tr = 10$ años para estructura temporal } $V = 21$ m/s

$$V := 21 \frac{m}{s}$$

Fuente: Ing. Hurtado

<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/2195/1/Maestr%C3%ADa%20E.S.R.%2060%20-%20Hurtado%20Yugcha%20Alex%20Bladimir.pdf>

b) Velocidad corregida del viento

$$V_b = V \cdot \sigma$$

Donde:

V_b : velocidad corregida del viento [m/s]

V : velocidad instantánea máxima del viento en $\frac{m}{s}$, registrada a 10 m de altura sobre el terreno

σ : coeficiente de corrección

- Categoría A (sin obstrucción): edificios frente al mar, zonas rurales o espacios abiertos sin obstáculos topográficos.
- Categoría B (obstrucción baja): edificios en zonas suburbanas con edificación de baja altura, promedio hasta 10m.
- Categoría C (zona edificada): zonas urbanas con edificios de altura.

Altura (m)	Sin obstrucción (Categoría A)	Obstrucción baja (Categoría B)	Zona edificada (Categoría C)
5	0.91	0.86	0.80

10	1.00	0.90	0.80
20	1.06	0.97	0.88
40	1.14	1.03	0.96
80	1.21	1.14	1.06
150	1.28	1.22	1.15

Tabla 5: Coeficiente de corrección κ

c) Cálculo de la presión del viento

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_b^2 \cdot c_e \cdot c_f$$

Dónde:

P Presión de cálculo expresada en Pa (N/m²)

ρ Densidad del aire expresada en Kg/m³ (En general, se puede adoptar 1.25 Kg/m³)

c_e Coeficiente de entorno/altura

c_f Coeficiente de forma (apartado g de la presente sección 3.2.4)

$$\rho := 1.25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Coeficiente de forma C_f

Construcción	Barlovento	Sotavento
Superficies verticales de edificios	+0.8	
Anuncios, muros aislados, elementos con una dimensión corta en el sentido del viento	+1.5	
Tanques de agua, chimeneas y otros de sección circular o elíptica	+0.7	
Tanques de agua, chimeneas y otros de sección cuadrada o rectangular	+2.0	
Arcos y cubiertas cilíndricas con un ángulo de inclinación que no exceda los 45°	+0.8	-0.5
Superficies inclinadas a 15° o menos	+0.3 a 0	-0.6
Superficies inclinadas entre 15° y 60°	+0.3 a +0.7	-0.6
Superficies inclinadas entre 60° y la vertical	+0.8	-0.6

Tabla 6: Determinación del factor de forma C_f

$$C_f := 0.7$$

Coeficiente de entorno C_e

Construcción	Coeficiente C_e
Elementos situados en patios interiores, cuyo ancho es inferior a la altura del edificio y sin conexión con el espacio exterior por su parte inferior, así como ventanas interiores (en el caso de que se dispongan dobles ventanas)	0.3
Elementos en fachadas protegidas en edificios alineados en calles rectas, a una distancia de la esquina, mayor que la altura de la edificación, en bloques exentos en la parte central de una fachada, de longitud mayor que el doble de la altura o en patios abiertos a fachadas o patios de manzana	0.8
Elementos en fachadas expuestas en edificaciones aisladas o fachadas de longitud menor que el doble de la altura	1.3
Elementos en fachadas muy expuestas, situados al borde de la orilla de lagos o del mar, próximos a escarpaduras, laderas de fuerte inclinación, desfiladeros, y otros	1.5

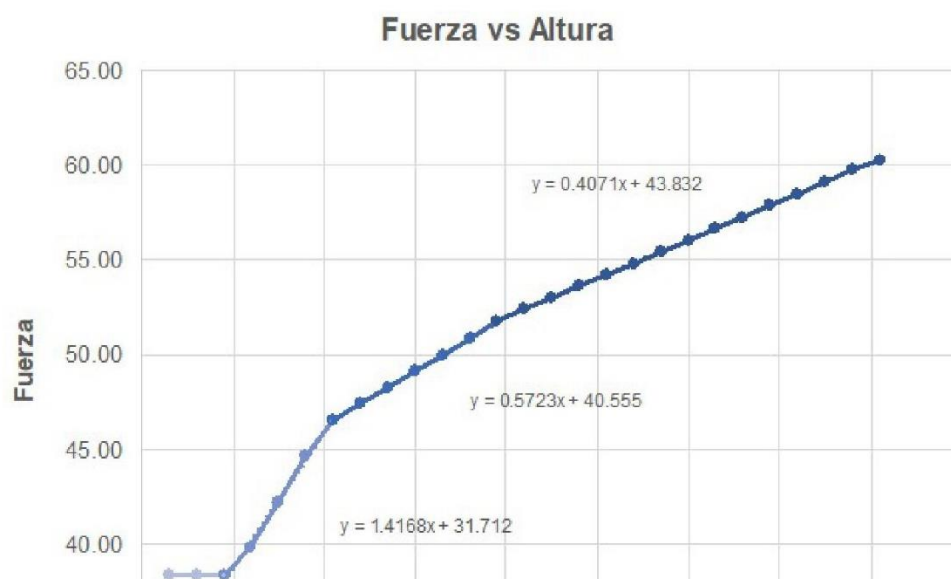
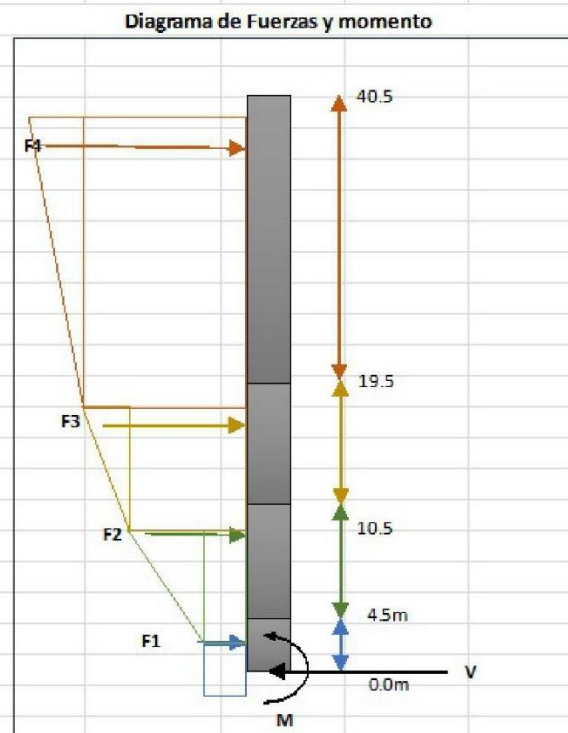
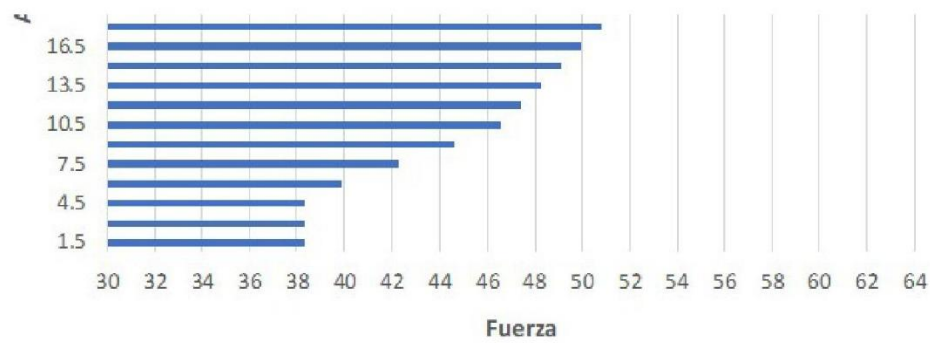
Tabla 9: Determinación del coeficiente de entorno C_e

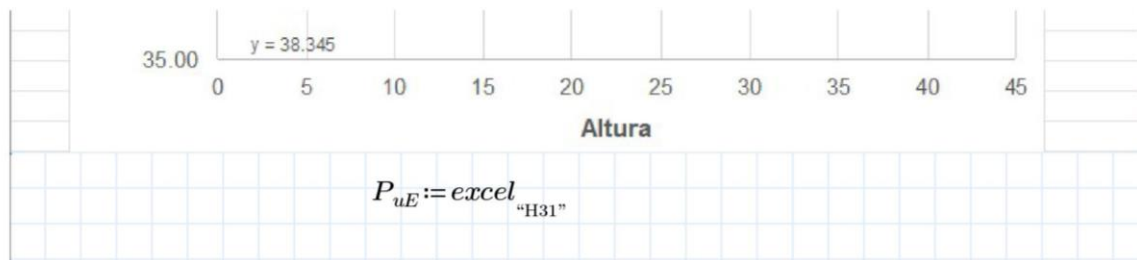
$$C_e := 0.8$$

c-1) Cálculo de la presión del viento en los eslabones

$excel_{“C1”} := C_f$		$excel_{“C2”} := C_e$		$excel_{“F1”} := \rho$			
Coeficiente de forma	C_f	0.7	Densidad del aire [kg/m3]	ρ	1.25		
Coeficiente de entorno	C_e	0.8					
N° eslabones	Altura [m]	Altura acumulada [m]	Coeficiente de corrección	Velocidad corregida [m/s]	Presión [Pa]	Área expuesta [m2]	Fuerza [N]
	h	h_a	σ_b	V_b	P	A	F
0	0	0	0.91	19.11	127.82	0.3	38.35
1	1.5	1.5	0.91	19.11	127.82	0.3	38.35
2	1.5	3	0.91	19.11	127.82	0.3	38.35
3	1.5	4.5	0.91	19.11	127.82	0.3	38.35
4	1.5	6	0.928	19.49	132.92	0.3	39.88
5	1.5	7.5	0.955	20.06	140.77	0.3	42.23
6	1.5	9	0.982	20.62	148.84	0.3	44.65
7	1.5	10.5	1.003	21.06	155.28	0.3	46.58
8	1.5	12	1.012	21.25	158.08	0.3	47.42
9	1.5	13.5	1.021	21.44	160.90	0.3	48.27
10	1.5	15	1.03	21.63	163.75	0.3	49.12
11	1.5	16.5	1.039	21.82	166.62	0.3	49.99
12	1.5	18	1.048	22.01	169.52	0.3	50.86
13	1.5	19.5	1.057	22.20	172.45	0.3	51.73
14	1.5	21	1.064	22.34	174.74	0.3	52.42
15	1.5	22.5	1.07	22.47	176.72	0.3	53.01
16	1.5	24	1.076	22.60	178.70	0.3	53.61
17	1.5	25.5	1.082	22.72	180.70	0.3	54.21
18	1.5	27	1.088	22.85	182.71	0.3	54.81
19	1.5	28.5	1.094	22.97	184.73	0.3	55.42
20	1.5	30	1.1	23.10	186.76	0.3	56.03
21	1.5	31.5	1.106	23.23	188.81	0.3	56.64
22	1.5	33	1.112	23.35	190.86	0.3	57.26
23	1.5	34.5	1.118	23.48	192.93	0.3	57.88
24	1.5	36	1.124	23.60	195.00	0.3	58.50
25	1.5	37.5	1.13	23.73	197.09	0.3	59.13
26	1.5	39	1.136	23.86	199.19	0.3	59.76
27	1.5	40.5	1.141	23.96	200.90	0.3	60.27







Ingrese cantidad de eslabones a analizar:

$$n := 13$$

$$L := n \cdot 1.5 = 19.5$$

c-1) Cálculo de la Fuerza del viento en los eslabones

Cálculo de Fuerza cortante en el punto de empotramiento

Ecuaciones de las cargas distribuidas con respecto al punto de empotramiento

$$f(x) := 38.345 \quad g(x) := 1.4168 \cdot x + 31.712 \quad h(x) := 0.5723 \cdot x + 40.555$$

$$i(x) := 0.4071 \cdot x + 43.832$$

$$F_1(L) := \text{if } 0 < L \leq 4.5$$

$$\left\| \int_0^L f(x) dx \cdot N \right\|$$

$$\text{else if } 4.5 < L \leq 40.5$$

$$\left\| \int_0^{4.5} f(x) dx \cdot N \right\|$$

$$\text{else}$$

$$\left\| 0 \cdot N \right\|$$

$$F_1(L) = 172.553 \text{ N}$$

$$F_2(L) := \text{if } 4.5 < L \leq 10.5$$

$$\left\| \int_{4.5}^L g(x) dx \cdot N \right\|$$

$$\text{else if } 10.5 < L \leq 40.5$$

$$\left\| \int_{4.5}^{10.5} g(x) dx \cdot N \right\|$$

$$\text{else}$$

$$\left\| 0 \cdot N \right\|$$

$$F_2(L) = 254.028 \text{ N}$$

$$F_3(L) := \text{if } 10.5 < L \leq 19.5$$

$$\left\| \int_{10.5}^L h(x) dx \cdot N \right\|$$

$$\text{else if } 19.5 < L \leq 40.5$$

$$\left\| \int_{10.5}^{19.5} h(x) dx \cdot N \right\|$$

$$\text{else}$$

$$\left\| 0 \cdot N \right\|$$

$$F_4(L) := \text{if } 19.5 < L \leq 40.5$$

$$\left\| \int_{19.5}^L i(x) dx \cdot N \right\|$$

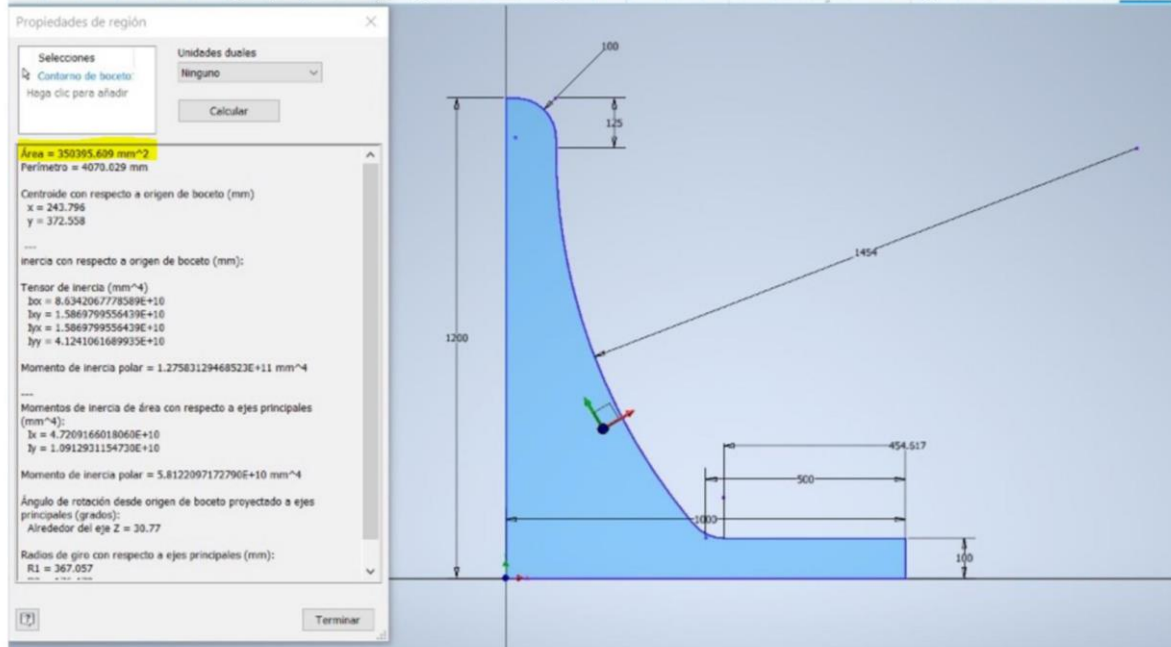
$$\text{else}$$

$$\left\| 0 \cdot N \right\|$$

$$M_1 + M_2 + M_3 + M_4 = (8.988 \cdot 10^3) \text{ N} \cdot \text{m}$$

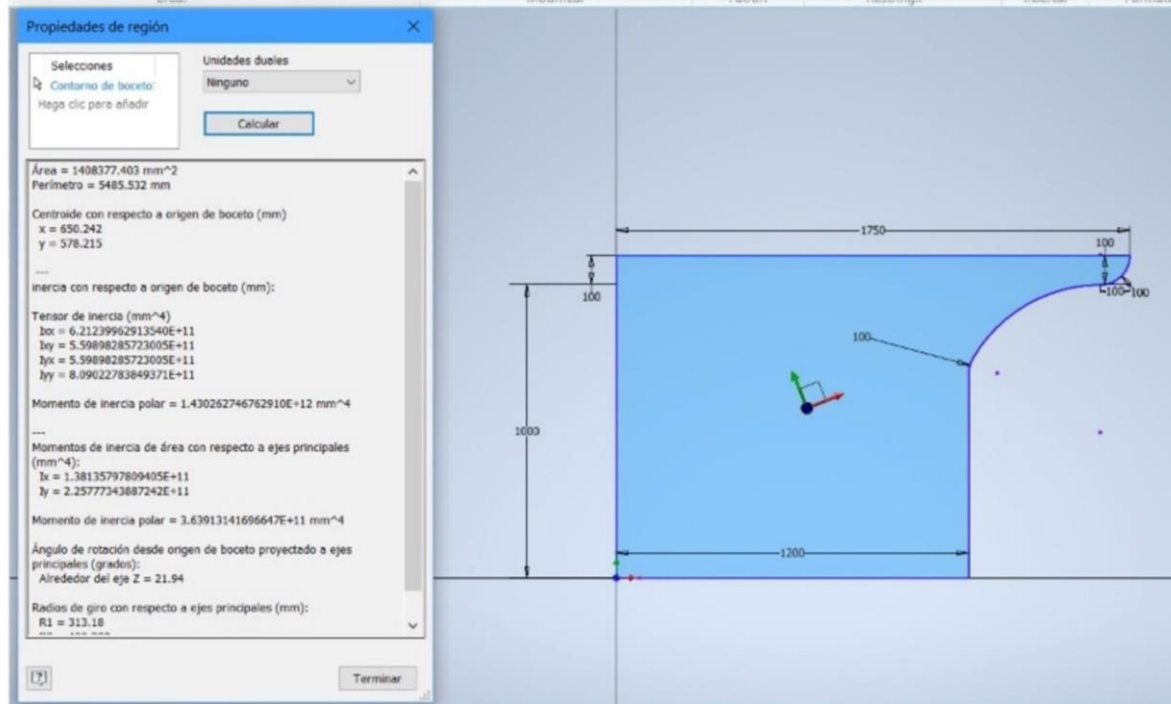
c-2) Cálculo de la Fuerza del viento en el habitáculo, tapa y base superior

Bosquejo y área proyectada de plano de revolución de Base Superior



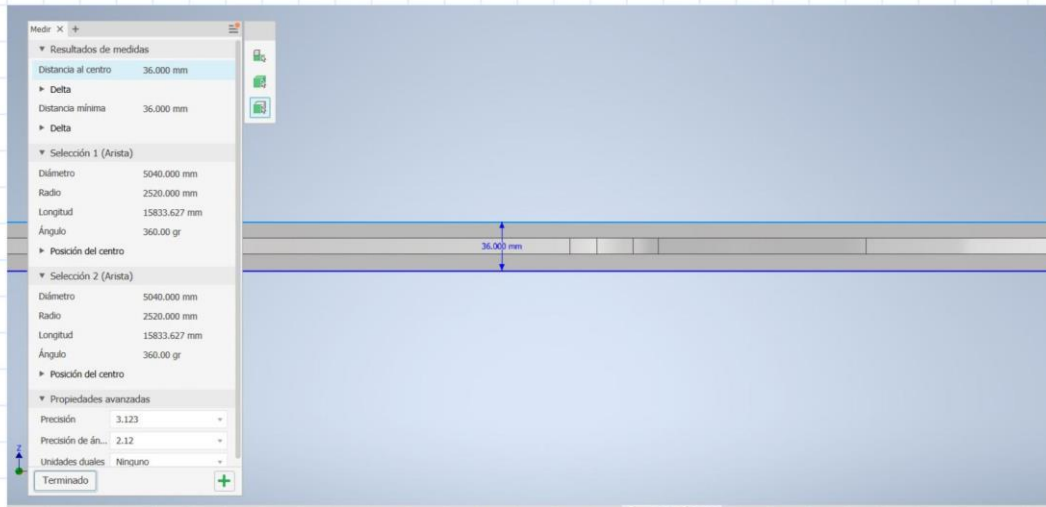
Centroide en "y" $y_{BS} := (1000 - 243.796) \text{ mm} = 0.756 \text{ m}$

Bosquejo y área proyectada de plano de revolución de habitáculo

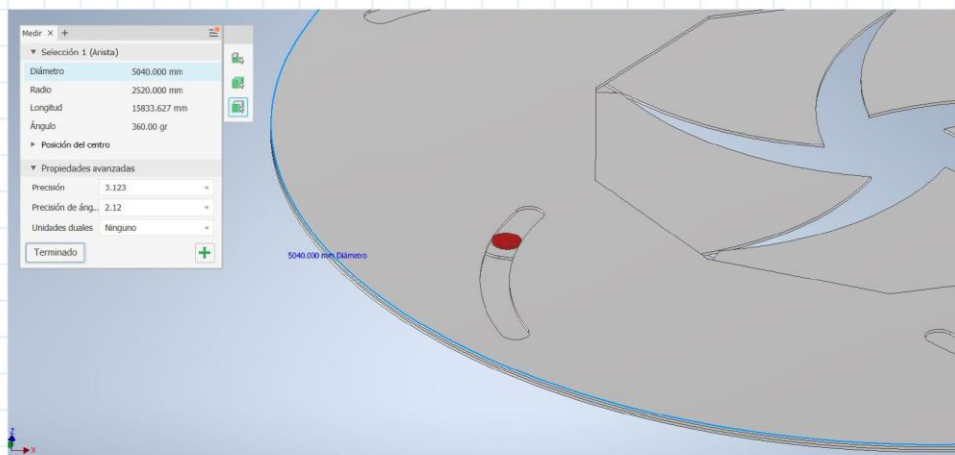


Centroide en "y": $y_{hab} := 578.215 \text{ mm}$

Bosquejo del habitáculo



$$y_{Tapa} := \frac{36 \text{ mm}}{2} = 0.018 \text{ m}$$



$$d_{Tapa} := 5040 \text{ mm} \quad h_{BS} := 1 \text{ m} \quad h_{hab} := 1.1 \text{ m} \quad h_{Tapa} := 36 \text{ mm}$$

$$m_{BS} \cdot 9.81 \frac{m}{s^2} = 12871.093 \text{ N} \quad m_{hab} \cdot 9.81 \frac{m}{s^2} = 25088.508 \text{ N}$$

$$m_{Tapa} \cdot 9.81 \frac{m}{s^2} = 11287.168 \text{ N}$$

$$W_{muerta} := (m_{BS} + m_{hab} + m_{Tapa}) \cdot 9.81 \frac{m}{s^2} = 49246.768 \text{ N}$$

I.4 Distribución de las presiones y fuerza del viento por eslabón

Tabla I.5 Cuadro de presión y fuerza para varias alturas de una columna (Elaboración propia, 2021)

Nº eslabones	Altura [m]	Altura acumulada [m]	Coefficiente de corrección	Velocidad corregida [m/s]	Presión [Pa]	Área expuesta [m²]	Fuerza [N]
	h	h_a	σ_b	V_b	P	A	F
0	0	0	0.91	19.11	127.82	0.3	38.35
1	1.5	1.5	0.91	19.11	127.82	0.3	38.35
2	1.5	3	0.91	19.11	127.82	0.3	38.35
3	1.5	4.5	0.91	19.11	127.82	0.3	38.35
4	1.5	6	0.928	19.49	132.92	0.3	39.88
5	1.5	7.5	0.955	20.06	140.77	0.3	42.23
6	1.5	9	0.982	20.62	148.84	0.3	44.65
7	1.5	10.5	1.003	21.06	155.28	0.3	46.58
8	1.5	12	1.012	21.25	158.08	0.3	47.42
9	1.5	13.5	1.021	21.44	160.90	0.3	48.27
10	1.5	15	1.03	21.63	163.75	0.3	49.12
11	1.5	16.5	1.039	21.82	166.62	0.3	49.99
12	1.5	18	1.048	22.01	169.52	0.3	50.86
13	1.5	19.5	1.057	22.20	172.45	0.3	51.73
14	1.5	21	1.064	22.34	174.74	0.3	52.42
15	1.5	22.5	1.07	22.47	176.72	0.3	53.01
16	1.5	24	1.076	22.60	178.70	0.3	53.61
17	1.5	25.5	1.082	22.72	180.70	0.3	54.21
18	1.5	27	1.088	22.85	182.71	0.3	54.81
19	1.5	28.5	1.094	22.97	184.73	0.3	55.42
20	1.5	30	1.1	23.10	186.76	0.3	56.03
21	1.5	31.5	1.106	23.23	188.81	0.3	56.64
22	1.5	33	1.112	23.35	190.86	0.3	57.26
23	1.5	34.5	1.118	23.48	192.93	0.3	57.88
24	1.5	36	1.124	23.60	195.00	0.3	58.50
25	1.5	37.5	1.13	23.73	197.09	0.3	59.13
26	1.5	39	1.136	23.86	199.19	0.3	59.76
27	1.5	40.5	1.141	23.96	200.90	0.3	60.27

El área donde se aplica la presión de cada eslabón es el área proyectada de un cilindro, es decir, longitud de 1.5m por el diámetro 20 cm.

APÉNDICE J

ANÁLISIS DE CARGA MÁXIMA PARA UN ESLABÓN DE COLUMNA

- **Datos de la sección y material:**

Inercia

$$I = 0.000056921988 \text{ m}^4$$

Área

$$A = 202.82 \text{ cm}^2$$

Factor de longitud efectiva

Se considera un extremo empotrado y el otro libre

$$K = 2$$

Límite elástico por compresión

$$\sigma_{pc} = 559 \text{ MPa}$$

Módulo de elasticidad

$$E = 4.866 \cdot 10^{10} \text{ Pa}$$

- **Comparación de resultados ANSYS sin factor de seguridad**

Carga axial máxima calculada en ANSYS

$$P_{ANSYS_{SFS}} = 3216.83 \text{ kN}$$

Carga máxima

$$P = \frac{\pi^2 EI}{L_e^2} = 3037.452 \text{ kN}$$

Error relativo porcentual

$$e = \frac{|P - P_{ANSYS_{SFS}}|}{P} \cdot 100 = 5.906\%$$

- **Comparación de resultados ANSYS con factor de seguridad FS =2**

Carga axial máxima calculada en ANSYS

$$P_{ANSYS_{CFS}} = 1501.7 \text{ kN}$$

Radio de giro mínimo

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = 0.053 \text{ m}$$

Longitud efectiva

$$L_e = K \cdot 1.5m = 3m$$

Relación de esbeltez

$$Cc = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{\sigma_{pc}}} = 41.452$$

Esbeltez mecánica

$$\frac{L_e}{r} = 56.629$$

Como la esbeltez mecánica es mayor que la relación de esbeltez, se debe aplicar la siguiente fórmula para el cálculo del esfuerzo de trabajo:

Esfuerzo de trabajo

$$\sigma_T = \frac{12\pi^2 E}{23 \left(\frac{L_e}{r} \right)^2} = 78.136 \text{ MPa}$$

Carga axial máxima

$$P = \sigma_T \cdot A = 1584.757 \text{ kN}$$

Error relativo porcentual

$$e = \frac{|P - P_{ANSYS_{CFE}}|}{P} \cdot 100 = 5.241\%$$

APÉNDICE K

ANÁLISIS Y RESULTADOS DE SIMULACIONES DE LA ESTACIÓN PORTABLE

K.1 Comprobante de versión estudiantil de SAP2000

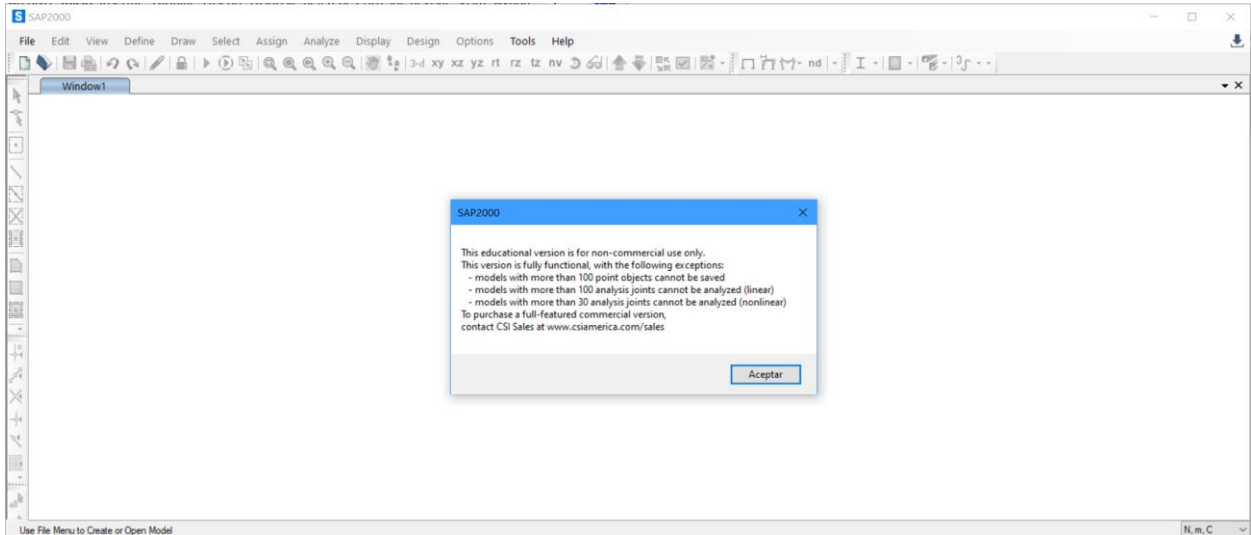


Figura K.1 Comprobante de versión estudiantil de SAP2000 v23.0.0 (Elaboración propia, 2021)

K.2 Definición de la sección tipo panel de la columna en SAP2000

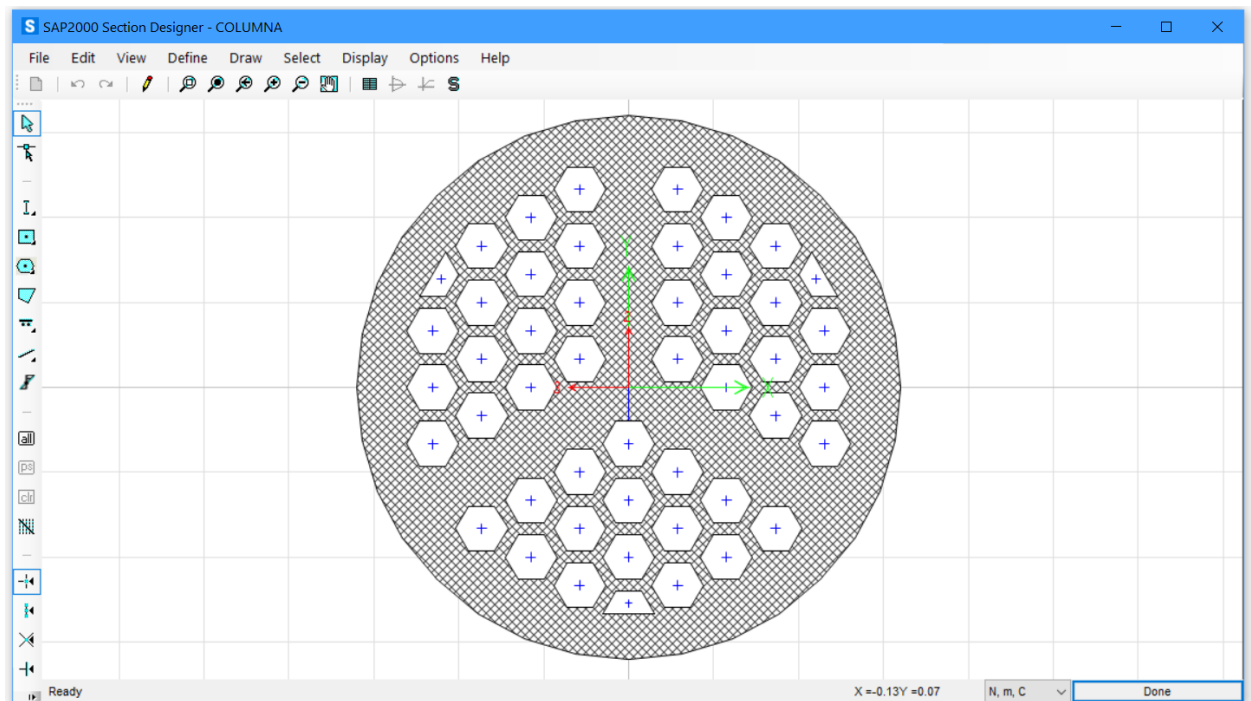


Figura K.2 Definición de la sección tipo panel de la columna mediante la herramienta SECTION DESIGNER (Elaboración propia, 2021)

K.3 Reporte de simulación SAP2000



SAP2000 Analysis Report

Prepared by
HP

Model Name: Estructura columna - 3 cables menos 2 eslab.sdb

16 enero 2022

Contents

1. Model geometry	4
1.1. Joint coordinates	4
1.2. Joint restraints	5
1.3. Element connectivity	5
2. Material properties	5
3. Section properties	6
3.1. Frames	7
3.2. Solids	8
4. Load patterns	8
4.1. Definitions	8
5. Load cases	8
5.1. Definitions	8
5.2. Static case load assignments	9
5.3. Response spectrum case load assignments	9
6. Load combinations	9
7. Structure results	11
7.1. Mass summary	11
7.2. Base reactions	12
8. Joint results	12
9. Frame results	13
10. Material take-off	14
11. Design preferences	15
11.1. Steel design	15
11.2. Concrete design	15
11.3. Aluminum design	16
11.4. Cold formed design	16

List of Figures

Figure 1: Finite element model	4
Figure 2: Deformed shape	11

List of Tables

Table 1: Joint Coordinates	4
Table 2: Joint Restraint Assignments	5
Table 3: Connectivity - Frame	5
Table 4: Frame Section Assignments	5
Table 5: Material Properties 02 - Basic Mechanical Properties	5
Table 6: Material Properties 03a - Steel Data	6
Table 7: Material Properties 03b - Concrete Data	6
Table 8: Material Properties 03e - Rebar Data	6
Table 9: Material Properties 03f - Tendon Data	6
Table 10: Frame Section Properties 01 - General, Part 1 of 5	7
Table 10: Frame Section Properties 01 - General, Part 2 of 5	7
Table 10: Frame Section Properties 01 - General, Part 3 of 5	7
Table 10: Frame Section Properties 01 - General, Part 4 of 5	7
Table 10: Frame Section Properties 01 - General, Part 5 of 5	7
Table 11: Solid Property Definitions	8
Table 12: Load Pattern Definitions	8

Table 13: Load Case Definitions, Part 1 of 2	8
Table 13: Load Case Definitions, Part 2 of 2	9
Table 14: Case - Static 1 - Load Assignments	9
Table 15: Function - Response Spectrum - User	9
Table 16: Combination Definitions	10
Table 17: Assembled Joint Masses, Part 1 of 2	11
Table 17: Assembled Joint Masses, Part 2 of 2	12
Table 18: Base Reactions	12
Table 19: Joint Displacements	12
Table 20: Joint Reactions	12
Table 21: Element Forces - Frames, Part 1 of 2	13
Table 21: Element Forces - Frames, Part 2 of 2	14
Table 22: Material List 2 - By Section Property	15
Table 23: Preferences - Steel Design - AISC 360-16, Part 1 of 4	15
Table 23: Preferences - Steel Design - AISC 360-16, Part 2 of 4	15
Table 23: Preferences - Steel Design - AISC 360-16, Part 3 of 4	15
Table 23: Preferences - Steel Design - AISC 360-16, Part 4 of 4	15
Table 24: Preferences - Concrete Design - ACI 318-14, Part 1 of 2	16
Table 24: Preferences - Concrete Design - ACI 318-14, Part 2 of 2	16
Table 25: Preferences - Aluminum Design - AA 2015, Part 1 of 2	16
Table 25: Preferences - Aluminum Design - AA 2015, Part 2 of 2	16
Table 26: Preferences - Cold Formed Design - AISI-16, Part 1 of 2	16
Table 26: Preferences - Cold Formed Design - AISI-16, Part 2 of 2	16

1. Model geometry

This section provides model geometry information, including items such as joint coordinates, joint restraints, and element connectivity.

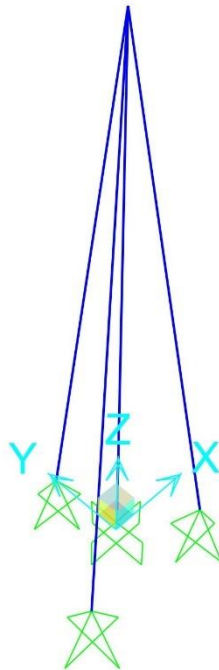


Figure 1: Finite element model

1.1. Joint coordinates

Table 1: Joint Coordinates

Table 1: Joint Coordinates					
Joint	CoordSys	CoordType	GlobalX m	GlobalY m	GlobalZ m
3	GLOBAL	Cartesian	0.	0.	1.3
4	GLOBAL	Cartesian	0.	0.	21.05
5	GLOBAL	Cartesian	0.	4.	0.
6	GLOBAL	Cartesian	3.4641	-2.	0.
7	GLOBAL	Cartesian	-3.4641	-2.	0.

1.2. Joint restraints

Table 2: Joint Restraint Assignments

Table 2: Joint Restraint Assignments						
Joint	U1	U2	U3	R1	R2	R3
3	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
5	Yes	Yes	Yes	No	No	No
6	Yes	Yes	Yes	No	No	No
7	Yes	Yes	Yes	No	No	No

1.3. Element connectivity

Table 3: Connectivity - Frame

Table 3: Connectivity - Frame			
Frame	JointI	JointJ	Length m
2	3	4	19.75
3	5	4	21.42668
4	6	4	21.42668
5	7	4	21.42668

Table 4: Frame Section Assignments

Table 4: Frame Section Assignments			
Frame	AnalSect	DesignSect	MatProp
2	COLUMNNA	N.A.	Default
3	CableAcero	N.A.	Default
4	CableAcero	N.A.	Default
5	CableAcero	N.A.	Default

2. Material properties

This section provides material property information for materials used in the model.

Table 5: Material Properties 02 - Basic Mechanical Properties

Table 5: Material Properties 02 - Basic Mechanical Properties						
Material	UnitWeight N/m3	UnitMass Kg/m3	E1 N/m2	G12 N/m2	U12	A1 1/C
4000Psi	2.3563E+04	2.4028E+03	2.486E+10	1.036E+10	0.2	9.9000E-06
A416Gr270	7.6973E+04	7.8490E+03	1.965E+11			1.1700E-05
A615Gr60	7.6973E+04	7.8490E+03	1.999E+11			1.1700E-05
A992Fy50	7.6973E+04	7.8490E+03	1.999E+11	7.690E+10	0.3	1.1700E-05

Table 5: Material Properties 02 - Basic Mechanical Properties

Material	UnitWeight N/m3	UnitMass Kg/m3	E1 N/m2	G12 N/m2	U12	A1 1/C
CableAcero	3.9886E+00	4.0672E-01	147100000	56576923.08	0.3	1.2500E-05
GFRP	1.5711E+04	1.6021E+03	4.866E+10	1.872E+10	0.3	0.0000E+00

Table 6: Material Properties 03a - Steel Data

Table 6: Material Properties 03a - Steel Data

Material	Fy N/m2	Fu N/m2	FinalSlope	CoupModType
A992Fy50	344737894.	448159263.	-0.1	Von Mises

Table 7: Material Properties 03b - Concrete Data

Table 7: Material Properties 03b - Concrete Data

Material	Fc N/m2	eFc N/m2	FinalSlope	CoupModType
4000Psi	27579031.56	27579031.56	-0.1	Modified Darwin-Peck nold

Table 8: Material Properties 03e - Rebar Data

Table 8: Material Properties 03e - Rebar Data

Material	Fy N/m2	Fu N/m2	FinalSlope	CoupModType
A615Gr60	413685473.	620528210.	-0.1	Von Mises

Table 9: Material Properties 03f - Tendon Data

Table 9: Material Properties 03f - Tendon Data

Material	Fy N/m2	Fu N/m2	FinalSlope	CoupModType
A416Gr270	1689905159.	1861584630.	-0.1	Von Mises

3. Section properties

This section provides section property information for objects used in the model.

3.1. Frames

Table 10: Frame Section Properties 01 - General, Part 1 of 5

Table 10: Frame Section Properties 01 - General, Part 1 of 5							
SectionName	Material	Shape	t3 m	t2 m	FilletRadius m	tf m	tw m
CableAcero	CableAcero	Circle	0.009525				
COLUMNA	GFRP	SD Section					
FSEC1	A992Fy50	I/Wide Flange	0.3048	0.127	0.009652	0.009652	0.00635

Table 10: Frame Section Properties 01 - General, Part 2 of 5

Table 10: Frame Section Properties 01 -
General, Part 2 of 5

SectionName	t2b m	tfb m
CableAcero		
COLUMNA		
FSEC1	0.127	0.009652

Table 10: Frame Section Properties 01 - General, Part 3 of 5

Table 10: Frame Section Properties 01 - General, Part 3 of 5							
SectionName	Area m2	TorsConst m4	I33 m4	I22 m4	I23 m4	AS2 m2	AS3 m2
CableAcero	0.000071	8.081E-10	4.040E-10	4.040E-10	0.	0.000064	0.000064
COLUMNA	0.020081	0.000099	0.000057	0.000057	0.	0.017164	0.01659
FSEC1	0.004265	9.651E-08	0.000066	3.301E-06	0.	0.001935	0.002043

Table 10: Frame Section Properties 01 - General, Part 4 of 5

Table 10: Frame Section Properties 01 - General, Part 4 of 5						
SectionName	S33 m3	S22 m3	Z33 m3	Z22 m3	R33 m	R22 m
CableAcero	8.484E-08	8.484E-08	1.440E-07	1.440E-07	0.002381	0.002381
COLUMNA	0.000569	0.000569	0.000908	0.000904	0.053242	0.053242
FSEC1	0.000431	0.000052	0.000491	0.000081	0.124145	0.027823

Table 10: Frame Section Properties 01 - General, Part 5 of 5

Table 10: Frame Section Properties 01 - General, Part 5 of 5								
SectionName	AMod	A2Mod	A3Mod	JMod	I2Mod	I3Mod	MMod	WMod
CableAcero	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.
COLUMNA	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.
FSEC1	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.

3.2. Solids

Table 11: Solid Property Definitions

Table 11: Solid Property Definitions				
SolidProp	Material	MatAngleA Degrees	MatAngleB Degrees	MatAngleC Degrees
Solid1	4000Psi	0.	0.	0.

4. Load patterns

This section provides loading information as applied to the model.

4.1. Definitions

Table 12: Load Pattern Definitions

Table 12: Load Pattern Definitions			
LoadPat	DesignType	SelfWtMult	AutoLoad
DEAD	Dead	1.	
TCinicial	Other	0.	
VANTyHAB	Other	0.	
VIENTO	Other	0.	

5. Load cases

This section provides load case information.

5.1. Definitions

Table 13: Load Case Definitions, Part 1 of 2

Table 13: Load Case Definitions, Part 1 of 2						
Case	Type	InitialCond	ModalCase	BaseCase	MassSource	DesActOpt
DEAD	LinStatic	Zero				Prog Det
MODAL	LinModal	Zero				Prog Det
TCinicial	LinStatic	Zero				Prog Det
VANTyHAB	NonStatic	VIENTO				Prog Det
VIENTO	NonStatic	CondInicial				Prog Det
CondInicial	NonStatic	Zero				Prog Det

Table 13: Load Case Definitions, Part 2 of 2

Table 13: Load Case Definitions, Part 2 of 2

Case	DesignAct
DEAD	Non-Composite
MODAL	Other
TCinicial	Other
VANTyHAB	Other
VIENTO	Other
CondInicial	Non-Composite

5.2. Static case load assignments

Table 14: Case - Static 1 - Load Assignments

Table 14: Case - Static 1 - Load Assignments

Case	LoadType	LoadName	LoadSF
DEAD	Load pattern	DEAD	1.
TCinicial	Load pattern	TCinicial	1.
VANTyHAB	Load pattern	VANTyHAB	1.
VIENTO	Load pattern	VIENTO	1.
CondInicial	Load pattern	DEAD	1.
CondInicial	Load pattern	TCinicial	1.

5.3. Response spectrum case load assignments

Table 15: Function - Response Spectrum - User

Table 15: Function - Response Spectrum - User

Name	Period Sec	Accel	FuncDamp
UNIFRS	0.	1.	0.05
UNIFRS	1.	1.	

6. Load combinations

This section provides load combination information.

Table 16: Combination Definitions

Table 16: Combination Definitions			
ComboName	ComboType	CaseName	ScaleFactor
COMB_VIENTO _VANT_HAB	Envelope	VIENTO	1.
COMB_VIENTO _VANT_HAB		VANTyHAB	1.

7. Structure results

This section provides structure results, including items such as structural periods and base reactions.

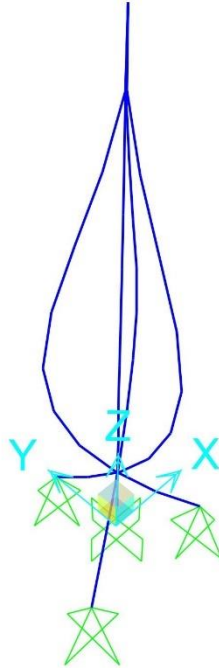


Figure 2: Deformed shape

7.1. Mass summary

Table 17: Assembled Joint Masses, Part 1 of 2

Table 17: Assembled Joint Masses, Part 1 of 2								
Joint	MassSource	U1 Kg	U2 Kg	U3 Kg	R1 N-m-s2	R2 N-m-s2	R3 N-m-s2	CenterX m
3	MSSSRC1	317.68	317.68	317.68	0.	0.	0.	0.
4	MSSSRC1	317.69	317.69	317.69	0.	0.	0.	0.
5	MSSSRC1	3.105E-04	3.105E-04	3.105E-04	0.	0.	0.	0.
6	MSSSRC1	3.105E-04	3.105E-04	3.105E-04	0.	0.	0.	3.4641
7	MSSSRC1	3.105E-04	3.105E-04	3.105E-04	0.	0.	0.	-3.4641
SumAccelUX	MSSSRC1	635.37	0.	0.	0.	0.	0.	0.
SumAccelUY	MSSSRC1	0.	635.37	0.	0.	0.	0.	0.
SumAccelUZ	MSSSRC1	0.	0.	635.37	0.	0.	0.	0.

Table 17: Assembled Joint Masses, Part 2 of 2

Table 17: Assembled Joint Masses, Part 2 of 2			
Joint	MassSource	CenterY m	CenterZ m
3	MSSSRC1	0.	1.3
4	MSSSRC1	0.	21.05
5	MSSSRC1	4.	0.
6	MSSSRC1	-2.	0.
7	MSSSRC1	-2.	0.
SumAccelUX	MSSSRC1	2.382E-14	11.175
SumAccelUY	MSSSRC1	2.382E-14	11.175
SumAccelUZ	MSSSRC1	2.382E-14	11.175

7.2. Base reactions

Table 18: Base Reactions

Table 18: Base Reactions						
OutputCase	GlobalFX N	GlobalFY N	GlobalFZ N	GlobalMX N-m	GlobalMY N-m	GlobalMZ N-m
DEAD	0.	0.	6230.86	1.484E-10	0.	0.
TCinicial	0.	1.137E-13	-3.638E-12	0.	0.	0.

8. Joint results

This section provides joint results, including items such as displacements and reactions.

Table 19: Joint Displacements

Table 19: Joint Displacements							
Joint	OutputCase	U1 m	U2 m	U3 m	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
3	DEAD	0.	0.	0.	0.	0.	0.
3	TCinicial	0.	0.	0.	0.	0.	0.
4	DEAD	0.	1.912E-13	-0.000063	-1.458E-14	0.	0.
4	TCinicial	0.	-9.718E-09	-0.000281	7.380E-10	0.	0.
5	DEAD	0.	0.	0.	0.182948	0.	0.
5	TCinicial	0.	0.	0.	3.672E-06	0.	0.
6	DEAD	0.	0.	0.	-0.091474	-0.158438	1.311E-15
6	TCinicial	0.	0.	0.	-1.836E-06	-3.180E-06	-6.584E-11
7	DEAD	0.	0.	0.	-0.091474	0.158438	-1.298E-15
7	TCinicial	0.	0.	0.	-1.836E-06	3.180E-06	6.584E-11

Table 20: Joint Reactions

Table 20: Joint Reactions							
Joint	OutputCase	F1 N	F2 N	F3 N	M1 N-m	M2 N-m	M3 N-m
3	DEAD	0.	-2.034E-10	6230.76	4.053E-09	-1.047E-19	-4.361E-20

Table 20: Joint Reactions

Joint	OutputCase	F1 N	F2 N	F3 N	M1 N-m	M2 N-m	M3 N-m
3	TCinicial	0.	1.048E-05	13901.16	-2.070E-04	0.	0.
5	DEAD	0.	-5.789E-03	3.275E-02	0.	0.	0.
5	TCinicial	0.	880.52	-4633.72	0.	0.	0.
6	DEAD	-5.013E-03	2.895E-03	3.275E-02	0.	0.	0.
6	TCinicial	762.55	-440.26	-4633.72	0.	0.	0.
7	DEAD	5.013E-03	2.895E-03	3.275E-02	0.	0.	0.
7	TCinicial	-762.55	-440.26	-4633.72	0.	0.	0.

9. Frame results

This section provides frame force results.

Table 21: Element Forces - Frames, Part 1 of 2

Table 21: Element Forces - Frames, Part 1 of 2

Frame	Station m	OutputCase	P N	V2 N	V3 N
2	0.	DEAD	-6230.76	0.	2.034E-10
2	2.25	DEAD	-5520.92	0.	2.034E-10
2	2.25	DEAD	-5520.92	0.	2.034E-10
2	7.6	DEAD	-3833.07	0.	2.034E-10
2	7.6	DEAD	-3833.07	0.	2.034E-10
2	9.875	DEAD	-3115.34	0.	2.034E-10
2	15.079	DEAD	-1473.55	0.	2.034E-10
2	15.079	DEAD	-1473.55	0.	2.034E-10
2	19.75	DEAD	7.998E-02	0.	2.034E-10
2	0.	TCinicial	-13901.16	0.	-1.048E-05
2	2.25	TCinicial	-13901.16	0.	-1.048E-05
2	2.25	TCinicial	-13901.16	0.	-1.048E-05
2	7.6	TCinicial	-13901.16	0.	-1.048E-05
2	7.6	TCinicial	-13901.16	0.	-1.048E-05
2	9.875	TCinicial	-13901.16	0.	-1.048E-05
2	15.079	TCinicial	-13901.16	0.	-1.048E-05
2	15.079	TCinicial	-13901.16	0.	-1.048E-05
2	19.75	TCinicial	-13901.16	0.	-1.048E-05
3	0.	DEAD	-3.325E-02	-4.263E-04	0.
3	10.71334	DEAD	-3.026E-02	1.421E-04	0.
3	21.42668	DEAD	-2.727E-02	7.105E-04	0.
3	0.	TCinicial	4716.64	-9.507E-10	0.
3	10.71334	TCinicial	4716.64	-9.507E-10	0.
3	21.42668	TCinicial	4716.64	-9.507E-10	0.
4	0.	DEAD	-3.325E-02	-4.263E-04	-1.832E-18
4	10.71334	DEAD	-3.026E-02	1.421E-04	-1.832E-18
4	21.42668	DEAD	-2.727E-02	7.105E-04	-1.832E-18
4	0.	TCinicial	4716.64	-9.508E-10	9.132E-14
4	10.71334	TCinicial	4716.64	-9.508E-10	9.132E-14
4	21.42668	TCinicial	4716.64	-9.508E-10	9.132E-14
5	0.	DEAD	-3.325E-02	-4.263E-04	1.823E-18
5	10.71334	DEAD	-3.026E-02	1.421E-04	1.823E-18
5	21.42668	DEAD	-2.727E-02	7.105E-04	1.823E-18
5	0.	TCinicial	4716.64	-9.508E-10	-9.132E-14
5	10.71334	TCinicial	4716.64	-9.508E-10	-9.132E-14

Table 21: Element Forces - Frames, Part 1 of 2

Frame	Station m	OutputCase	P N	V2 N	V3 N
5	21.42668	TCinical	4716.64	-9.508E-10	-9.132E-14

Table 21: Element Forces - Frames, Part 2 of 2

Table 21: Element Forces - Frames, Part 2 of 2

Frame	Station m	OutputCase	T N-m	M2 N-m	M3 N-m
2	0.	DEAD	4.361E-20	4.053E-09	1.047E-19
2	2.25	DEAD	4.361E-20	3.596E-09	1.051E-19
2	2.25	DEAD	4.361E-20	3.596E-09	1.051E-19
2	7.6	DEAD	4.361E-20	2.508E-09	1.061E-19
2	7.6	DEAD	4.361E-20	2.508E-09	1.061E-19
2	9.875	DEAD	4.361E-20	2.045E-09	1.065E-19
2	15.079	DEAD	4.361E-20	9.870E-10	1.075E-19
2	15.079	DEAD	4.361E-20	9.870E-10	1.075E-19
2	19.75	DEAD	4.361E-20	3.711E-11	1.084E-19
2	0.	TCinical	0.	-2.070E-04	0.
2	2.25	TCinical	0.	-1.834E-04	0.
2	2.25	TCinical	0.	-1.834E-04	0.
2	7.6	TCinical	0.	-1.274E-04	0.
2	7.6	TCinical	0.	-1.274E-04	0.
2	9.875	TCinical	0.	-1.035E-04	0.
2	15.079	TCinical	0.	-4.896E-05	0.
2	15.079	TCinical	0.	-4.896E-05	0.
2	19.75	TCinical	0.	6.981E-12	0.
3	0.	DEAD	0.	0.	6.297E-20
3	10.71334	DEAD	0.	0.	1.522E-03
3	21.42668	DEAD	0.	0.	-3.045E-03
3	0.	TCinical	0.	0.	0.
3	10.71334	TCinical	0.	0.	1.018E-08
3	21.42668	TCinical	0.	0.	2.037E-08
4	0.	DEAD	0.	-1.979E-19	6.590E-20
4	10.71334	DEAD	0.	1.943E-17	1.522E-03
4	21.42668	DEAD	0.	3.906E-17	-3.045E-03
4	0.	TCinical	0.	0.	0.
4	10.71334	TCinical	0.	-9.783E-13	1.019E-08
4	21.42668	TCinical	0.	-1.957E-12	2.037E-08
5	0.	DEAD	-3.818E-20	7.263E-20	-3.678E-19
5	10.71334	DEAD	-3.818E-20	-1.946E-17	1.522E-03
5	21.42668	DEAD	-3.818E-20	-3.899E-17	-3.045E-03
5	0.	TCinical	0.	0.	0.
5	10.71334	TCinical	0.	9.783E-13	1.019E-08
5	21.42668	TCinical	0.	1.957E-12	2.037E-08

10. Material take-off

This section provides a material take-off.

Table 22: Material List 2 - By Section Property

Table 22: Material List 2 - By Section Property				
Section	ObjectType	NumPieces	TotalLength m	TotalWeight N
COLUMNA	Frame	1	19.75	6230.84
CableAcero	Frame	3	64.28003	1.827E-02

11. Design preferences

This section provides the design preferences for each type of design, which typically include material reduction factors, framing type, stress ratio limit, deflection limits, and other code specific items.

11.1. Steel design

Table 23: Preferences - Steel Design - AISC 360-16, Part 1 of 4

Table 23: Preferences - Steel Design - AISC 360-16, Part 1 of 4								
THDesign	FrameType	PatLLF	SRatioLimit	MaxIter	SDC	SeisCode	SeisLoad	ImpFactor
Envelopes	SMF	0.75	0.95	1	D	No	No	1.

Table 23: Preferences - Steel Design - AISC 360-16, Part 2 of 4

Table 23: Preferences - Steel Design - AISC 360-16, Part 2 of 4								
SystemRho	SystemSds	SystemR	SystemCd	Omega0	Provision	AMethod	SOMethod	SRMethod
1.	0.5	8.	5.5	3.	LRFD	Direct Analysis	General 2nd Order	Tau-b Fixed

Table 23: Preferences - Steel Design - AISC 360-16, Part 3 of 4

Table 23: Preferences - Steel Design - AISC 360-16, Part 3 of 4								
NLCoeff	PhiB	PhiC	PhiTY	PhiTF	PhiV	PhiVRolledI	PhiVT	PlugWeld
0.002	0.9	0.9	0.9	0.75	0.9	1.	0.9	Yes

Table 23: Preferences - Steel Design - AISC 360-16, Part 4 of 4

Table 23: Preferences - Steel Design - AISC 360-16, Part 4 of 4							
HSSWelding	HSSReduce T	CheckDefl	DLRat	SDLAndLLR at	LLRat	TotalRat	NetRat
ERW	No	No	120.	120.	360.	240.	240.

11.2. Concrete design

Table 24: Preferences - Concrete Design - ACI 318-14, Part 1 of 2

Table 24: Preferences - Concrete Design - ACI 318-14, Part 1 of 2								
THDesign	NumCurves	NumPoints	MinEccen	PatLLF	UFLimit	SeisCat	Rho	Sds
Envelopes	24	11	Yes	0.75	0.95	D	1.	0.5

Table 24: Preferences - Concrete Design - ACI 318-14, Part 2 of 2

Table 24: Preferences - Concrete Design - ACI 318-14, Part 2 of 2					
PhiT	PhiCTied	PhiCSpiral	PhiV	PhiVSeismic	PhiVJoint
0.9	0.65	0.75	0.75	0.6	0.85

11.3. Aluminum design

Table 25: Preferences - Aluminum Design - AA 2015, Part 1 of 2

Table 25: Preferences - Aluminum Design - AA 2015, Part 1 of 2								
THDesign	SRatioLimit	Provision	LatFact	UseLatFact	Bridge	PhiTy	PhiTr	PhiC
Envelopes	1.	LRFD	1.333333	No	No	0.9	0.75	0.9

Table 25: Preferences - Aluminum Design - AA 2015, Part 2 of 2

Table 25: Preferences - Aluminum Design - AA 2015, Part 2 of 2			
PhiBo	PhiBr	PhiVo	PhiVr
0.9	0.75	0.9	0.75

11.4. Cold formed design

Table 26: Preferences - Cold Formed Design - AISI-16, Part 1 of 2

Table 26: Preferences - Cold Formed Design - AISI-16, Part 1 of 2								
THDesign	FrameType	SRatioLimit	SOMethod	Provision	LatFact	UseLatFact	PhiTy	PhiTr
Envelopes	Braced Frame	1.	General 2nd Order	LRFD	1.333333	No	0.9	0.75

Table 26: Preferences - Cold Formed Design - AISI-16, Part 2 of 2

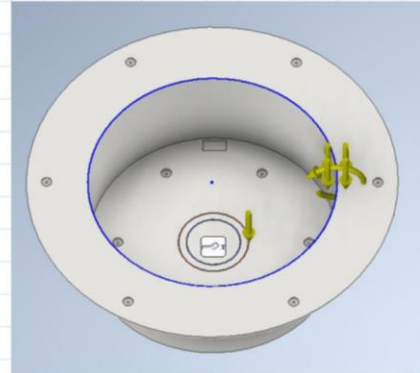
Table 26: Preferences - Cold Formed Design - AISI-16, Part 2 of 2			
PhiC	PhiB	PhiBPipe	PhiV
0.85	0.9	0.95	0.95

K.4 Mathcad del análisis de cargas para simulación de elementos finitos de piezas (hace uso de variables del Mathcad de análisis de carga de viento)

Cargas para el análisis de elementos finitos

$$g := 9.81 \frac{m}{s^2}$$

HABITÁCULO



$$W_{Tapa} := (m_{Tapa} + 10 \text{ kg}) \cdot g = (1.139 \cdot 10^4) \text{ N} \quad A_{tablero} := 58419247.327 \text{ mm}^2$$

$$P_{tablero} := \frac{W_{Tapa}}{A_{tablero}} = 0.00019489 \text{ MPa}$$

$$W_{Vant_sensores} := (50 \text{ kg} + 10 \text{ kg}) \cdot g = 588.6 \text{ N}$$

$$y_{hab} := 578.215 \text{ mm}$$

$$F_{viento} := F_{hab} = 494.42 \text{ N}$$

$$y_{Tapa} = 0.018 \text{ m}$$

$$M_{Tapa} := F_{Tapa} \cdot (y_{Tapa}) = 573.416 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

BASE SUPERIOR



$$P := (m_{hab} + m_{Tapa}) \cdot 9.81 \frac{m}{s^2} + W_{Vant_sensores} = 36964.275 \text{ N}$$

$$F_{viento} := F_{BS} = 121.996 \text{ N} \quad y_{BS} = 0.756 \text{ m}$$

$$y_{hab} = 0.578 \text{ m} \quad y_{Tapa} = 0.018 \text{ m}$$

$$M_{vientoPiezas} := F_{Tapa} \cdot (y_{Tapa} + h_{hab}) + F_{hab} \cdot (y_{hab}) = (3.215 \cdot 10^5) \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Carga vertical en los calces de soporte de la brida causado por reacciones de los cables

Tabla 3.37 Reacciones en los apoyos

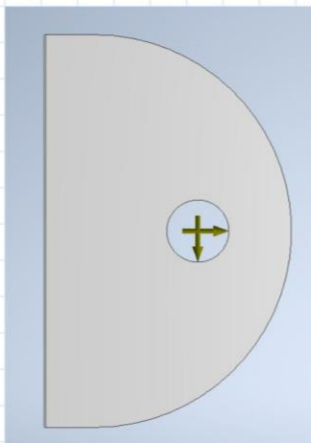
Apoyos	Fuerzas [N]			Momentos [Nm]		
	X	Y	Z	X	Y	Z
Apoyo articulado de Cable a barlovento	0	+896.46	-4717.64	0	0	0
Apoyo articulado de Cable 1 a sotavento	+762.54	-440.26	-4633.69	0	0	0
Apoyo articulado de Cable 2 a sotavento	+762.54	-440.26	-4633.69	0	0	0
Apoyo fijo de Columna	0	+1484.34	69867.77	-21917.37	0	0

$$Pz_{c1} := 4716.64 \text{ N}$$

$$Pz_{c2} := 4633.69$$

$$Pz_{c3} := 4633.69$$

ALA DE ANCLAJE DE BRIDA



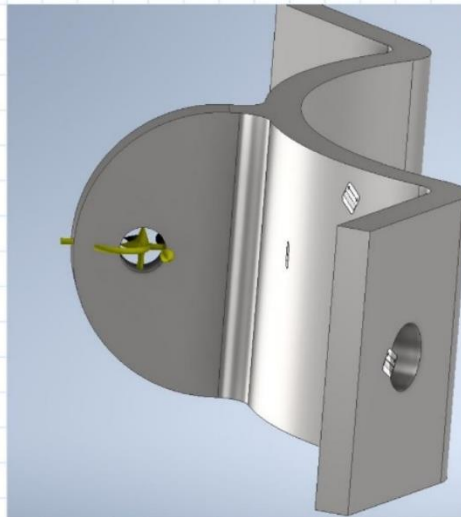
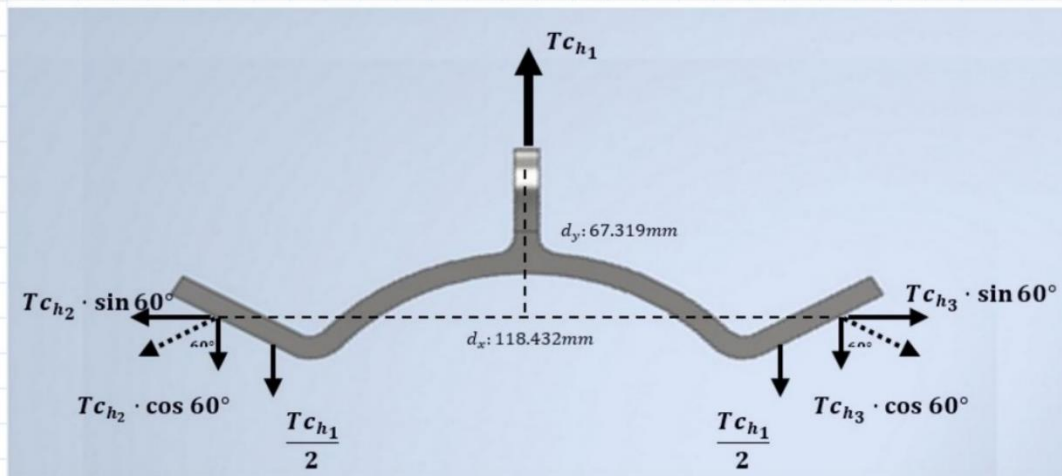
Se considera tensión del cable más crítico

$$Tc := 4802.07 \text{ N}$$

$$Tcz := -4717.64 \text{ N}$$

$$Tcy := 896.46 \text{ N}$$

SECCIÓN DE ABRAZADERA



$$Tc_1 := 4802.07 \text{ N}$$

$$Tc_2 := 4716.61 \text{ N}$$

$$Tc_3 := 4716.61 \text{ N}$$

$$\theta := \text{atan}\left(\frac{19.75 + 1.3}{4}\right) = 79.241^\circ$$

$$Tch_1 := Tc_1 \cdot \cos(\theta) = 896.466 \text{ N}$$

$$Tcv_1 := Tc_1 \cdot \sin(\theta) = (4.718 \cdot 10^3) \text{ N}$$

$$Tch_2 := Tc_2 \cdot \cos(\theta) = 880.512 \text{ N}$$

$$Tcv_2 := Tc_2 \cdot \sin(\theta) = (4.634 \cdot 10^3) \text{ N}$$

$$Tch_3 := Tc_3 \cdot \cos(\theta) = 880.512 \text{ N}$$

$$Tcv_3 := Tc_3 \cdot \sin(\theta) = (4.634 \cdot 10^3) \text{ N}$$

$$\frac{Tch_1}{2} = 448.233 \text{ N}$$

Análisis horizontal:

$$Tch_1 \sin 60 := Tch_1 \cdot \sin(60^\circ) = 776.362 \text{ N} \quad Tch_1 \cos 60 := Tch_1 \cdot \cos(60^\circ) = 448.233 \text{ N}$$

$$Tch_2 \sin 60 := Tch_2 \cdot \sin(60^\circ) = 762.545 \text{ N} \quad Tch_2 \cos 60 := Tch_2 \cdot \cos(60^\circ) = 440.256 \text{ N}$$

$$Tch_3 \sin 60 := Tch_3 \cdot \sin(60^\circ) = 762.545 \text{ N} \quad Tch_3 \cos 60 := Tch_3 \cdot \cos(60^\circ) = 440.256 \text{ N}$$

Traslado al ala de anclaje

$$d_y := 67.319 \text{ mm}$$

$$d_x := \frac{236.864}{2} \text{ mm} = 118.432 \text{ mm}$$

$$M_{c2x} := Tch_2 \cos 60 \cdot d_x = 52140.381 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad M_{c2y} := Tch_2 \sin 60 \cdot d_y = 51333.8 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

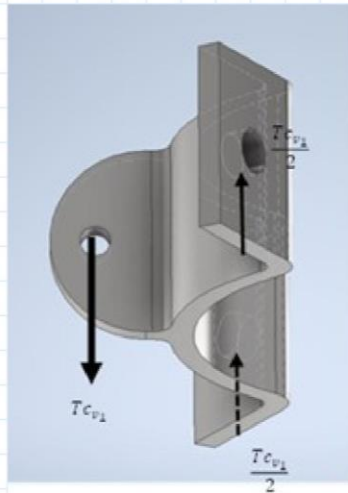
$$M_{c3x} := Tch_3 \cos 60 \cdot d_x = (5.214 \cdot 10^4) \text{ N} \cdot \text{mm} \quad M_{c3y} := Tch_3 \sin 60 \cdot d_y = (5.133 \cdot 10^4) \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$Tch_2 \cos 60 + Tch_3 \cos 60 = 880.512 \text{ N}$$

$$M_{c2y} + M_{c3x} = 103474.181 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{c2x} + M_{c3y} = 103474.181 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

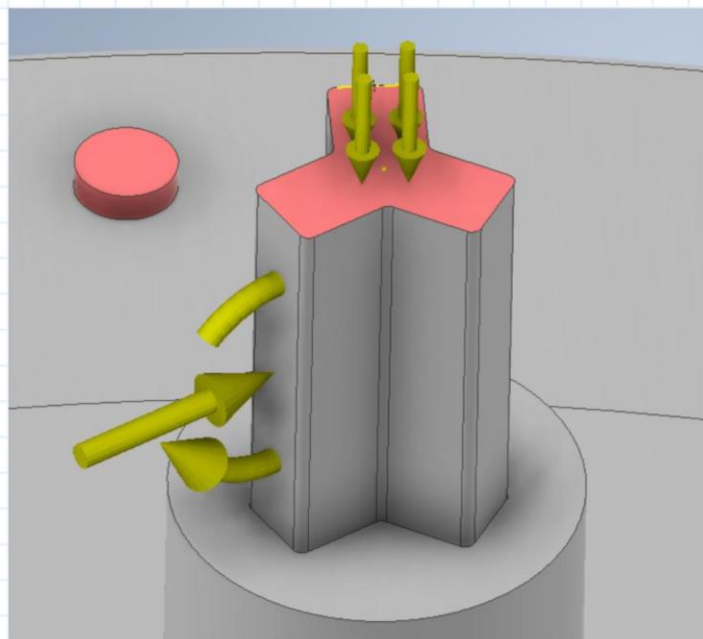
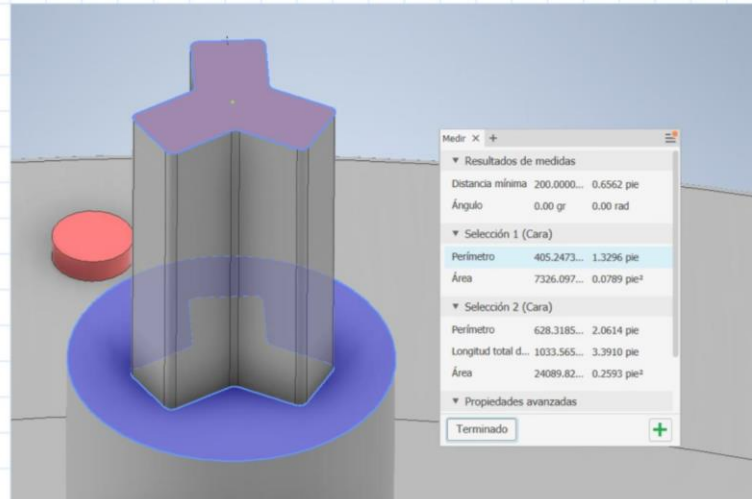
Análisis vertical:



$$Tcv_1 := Tc_1 \cdot \sin(\theta) = (4.718 \cdot 10^3) \text{ N}$$

UNIÓN COLUMNA - BASE INFERIOR

Se considera el elemento bajo servicio



$$A_Y := 7326.0970 \text{ mm}^2$$

$$A_{CmY} := 24089.8296 \text{ mm}^2$$

$$P_Y := \frac{69867.77 \text{ N}}{A_Y} = 9.537 \text{ MPa}$$

$$P_{CmY} := \frac{69867.77 \text{ N}}{A_{CmY}} = 2.9 \text{ MPa}$$

$$F_h := 1484.34 \text{ N}$$

$$M := 21917.37 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M = 21917370 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

K.5 Simulación del habitáculo

VantSensores	F_viento																										
<table><tr><th>Tipo de carga</th><th>Fuerza</th></tr><tr><td>Magnitud</td><td>588.600 N</td></tr><tr><td>Vector X</td><td>0.000 N</td></tr><tr><td>Vector Y</td><td>-588.600 N</td></tr><tr><td>Vector Z</td><td>0.000 N</td></tr></table>	Tipo de carga	Fuerza	Magnitud	588.600 N	Vector X	0.000 N	Vector Y	-588.600 N	Vector Z	0.000 N	<table><tr><th>Tipo de carga</th><th>Fuerza remota</th></tr><tr><td>Magnitud</td><td>494.420 N</td></tr><tr><td>Vector X</td><td>-494.420 N</td></tr><tr><td>Vector Y</td><td>0.000 N</td></tr><tr><td>Vector Z</td><td>0.000 N</td></tr><tr><td>Punto remoto X</td><td>1200.000 mm</td></tr><tr><td>Punto remoto Y</td><td>578.215 mm</td></tr><tr><td>Punto remoto Z</td><td>0.000 mm</td></tr></table>	Tipo de carga	Fuerza remota	Magnitud	494.420 N	Vector X	-494.420 N	Vector Y	0.000 N	Vector Z	0.000 N	Punto remoto X	1200.000 mm	Punto remoto Y	578.215 mm	Punto remoto Z	0.000 mm
Tipo de carga	Fuerza																										
Magnitud	588.600 N																										
Vector X	0.000 N																										
Vector Y	-588.600 N																										
Vector Z	0.000 N																										
Tipo de carga	Fuerza remota																										
Magnitud	494.420 N																										
Vector X	-494.420 N																										
Vector Y	0.000 N																										
Vector Z	0.000 N																										
Punto remoto X	1200.000 mm																										
Punto remoto Y	578.215 mm																										
Punto remoto Z	0.000 mm																										
PresiónTapa	Momento:1																										
<table><tr><th>Tipo de carga</th><th>Presión</th></tr><tr><td>Magnitud</td><td>0.000 MPa</td></tr></table>	Tipo de carga	Presión	Magnitud	0.000 MPa	<table><tr><th>Tipo de carga</th><th>Momento</th></tr><tr><td>Magnitud</td><td>576.416 N mm</td></tr><tr><td>Vector X</td><td>0.000 N mm</td></tr><tr><td>Vector Y</td><td>0.000 N mm</td></tr><tr><td>Vector Z</td><td>576.416 N mm</td></tr></table>	Tipo de carga	Momento	Magnitud	576.416 N mm	Vector X	0.000 N mm	Vector Y	0.000 N mm	Vector Z	576.416 N mm												
Tipo de carga	Presión																										
Magnitud	0.000 MPa																										
Tipo de carga	Momento																										
Magnitud	576.416 N mm																										
Vector X	0.000 N mm																										
Vector Y	0.000 N mm																										
Vector Z	576.416 N mm																										

Figura K.3 Cargas actuantes sobre el habitáculo (Elaboración propia, 2021)

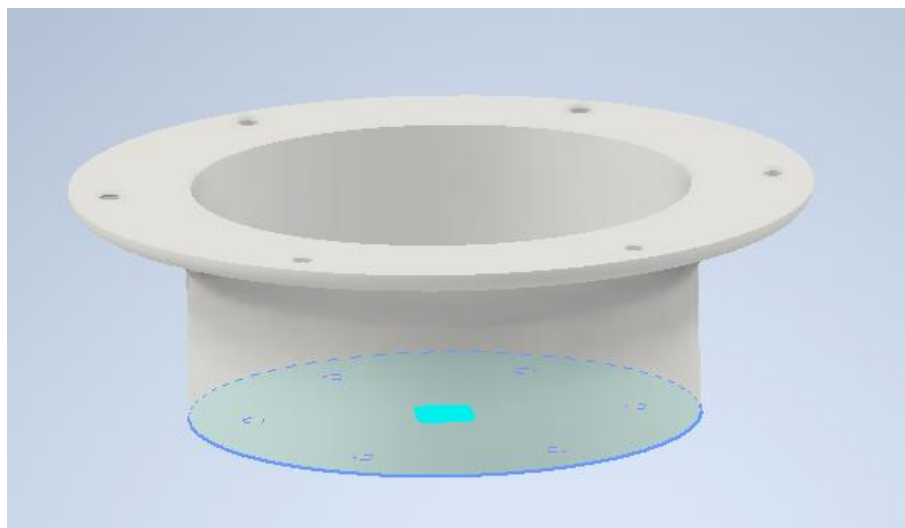


Figura K.4 Restricción fija del habitáculo (Elaboración propia, 2021)

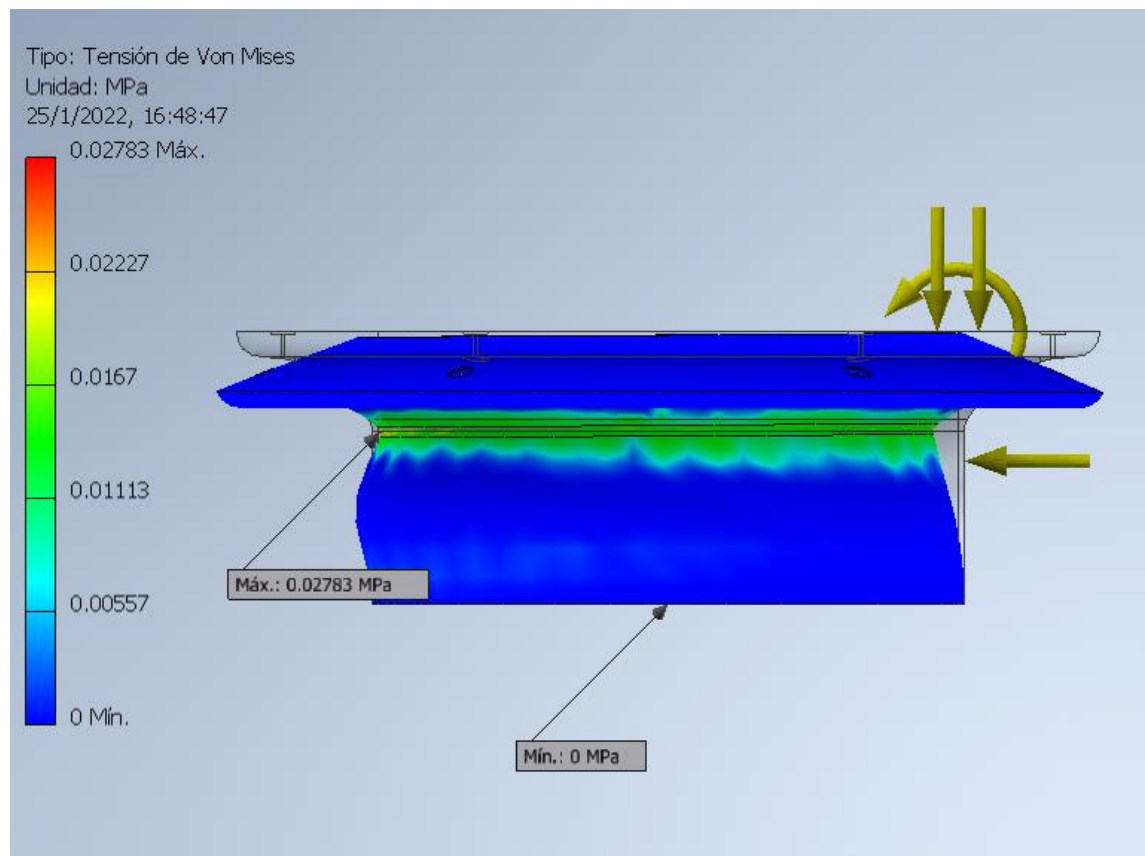


Figura K.5 Tensión de Von Mises en el habitáculo (Elaboración propia, 2021)

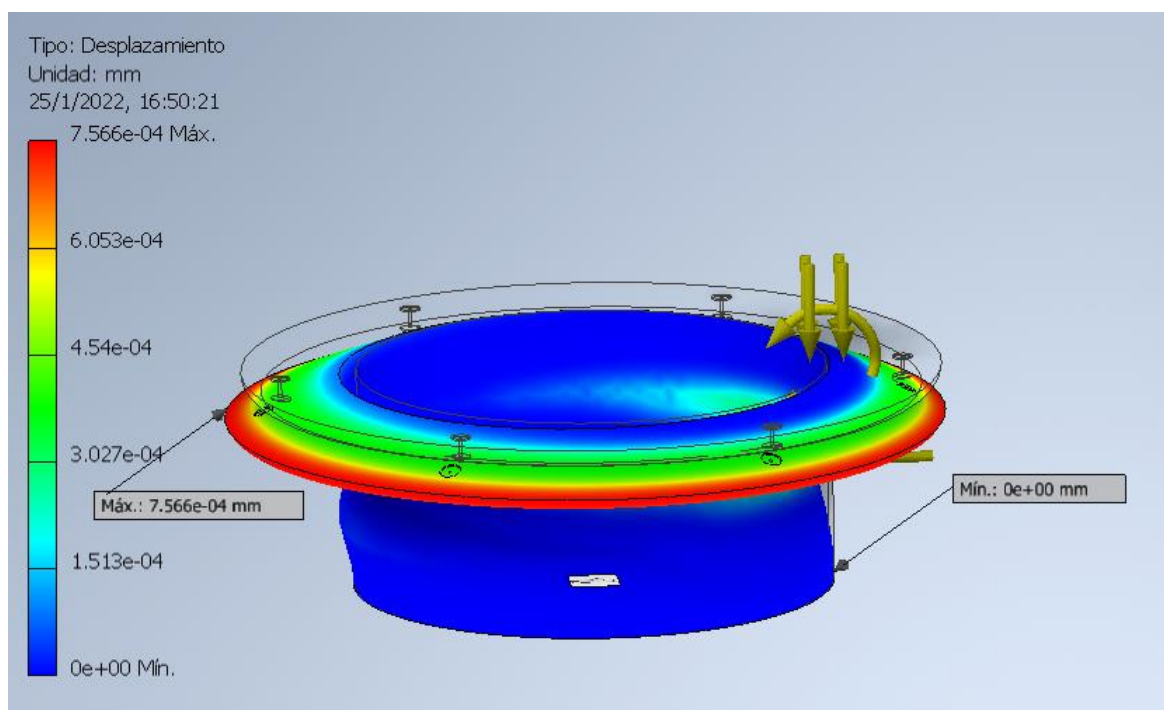


Figura K.6 Desplazamiento del habitáculo (Elaboración propia, 2021)

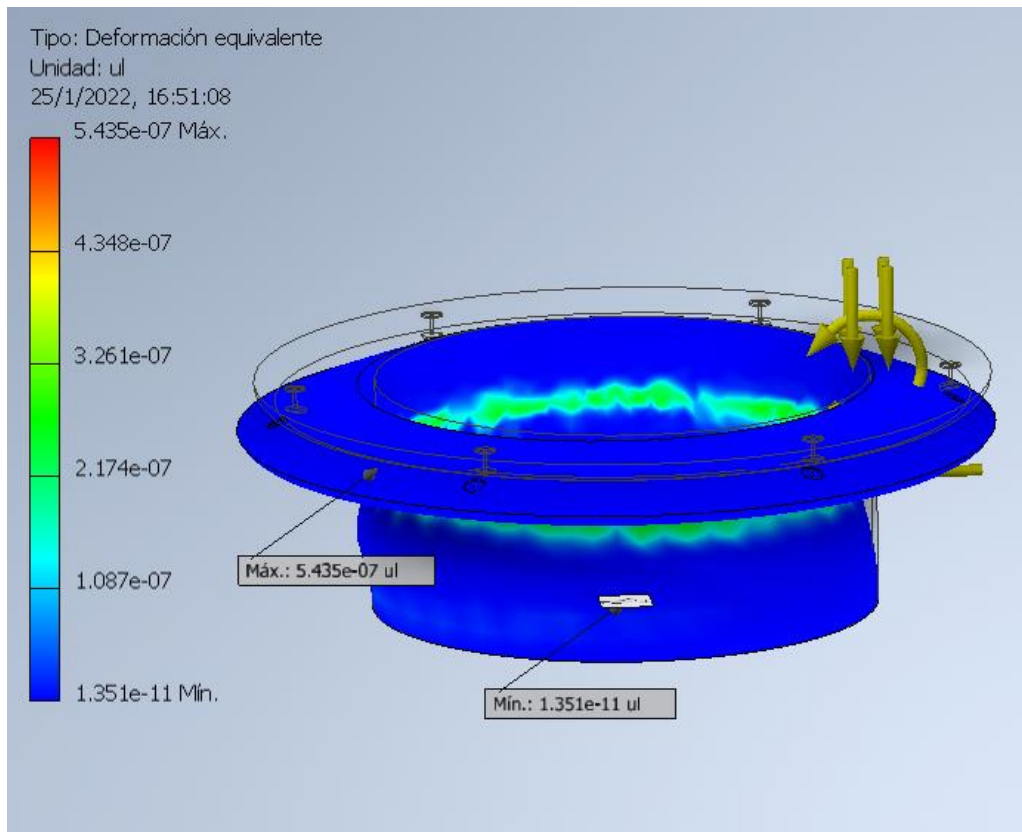


Figura K.7 Deformación equivalente del habitáculo (Elaboración propia, 2021)

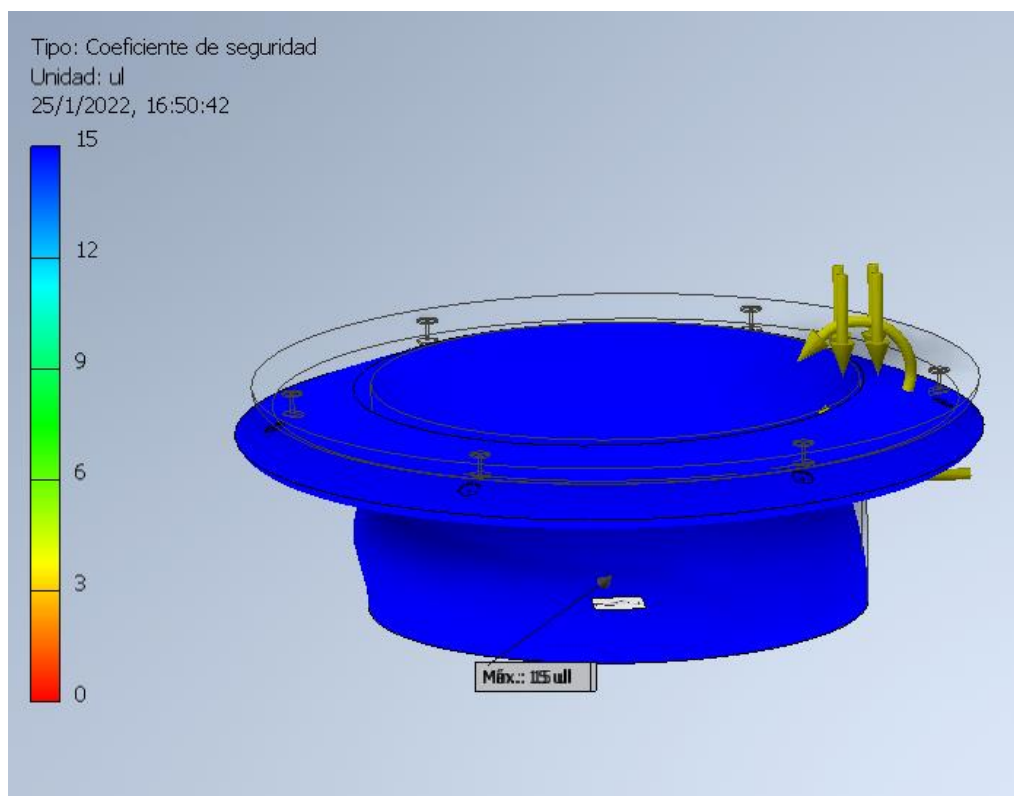


Figura K.8 Coeficiente de seguridad del habitáculo (Elaboración propia, 2021)

Nombre de la restricción	Fuerza de reacción		Pares de reacción	
	Magnitud	Componente (X, Y, Z)	Magnitud	Componente (X, Y, Z)
Restricción fija:1	1683.42 N	494.418 N	286.551 N m	0 N m
		1609.18 N		0 N m
		0 N		-286.551 N m

Figura K.9 Fuerzas y pares de reacción en restricción del habitáculo (Elaboración propia, 2021)

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	1305010000 mm ³	
Masa	2114.77 kg	
Tensión de Von Mises	0.000000636412 MPa	0.0278335 MPa
Primera tensión principal	-0.0180794 MPa	0.0230541 MPa
Tercera tensión principal	-0.0351988 MPa	0.00280092 MPa
Desplazamiento	0 mm	0.000756645 mm
Coeficiente de seguridad	15 su	15 su
Tensión XX	-0.0316848 MPa	0.0143597 MPa
Tensión XY	-0.00687297 MPa	0.00818588 MPa
Tensión XZ	-0.0092015 MPa	0.0100344 MPa
Tensión YY	-0.0347277 MPa	0.0230256 MPa
Tensión YZ	-0.00837464 MPa	0.00839321 MPa
Tensión ZZ	-0.0240475 MPa	0.0142272 MPa
Desplazamiento X	-0.000374121 mm	0.000114059 mm
Desplazamiento Y	-0.000732068 mm	0.000000729705 mm
Desplazamiento Z	-0.000242729 mm	0.000229551 mm
Deformación equivalente	0.0000000000135059 su	0.000000543506 su
Primera deformación principal	-0.0000000749298 su	0.000000474155 su
Tercera deformación principal	-0.000000559798 su	-0.0000000000164473 su
Deformación XX	-0.000000360955 su	0.000000306647 su
Deformación XY	-0.000000187856 su	0.000000223741 su
Deformación XZ	-0.0000002515 su	0.000000274265 su
Deformación YY	-0.000000546924 su	0.000000473374 su
Deformación YZ	-0.0000002289 su	0.000000229408 su
Deformación ZZ	-0.000000279073 su	0.00000027412 su

Figura K.10 Resumen de resultados de simulación del habitáculo (Elaboración propia, 2021)

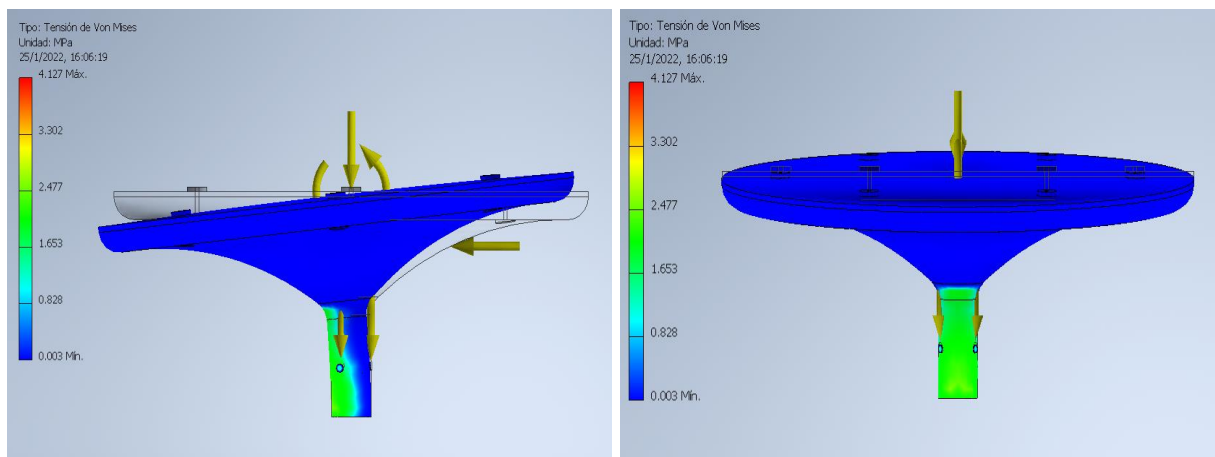


Figura K.13 Tensión de Von Mises en la base superior (Elaboración propia, 2021)

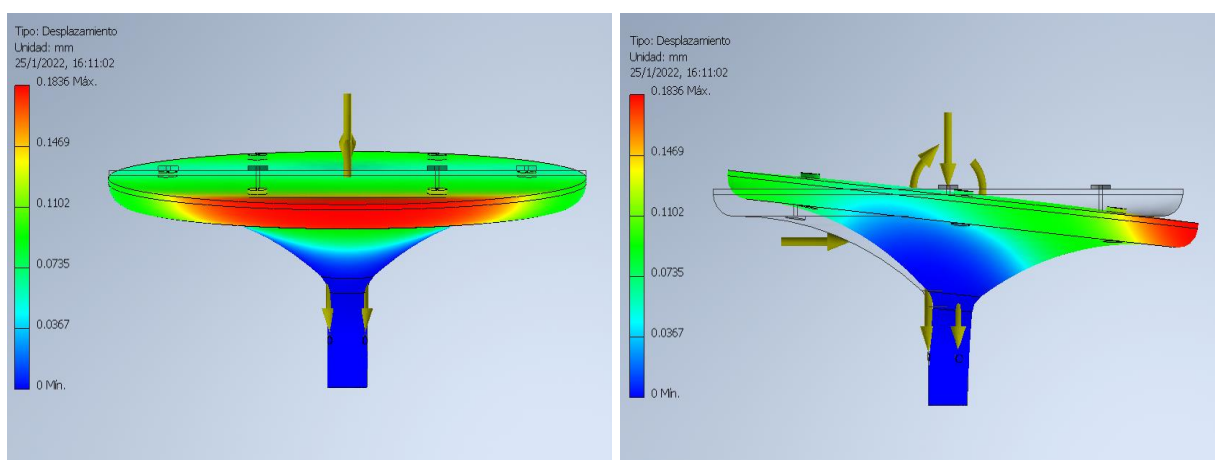


Figura K.14 Desplazamiento de la base superior (Elaboración propia, 2021)

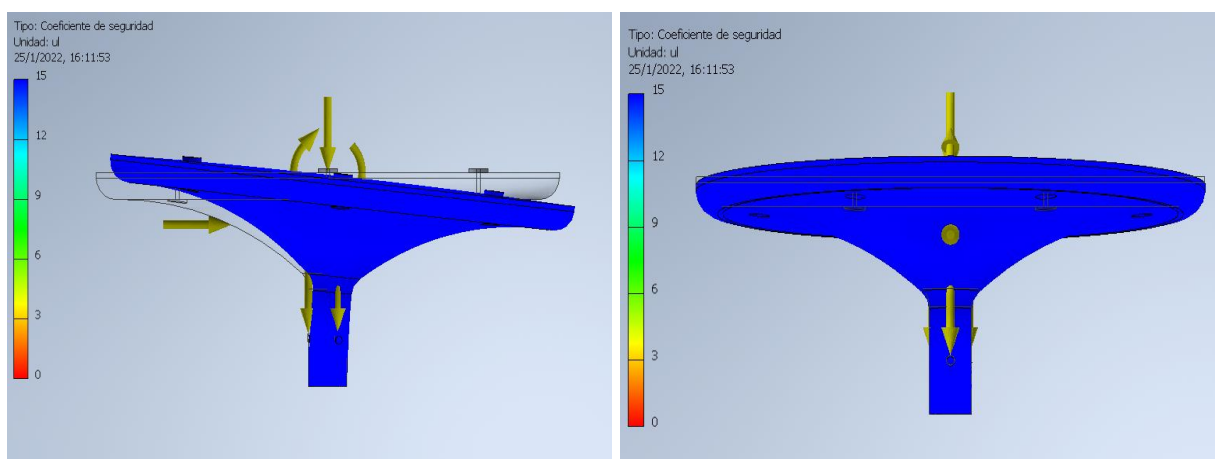


Figura K.15 Coeficiente de seguridad de la base superior (Elaboración propia, 2021)

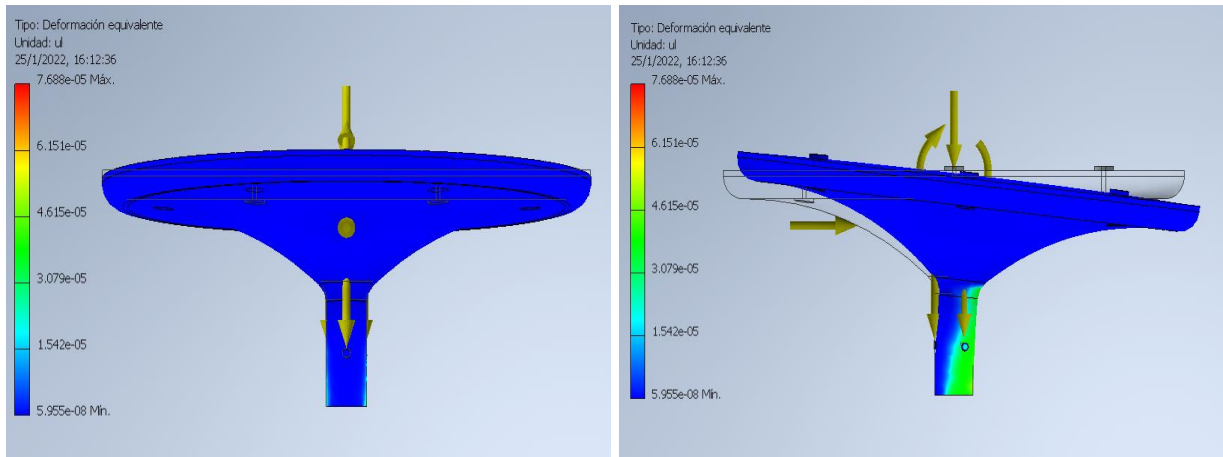


Figura K.16 Deformación equivalente de la base superior (Elaboración propia, 2021)

Nombre de la restricción	Fuerza de reacción		Pares de reacción	
	Magnitud	Componente (X, Y, Z)	Magnitud	Componente (X, Y, Z)
Restricción fija:1	50951.8 N	-50947.6 N	904.896 N m	0 N m
		654.446 N		0 N m
		0 N		-904.896 N m

Figura K.17 Fuerzas y pares de reacción en restricción de la base superior (Elaboración propia, 2021)

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	818955000 mm ³	
Masa	1327.12 kg	
Tensión de Von Mises	0.00324547 MPa	4.12658 MPa
Primera tensión principal	-1.58937 MPa	1.87945 MPa
Tercera tensión principal	-4.36886 MPa	0.36154 MPa
Desplazamiento	0 mm	0.183631 mm
Coeficiente de seguridad	15 su	15 su
Tensión XX	-4.33385 MPa	0.395732 MPa
Tensión XY	-0.912703 MPa	1.04393 MPa
Tensión XZ	-1.19794 MPa	1.15704 MPa
Tensión YY	-1.86068 MPa	1.6207 MPa
Tensión YZ	-0.92048 MPa	0.8137 MPa
Tensión ZZ	-2.09171 MPa	1.80879 MPa
Desplazamiento X	-0.0903689 mm	0.163685 mm
Desplazamiento Y	-0.0855207 mm	0.00033587 mm
Desplazamiento Z	-0.00320388 mm	0.00318226 mm
Deformación equivalente	0.0000000595464 su	0.0000768786 su
Primera deformación principal	0.0000000482025 su	0.000031558 su
Tercera deformación principal	-0.0000863241 su	-0.0000000539854 su
Deformación XX	-0.0000854934 su	0.0000025419 su
Deformación XY	-0.0000249465 su	0.0000285333 su
Deformación XZ	-0.0000327427 su	0.0000316249 su
Deformación YY	-0.0000208798 su	0.0000295014 su
Deformación YZ	-0.000025159 su	0.0000222405 su
Deformación ZZ	-0.0000250127 su	0.0000254854 su

Figura K.18 Resumen de resultados de simulación de la base superior (Elaboración propia, 2021)

K.7 Simulación del ala de anclaje de la brida

☐ TensionCableZ

Tipo de carga	Fuerza remota
Magnitud	4717.640 N
Vector X	0.000 N
Vector Y	0.000 N
Vector Z	4717.640 N
Punto remoto X	5.000 mm
Punto remoto Y	31.000 mm
Punto remoto Z	46.350 mm

☐ TensionCableY

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	896.460 N
Vector X	-896.460 N
Vector Y	0.000 N
Vector Z	0.000 N

Figura K.19 Cargas actuantes sobre el ala de anclaje de la brida (Elaboración propia, 2021)

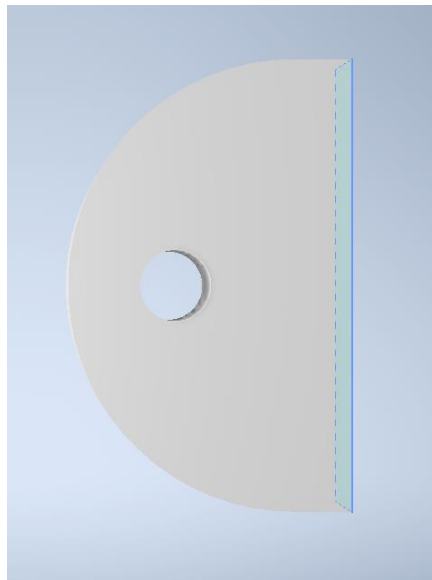


Figura K.20 Restricción fija del ala de anclaje de la brida (Elaboración propia, 2021)

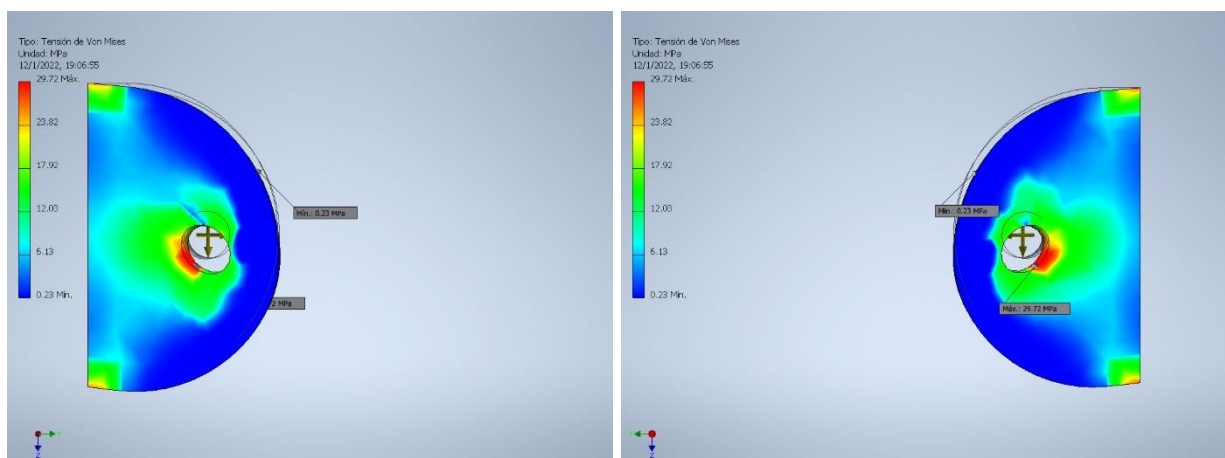


Figura K.21 Tensión de Von Mises del ala de anclaje de la brida (Elaboración propia, 2021)

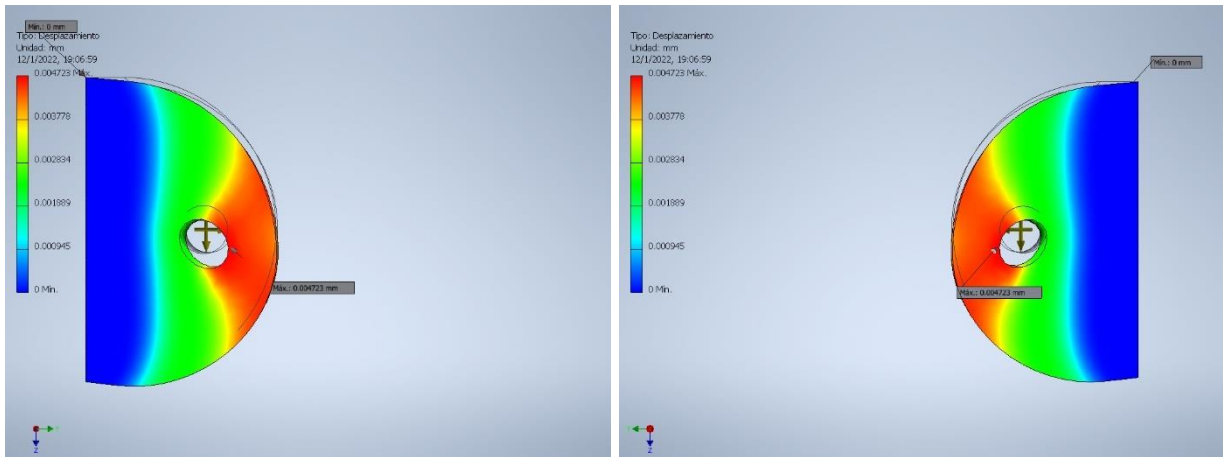


Figura K.22 Desplazamiento del ala de anclaje de la brida (Elaboración propia, 2021)

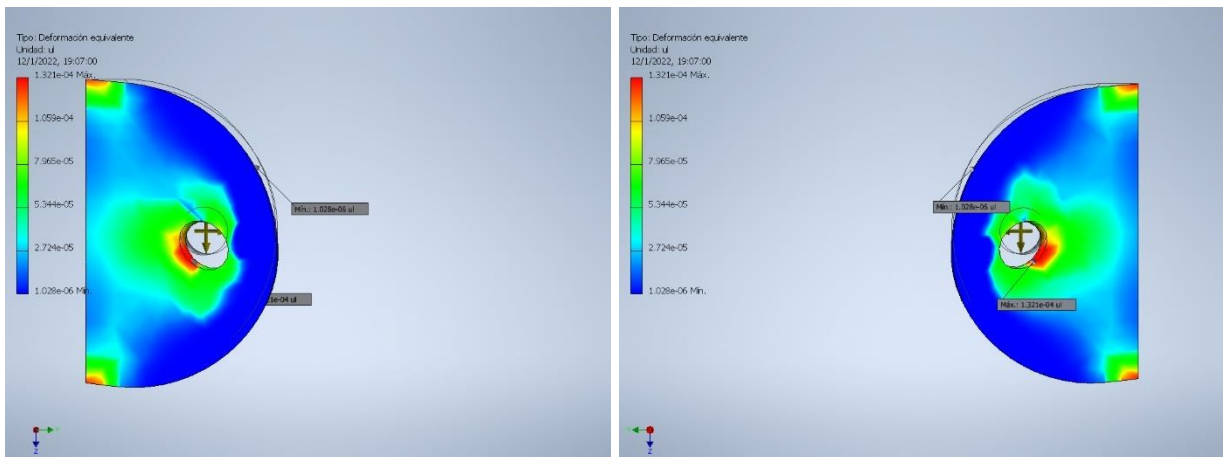


Figura K.23 Deformación equivalente del ala de anclaje de la brida (Elaboración propia, 2021)

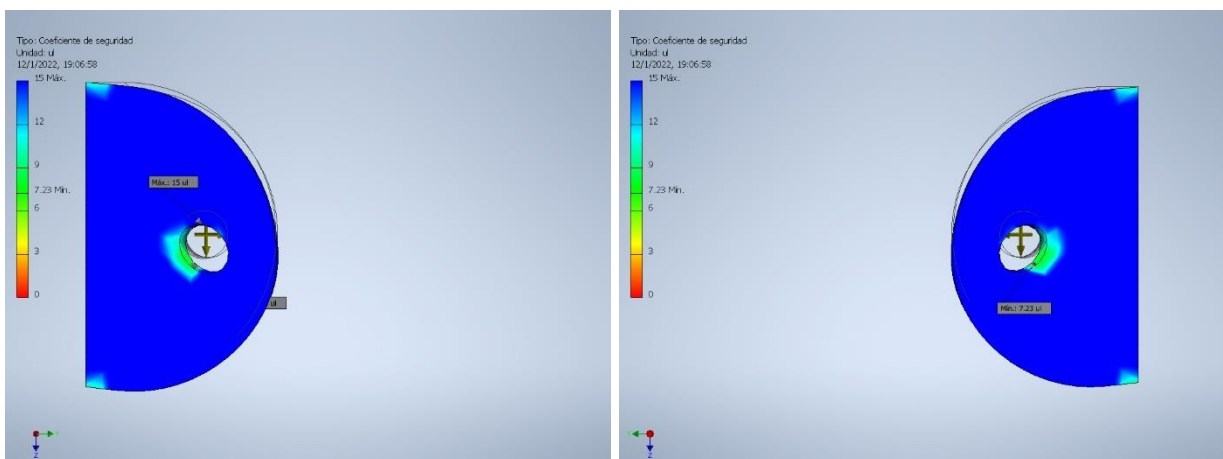


Figura K.24 Coeficiente de seguridad del ala de anclaje de la brida (Elaboración propia, 2021)

Nombre de la restricción	Fuerza de reacción		Pares de reacción	
	Magnitud	Componente (X, Y, Z)	Magnitud	Componente (X, Y, Z)
Restricción fija:1	4715.86 N	0 N	146.367 N m	-146.367 N m
		0 N		0 N m
		-4715.86 N		0 N m

**Figura K.25 Fuerzas y pares de reacción en restricción del ala de anclaje de la brida
(Elaboración propia, 2021)**

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	31941.9 mm ³	
Masa	0.255535 kg	
Tensión de Von Mises	0.232442 MPa	29.7188 MPa
Primera tensión principal	-6.56863 MPa	32.8096 MPa
Tercera tensión principal	-32.9303 MPa	6.56956 MPa
Desplazamiento	0 mm	0.00472267 mm
Coeficiente de seguridad	7.23449 su	15 su
Tensión XX	-11.3714 MPa	11.3384 MPa
Tensión XY	-4.06793 MPa	4.10492 MPa
Tensión XZ	-1.76745 MPa	2.18206 MPa
Tensión YY	-31.1886 MPa	31.0945 MPa
Tensión YZ	-8.1975 MPa	16.5338 MPa
Tensión ZZ	-24.0246 MPa	25.1782 MPa
Desplazamiento X	-0.000189359 mm	0.000179879 mm
Desplazamiento Y	-0.00122855 mm	0.00121672 mm
Desplazamiento Z	0 mm	0.00471999 mm
Deformación equivalente	0.00000102781 su	0.00013207 su
Primera deformación principal	0.000000738329 su	0.000144808 su
Tercera deformación principal	-0.000145774 su	-0.000000950273 su
Deformación XX	-0.0000379546 su	0.0000355118 su
Deformación XY	-0.0000269109 su	0.0000271556 su
Deformación XZ	-0.0000116924 su	0.0000144351 su
Deformación YY	-0.000132588 su	0.000131854 su
Deformación YZ	-0.0000542296 su	0.000109378 su
Deformación ZZ	-0.000107193 su	0.000117206 su

**Figura K.26 Resumen de resultados de simulación del ala de anclaje de la brida
(Elaboración propia, 2021)**

K.8 Simulación de una sección de la brida

Tcv1

Tipo de carga	Fuerza remota
Magnitud	4718.000 N
Vector X	0.000 N
Vector Y	0.000 N
Vector Z	-4718.000 N
Punto remoto X	0.000 mm
Punto remoto Y	-6.350 mm
Punto remoto Z	33.650 mm

Tch1

Tipo de carga	Fuerza remota
Magnitud	896.466 N
Vector X	0.000 N
Vector Y	896.466 N
Vector Z	0.000 N
Punto remoto X	0.000 mm
Punto remoto Y	0.000 mm
Punto remoto Z	40.000 mm

Tch2cos60Tch3cos60

Tipo de carga	Fuerza remota
Magnitud	880.512 N
Vector X	0.000 N
Vector Y	-880.512 N
Vector Z	0.000 N
Punto remoto X	0.000 mm
Punto remoto Y	0.000 mm
Punto remoto Z	40.000 mm

Tch2sin60

Tipo de carga	Fuerza remota
Magnitud	762.545 N
Vector X	-762.545 N
Vector Y	-0.000 N
Vector Z	0.000 N
Punto remoto X	0.000 mm
Punto remoto Y	-12.700 mm
Punto remoto Z	40.000 mm

Tch3sin60

Tipo de carga	Fuerza remota
Magnitud	762.545 N
Vector X	-762.545 N
Vector Y	-0.000 N
Vector Z	0.000 N
Punto remoto X	0.000 mm
Punto remoto Y	-12.700 mm
Punto remoto Z	40.000 mm

Momento:2

Tipo de carga	Momento
Magnitud	103474.181 N mm
Vector X	0.000 N mm
Vector Y	0.000 N mm
Vector Z	103474.181 N mm

Momento:3

Tipo de carga	Momento
Magnitud	103474.181 N mm
Vector X	0.000 N mm
Vector Y	0.000 N mm
Vector Z	-103474.181 N mm

Figura K.27 Cargas actuantes sobre la sección de brida (Elaboración propia, 2021)

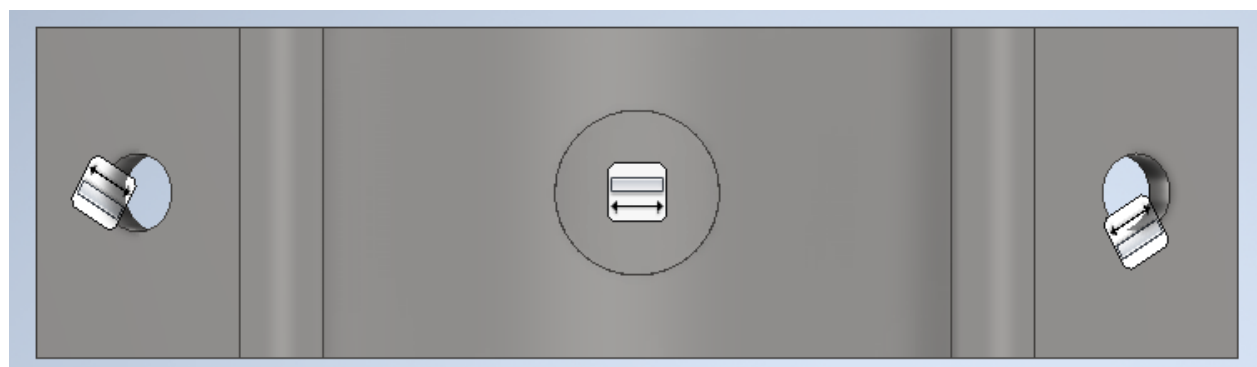


Figura K.28 Restricciones en sentido vertical de la sección de brida (Elaboración propia, 2021)

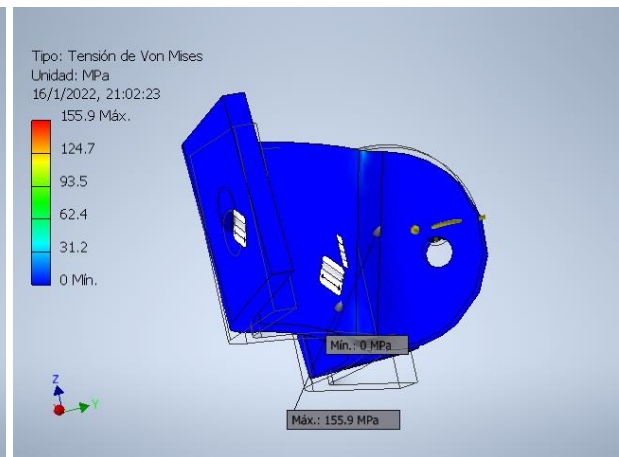
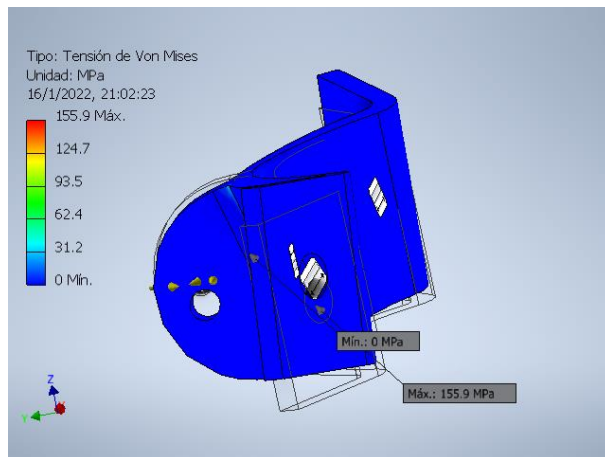


Figura K.29 Tensión de Von Mises de la sección de brida (Elaboración propia, 2021)

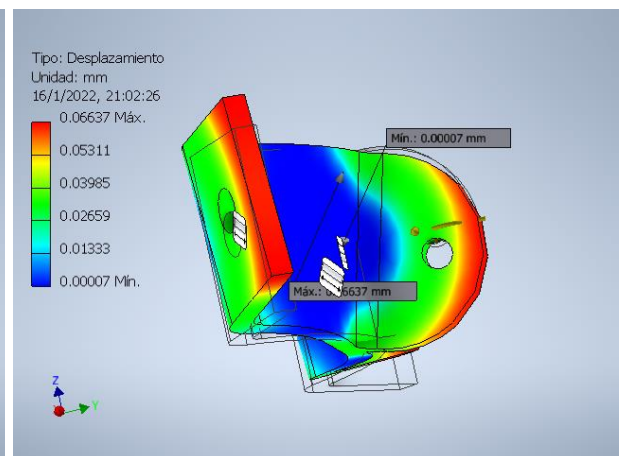
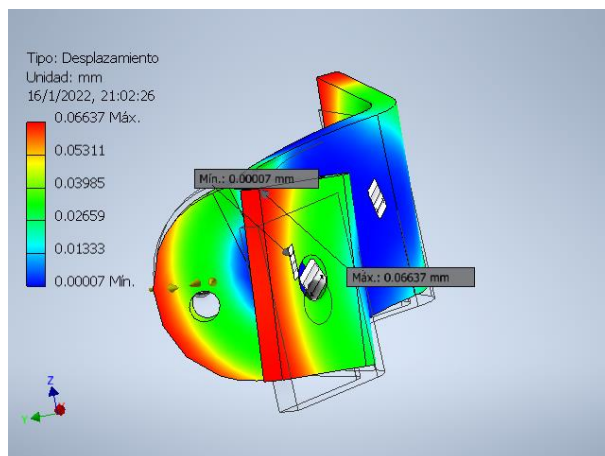


Figura K.30 Desplazamiento de la sección de brida (Elaboración propia, 2021)

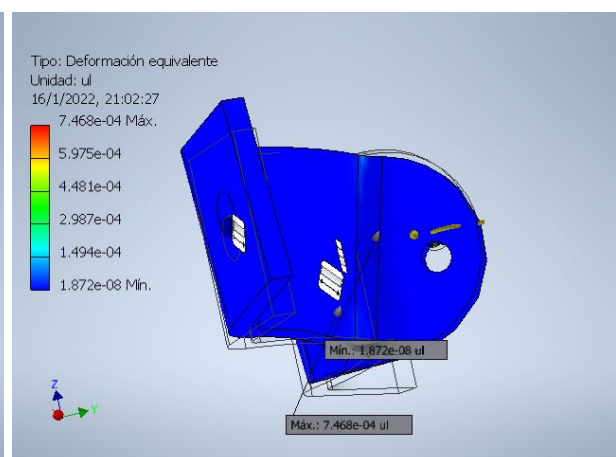
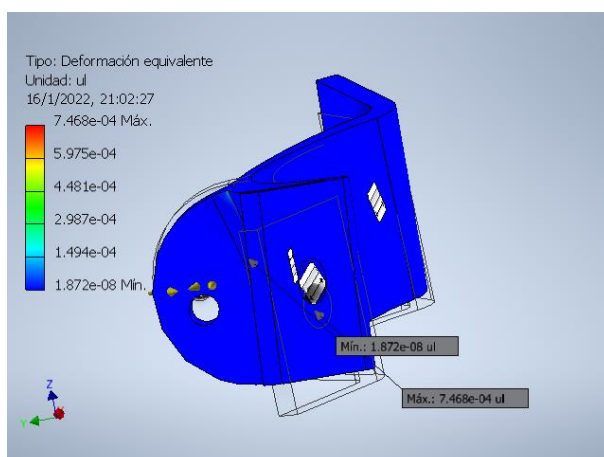


Figura K.31 Deformación equivalente del ala de la sección de brida (Elaboración propia, 2021)

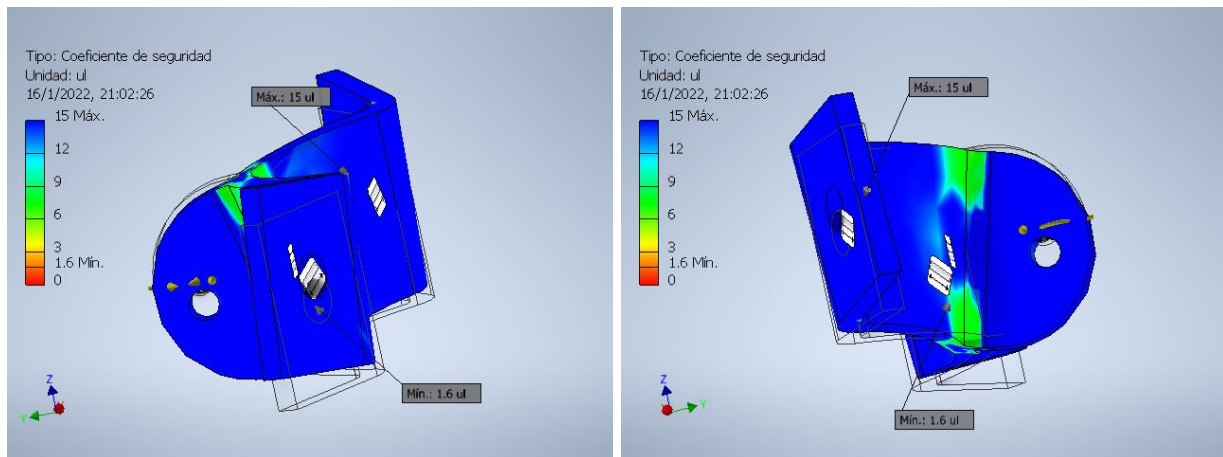


Figura K.32 Coeficiente de seguridad del ala de la sección de brida (Elaboración propia, 2021)

Nombre de la restricción	Fuerza de reacción		Pares de reacción	
	Magnitud	Componente (X, Y, Z)	Magnitud	Componente (X, Y, Z)
Restricción sin fricción:1	4716.03 N	14.578 N	63.4034 N m	63.3827 N m
		-0.366785 N		0.0401707 N m
		4716.01 N		-1.61891 N m
Restricción sin fricción:2	25.1473 N	-12.7869 N	72.2458 N m	62.5564 N m
		-21.6529 N		-36.1246 N m
		-0.18461 N		-1.08199 N m
Restricción sin fricción:3	8.07441 N	-4.5304 N	72.1185 N m	62.4616 N m
		6.68241 N		36.0486 N m
		-0.130435 N		-0.350233 N m

Figura K.33 Fuerzas y pares de reacción en restricción de la sección de brida (Elaboración propia, 2021)

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	284947 mm ³	
Masa	2.27957 kg	
Tensión de Von Mises	0.00409876 MPa	155.898 MPa
Primera tensión principal	-32.2862 MPa	188.985 MPa
Tercera tensión principal	-158.478 MPa	27.5982 MPa
Desplazamiento	0.0000675038 mm	0.0663706 mm
Coeficiente de seguridad	1.60361 su	15 su
Tensión XX	-55.7464 MPa	62.2942 MPa
Tensión XY	-24.4624 MPa	23.0152 MPa
Tensión XZ	-36.921 MPa	37.374 MPa
Tensión YY	-49.4391 MPa	34.0958 MPa
Tensión YZ	-13.9755 MPa	55.4501 MPa
Tensión ZZ	-132.499 MPa	176.189 MPa
Desplazamiento X	-0.0234767 mm	0.0239415 mm
Desplazamiento Y	-0.0423477 mm	0.0428111 mm
Desplazamiento Z	-0.063869 mm	0.0615163 mm
Deformación equivalente	0.0000000187182 su	0.000746836 su
Primera deformación principal	0.0000000104341 su	0.000859056 su
Tercera deformación principal	-0.000713095 su	0.000000000365915 su
Deformación XX	-0.000208737 su	0.000244944 su
Deformación XY	-0.000164773 su	0.000155025 su
Deformación XZ	-0.000248691 su	0.000251742 su
Deformación YY	-0.000226689 su	0.000145853 su
Deformación YZ	-0.0000941352 su	0.000373498 su
Deformación ZZ	-0.00053811 su	0.000772862 su

Figura K.34 Resumen de resultados de simulación de la sección de brida (Elaboración propia, 2021)

K.9 Simulación de la unión columna - base inferior

Presión:1

Tipo de carga	Presión
Magnitud	9.537 MPa

Presión:2

Tipo de carga	Presión
Magnitud	2.900 MPa

Fuerza:1

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	1484.340 N
Vector X	1285.476 N
Vector Y	0.000 N
Vector Z	-742.170 N

Momento:1

Tipo de carga	Momento
Magnitud	21917369.996 N mm
Vector X	-10958685.000 N mm
Vector Y	0.000 N mm
Vector Z	-18980999.200 N mm

Figura K.35 Cargas actuantes sobre la unión columna - base inferior (Elaboración propia, 2021)

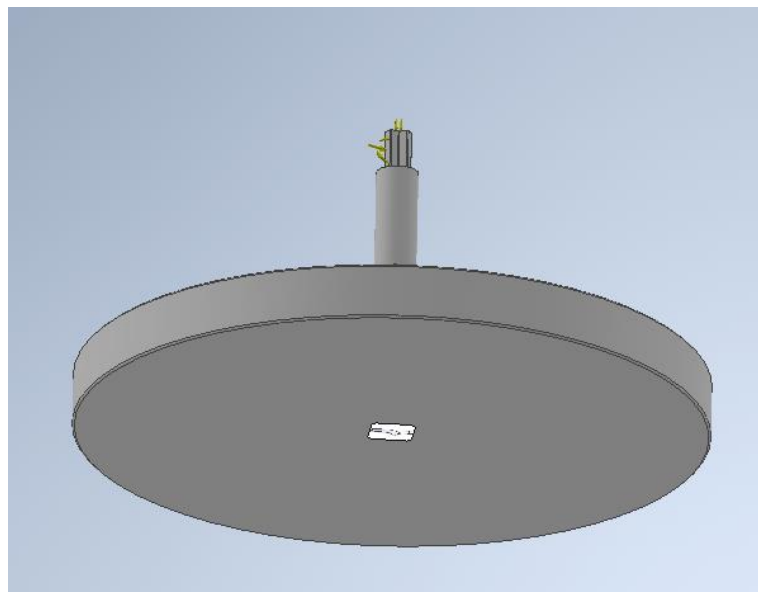


Figura K.36 Restricción fija de la base inferior (Elaboración propia, 2021)

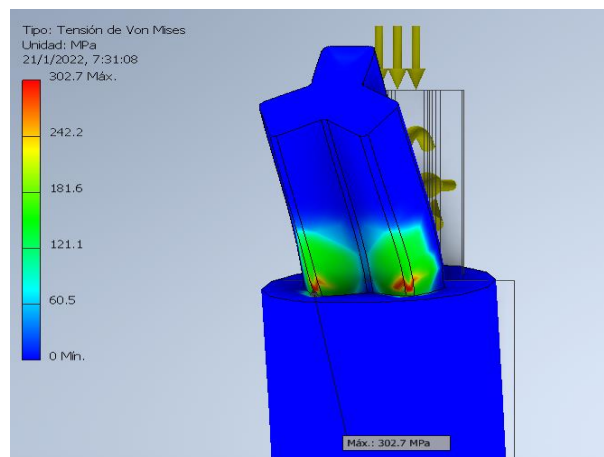
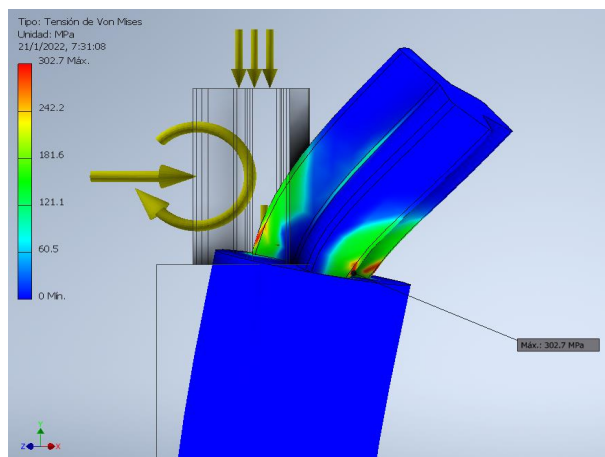


Figura K.37 Tensión de Von Mises de la unión columna – base inferior (Elaboración propia, 2021)

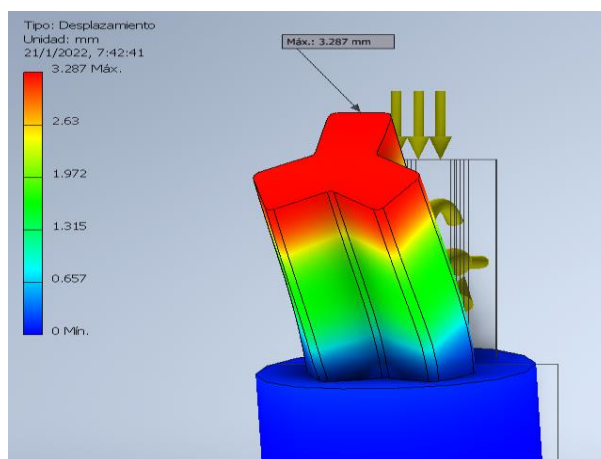
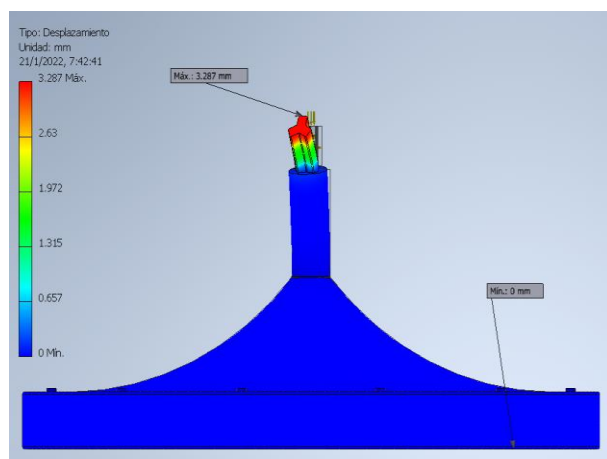


Figura K.38 Desplazamiento de la unión columna – base inferior (Elaboración propia, 2021)

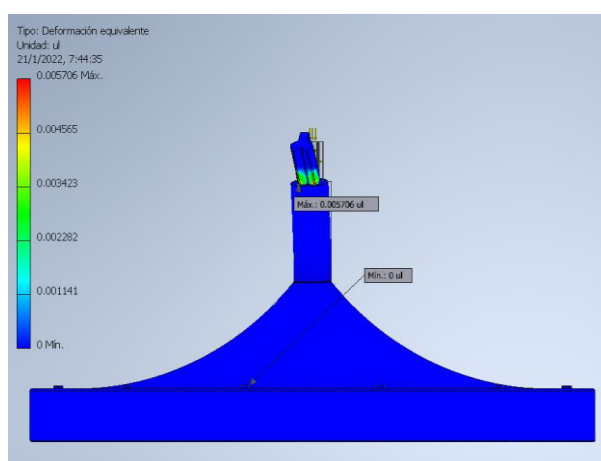
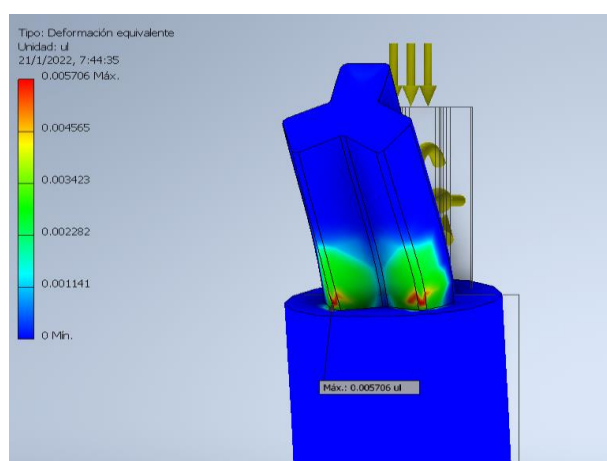


Figura K.39 Deformación equivalente del ala de la unión columna – base inferior (Elaboración propia, 2021)

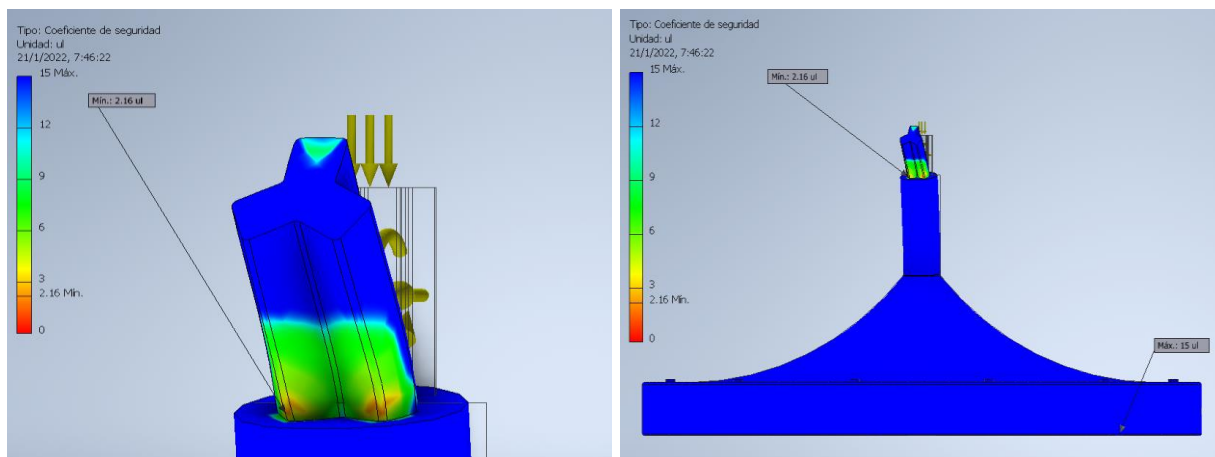


Figura K.40 Coeficiente de seguridad del ala de la unión columna – base inferior (Elaboración propia, 2021)

Nombre de la restricción	Fuerza de reacción		Pares de reacción	
	Magnitud	Componente (X, Y, Z)	Magnitud	Componente (X, Y, Z)
Restricción fija:1	139658 N	-1285.41 N	23991.9 N m	11997.2 N m
		139650 N		0 N m
		742.133 N		20776.8 N m

Figura K.41 Fuerzas y pares de reacción en restricción de la unión columna – base inferior (Elaboración propia, 2021)

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	2.35821E+09 mm ³	
Masa	3821.49 kg	
Tensión de Von Mises	0.0000189072 MPa	302.722 MPa
Primera tensión principal	-57.563 MPa	350.059 MPa
Tercera tensión principal	-353.733 MPa	83.3743 MPa
Desplazamiento	0 mm	3.28709 mm
Coeficiente de seguridad	2.15957 su	15 su
Tensión XX	-86.46 MPa	94.0144 MPa
Tensión XY	-29.0858 MPa	79.4244 MPa
Tensión XZ	-27.9594 MPa	41.6123 MPa
Tensión YY	-342.643 MPa	345.835 MPa
Tensión YZ	-78.8116 MPa	55.0385 MPa
Tensión ZZ	-89.8928 MPa	96.2816 MPa
Desplazamiento X	-0.000337167 mm	2.78449 mm
Desplazamiento Y	-0.713931 mm	0.676515 mm
Desplazamiento Z	-1.61056 mm	0.001029 mm
Deformación equivalente	0.000000000344948 su	0.00570569 su
Primera deformación principal	-0.000000000348651 su	0.00624925 su
Tercera deformación principal	-0.00653639 su	-0.0000000000821275 su
Deformación XX	-0.00190485 su	0.00211294 su
Deformación XY	-0.000794988 su	0.00217087 su
Deformación XZ	-0.0007642 su	0.00113737 su
Deformación YY	-0.00619152 su	0.00597953 su
Deformación YZ	-0.00215412 su	0.00150434 su
Deformación ZZ	-0.00180325 su	0.00167648 su

Figura K.42 Resumen de resultados de simulación de la unión columna – base inferior (Elaboración propia, 2021)

K.10 Simulación de la base inferior y su cinta de anclaje (considerando 6 placas)

Como se desea conocer el desempeño del sistema de anclaje formado por los pernos, se omitió la carga vertical ya que se asume que la cara inferior de la base soporta todo el peso, dejando que los pernos y placas solo sirvan para reaccionar ante la carga lateral y momento debido al transporte del viento de las piezas superiores hasta ese punto.

Material(es)

Nombre	GFRP2	
General	Densidad de masa	1.6205 g/cm ³
	Límite de elasticidad	653.75 MPa
	Resistencia máxima a tracción	296.5 MPa
Tensión	Módulo de Young	48.66 GPa
	Coeficiente de Poisson	0.33 su
	Módulo cortante	18.2932 GPa
Nombre(s) de pieza	Placa base.ipt	
Nombre	Acero, suave	
General	Densidad de masa	7.85 g/cm ³
	Límite de elasticidad	207 MPa
	Resistencia máxima a tracción	345 MPa
Tensión	Módulo de Young	220 GPa
	Coeficiente de Poisson	0.275 su
	Módulo cortante	86.2745 GPa
Nombre(s) de pieza	Tuerca embridada hex. - Pulgadas (IFI) I0.75 - 16 Perno hex - Pulgadas 3/4-16 UNF - 4 Arandela circular (Pulgadas) 3/4	
Nombre	Acero, aleación	
General	Densidad de masa	7.73 g/cm ³
	Límite de elasticidad	250 MPa
	Resistencia máxima a tracción	400 MPa
Tensión	Módulo de Young	205 GPa
	Coeficiente de Poisson	0.3 su
	Módulo cortante	78.8462 GPa
Nombre(s) de pieza	Cinta inferior - con calce superior.ipt	

Figura K.43 Materiales de los componentes del elemento (Elaboración propia, 2021)

Viento

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	1484.340 N
Vector X	1483.876 N
Vector Y	37.109 N
Vector Z	-0.000 N

TransporteViento

Tipo de carga	Momento
Magnitud	21917369.996 N mm
Vector X	0.000 N mm
Vector Y	-21917369.996 N mm
Vector Z	-0.000 N mm

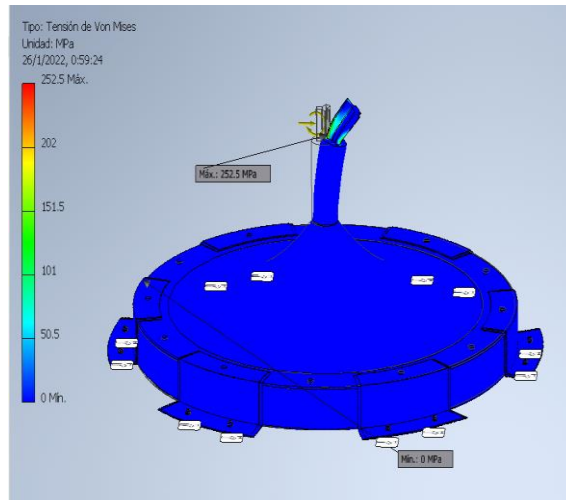


Figura K.44 Tensión de Von Mises de la base inferior - cinta de anclaje (6 placas)
(Elaboración propia, 2021)

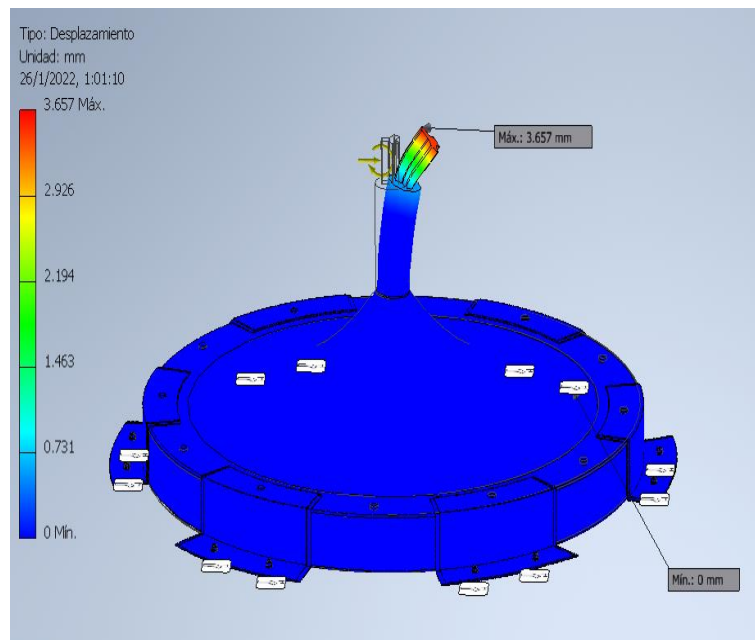


Figura K.45 Desplazamiento de la base inferior - cinta de anclaje (6 placas)
(Elaboración propia, 2021)

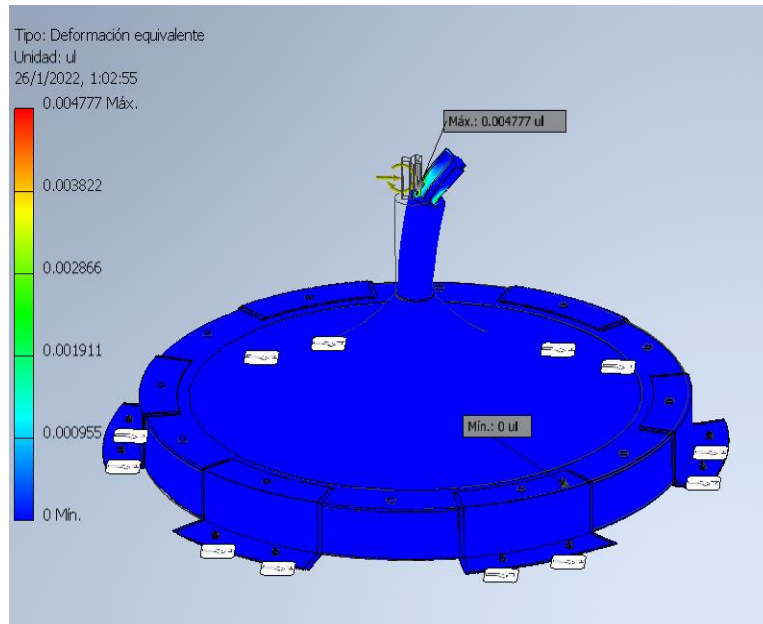


Figura K.46 Deformación equivalente de base inferior - cinta de anclaje (6 placas)
(Elaboración propia, 2021)

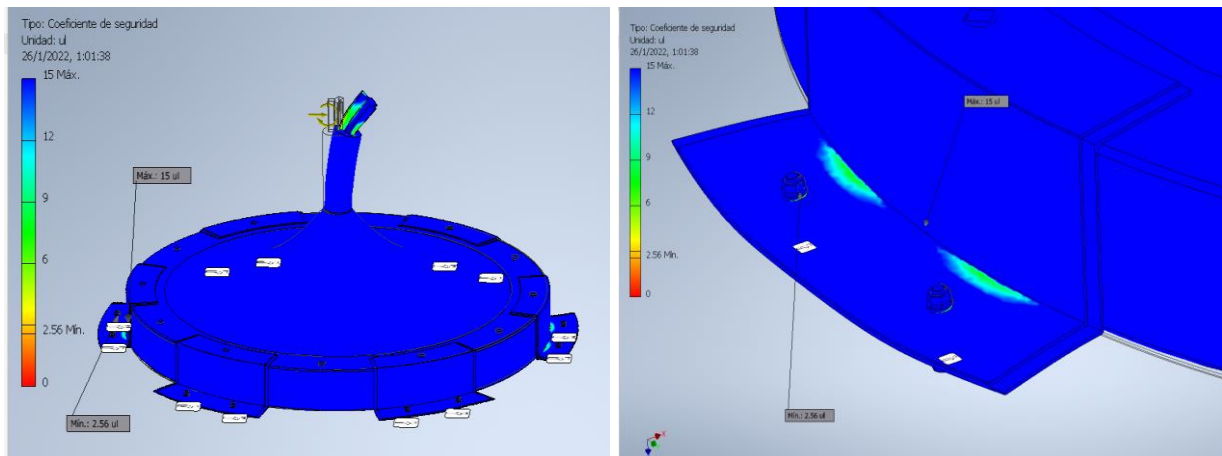


Figura K.47 Coeficiente de seguridad de la base inferior – cinta de anclaje (6 placas)
(Elaboración propia, 2021)

Nombre de la restricción	Fuerza de reacción		Pares de reacción	
	Magnitud	Componente (X, Y, Z)	Magnitud	Componente (X, Y, Z)
Restricción fija:1	2525.75 N	-552.189 N	3.64449 N m	-2.16992 N m
		-128.841 N		2.92791 N m
		2461.28 N		0.0331168 N m
Restricción fija:2	2541.66 N	-558.71 N	3.3716 N m	1.29948 N m
		68.1681 N		3.11095 N m
		2478.56 N		-0.0316174 N m
Restricción fija:5	1529.5 N	30.8298 N	10.925 N m	-7.69339 N m
		-422.401 N		-7.75676 N m
		1469.7 N		-0.0152389 N m
Restricción fija:6	956.502 N	198.089 N	12.1438 N m	-5.52099 N m
		-303.052 N		-10.8162 N m
		885.334 N		0.022499 N m
Restricción fija:9	1069.15 N	160.599 N	11.7481 N m	6.14392 N m
		329.668 N		-10.0134 N m
		-1004.3 N		0.0212804 N m
Restricción fija:10	1637.08 N	-25.1794 N	10.4011 N m	7.93711 N m
		431.1 N		-6.72199 N m
		-1579.1 N		-0.0182067 N m
Restricción fija:13	2557.52 N	-554.03 N	3.25755 N m	1.20214 N m
		68.0915 N		3.02752 N m
		-2495.86 N		0.0257595 N m
Restricción fija:14	2519.38 N	-547.574 N	3.68244 N m	-2.228 N m
		-128.386 N		2.93176 N m
		-2455.8 N		-0.0342649 N m
Restricción fija:17	1529.02 N	29.917 N	10.8891 N m	-7.67713 N m
		-418.696 N		-7.72227 N m
		-1470.28 N		0.0107448 N m
Restricción fija:18	947.136 N	199.411 N	12.1238 N m	-5.55131 N m
		-301.251 N		-10.7781 N m
		-875.528 N		-0.0189113 N m
Restricción fija:21	1068.41 N	159.869 N	11.8683 N m	6.26994 N m
		332.754 N		-10.0769 N m
		1002.61 N		-0.0182344 N m
Restricción fija:22	1642.43 N	-25.1655 N	10.5833 N m	8.07959 N m
		435.758 N		-6.83558 N m
		1583.37 N		0.0165457 N m

**Figura K.48 Reacciones del sistema de anclaje de la base inferior (6 placas)
(Elaboración propia, 2021)**

Resumen de resultados

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	2.39133E+09 mm ³	
Masa	4077.61 kg	
Tensión de Von Mises	0 MPa	252.516 MPa
Primera tensión principal	-32.896 MPa	296.628 MPa
Tercera tensión principal	-255.056 MPa	65.8307 MPa
Desplazamiento	0 mm	3.65736 mm
Coeficiente de seguridad	2.56134 su	15 su
Tensión XX	-92.0301 MPa	75.7651 MPa
Tensión XY	-22.8613 MPa	23.1135 MPa
Tensión XZ	-58.1036 MPa	20.5251 MPa
Tensión YY	-49.9957 MPa	73.1645 MPa
Tensión YZ	-45.556 MPa	43.7208 MPa
Tensión ZZ	-251.097 MPa	293.242 MPa
Desplazamiento X	-0.056477 mm	3.56691 mm
Desplazamiento Y	-0.0348011 mm	0.0424517 mm
Desplazamiento Z	-0.81284 mm	0.652393 mm
Deformación equivalente	0 su	0.00477729 su
Primera deformación principal	-0.00000294468 su	0.00546219 su
Tercera deformación principal	-0.00491686 su	0.00000429401 su
Deformación XX	-0.00183957 su	0.00146682 su
Deformación XY	-0.000624857 su	0.000631751 su
Deformación XZ	-0.00158812 su	0.000400304 su
Deformación YY	-0.00203811 su	0.00152673 su
Deformación YZ	-0.00124516 su	0.001195 su
Deformación ZZ	-0.00480866 su	0.00536964 su
Presión de contacto	0 MPa	147.471 MPa
Presión de contacto X	-34.11 MPa	116.97 MPa
Presión de contacto Y	-78.2887 MPa	68.986 MPa
Presión de contacto Z	-110.162 MPa	92.1562 MPa

Figura K.49 Resultados de la simulación de la base inferior – cinta de anclaje (6 placas)
 (Elaboración propia, 2021)

K.11 Simulación de la base inferior y su cinta de anclaje (considerando 12 placas)

De manera parecida a la simulación anterior, se define las mismas cargas, materiales y restricciones con la diferencia de que en este caso el sistema de anclaje tiene las 12 placas y 24 pernos instalados en su totalidad.

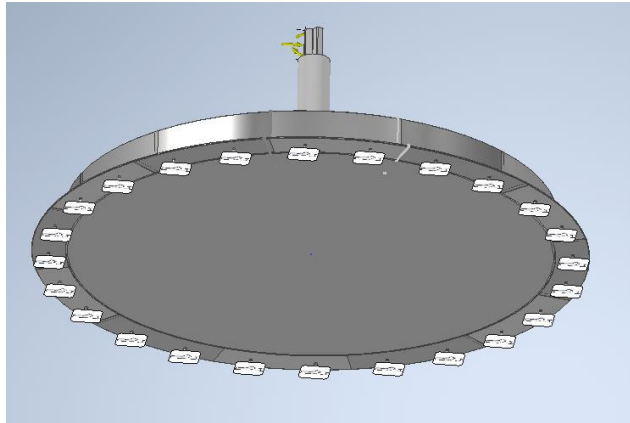


Figura K.50 Cargas actuantes sobre la base superior – cinta de anclaje (12 placas)
(Elaboración propia, 2021)

Cada perno está tiene una restricción fija

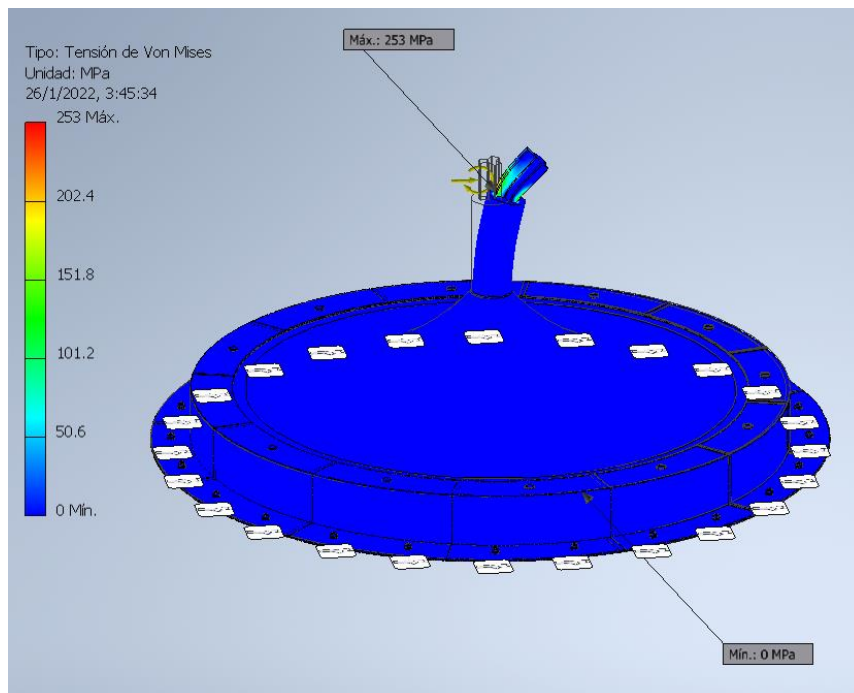


Figura K.51 Tensión de Von Mises de la base inferior - cinta de anclaje (12 placas)
(Elaboración propia, 2021)

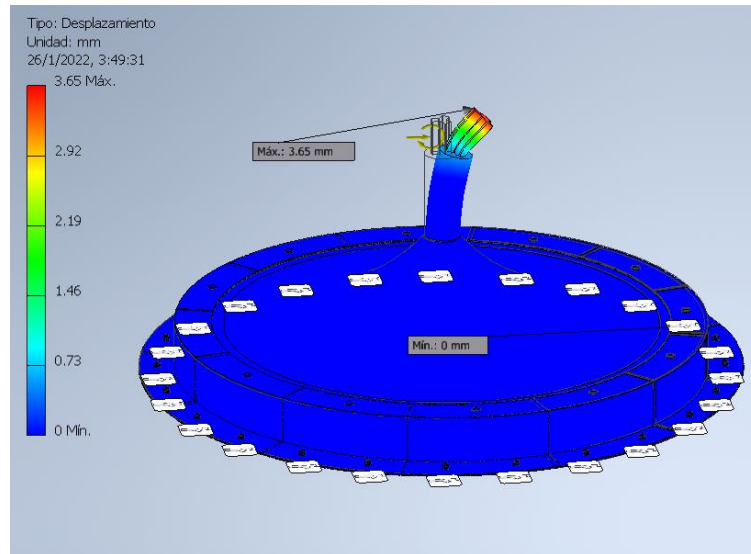


Figura K.52 Desplazamiento de la base inferior - cinta de anclaje (12 placas)
(Elaboración propia, 2021)

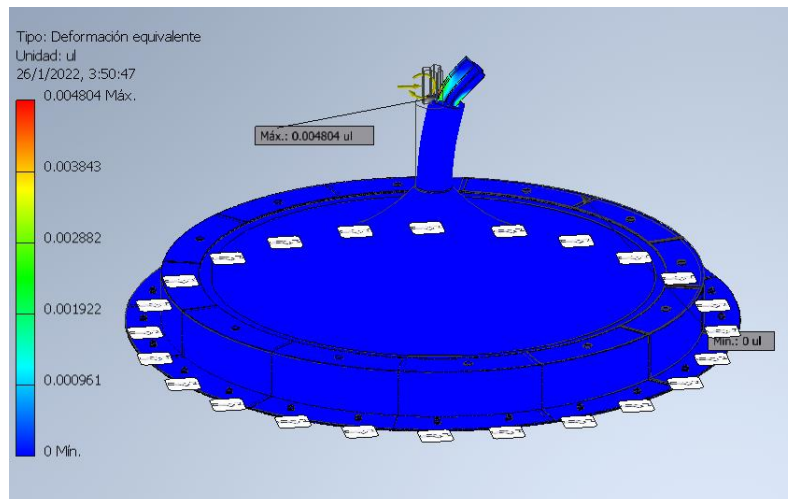


Figura K.53 Deformación equivalente de la base inferior - cinta de anclaje (12 placas)
(Elaboración propia, 2021)

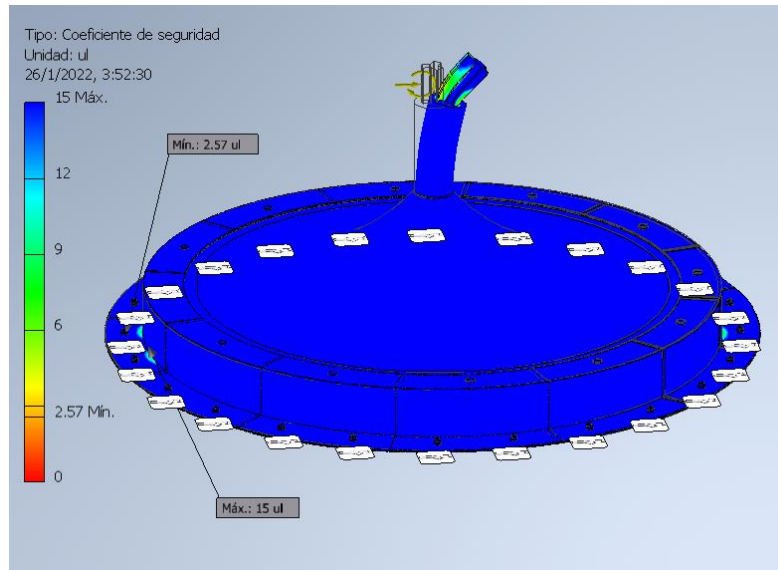


Figura K.54 Coeficiente de seguridad de la base inferior - cinta de anclaje (12 placas)
(Elaboración propia, 2021)

Nombre de la restricción	Fuerza de reacción		Pares de reacción	
	Magnitud	Componente (X, Y, Z)	Magnitud	Componente (X, Y, Z)
Restricción fija:1	2452.59 N	-589.349 N -123.172 N 2377.54 N	5.94608 N m	-2.05111 N m 5.58103 N m 0.0283638 N m
Restricción fija:2	2488.08 N	-593.818 N 65.7822 N 2415.28 N	5.78745 N m	1.28569 N m 5.64274 N m -0.0332958 N m
Restricción fija:3	83.8471 N	36.4702 N -25.1855 N 71.1755 N	4.8463 N m	-0.181849 N m -4.84287 N m -0.013211 N m
Restricción fija:4	85.4539 N	49.0987 N -32.365 N 62.0015 N	5.29089 N m	-0.572081 N m -5.25986 N m -0.00393524 N m
Restricción fija:5	1486.35 N	-35.8182 N -399.218 N 1431.28 N	8.58771 N m	-7.24081 N m -4.61729 N m 0 N m
Restricción fija:6	899.722 N	126.914 N -286.858 N 843.271 N	9.17415 N m	-5.2427 N m -7.52853 N m 0.0184993 N m
Restricción fija:7	90.2522 N	89.6044 N -7.04322 N 8.17952 N	5.61651 N m	-0.120332 N m -5.61522 N m 0 N m
Restricción fija:8	90.5998 N	89.2374 N 10.506 N -11.6032 N	5.61523 N m	0.186419 N m -5.61214 N m 0 N m
Restricción fija:9	1028.24 N	90.0463 N 315.332 N -974.549 N	8.96388 N m	5.84461 N m -6.79641 N m 0.0177886 N m
Restricción fija:10	1591.47 N	-88.2064 N 409.686 N -1535.3 N	8.37095 N m	7.52325 N m -3.67063 N m 0 N m
Restricción fija:11	85.558 N	45.7758 N 31.168 N -65.2174 N	5.18698 N m	0.527064 N m -5.16013 N m -0.00768071 N m
Restricción fija:12	83.2418 N	30.9593 N 21.9786 N -74.0788 N	4.75335 N m	0.0798177 N m -4.75267 N m -0.0106765 N m
Restricción fija:13	2466.57 N	-593.328 N 65.1154 N -2393.26 N	5.88944 N m	-585.281 N m -123.308 N m -2374.55 N m
Restricción fija:14	2448.72 N	36.6797 N -25.8005 N -71.0139 N	5.96056 N m	36.6797 N m -25.8005 N m -71.0139 N m
Restricción fija:15	83.9884 N	49.178 N -33.0657 N -61.9639 N	4.85083 N m	-0.227969 N m -4.84545 N m -0.0149354 N m
Restricción fija:16	85.74 N	-35.1028 N -400.17 N -1424.32 N	5.29718 N m	-0.619272 N m -5.26086 N m 0.00425771 N m
Restricción fija:17	1479.88 N	0 N m 127.952 N -286.983 N	8.70524 N m	-7.38409 N m -4.61046 N m 0 N m
Restricción fija:18	900.016 N	-843.385 N 90.1563 N -7.52423 N	9.22378 N m	-5.31432 N m -7.53894 N m -0.0199877 N m
Restricción fija:19	90.8251 N	-8.0266 N 89.5661 N 10.212 N	5.66087 N m	-0.151089 N m -5.65885 N m 0 N m
Restricción fija:20	90.8915 N	11.6148 N 89.8358 N 316.848 N	5.63769 N m	0.169085 N m -5.63515 N m 0 N m
Restricción fija:21	1012.39 N	957.326 N -88.5934 N 414.043 N	9.09507 N m	5.96815 N m -6.86303 N m -0.0170924 N m
Restricción fija:22	1583.37 N	1525.7 N 48.1539 N 30.213 N	8.55905 N m	7.69309 N m -3.7515 N m 0 N m
Restricción fija:23	84.7007 N	62.79 N 35.913 N 22.7097 N	5.23062 N m	0.528723 N m -5.20383 N m -0.00629151 N m
Restricción fija:24	82.8302 N	71.1011 N 4.83788 N m 0 N m	4.83788 N m	0.115869 N m -4.83649 N m 0 N m

Figura K.55 Reacciones en las restricciones (Elaboración propia, 2021)

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	2.42319E+09 mm^3	
Masa	4113.62 kg	
Tensión de Von Mises	0.0000419876 MPa	252.975 MPa
Primera tensión principal	-33.8968 MPa	304.092 MPa
Tercera tensión principal	-254.266 MPa	65.6363 MPa
Desplazamiento	0 mm	3.64968 mm
Coefficiente de seguridad	2.56635 su	15 su
Tensión XX	-91.7801 MPa	75.5501 MPa
Tensión XY	-19.0932 MPa	20.0187 MPa
Tensión XZ	-64.2283 MPa	18.1843 MPa
Tensión YY	-45.229 MPa	75.5602 MPa
Tensión YZ	-44.4735 MPa	50.5219 MPa
Tensión ZZ	-251.723 MPa	298.918 MPa
Desplazamiento X	-0.0500633 mm	3.55946 mm
Desplazamiento Y	-0.0342658 mm	0.0435143 mm
Desplazamiento Z	-0.810886 mm	0.651871 mm
Deformación equivalente	0.00000000856178 su	0.00480385 su
Primera deformación principal	-0.00000465642 su	0.00552756 su
Tercera deformación principal	-0.00500667 su	0.00000528535 su
Deformación XX	-0.00182528 su	0.00152514 su
Deformación XY	-0.000521865 su	0.000547161 su
Deformación XZ	-0.00175552 su	0.000497021 su
Deformación YY	-0.00198062 su	0.0014652 su
Deformación YZ	-0.00121557 su	0.00138089 su
Deformación ZZ	-0.00493716 su	0.00538615 su
Presión de contacto	0 MPa	149.571 MPa
Presión de contacto X	-34.0865 MPa	118.399 MPa
Presión de contacto Y	-74.3124 MPa	68.3181 MPa
Presión de contacto Z	-107.676 MPa	90.9029 MPa

Figura K.56 Resultados de la simulación de la base inferior con su sistema de anclaje (Elaboración propia, 2021)

K.12 Simulación del piñón

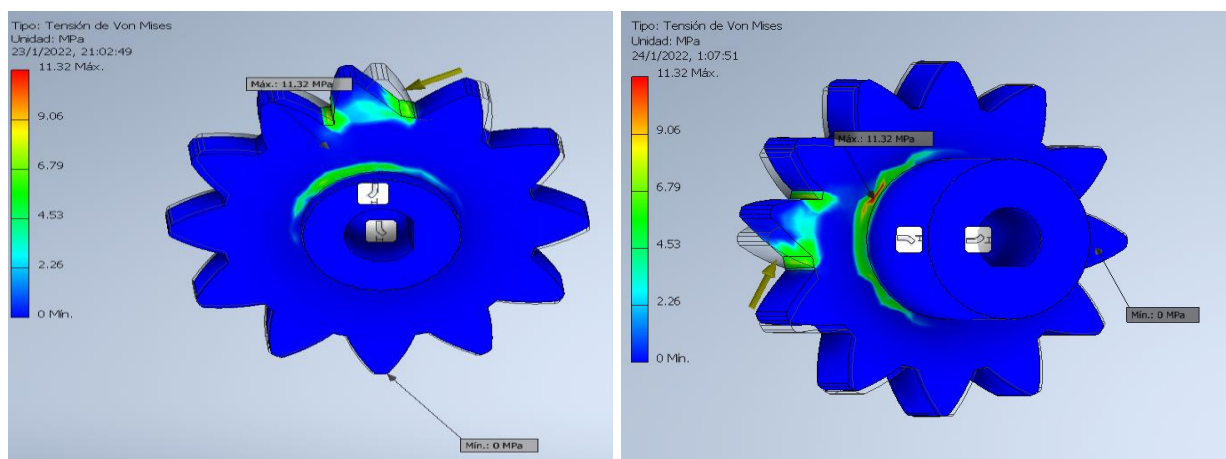


Figura K.57 Tensión de Von Mises del piñón de mando (Elaboración propia, 2021)

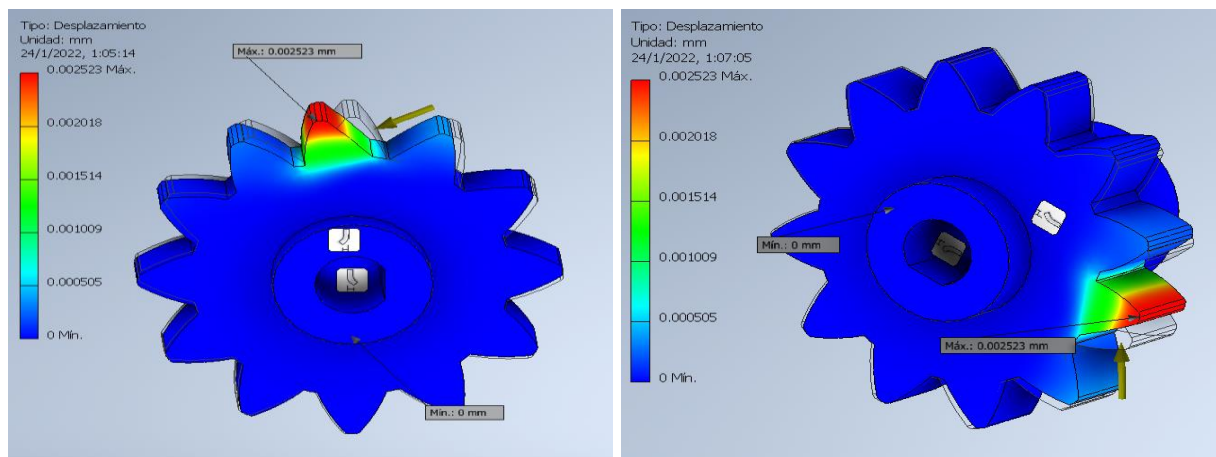


Figura K.58 Desplazamiento del piñón de mando (Elaboración propia, 2021)

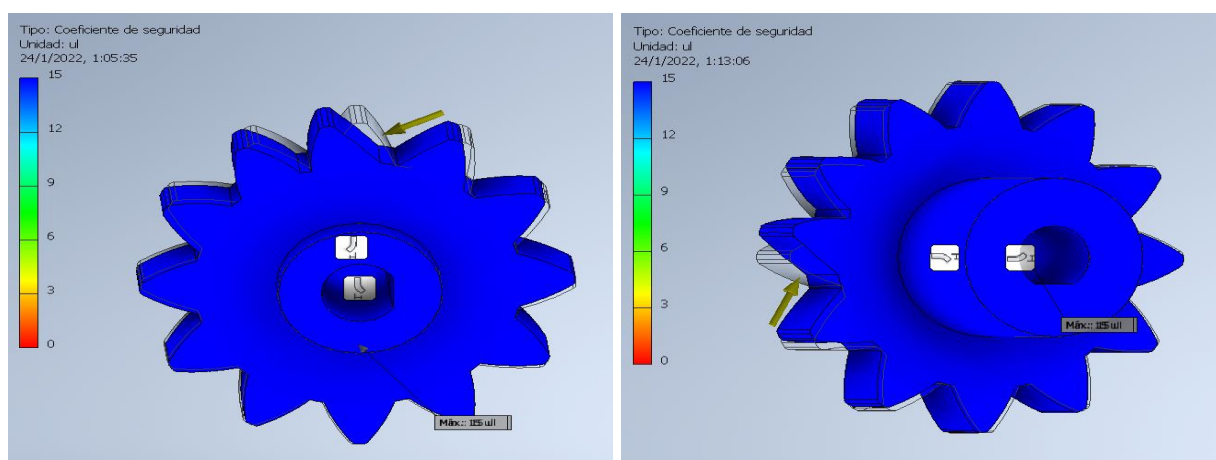


Figura K.59 Deformación equivalente del piñón de mando (Elaboración propia, 2021)

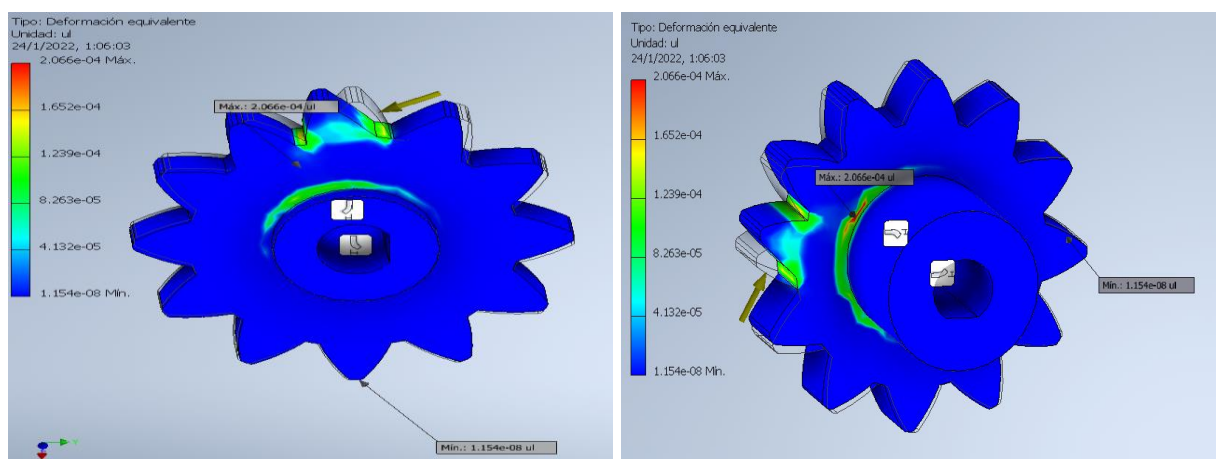


Figura K.60 Coeficiente de seguridad del piñón de mando (Elaboración propia, 2021)

Nombre de la restricción	Fuerza de reacción		Pares de reacción	
	Magnitud	Componente (X, Y, Z)	Magnitud	Componente (X, Y, Z)
Restricción fija:1	244.001 N	-109.832 N	5.41686 N m	-2.42315 N m
		217.884 N		-1.22135 N m
		0 N		-4.68818 N m

Figura K.61 Fuerzas y pares de reacción en restricción del piñón de mando (Elaboración propia, 2021)

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	25113.7 mm ³	
Masa	0.0406967 kg	
Tensión de Von Mises	0.000590865 MPa	11.322 MPa
Primera tensión principal	-2.36864 MPa	10.8099 MPa
Tercera tensión principal	-11.0321 MPa	1.14662 MPa
Desplazamiento	0 mm	0.00252275 mm
Coeficiente de seguridad	15 su	15 su
Tensión XX	-6.76478 MPa	4.41107 MPa
Tensión XY	-1.94658 MPa	4.33819 MPa
Tensión XZ	-2.12202 MPa	2.31813 MPa
Tensión YY	-8.3065 MPa	8.55036 MPa
Tensión YZ	-2.72774 MPa	2.53407 MPa
Tensión ZZ	-2.80322 MPa	3.34091 MPa
Desplazamiento X	-0.00046376 mm	0.000694342 mm
Desplazamiento Y	-0.00250424 mm	0.000201544 mm
Desplazamiento Z	-0.000160954 mm	0.000242693 mm
Deformación equivalente	0.0000000115441 su	0.000206554 su
Primera deformación principal	0.00000000199142 su	0.000191728 su
Tercera deformación principal	-0.000199177 su	-0.0000000104501 su
Deformación XX	-0.000152608 su	0.000112809 su
Deformación XY	-0.000053205 su	0.000118574 su
Deformación XZ	-0.000058 su	0.0000633602 su
Deformación YY	-0.00012468 su	0.00013677 su
Deformación YZ	-0.0000745559 su	0.0000692625 su
Deformación ZZ	-0.0000378517 su	0.0000538916 su

Figura K.62 Resumen de resultados de simulación del piñón de mando (Elaboración propia, 2021)

APÉNDICE L

ANÁLISIS DE CINEMÁTICO Y DE ESFUERZOS DEL SISTEMA PIÑÓN DE MANDO – CORONA DENTADA

Análisis cinemático del piñón de mando y corona dentada

Velocidad de rotación del piñón de mando

$$n_1 = 35 \text{ rpm} \rightarrow \omega_1 = 3.6652 \text{ rad/s}$$

Diámetro primitivo del piñón de mando

$$D_1 = 0.0465 \text{ m}$$

Diámetro primitivo de la corona dentada

$$D_2 = 2.504 \text{ m}$$

Velocidad de rotación de la corona dentada

$$n_2 = \frac{\left(\frac{D_1}{2}\right) \cdot n_1}{\left(\frac{D_2}{2}\right)}$$

$$n_2 = 0.3250 \text{ rpm} \rightarrow \omega_2 = 3.4032 \times 10^{-2} \text{ rad/s}$$

Desplazamiento angular de la corona dentada desde posición cerrada hasta apertura completa del iris

$$\theta_2 = 45^\circ = 0.7874 \text{ rad}$$

Tiempo empleado desde posición cerrada hasta la apertura completa del iris

$$t = \frac{\theta_2}{\omega_2}$$

$$t = 27 \text{ s}$$

Análisis de esfuerzos del piñón de mando y corona dentada

Ángulo de presión para el piñón de mando y corona dentada

$$\phi = 20^\circ$$

Número de dientes del piñón de mando

$$N_1 = 12 \text{ dientes}$$

Número de dientes de la corona dentada

$$N_2 = 1536 \text{ dientes}$$

Ancho de cara del diente del piñón de mando y corona dentada

$$F_1 = F_2 = 10 \text{ mm} = 0.3937 \text{ in}$$

Propiedades del material GFRP

$$S_{ut} = 1.3075 \times 10^9 Pa = 189.6368 \text{ kpsi}$$

$$S_y = 5.93 \times 10^8 Pa = 86.0073 \text{ kpsi}$$

Longitud del perímetro del círculo con diámetro primitivo D_1

$$L_1 = 0.4123 \text{ pie} \approx 5 \text{ in}$$

Por lo tanto, el paso diametral P es igual a

$$P = N_1 / L_1$$

$$P = 2.4 \text{ dientes/in}$$

Velocidad en la línea de paso

$$v_1 = \frac{\pi P n_1}{N_1}$$

$$v_1 = 21.99 \text{ pies/min}$$

Factor de velocidad

$$k_b = \frac{n_1 + v_1}{n_1}$$

$$k_b = 1.6283$$

Factor de forma de Lewis para el piñón de mando (Obtenido de Tabla 14-2 del libro de Shigley)

$$N_1 = 12 \text{ dientes} \rightarrow Y = 0.245$$

Carga tangencial máxima sobre el diente del piñón con un FS = 3

$$w^t = \frac{F \cdot Y \cdot S_y}{k_b \cdot P}$$

$$w^t = 707 \text{ lb} \rightarrow 3144.89 \text{ N}$$

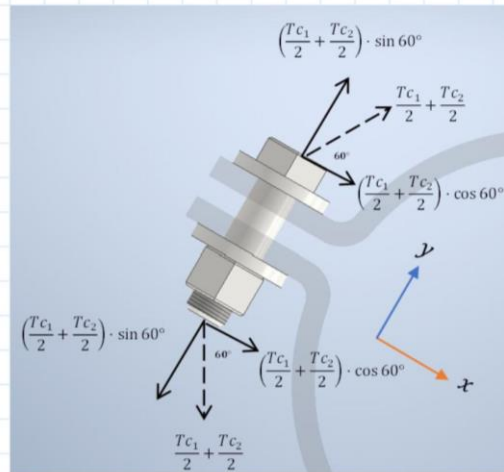
Potencia máxima que puede transmitir el diente

$$hp = \frac{w^t \cdot v_1}{33000} = 0.471532 \rightarrow hp = 354 \text{ Watts}$$

APÉNDICE M

CÁLCULO DE PERNOS PARA LA ABRAZADERA DE ESTACIÓN PORTABLE

ANÁLISIS DE PERNO DE LA BRIDA



$$Tch_1 = 896.466 \text{ N}$$

$$Tch_2 = 880.512 \text{ N}$$

$$V := \left(\frac{Tch_1}{2} + \frac{Tch_2}{2} \right) \cdot \cos(60^\circ) = 444.24 \text{ N}$$

$$P := \left(\frac{Tch_1}{2} + \frac{Tch_2}{2} \right) \cdot \sin(60^\circ) = 769.45 \text{ N}$$

DATOS DE ENTRADA:

PERNO

Nomenclatura:

Perno 3/4in - 16 UNF SAE grado 5

Diámetro:

$$d := \frac{3}{4} \text{ in}$$

Área del perno sometido a tensión:

$$At := 0.373 \text{ in}^2$$

Relación de resorte del elemento:

$$Km := 13.8 \cdot 10^6 \frac{\text{lbf}}{\text{in}}$$

Rigidez efectiva estimada en el perno en la zona de sujeción:

$$Kb := 6.5 \cdot 10^6 \frac{\text{lbf}}{\text{in}}$$

CARGAS

Fuerza del viento:

$$P = 0.173 \text{ kip}$$

Precarga de Tensión del perno:

$$F_i := 15 \text{ kip}$$

Resistencia del perno:

$$S_y := 85 \text{ ksi}$$

RESULTADOS:

Esfuerzo de precarga:

$$\sigma_i := \frac{F_i}{A_t} = 40.214 \text{ ksi}$$

Constante de rigidez:

$$C := \frac{Kb}{Kb + Km} = 0.32$$

Esfuerzo de carga bajo servicio:

$$\sigma_b := C \cdot \frac{P}{A_t} + \sigma_i = 40.363 \text{ ksi}$$

```
Mensaje := if  $\sigma_b > S_y$   
|| "Valor de precarga muy alto, bájelo"  
else  
|| "Valor de precarga adecuado "
```

Mensaje = "Valor de precarga adecuado "

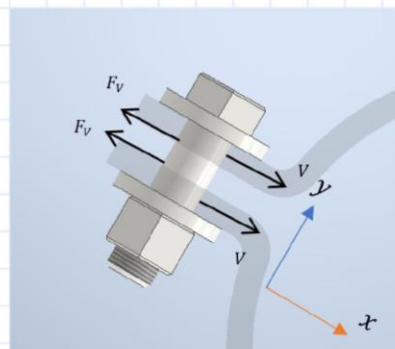
Factor de seguridad por esfuerzo de tensión

$$FS_T := \frac{S_y}{\sigma_i} = 2.114$$

Par de torsión para lograr precarga:

factor: $K := 0.2$

$$T := K \cdot F_i \cdot d = 187.5 \text{ lbf} \cdot \text{ft}$$



$$\begin{aligned}\Sigma F_x &= 0 \\ 2F_V - 2V &= 0\end{aligned}$$

$$F_V := V = 444.244 \text{ N}$$

Área del perno sometido a cortante:

$$A_V := \pi \cdot \frac{d^2}{4} = 285.023 \text{ mm}^2$$

Esfuerzo cortante

$$\tau_{prom} := \frac{V}{A_V} = 1.559 \text{ MPa}$$

$$\tau_{prom} := \frac{V}{A_V} = 0.226 \text{ ksi}$$

Área de la brida sometida a aplastamiento por el perno:

espesor brida $t := 10 \text{ mm}$

diámetro del agujero para el perno $d_a := 19.05 \text{ mm}$

$$A_b := d_a \cdot t = 190.5 \text{ mm}^2$$

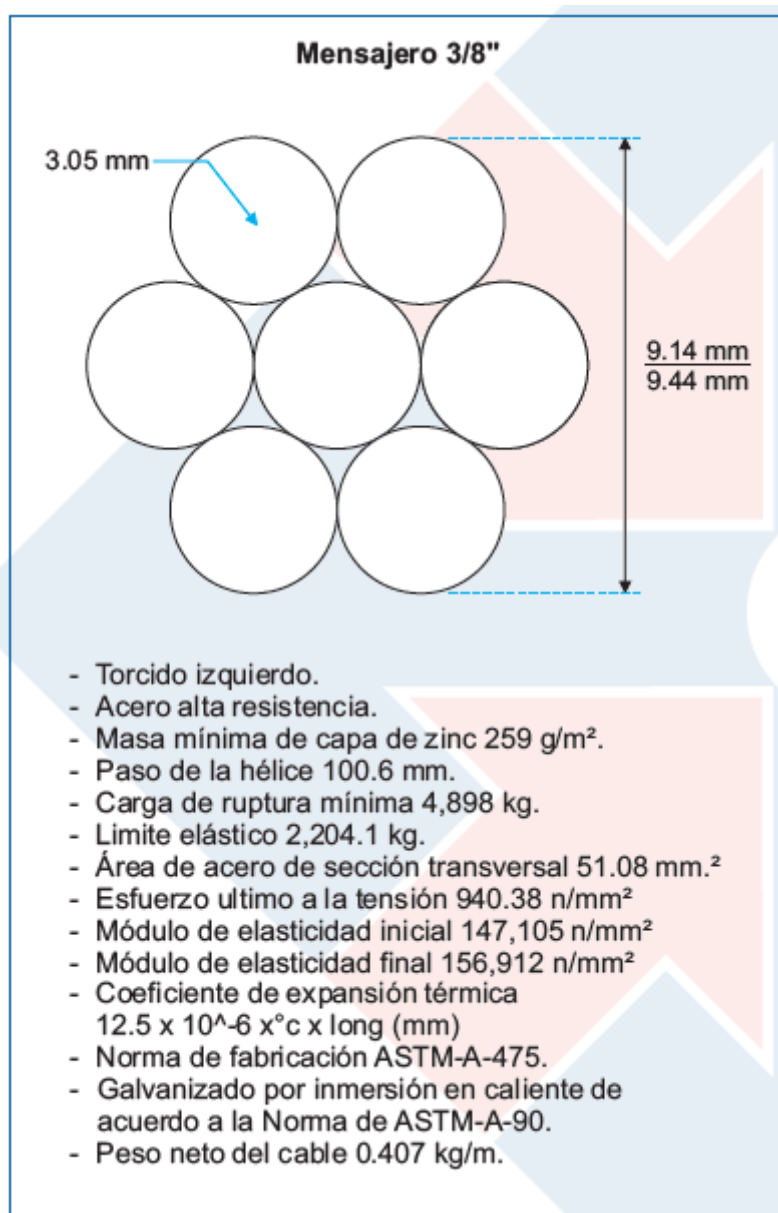
Esfuerzo de aplastamiento en el agujero de la brida

$$\sigma_b := \frac{V}{A_b} = 0.338 \text{ ksi}$$

APÉNDICE N

CATÁLOGOS DE ELEMENTOS ADQUIRIBLES EN EL MERCADO PARA LA ESTACIÓN

N.1 Cable de acero galvanizado 3/8"



CATALOGO	DIÁMETRO IN (mm)	PESO Kg/Metro	RESISTENCIA EN TON. (A.R.G.)
CG 1/4	1/4" (6.35)	0.180	2.16
CG 3/8	3/8" (9.53)	0.407	4.90

Figura N.1 Especificaciones técnicas del cable 3/8" (INCOM, 2021)

N.2 Sensor meteorológico METSENS500



Specifications

Measurements Made	Air temperature, barometric pressure, relative humidity, wind direction, and wind speed.
Sampling Rate	1 Hz
Digital Communication Modes	Serial RS-232, RS-485, SDI-12, NMEA, Modbus, ASCII
IP Rating	66
Compliance	CE, RoHS
Operating Temperature Range	-40° to +70°C

Operating Voltage	5 to 30 Vdc
Typical Current Drain @ 12 Vdc	» 25 mA (continuous high mode) » 0.7 mA (eco-power mode; 1 hour polled)
Weight	0.7 kg (1.5 lb)

Air Temperature Measurement	
Measurement Range	-40° to +70°C
Resolution	0.1°C
Accuracy	±0.3°C (@ 20°C)

Relative Humidity Measurement	
Measurement Range	0 to 100%
Resolution	0.1
Accuracy	±2% @ 20°C (10 to 90% RH)

Barometric Pressure Measurement	
Measurement Range	300 to 1100 hPa
Resolution	0.1 hPa
Accuracy	±0.5 hPa (@ 25°C)

Wind Speed Measurement	
Measurement Range	0.01 to 60 m s ⁻¹
Accuracy	» ±3% (up to 40 m s ⁻¹) » ±5% (up to 60 m s ⁻¹)

Resolution	0.01 m s ⁻¹
Starting Threshold	0.01 m s ⁻¹

Wind Direction Measurement	
Measurement Range	0° to 359°
Accuracy	±3° (up to 60 m s ⁻¹)
Resolution	1°

Compass	
Measurement Range	0 to 359°
Resolution	1°
Units of Measure	Degrees
Accuracy	±3°

Figura N.2 Especificaciones técnicas del METSENS500 (Campbell scientific, 2021)

N.3 Sensor ambiental HygroVUE10



Specifications

- › Sensing Element: Sensirion SHT35
- › Communication Standard: SDI-12 V1.4 (responds to a subset of commands)
- › Supply voltage: 7-28V DC
- › Current drain (maximum):
 - Quiescent: 50 μ A quiescent
 - During measurement: 0.6 mA (takes 0.5 sec)
- › EMC Compliance: Tested and conforms to IEC61326:2013
- › Standard Operating Temperature Range: -40° to +70°C
- › Main housing material: UV stable, white PET-P
- › Electronics sealing classification: IP67
- › Sensor Protection: Outer glass-filled polypropylene cap fitted with a stainless steel mesh dust filter with nominal pore size of <30 μ m. The sensor element has a PTFE protective film with a filtration efficiency of >99.99% for particles of 200 nm or larger size.
- › Length without cable fitted: 180 mm (7.1 in)
- › Diameter of the sensor cap: 12.5 mm (0.5 in)
- › Diameter of body at connector: 18 mm (0.7 in)
- › Weight of probe body: 50 g (1.8 oz)
- › Weight with 5 m cable: 250 g (8.8 oz)
- › Sensor connector: M12, male, 4-pole, A-coded
- › Cable: Polyurethane sheathed, screened cable, nominal diameter 4.8 mm
- › Cable lengths available: 3, 5 and 10 metres as standard fitted with moulded connectors. User specified cable lengths are available at extra cost, fitted with a rewirable connector.

Relative Humidity Measurement

- › Measurement Range: 0 to 100% RH
- › Accuracy (at 25°C)*:
 - Over the range 0-80% RH: $\pm 1.5\%$
 - Over the range 80-100% RH: $\pm 2\%$
- › Short term hysteresis: $< \pm 1\%$ RH
- › Additional errors at other temperatures: less than $\pm 1\%$ RH over -40° to 60°C
- › Long-term stability (maximum drift in clean air conditions): $\pm 0.5\%$ per year
- › Reported resolution: 0.001% RH
- › Repeatability (3 σ noise level): 0.05% RH
- › Response time with filter: 8 s (63% response time in air moving at 1 m/s)

Temperature Measurement

- › Standard measurement range: -40°C to +70°C
- › Accuracy*:
 - Over the range -40 to +70°C: $\pm 0.2^\circ\text{C}$
 - Over the range +20 to +60°C: $\pm 0.1^\circ\text{C}$
- › Long term drift $< 0.03^\circ\text{C/yr.}$
- › Reported resolution: 0.001°C
- › Repeatability (3 σ noise level): 0.04°C
- › Response time with filter: <130 s (63% response time in air moving at 1 m/s)
- › Calibration traceability: NIST and NPL standards

*The accuracy figures quoted are the 95% confidence limits relative to factory standards.

Figura N.3 Especificaciones técnicas del sensor HygroVUE10 (Campbell scientific, 2021)

N.4 Sensor de radiación solar CS320

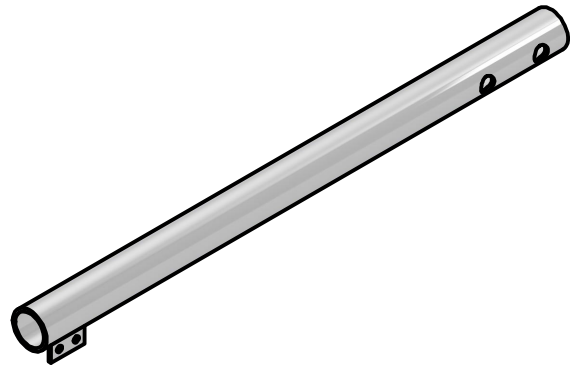


Specifications

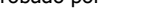
Sensor	Thermopile detector, acrylic diffuser, heater, and signal processing circuitry mounted in an aluminum housing	Operating Temperature Range	-50° to +60°C
Measurement Description	Measures broad-spectrum short-wave radiation	Operating Environment	0 to 100% relative humidity
ISO Classification	Class C (second class)	Heater	0.2 W (on-board)
Calibration Uncertainty	± 2.6%	Heater Power Requirements	25 mA current drain (at 12 Vdc)
Measurement Range	0 to 2000 W/m ² (net short-wave irradiance)	Input Voltage Requirements	6 to 24 Vdc
Measurement Repeatability	< 1%	Current Drain	» 3 mA (standby) » 5 mA (measurement)
Long-Term Drift	< 2% (per year)	Uncertainty in Daily Total	< 5%
Non-Linearity	< 1%	Error Due to Clouds	±2 %
Sensitivity	0.057 mV/W/m ²	Mechanical Rating	IP66/68
Detector Type	Blackbody thermopile	Factory Calibrations	Traceable to secondary standard blackbody thermopile pyranometers traceable to the world radiation reference in Davos, Switzerland.
SDI-12 Response Time	2 s	Compliance with Standards	» 2011/65/EU RoHS Directive » 2015/863/EU RoHS Phthalates Amendment
Field of View (FOV)	180°	Warranty	4 years against defects in materials and workmanship
Spectral Range	385 to 2105 nm (50% points)	Diameter	3.43 cm (1.35 in.)
Directional (Cosine) Response	< ±20 W/m ² (at 80° solar zenith)	Height	3.96 cm (1.56 in.)
Temperature Response	< 5% (from -15° to +45°C)	Weight	~65 g (2.3oz) May vary due to potting.
Output	SDI-12 (version 1.4) 1200 bps		
Zero Offset A	8 W/m ²		
Zero Offset B	< 5 W/m ²		

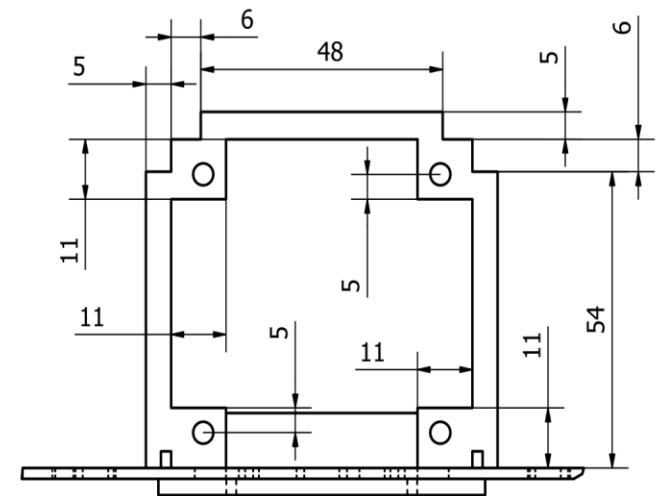
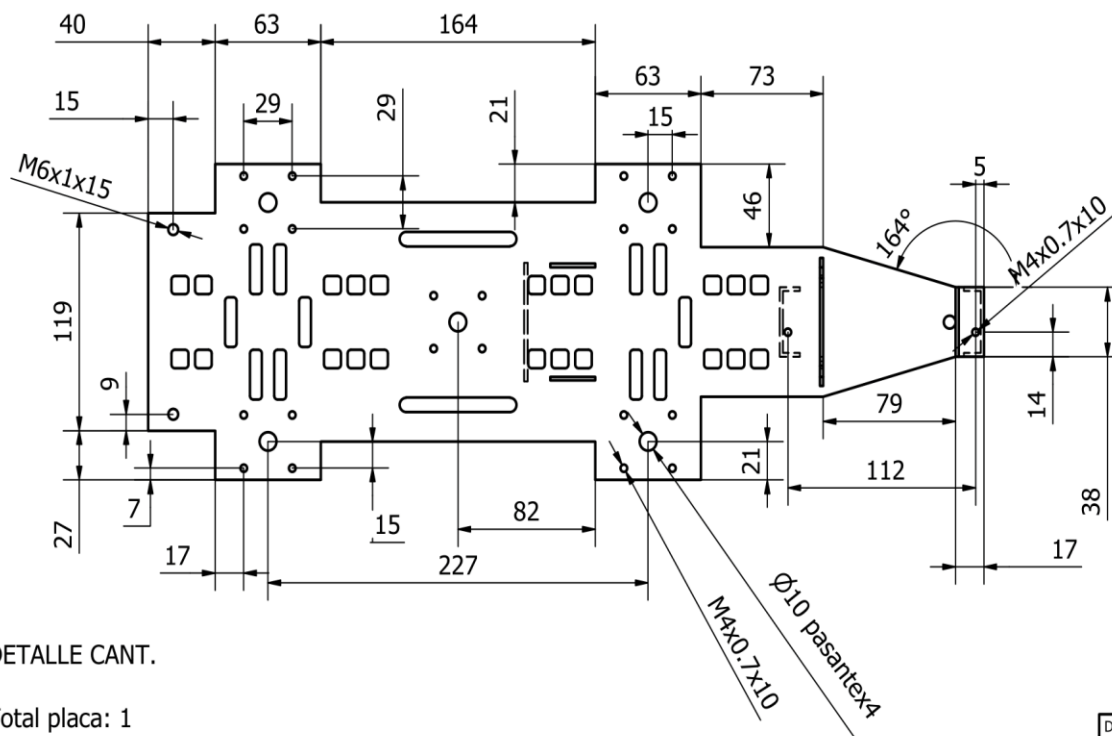
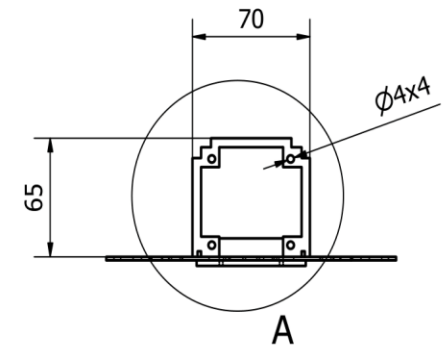
Figura N.4 Especificaciones técnicas del sensor CS320 (Campbell scientific, 2021)

PLANOS

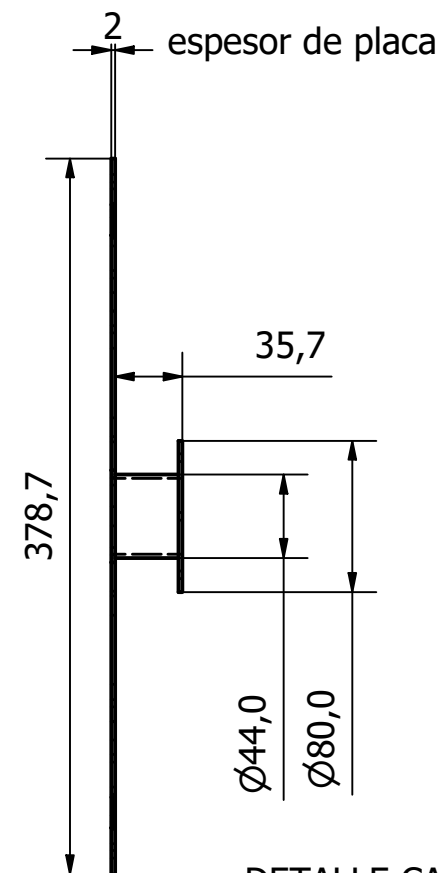
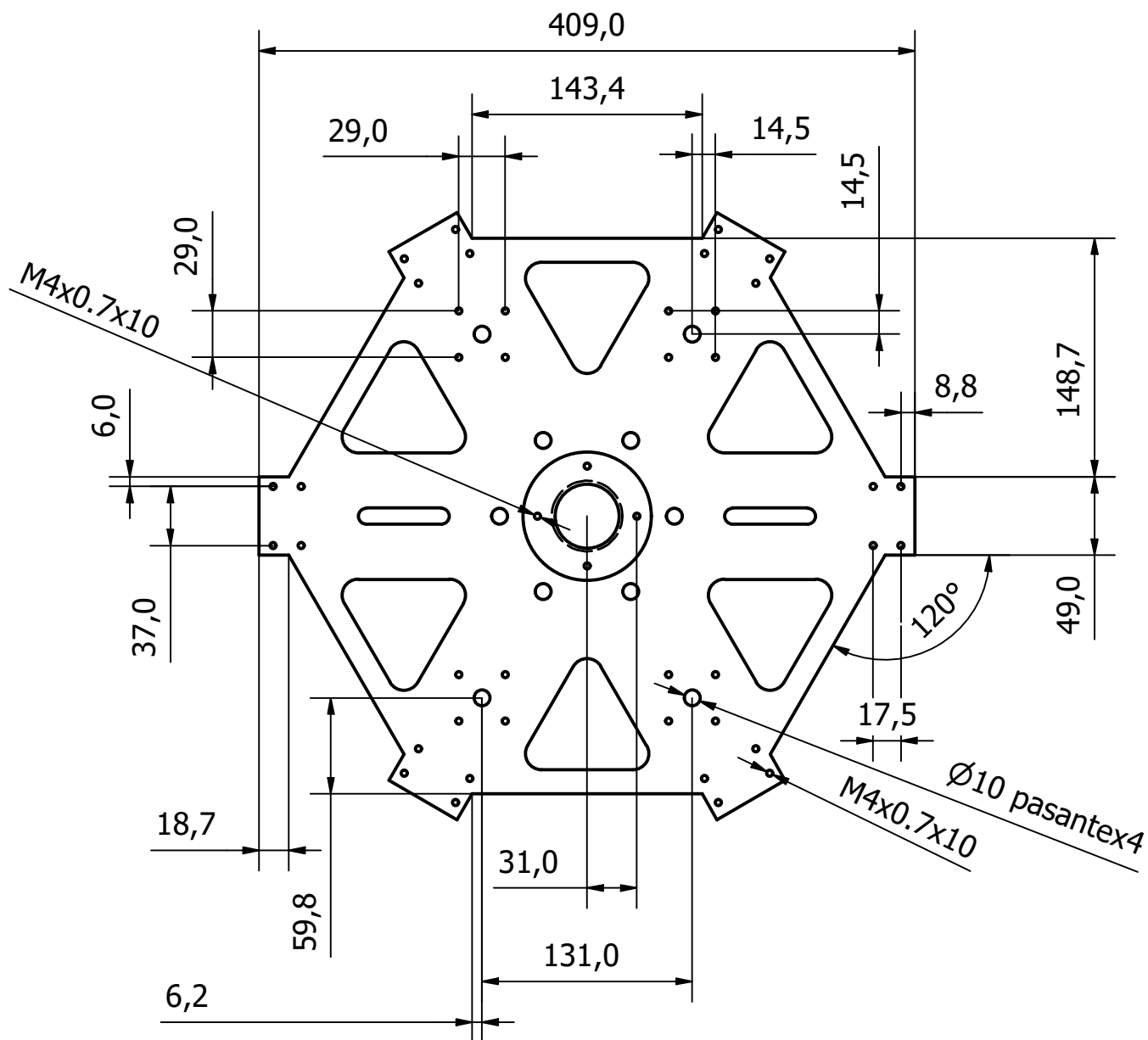


UNIDADES: mm

Diseño de Grupo Bowen-Solorzano	Aprobado por ESPOL	Escala 1 : 2	Fecha 21/01/2022	
GRUPO BOWEN-SOLORZANO 		TUBOS BRAZOS		
		Material principal FIBRA DE CARBONO	Edición 01	Nº Hoja 01



Diseño de Grupo Bowen-Solorzano	Aprobado por ESPOL	Escala 1 : 3	Fecha 21/01/2022	
GRUPO BOWEN-SOLORZANO 		PLACA RECTANGULAR INFERIOR		
		Material principal FIBRA DE CARBONO	Edición 01	N° Hoja 02

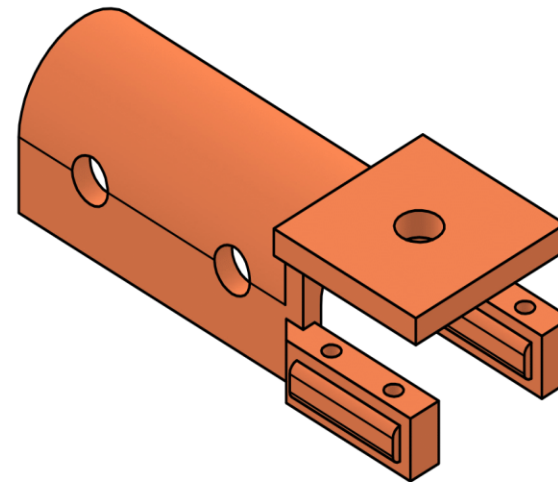
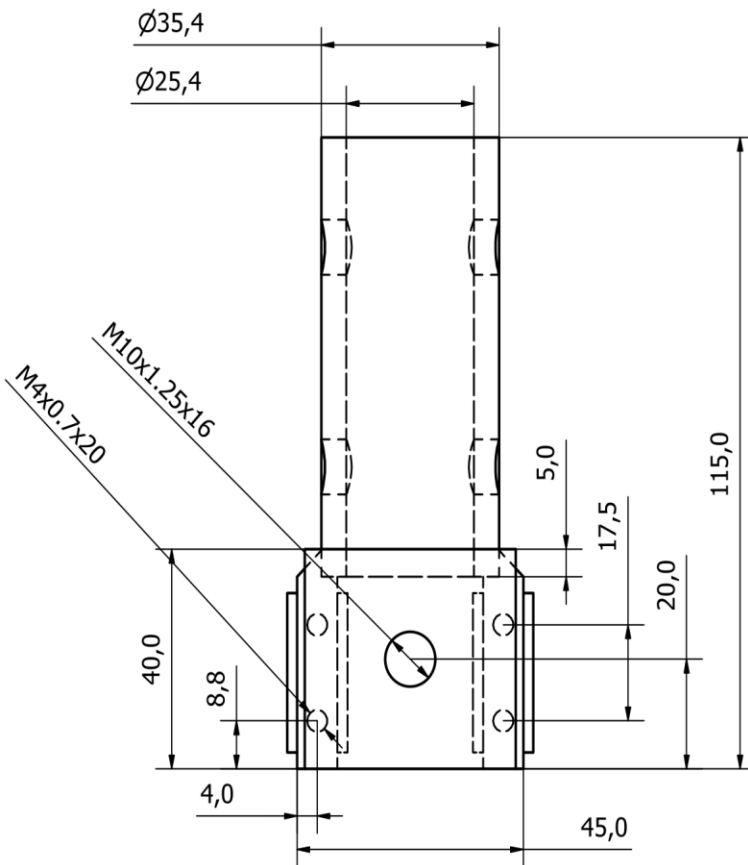
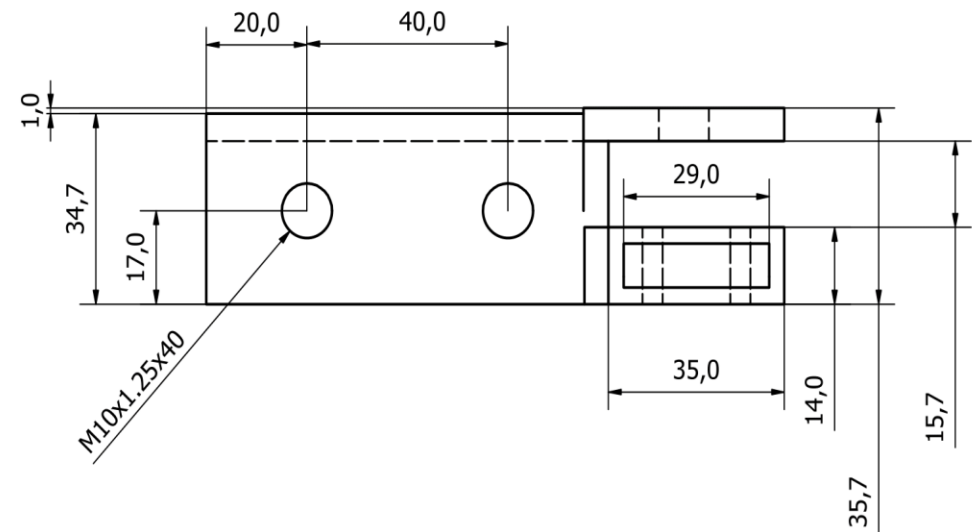
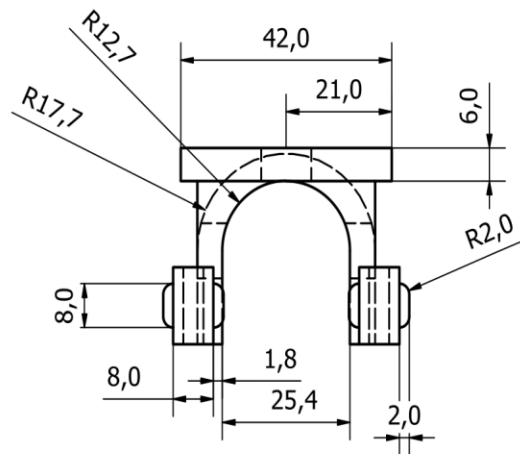


DETALLE CANT.

Pernos M4: 40
Total placa: 1

UNIDADES: mm

Diseño de Grupo Bowen-Solorzano	Aprobado por ESPOL	Escala 1 : 4	Fecha 21/01/2022		
GRUPO BOWEN-SOLORZANO		PLACA HEXAGONAL INFERIOR			
		Material principal FIBRA DE CARBONO		Edición 01	N° Hoja 04

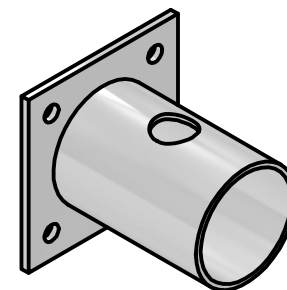
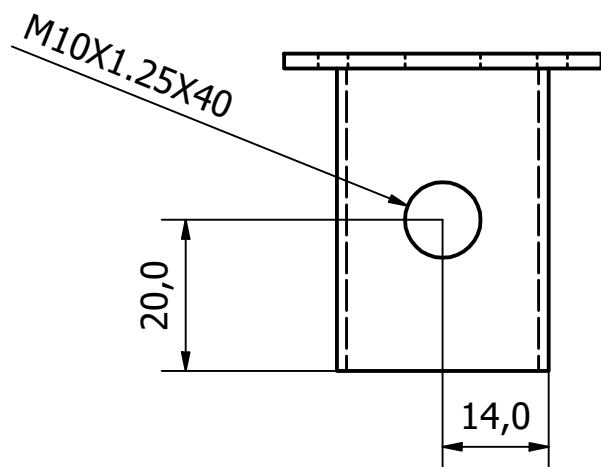
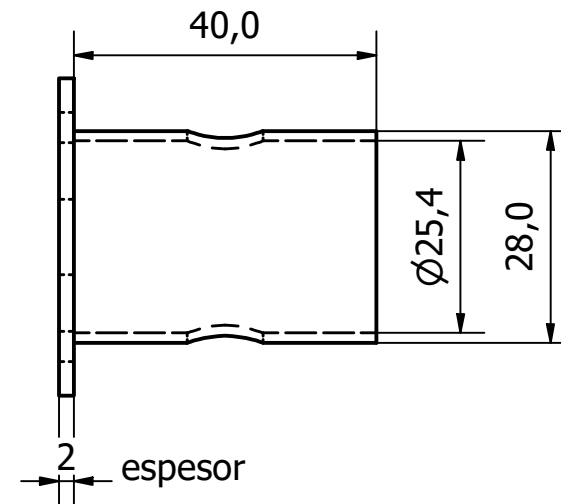
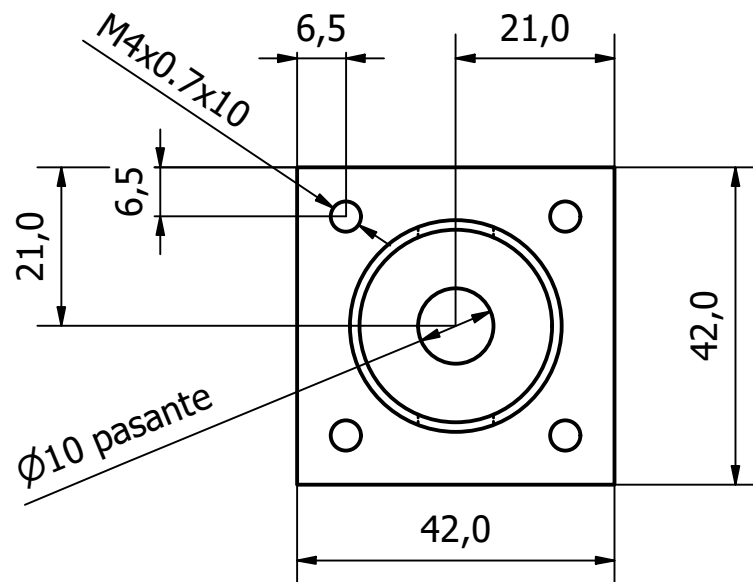


DETALLE CANT.

Pernos M10: 3
Total Unión: 6

UNIDADES: mm

Diseño de Grupo Bowen-Solorzano	Aprobado por ESPOL	Escala 1 : 1	Fecha 22/01/2022		
GRUPO BOWEN-SOLORZANO 		UNION: BRAZO-PLACA-HEXAGONAL			
Material principal FIBRA DE CARBONO				Edición 01	Nº Hoja 05



DETALLE CANT.

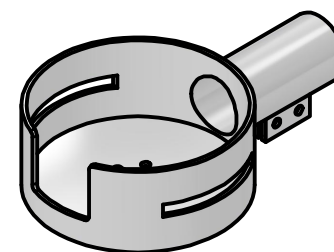
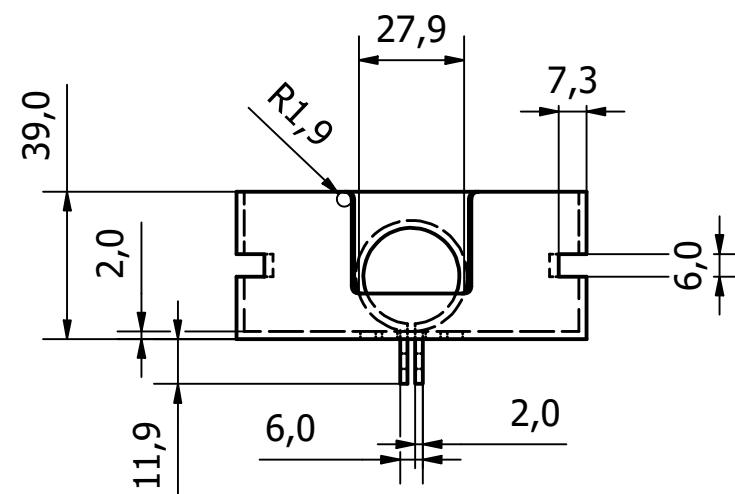
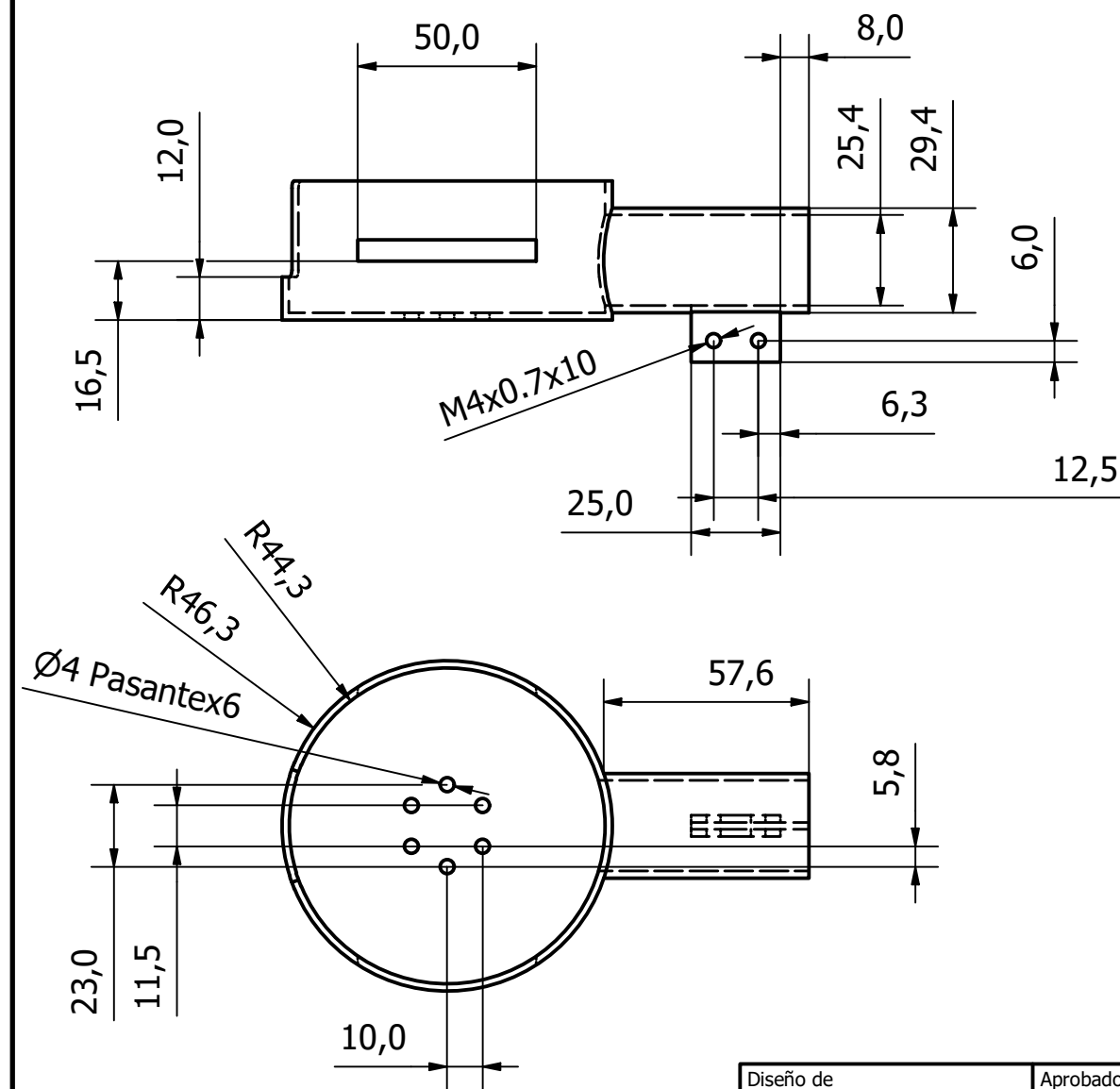
Pernos M10: 1

Pernos M4: 4

TOTAL UNIÓN: 8

UNIDADES: mm

Diseño de Grupo Bowen-Solorzano	Aprobado por ESPOL	Escala 1 : 1	Fecha 22/01/2022		
GRUPO BOWEN-SOLORZANO		UNION:TUBOS-LATERALES			
		Material principal FIBRA DE CARBONO		Edición 01	Nº Hoja 06

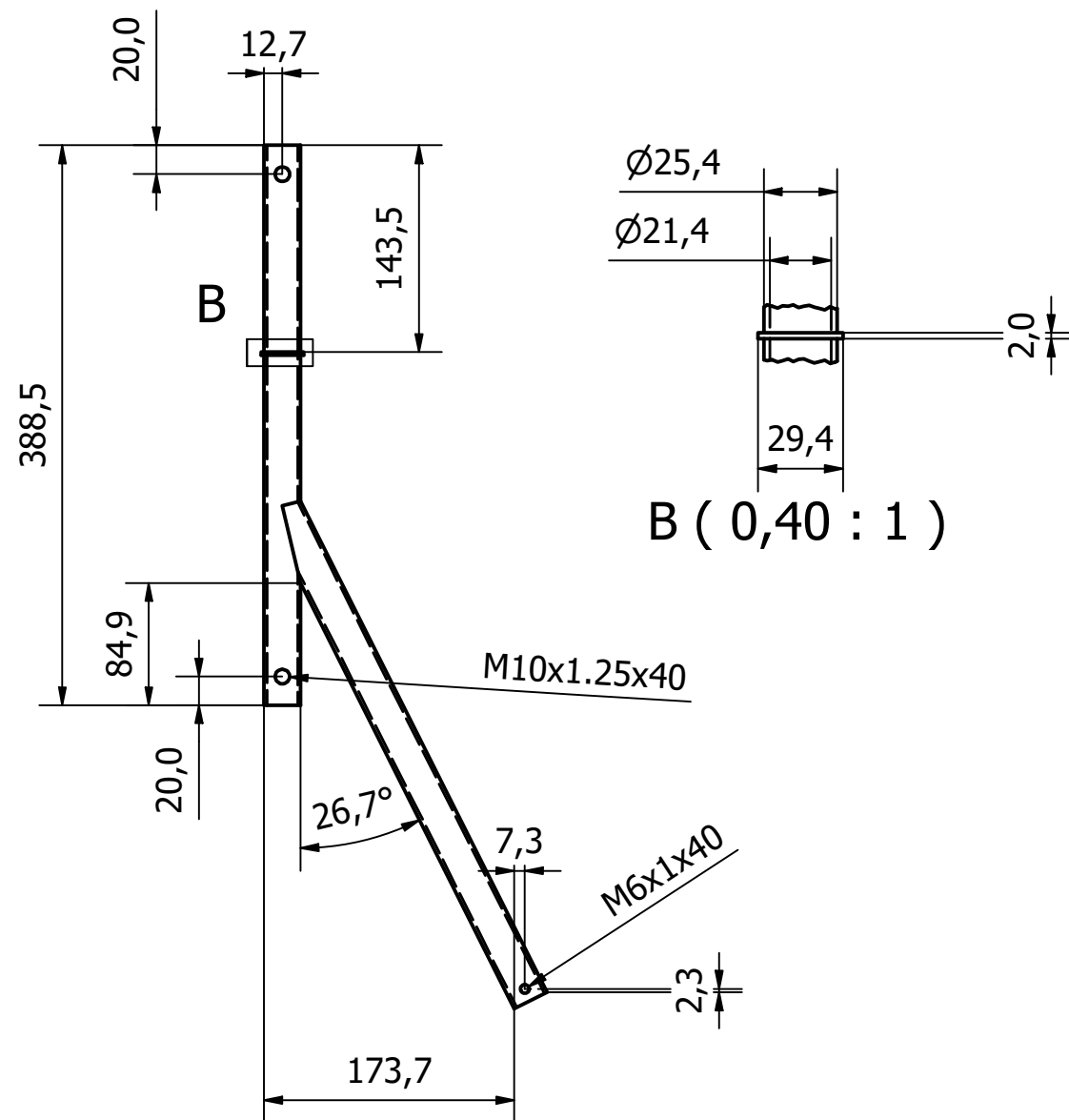


DETALLE CANT.

Pernos M4: 8
Total Unión: 6

UNIDADES: mm
espesor: 2 mm

Diseño de Grupo Bowen-Solorzano	Aprobado por ESPOL	Escala 1 : 2	Fecha 22/01/2022		
GRUPO BOWEN-SOLORZANO 		UNION:ROTOR-BRAZOS			
		Material principal FIBRA DE CARBONO		Edición 01	Nº Hoja 07

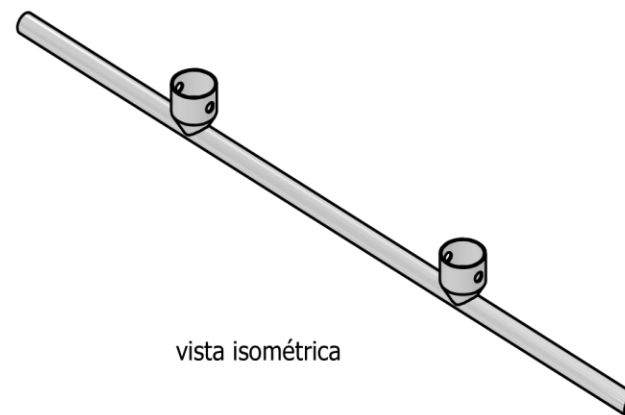
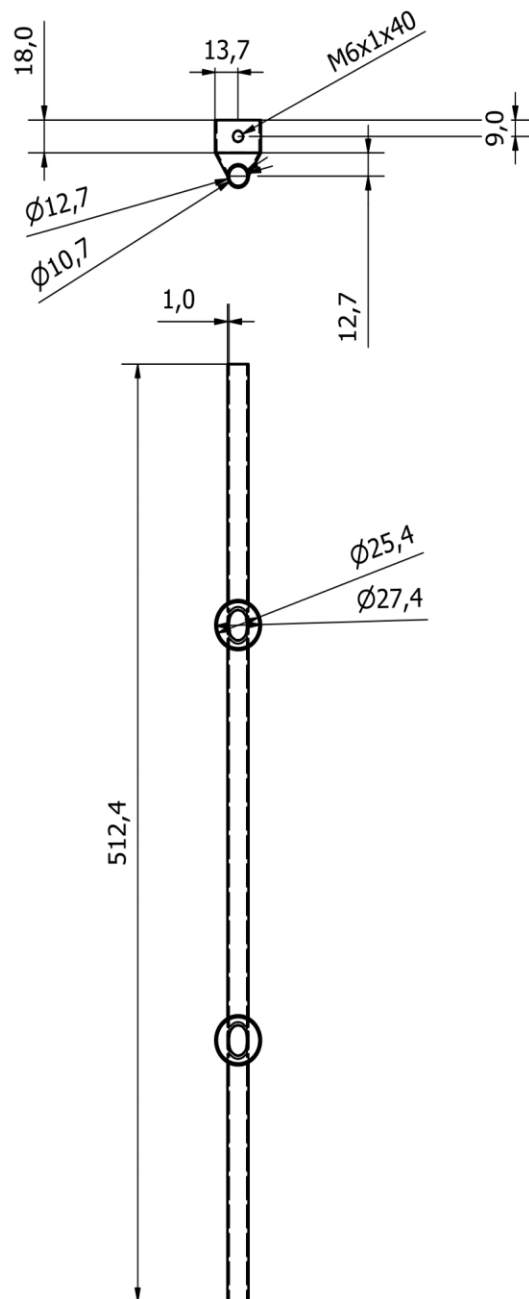


DETALLE CANT.

Total TUBOS: 4

UNIDADES: mm
espesor: 2 mm

Diseño de Grupo Bowen-Solorzano	Aprobado por ESPOL	Escala 1 : 5	Fecha 22/01/2022		
GRUPO BOWEN-SOLORZANO		TUBOS LATERALES			
		Material principal FIBRA DE CARBONO		Edición 01	N° Hoja 08



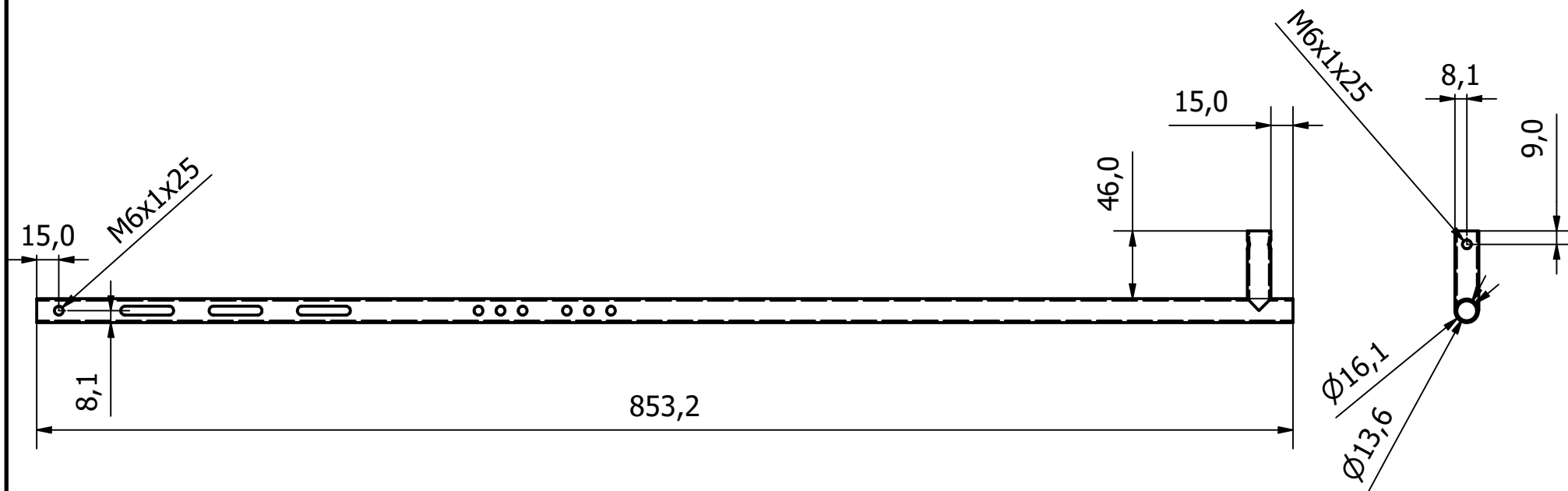
vista isométrica

DETALLE CANT.

Total TUBOS: 2

UNIDADES: mm
espesor: 1 mm

Diseño de Grupo Bowen-Solorzano	Aprobado por ESPOL	Escala 1 : 3	Fecha 22/01/2022		
GRUPO BOWEN-SOLORZANO		TREN DE ATERRIZAJE			
		Material principal FIBRA DE CARBONO		Edición 01	Nº Hoja 09

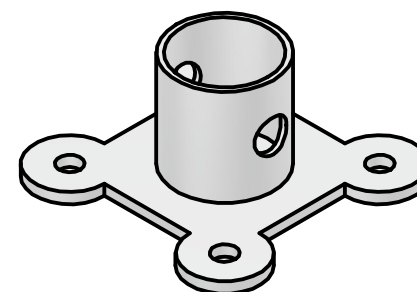
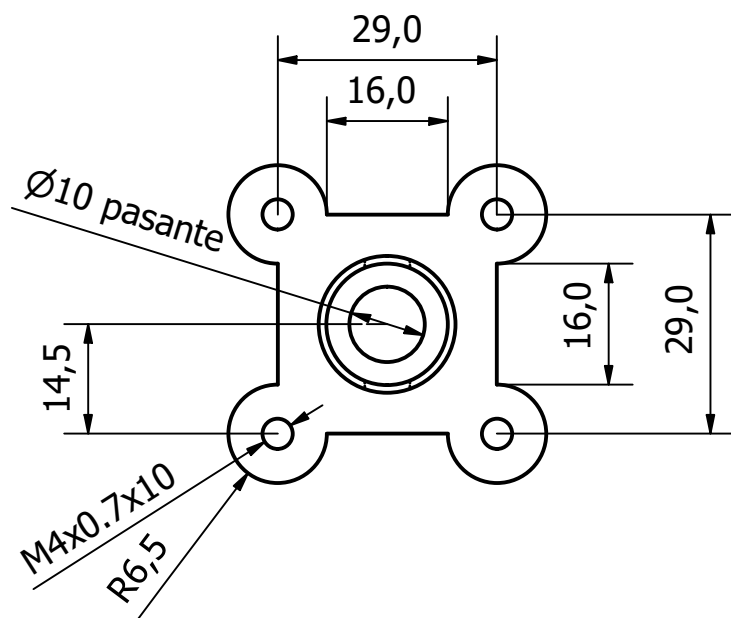
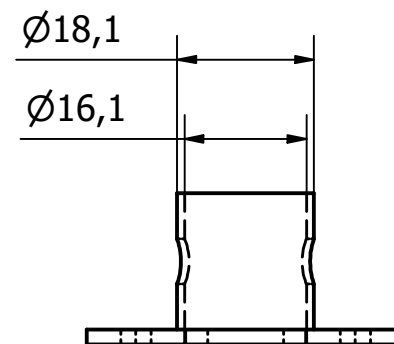
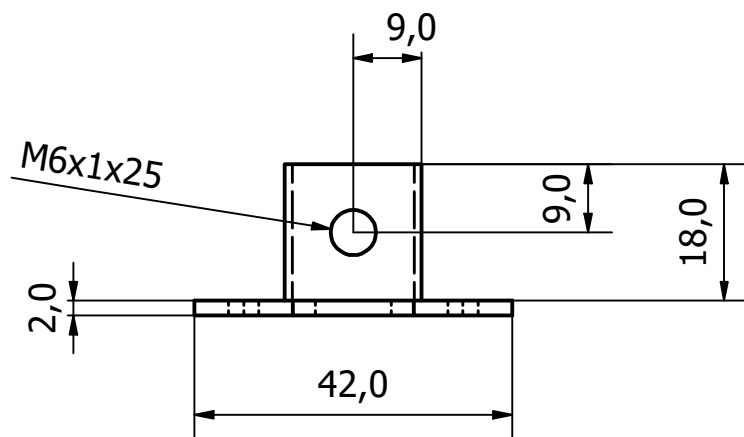


DETALLE CANT.

Total TUBOS: 1

UNIDADES: mm

Diseño de Grupo Bowen-Solorzano	Aprobado por ESPOL	Escala 1 : 4	Fecha 22/01/2022		
GRUPO BOWEN-SOLORZANO		TUBO DE BRAZO INYECTOR			
		Material principal FIBRA DE CARBONO		Edición 01	Nº Hoja 10

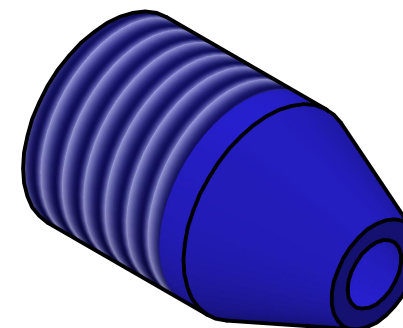
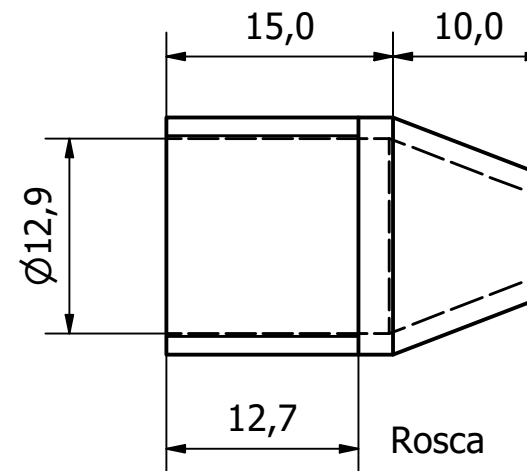
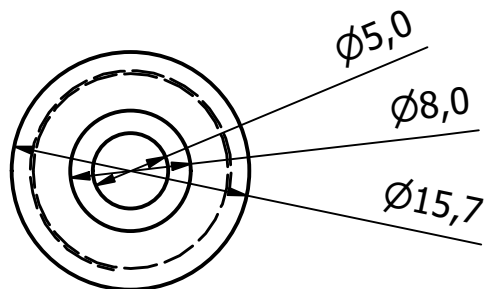


DETALLE CANT.

Total TUBOS: 1

UNIDADES: mm

Diseño de Grupo Bowen-Solorzano	Aprobado por ESPOL	Escala 1 : 1	Fecha 22/01/2022		
GRUPO BOWEN-SOLORZANO		UNIÓN: BRAZO INYECTOR			
		Material principal FIBRA DE CARBONO		Edición 01	Nº Hoja 11



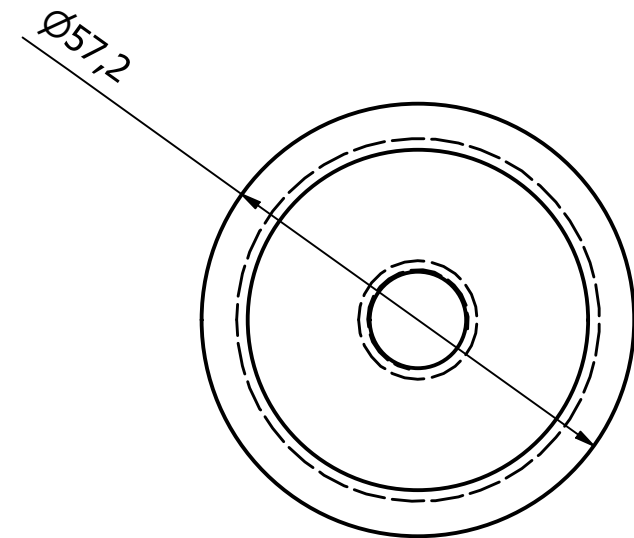
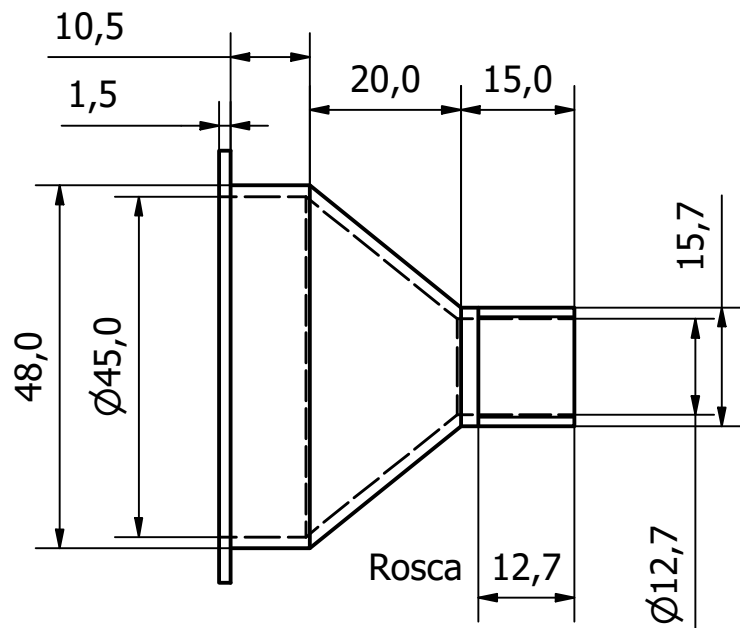
DETALLE CANT.

Total Boquilla: 1

UNIDADES: mm

Nota: la rosca de la boquilla es la misma del acople de la manguera obtenida

Diseño de Grupo Bowen-Solorzano	Aprobado por ESPOL	Escala 2 : 1	Fecha 22/01/2022		
GRUPO BOWEN-SOLORZANO		BOQUILLA DE SALIDA DE INYECCIÓN			
		Material principal ALUMINIO		Edición 01	N° Hoja 12

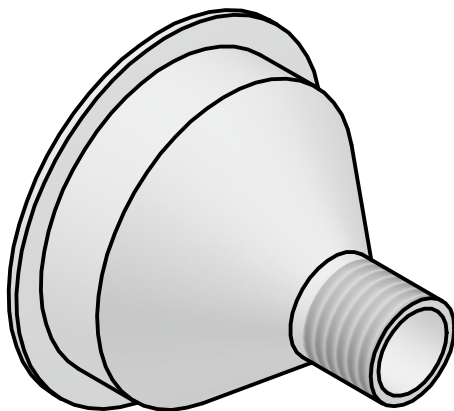


DETALLE CANT.

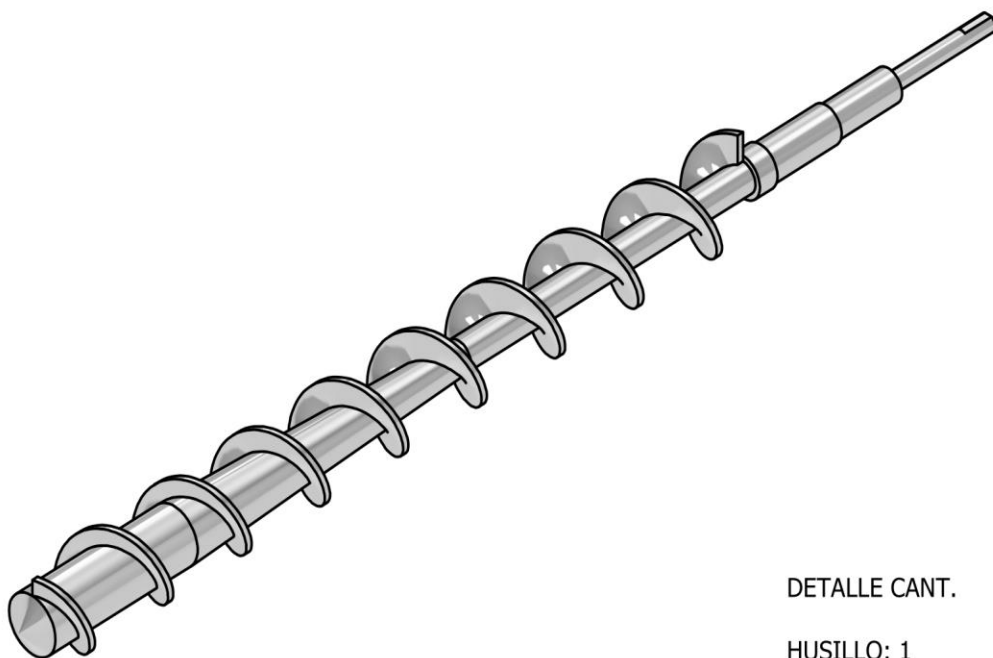
Total Boquilla: 1

UNIDADES: mm

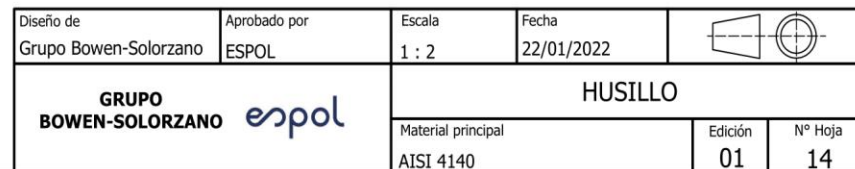
Nota: la rosca de la boquilla es la misma del acople de la manguera obtenida

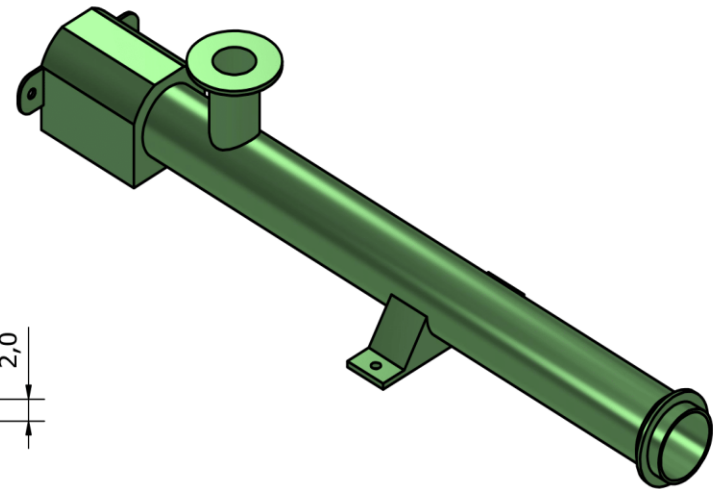
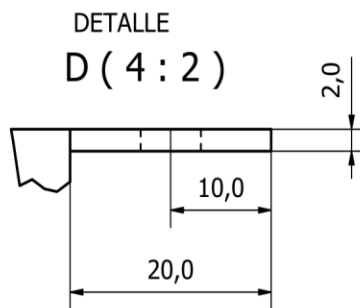
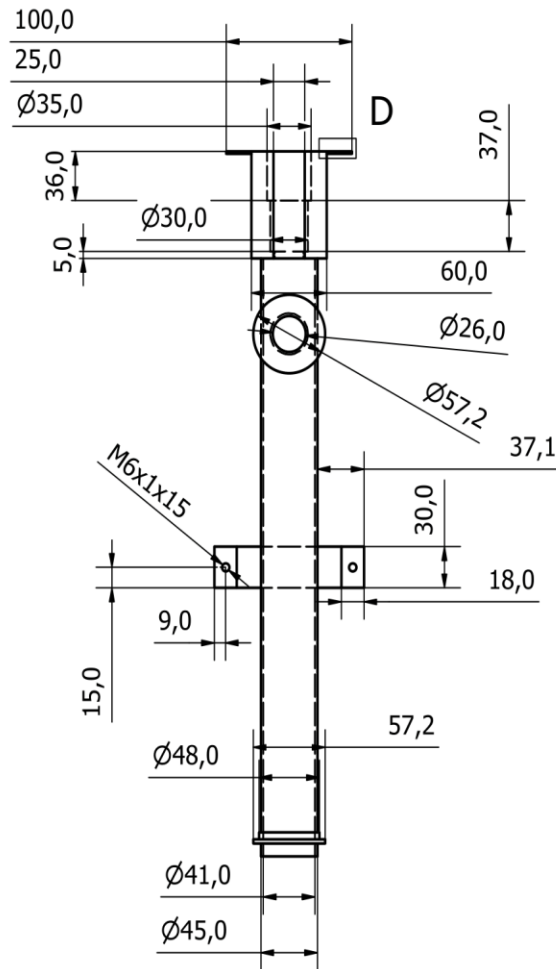
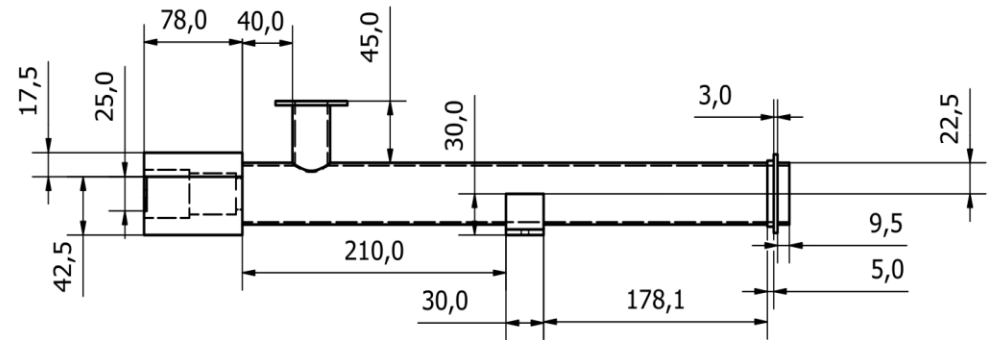
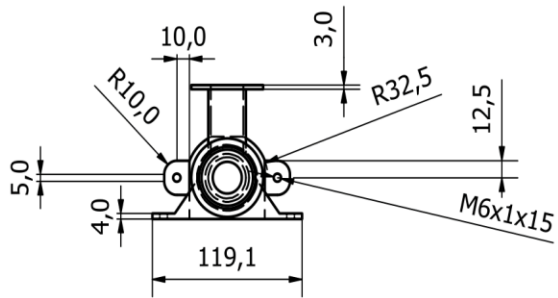


Diseño de Grupo Bowen-Solorzano	Aprobado por ESPOL	Escala 1 : 1	Fecha 22/01/2022		
GRUPO BOWEN-SOLORZANO		BOQUILLA: CAMISA MANGUERA			
		Material principal ALUMINIO		Edición 01	Nº Hoja 13



UNIDADES: mm





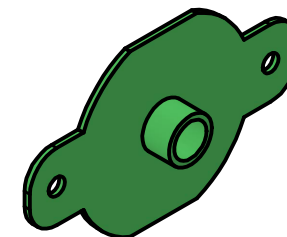
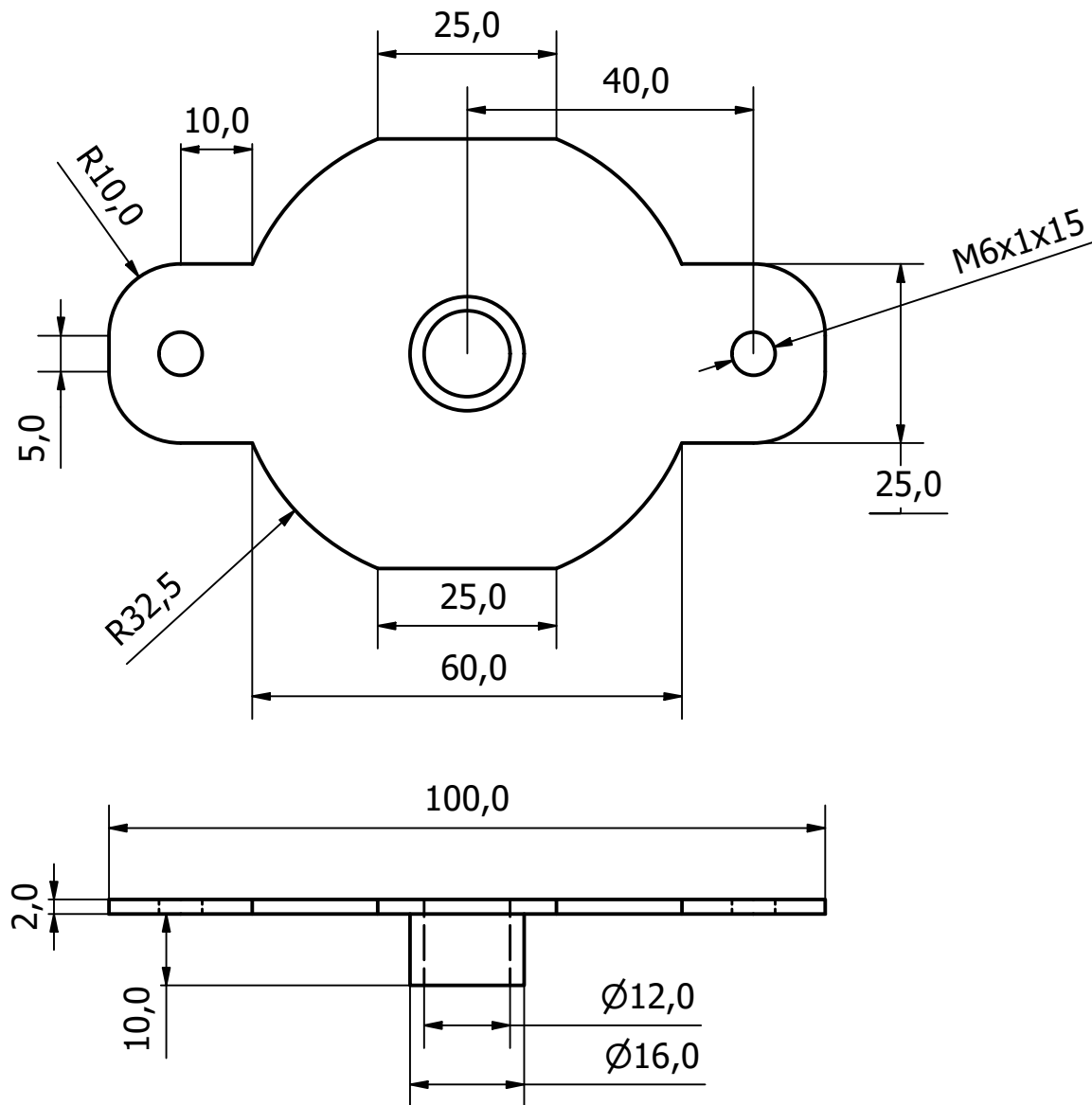
VISTA ISOMÉTRICA

DETALLE CANT.

CAMISA: 1

UNIDADES: mm
espesor: 2

Diseño de Grupo Bowen-Solorzano	Aprobado por ESPOL	Escala 1 : 4	Fecha 22/01/2022		
GRUPO BOWEN-SOLORZANO 		CAMISA			
		Material principal PLÁSTICO ABS		Edición 01	Nº Hoja 15



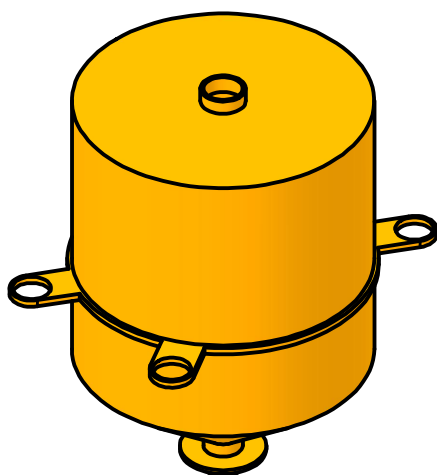
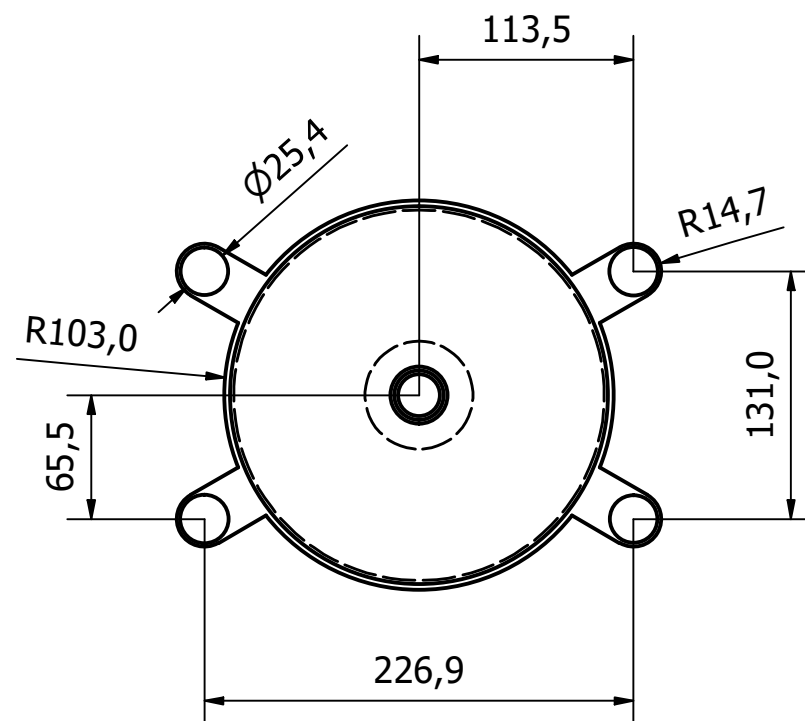
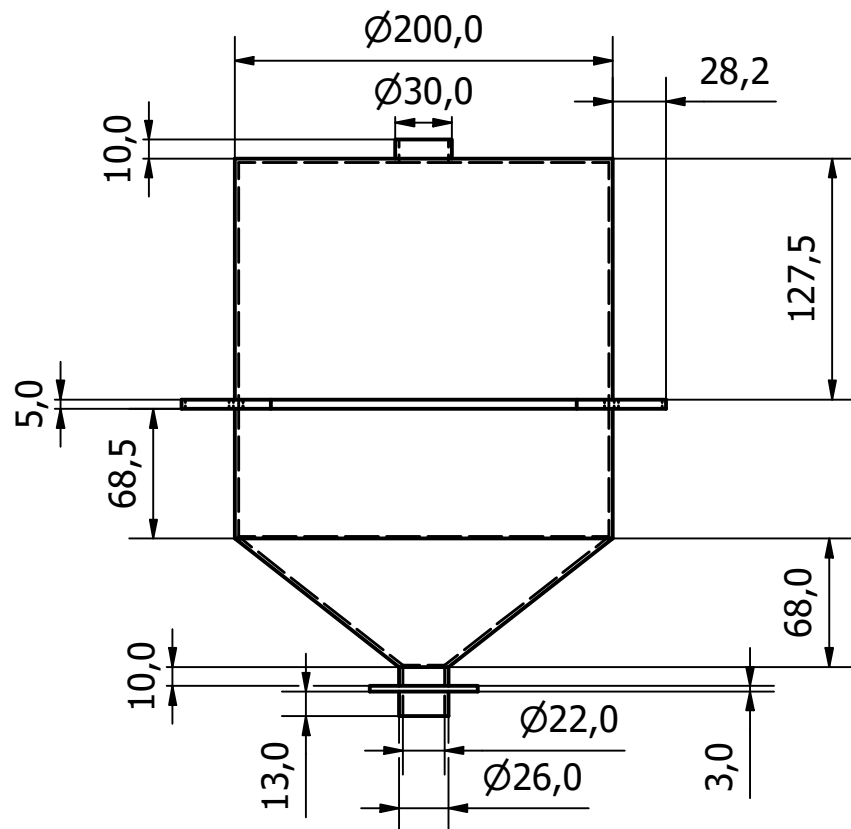
VISTA ISOMÉTRICA

DETALLE CANT.

TAPA-CAMISA: 1

UNIDADES: mm

Diseño de Grupo Bowen-Solorzano	Aprobado por ESPOL	Escala 1 : 1	Fecha 22/01/2022		
GRUPO BOWEN-SOLORZANO		TAPA-CAMISA			
		Material principal PLÁSTICO ABS		Edición 01	N° Hoja 16



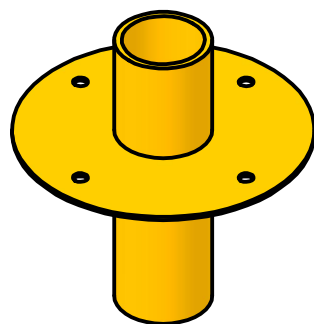
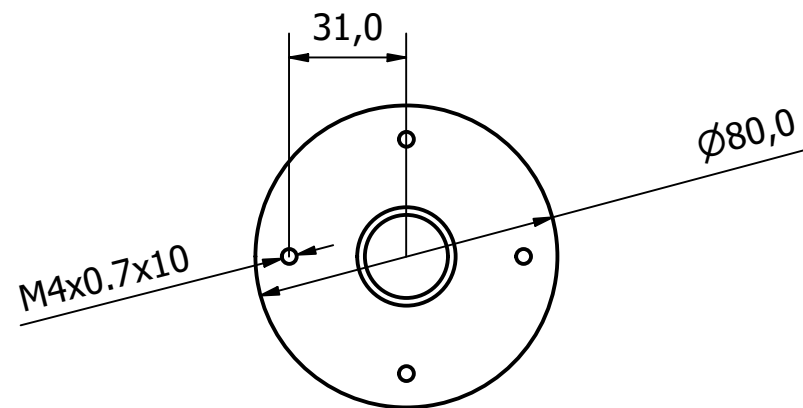
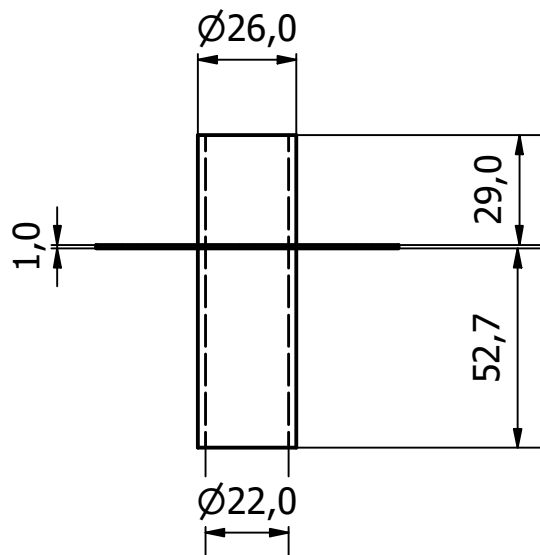
VISTA ISOMÉTRICA

DETALLE CANT.

RESEERVORIO: 1

UNIDADES: mm
espesor: 2 mm

Diseño de Grupo Bowen-Solorzano	Aprobado por ESPOL	Escala 1 : 4	Fecha 22/01/2022		
GRUPO BOWEN-SOLORZANO 		RESERVORIO			
		Material principal PLÁSTICO ABS		Edición 01	N° Hoja 17



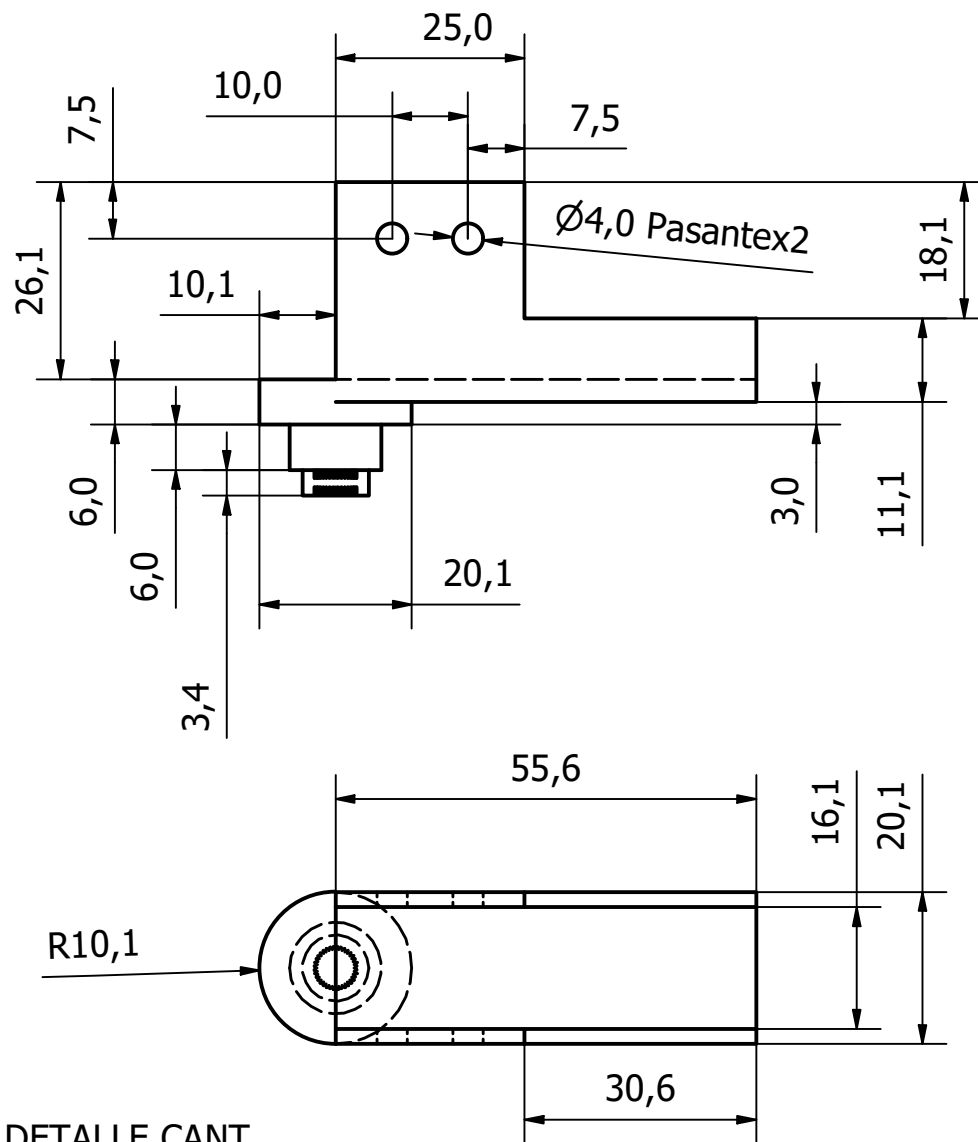
VISTA ISOMÉTRICA

DETALLE CANT.

Acople-ingreso: 1

UNIDADES: mm

Diseño de Grupo Bowen-Solorzano	Aprobado por ESPOL	Escala 1 : 2	Fecha 22/01/2022		
GRUPO BOWEN-SOLORZANO 		ACOPLE DE INGRESO			
		Material principal PLÁSTICO ABS		Edición 01	N° Hoja 18

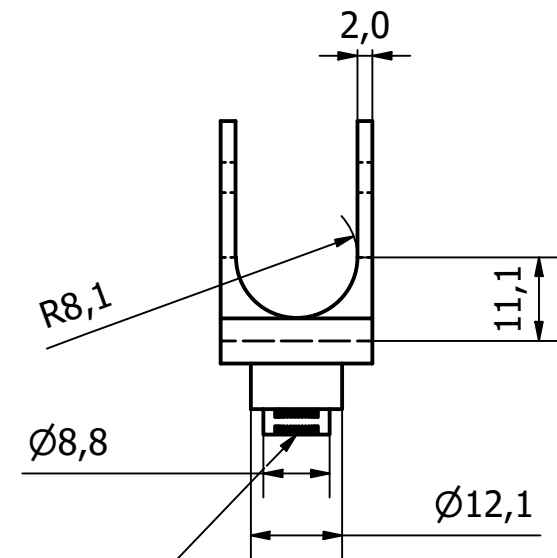


DETALLE CANT.

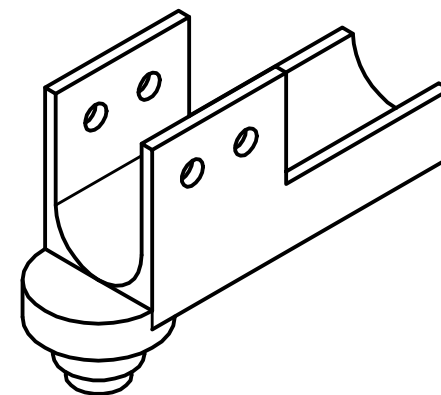
Acople: 1

UNIDADES: mm

Nota: tomar en cuenta el piñón metálico del servo

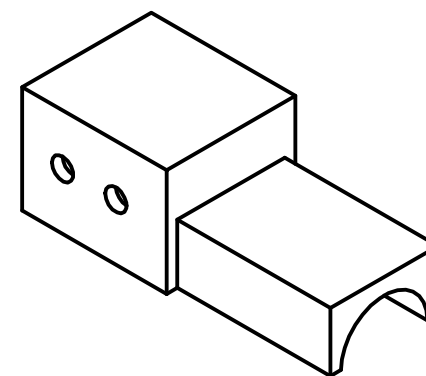
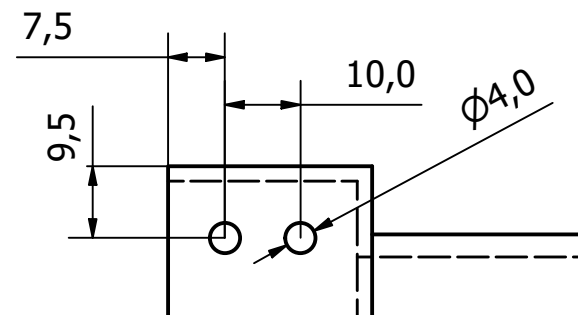
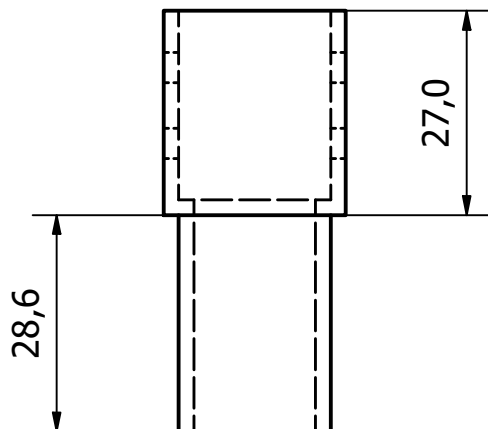
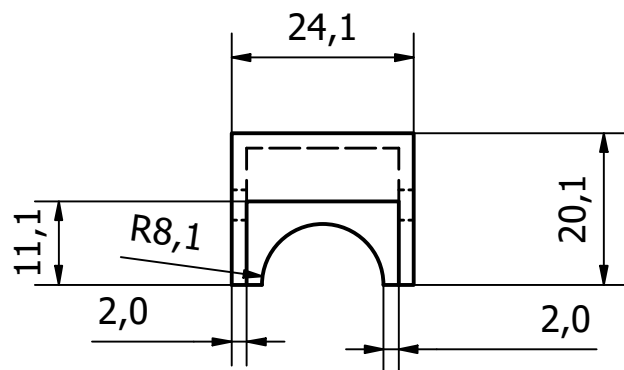


La entrada ser acoplarse al
piñón del servomotor



VISTA ISOMÉTRICA

Diseño de Grupo Bowen-Solorzano	Aprobado por ESPOL	Escala 1 : 1	Fecha 22/01/2022		
GRUPO BOWEN-SOLORZANO 		ACOPLER INFERIOR:SERVO-MANGUERA			
		Material principal PLÁSTICO ABS		Edición 01	Nº Hoja 19



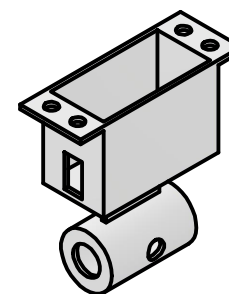
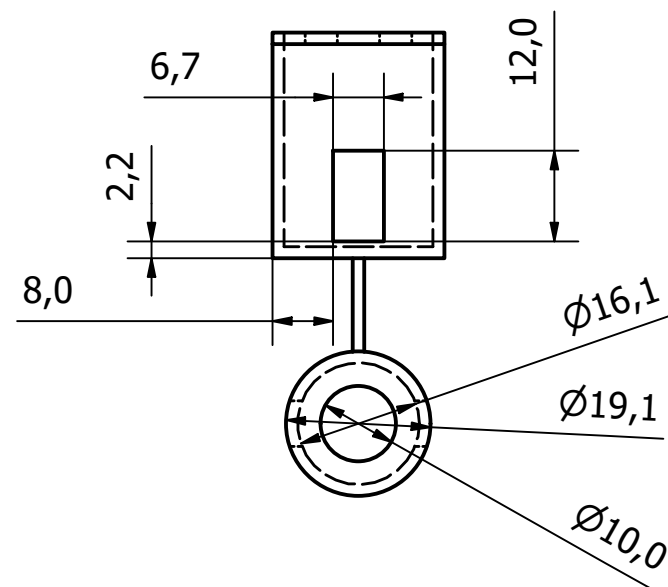
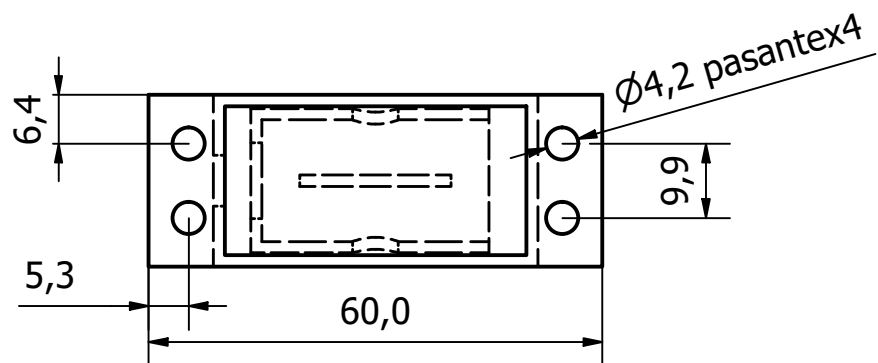
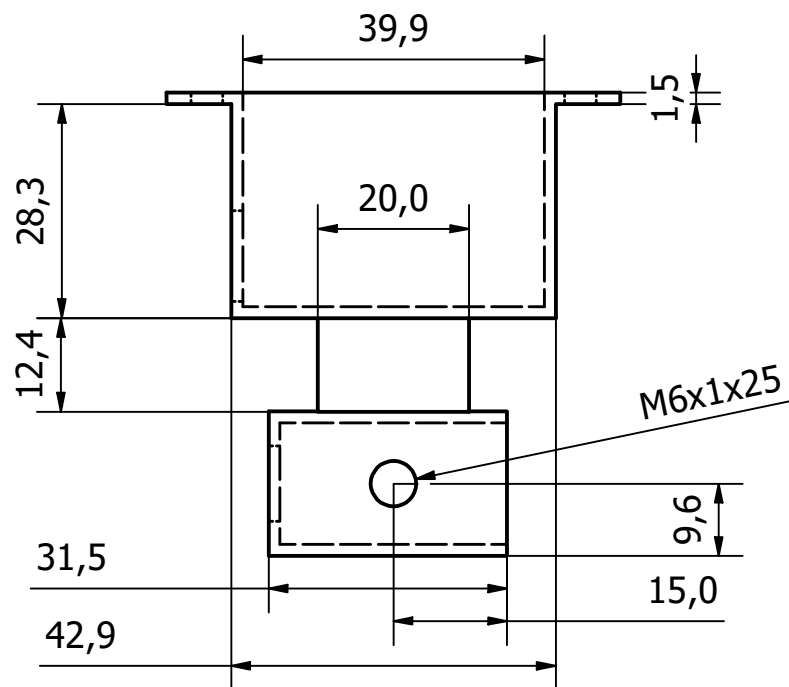
VISTA ISOMÉTRICA

DETALLE CANT.

Acople: 1

UNIDADES: mm

Diseño de Grupo Bowen-Solorzano	Aprobado por ESPOL	Escala 1 : 1	Fecha 22/01/2022		
GRUPO BOWEN-SOLORZANO		ACOPLE SUPERIOR: SERVO-MANGUERA			
		Material principal PLÁSTICO ABS		Edición 01	Nº Hoja 20



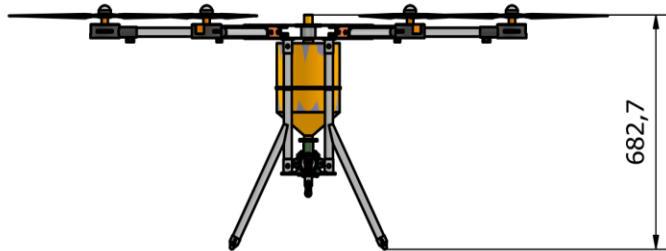
VISTA ISOMÉTRICA

DETALLE CANT.

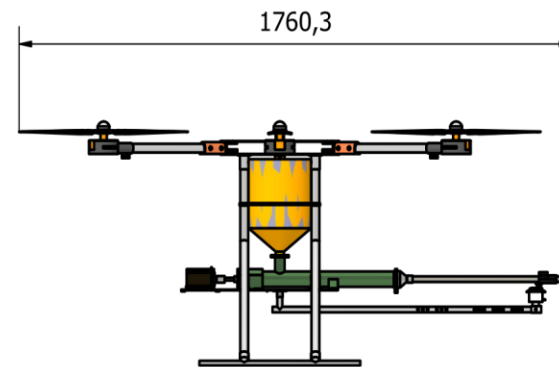
Acople: 1

UNIDADES: mm

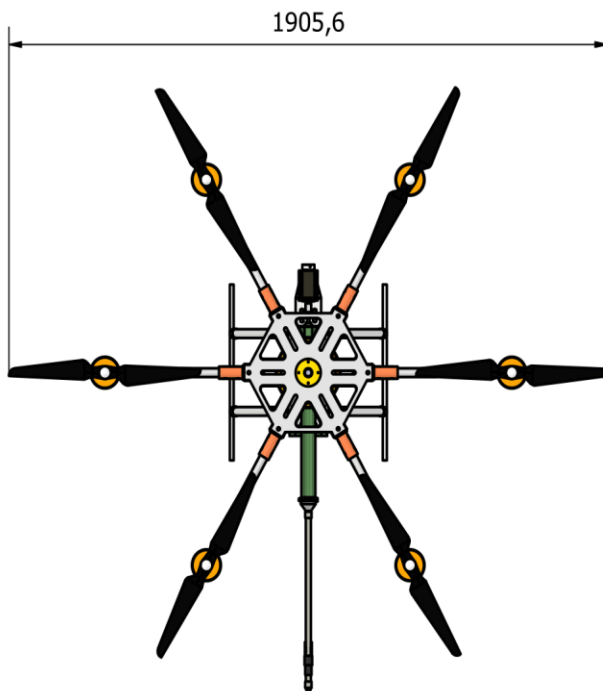
Diseño de Grupo Bowen-Solorzano	Aprobado por ESPOL	Escala 1 : 1	Fecha 22/01/2022		
GRUPO BOWEN-SOLORZANO		ACOPLE: SERVO-TUBO BRAZO INYECTOR			
		Material principal PLÁSTICO ABS		Edición 01	Nº Hoja 21



VISTA FRONTAL
ESCALA (1:16)



VISTA LATERAL
ESCALA (1:16)



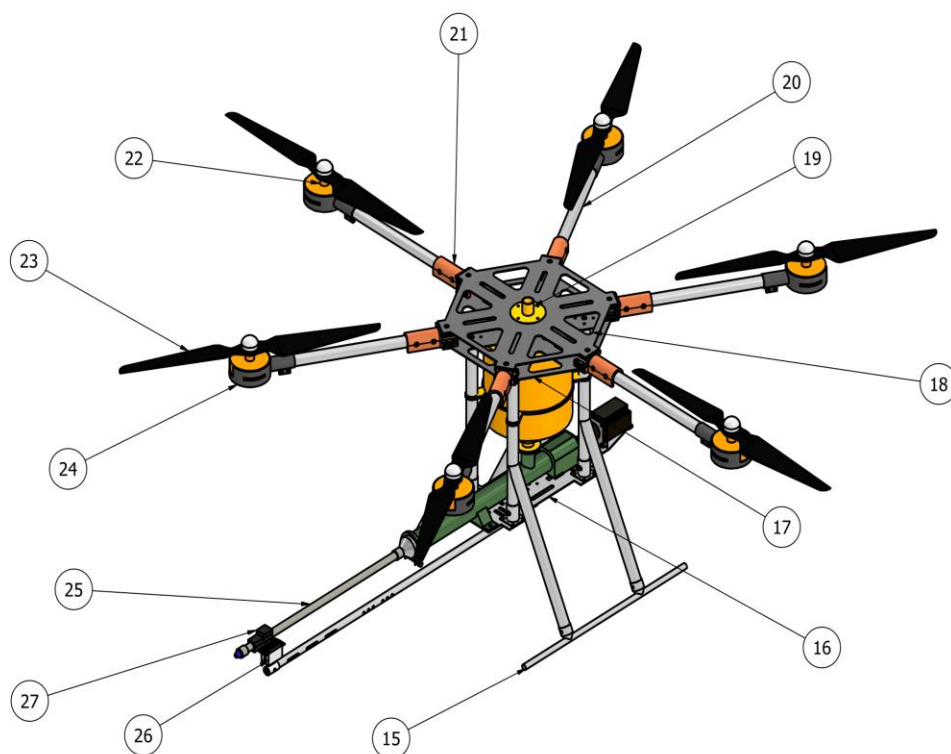
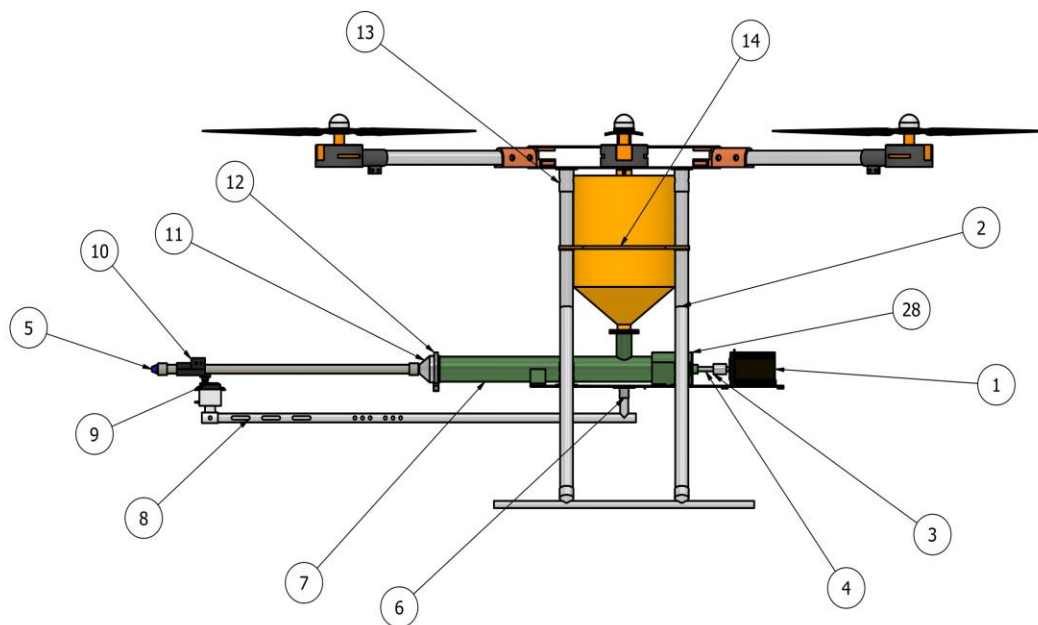
VISTA SUPERIOR
ESCALA (1:16)



VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA (1:16)

Cantidad:1
Unidades:mm

Diseño de Grupo Bowen-Solorzano	Aprobado por ESPOL	Escala 1 : 16	Fecha 22/01/2022		
GRUPO BOWEN-SOLORZANO 		VANT inyector de lechada de cemento			
		Material principal ABS/Fibra de carbono/aluminio		Edición 01	Nº Hoja 22

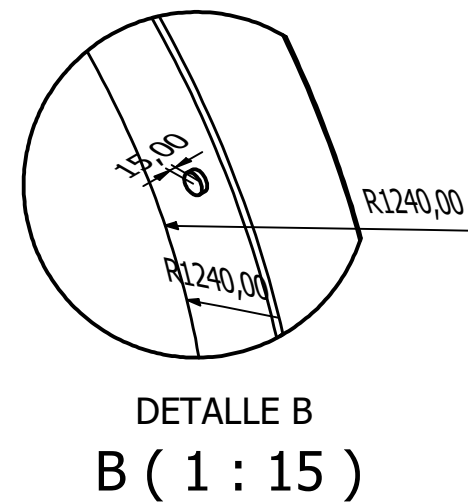
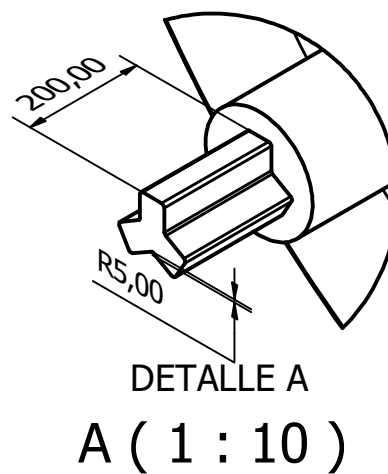
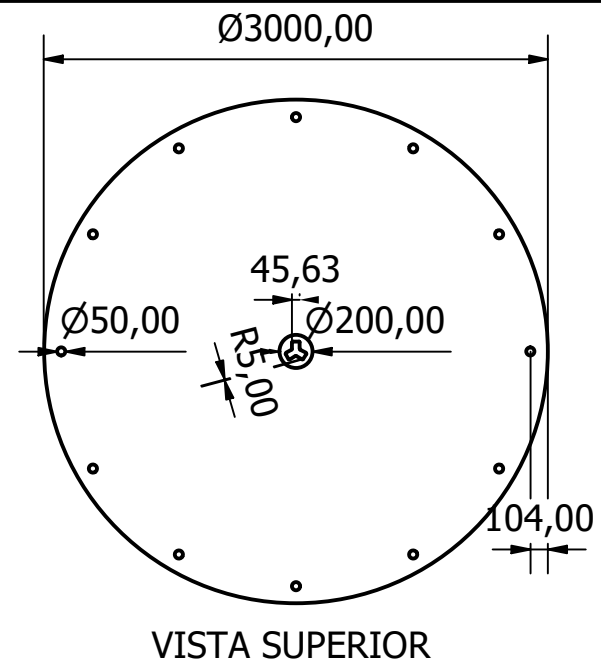
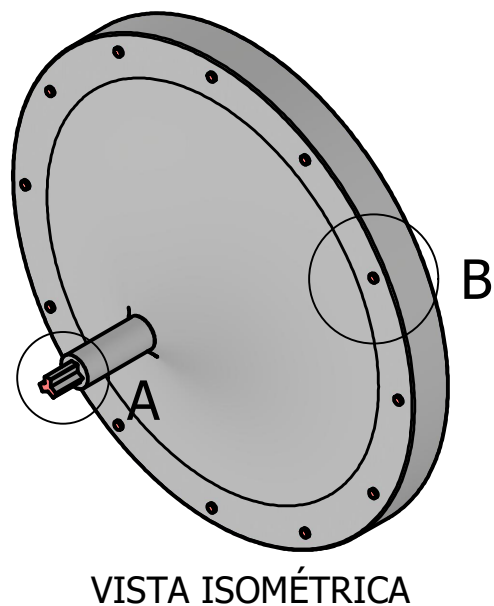
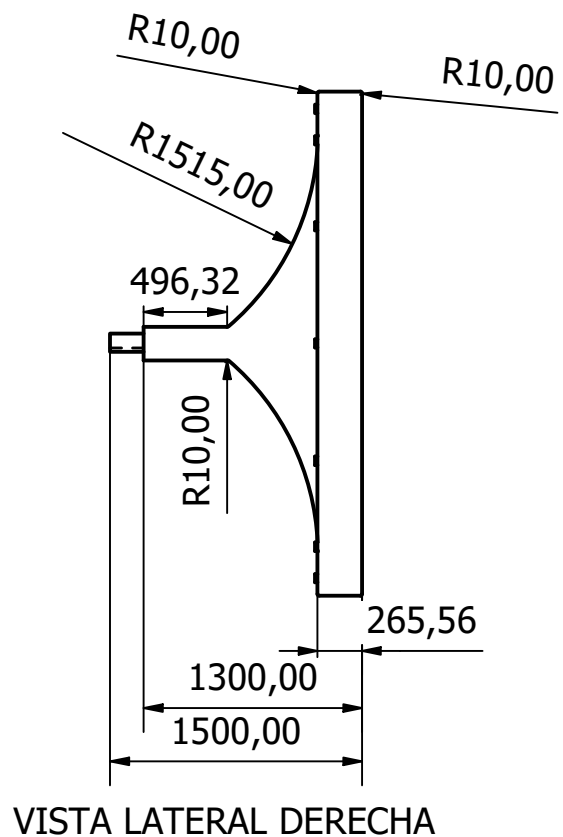


LISTA DE PIEZAS

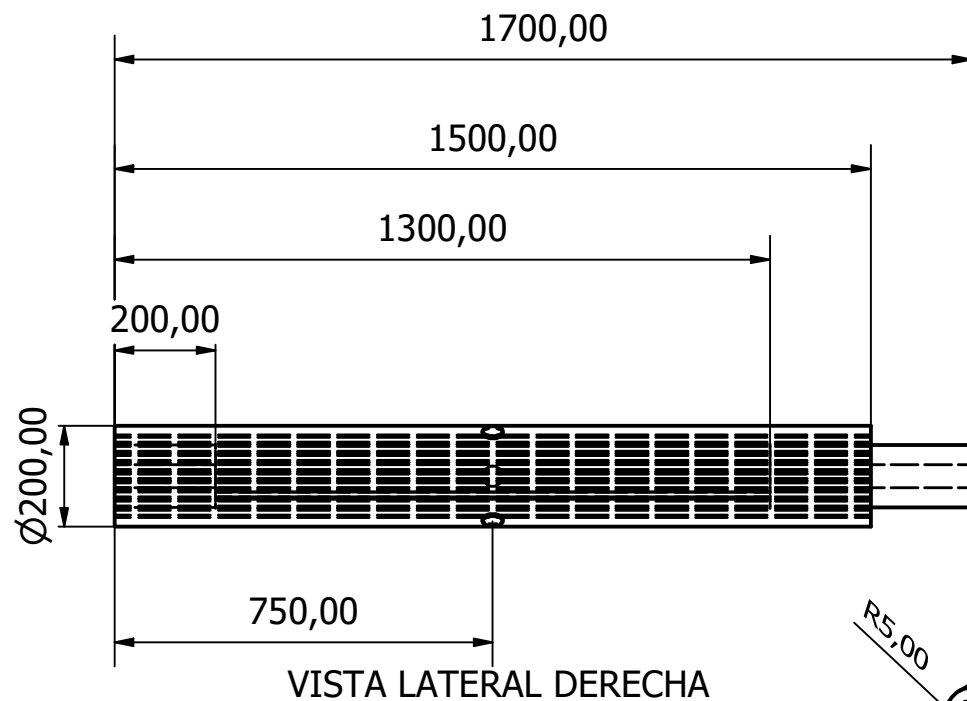
ELEMENTO	CTDAD	DESCRIPCIÓN
1	1	Motor NEMA 23
2	4	Tubos laterales de la estructura
3	1	Acople entre el husillo y motor
4	1	Husillo de acero AISI 4140
5	1	Boquilla inyectora de salida
6	1	Unión de tubo brazo inyector
7	1	Camisa
8	1	Tubo estructural de brazo inyector
9	1	Servo Motor MG996R
10	1	Acople entre Servo y Manguera
11	1	Boquilla que acopla la manguera y la camisa
12	1	Abrazadera tipo V
13	8	Uniones estructurales de tubos laterales
14	1	Reservorio de material
15	2	Tren de aterrizaje
16	1	Placa rectangular inferior
17	1	Placa hexagonal Inferior
18	1	Placa hexagonal Superior
19	1	Acople para ingreso de material lechada de cemento
20	6	Tubos brazos
21	6	Uniones de los brazos a las placas hexagonales
22	6	Motor Titan T8110
23	6	Helices PJP-T-L 24X9
24	6	Acople del rotor al brazo
25	1	Manguera Teflon
26	1	Acople de servo al brazo inyector
27	1	Camara RunCam
28	1	Tapa de la camisa

Diseño de Grupo Bowen-Solorzano	Aprobado por ESPOL	Escala 1 : 7	Fecha 22/01/2022	
GRUPO BOWEN-SOLORZANO		VANT inyector de lechada de cemento		
Material principal ABS/Fibra de carbono/aluminio		Edición 01	Nº Hoja 23	

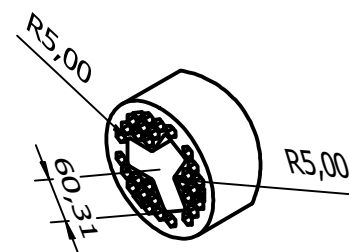
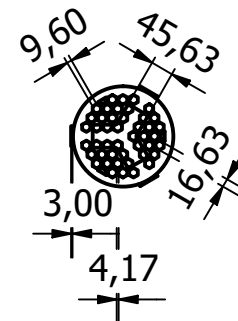
Nota: no se muestran las baterías ni el controlador de la bomba



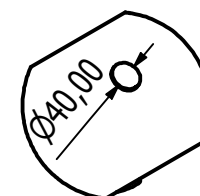
Diseño de Grupo Bowen-Solorzano	Aprobado por ESPOL	Escala 1 : 45	Fecha 21/01/2022		
GRUPO BOWEN-SOLORZANO 		BASE INFERIOR			
		Material principal GFRP		Edición 01	N° Hoja 24



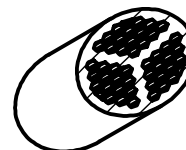
VISTA SUPERIOR



DETALLE A
A (1 : 10)



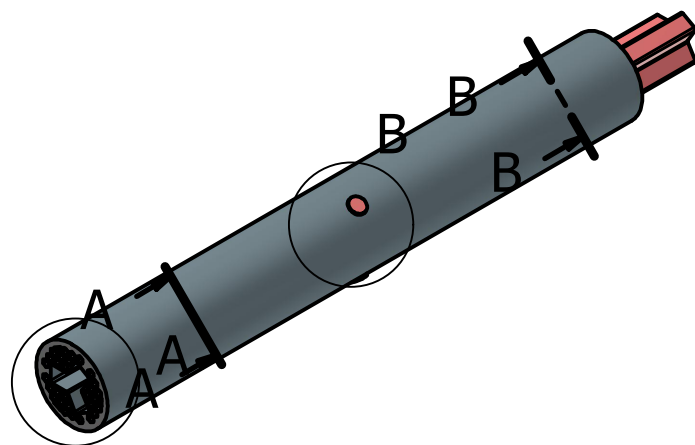
DETALLE B
B (1 : 10)



A-A (1 : 15)
SECCIÓN CONSTANTE DESDE
200 mm HASTA 1300 mm

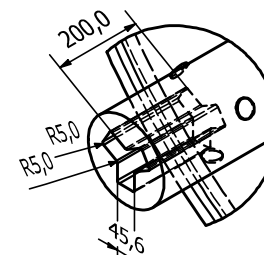
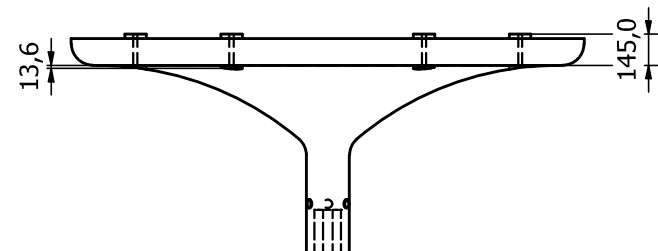
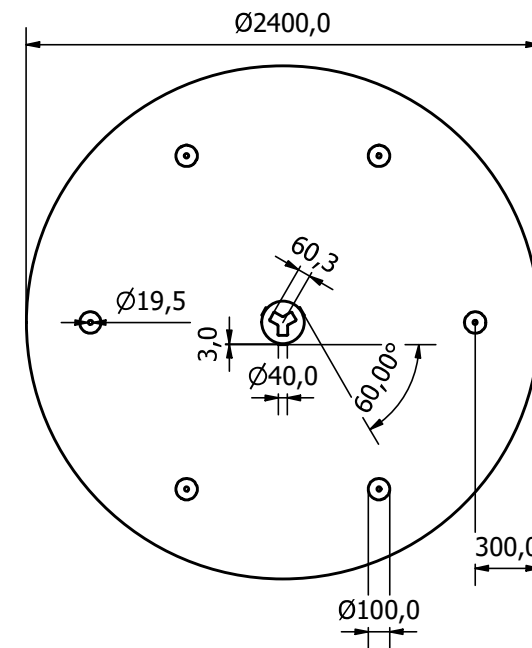
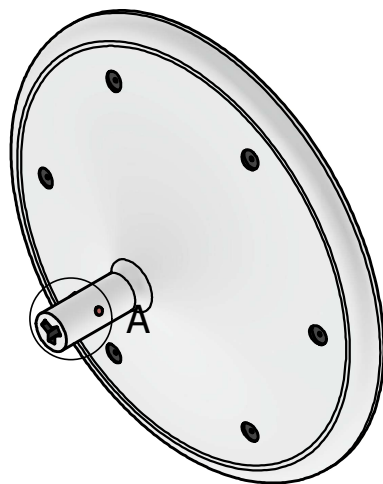
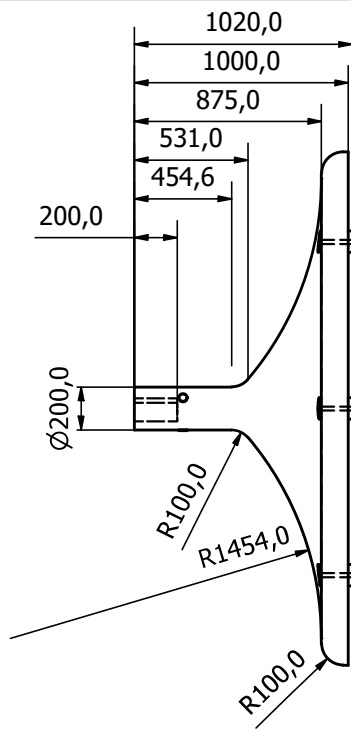


B-B (1 : 15)
SECCIÓN CONSTANTE DESDE
1300 mm HASTA 1500 mm



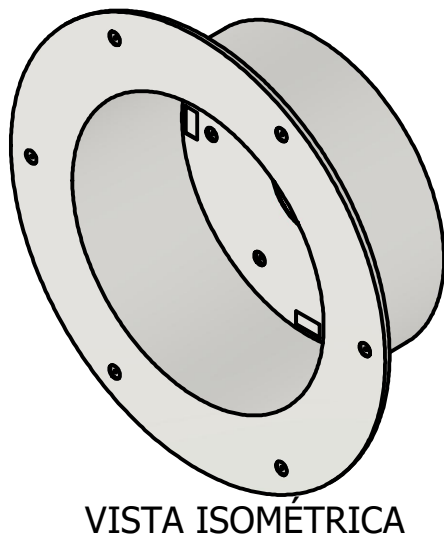
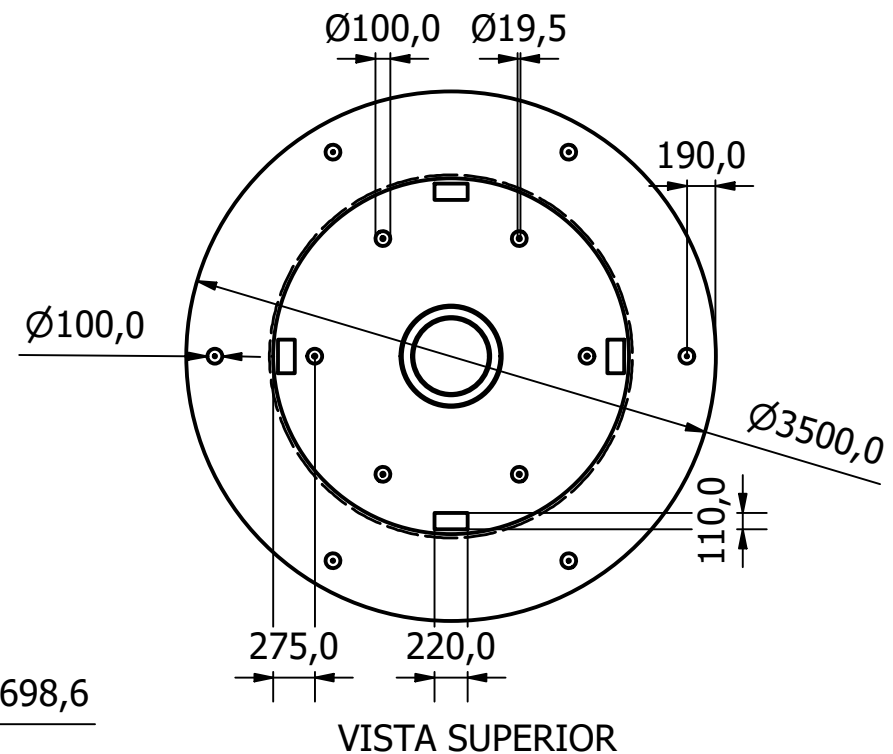
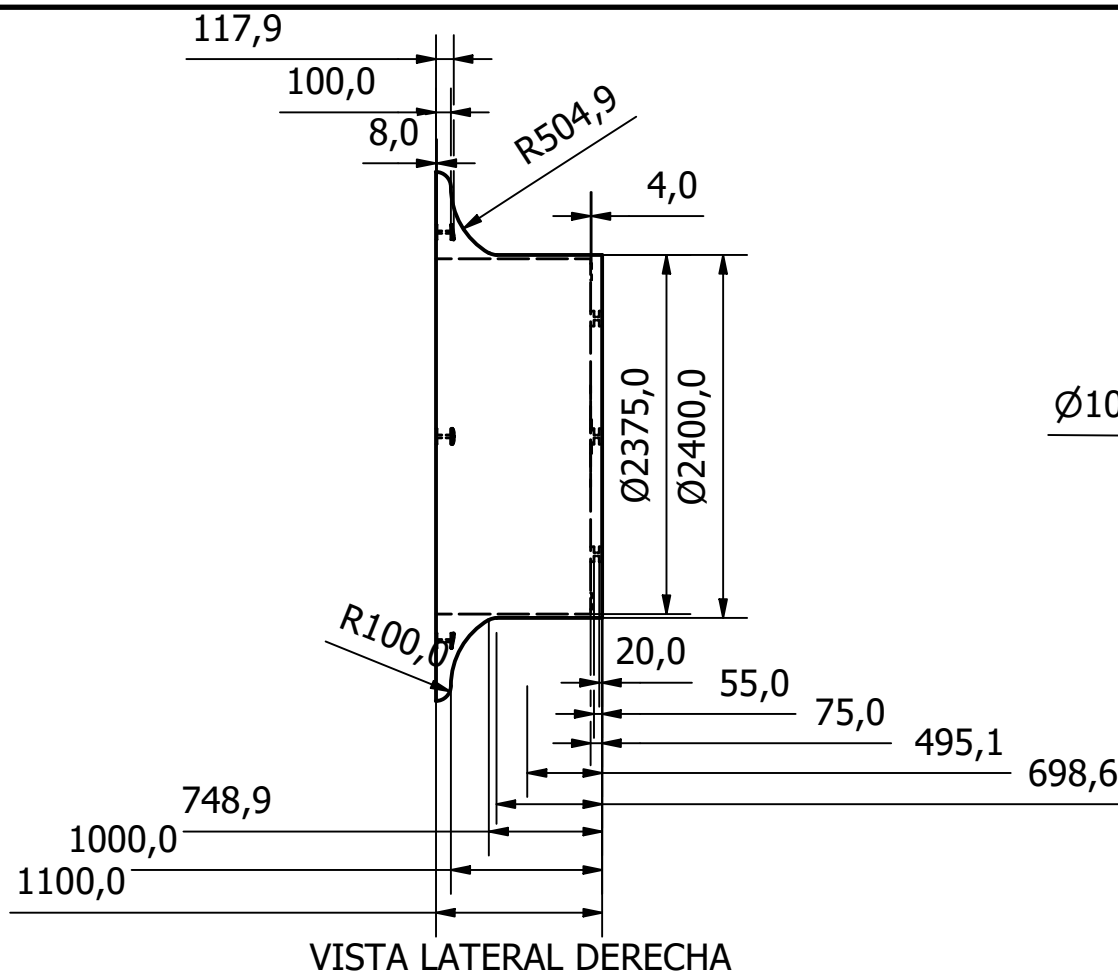
VISTA ISOMÉTRICA

Diseño de Grupo Bowen-Solorzano	Aprobado por ESPOL	Escala 1 :15	Fecha 21/01/2022		
GRUPO BOWEN-SOLORZANO		ESLABÓN DE COLUMNA			
		Material principal GFRP		Edición 01	Nº Hoja 25

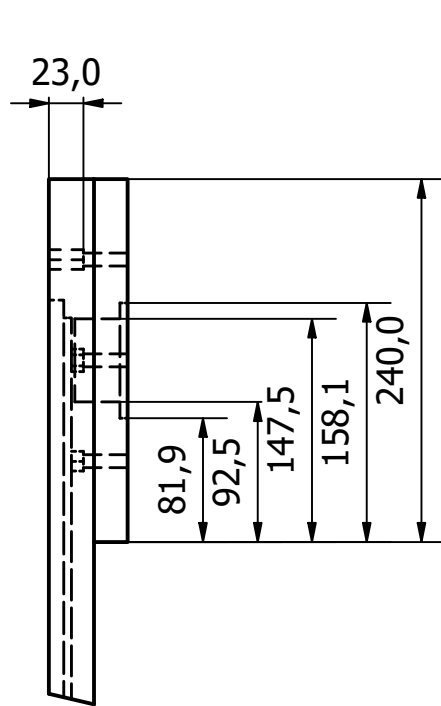


A (1 : 10)

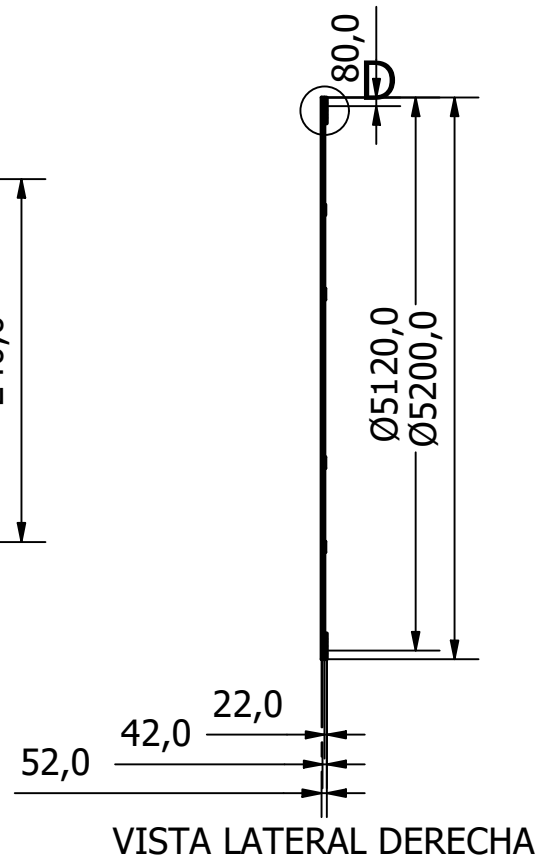
Diseño de Grupo Bowen-Solorzano	Aprobado por ESPOL	Escala 1 : 25	Fecha 21/01/2022		
GRUPO BOWEN-SOLORZANO 		BASE SUPERIOR			
		Material principal GFRP	Edición 01	N° Hoja 26	



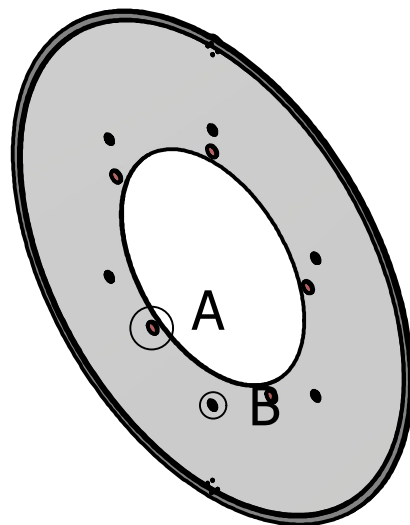
Diseño de Grupo Bowen-Solorzano	Aprobado por ESPOL	Escala 1 : 50	Fecha 21/01/2022		
GRUPO BOWEN-SOLORZANO 		HABITÁCULO			
		Material principal GFRP		Edición 01	Nº Hoja 27



DETALLE D
D (1 : 5)



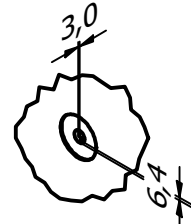
VISTA LATERAL DERECHA



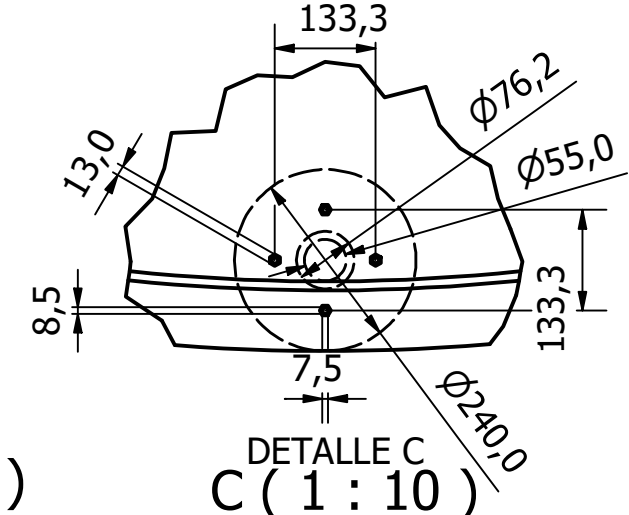
VISTA ISOMÉTRICA



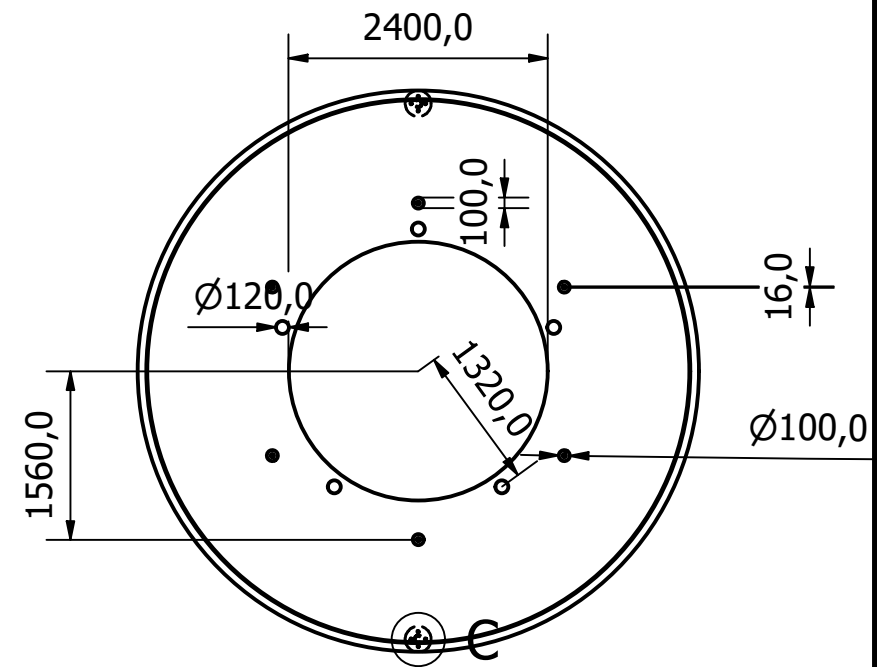
DETALLE A
A (1 : 20)



DETALLE B
B (1 : 15)

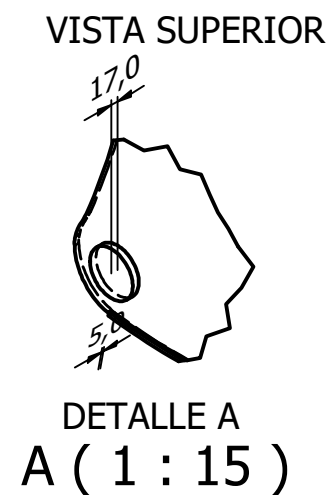
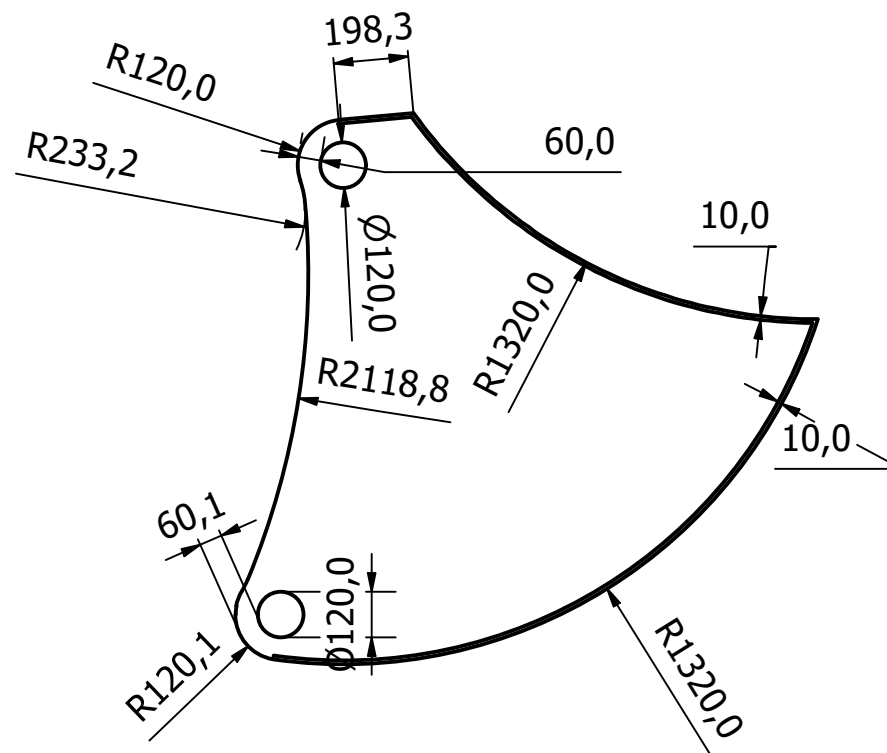
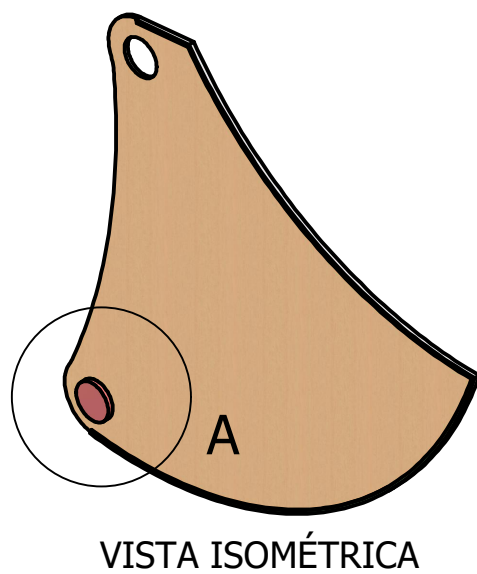
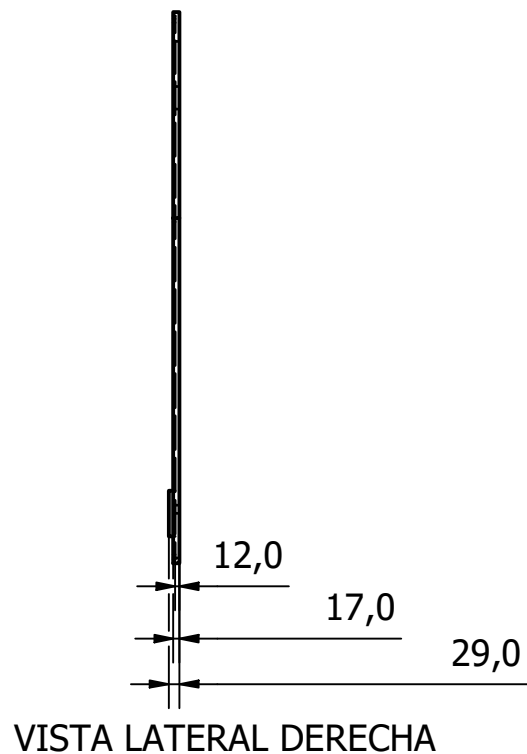


DETALLE C
C (1 : 10)

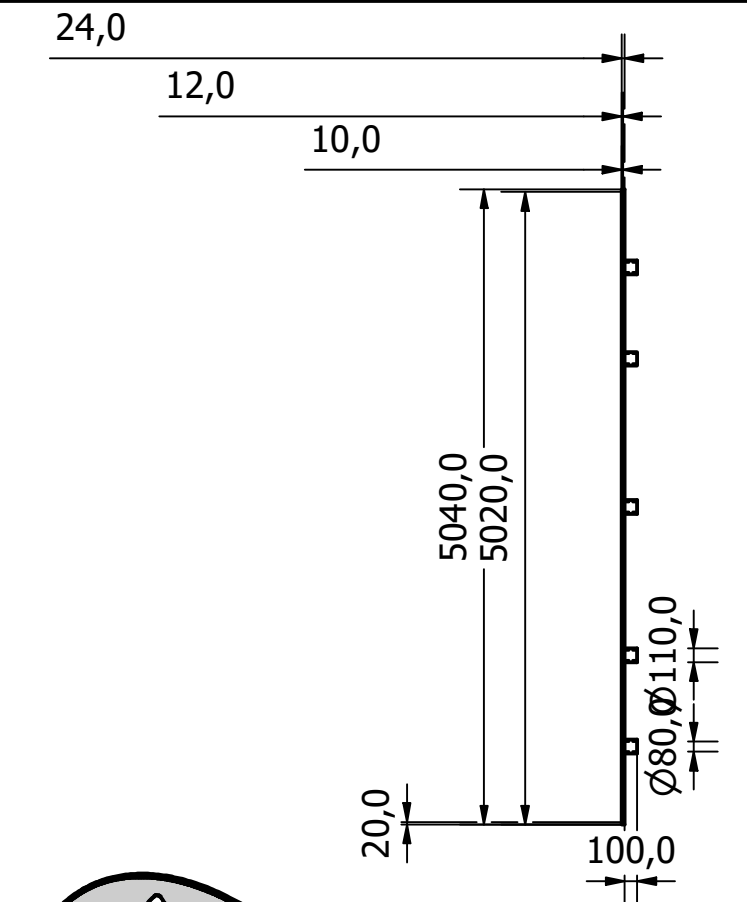


VISTA SUPERIOR

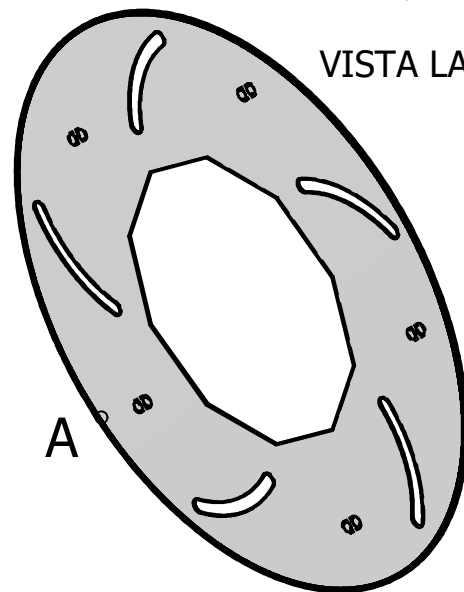
Diseño de Grupo Bowen-Solorzano	Aprobado por ESPOL	Escala 1 : 70	Fecha 21/01/2022		
GRUPO BOWEN-SOLORZANO 		BASE DE IRIS MECÁNICO			
		Material principal GFRP		Edición 01	Nº Hoja 28



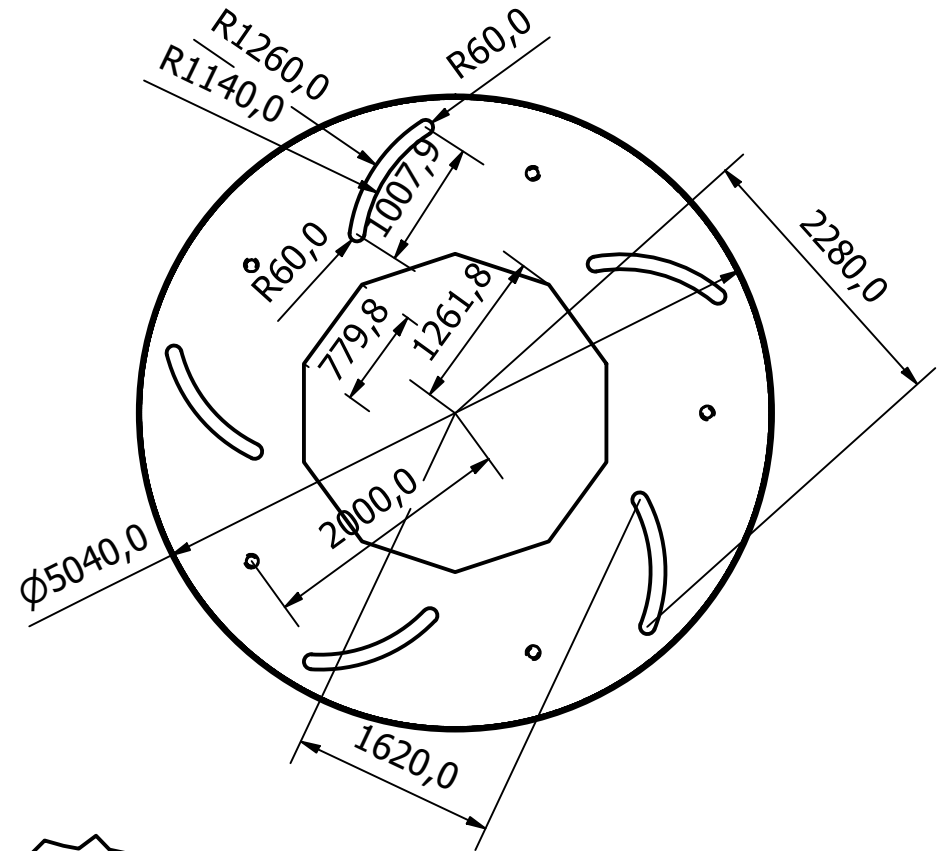
Diseño de Grupo Bowen-Solorzano	Aprobado por ESPOL	Escala 1 :20	Fecha 21/01/2022		
GRUPO BOWEN-SOLORZANO 		SECCIÓN IRIS MECÁNICO			
		Material principal GFRP		Edición 01	N° Hoja 29



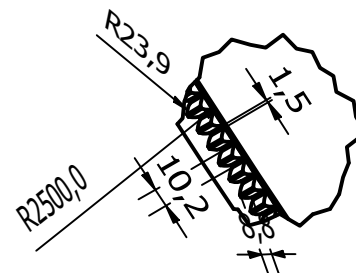
VISTA LATERAL DERECHA



VISTA ISOMÉTRICA

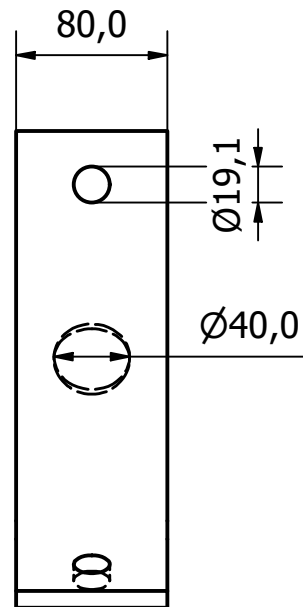


VISTA SUPERIOR

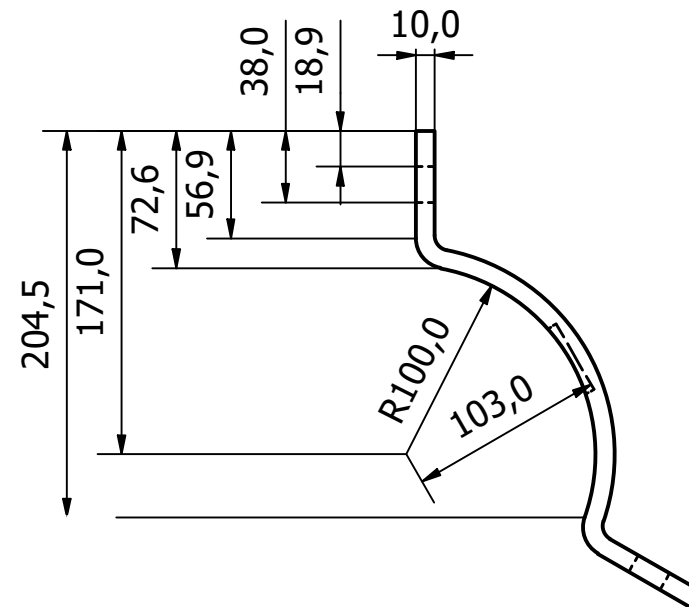


DETALLE A
A (1:4)

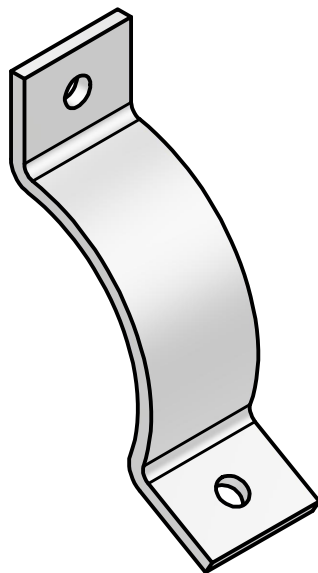
Diseño de Grupo Bowen-Solorzano	Aprobado por ESPOL	Escala 1 : 60	Fecha 21/01/2022		
GRUPO BOWEN-SOLORZANO 		CINTA DE APERTURA DEL IRIS MECÁNICO			
		Material principal GFRP		Edición 01	Nº Hoja 30



VISTA LATERAL DERECHA

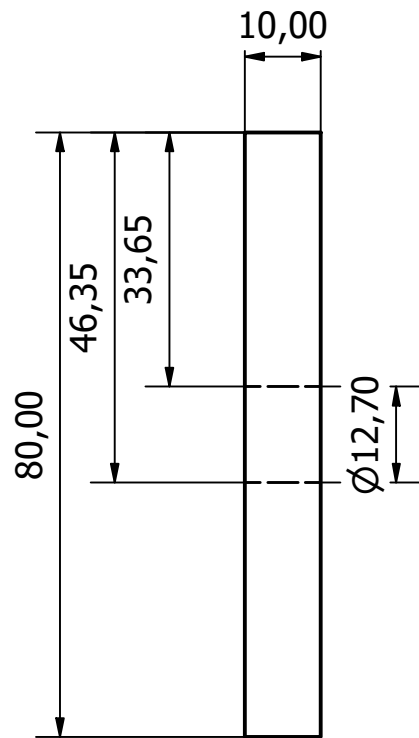


VISTA SUPERIOR

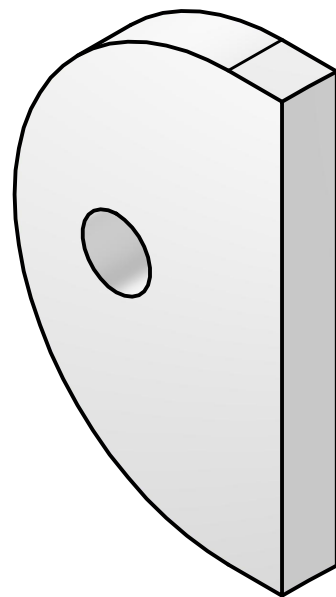


VISTA ISOMÉTRICA

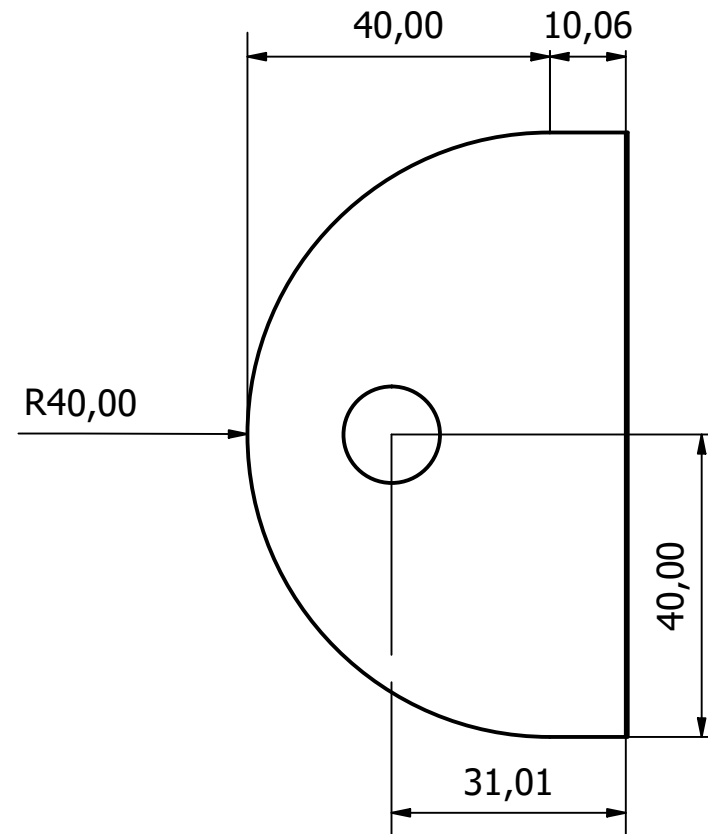
Diseño de Grupo Bowen-Solorzano	Aprobado por ESPOL	Escala 1 : 4	Fecha 21/01/2022		
GRUPO BOWEN-SOLORZANO		BRIDA			
		Material principal ACERO INOXIDABLE 304		Edición 01	N° Hoja 31



VISTA LATERAL DERECHA

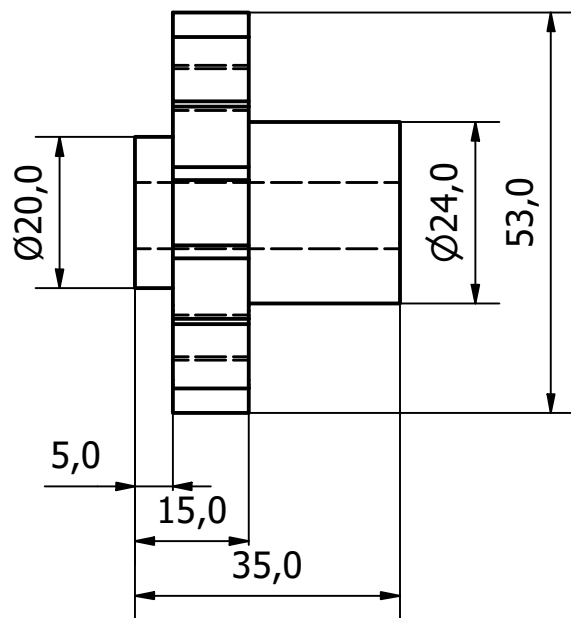


VISTA ISOMÉTRICA

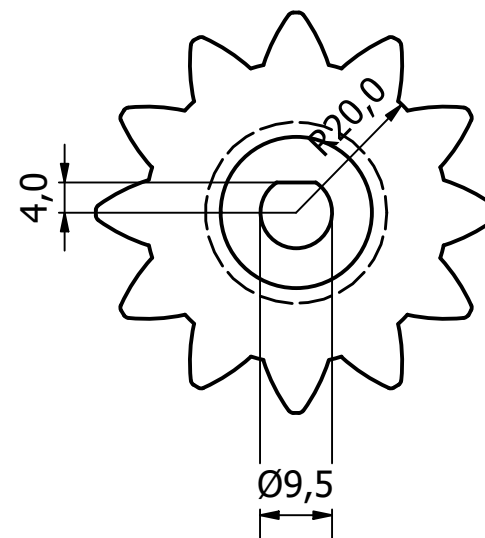


VISTA SUPERIOR

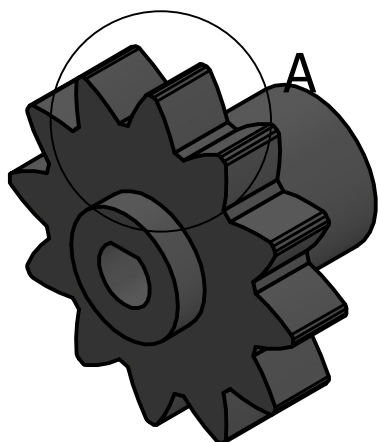
Diseño de Grupo Bowen-Solorzano	Aprobado por ESPOL	Escala 1 : 1	Fecha 21/01/2022		
GRUPO BOWEN-SOLORZANO		ALA DE BRIDA			
		Material principal ACERO INOXIDABLE 304		Edición 01	N° Hoja 32



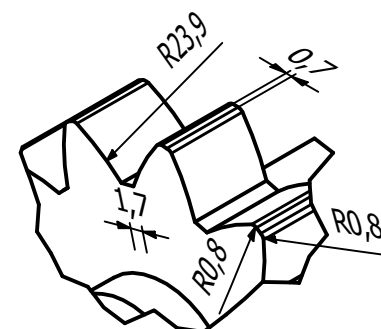
VISTA LATERAL DERECHA



VISTA SUPERIOR



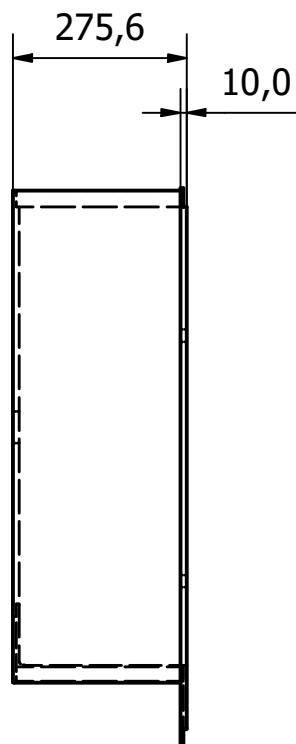
VISTA ISOMÉTRICA



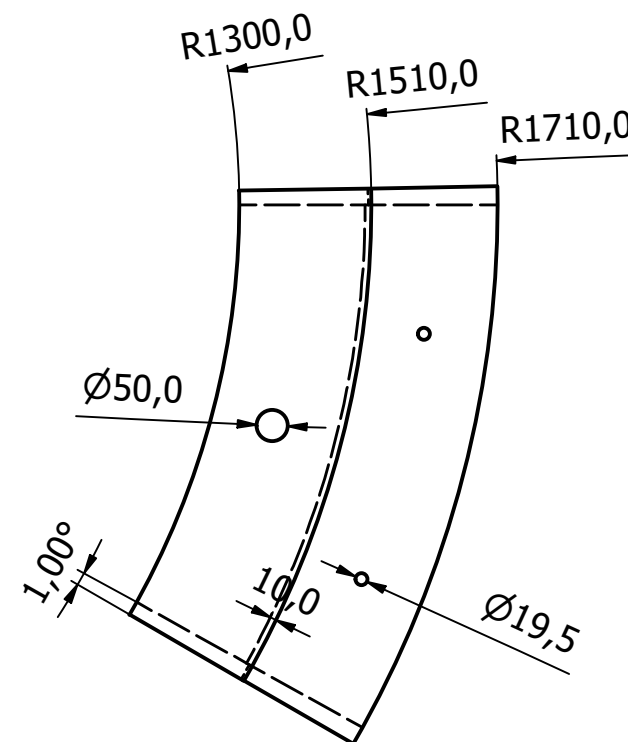
SECCIÓN A

A (1:0.75)

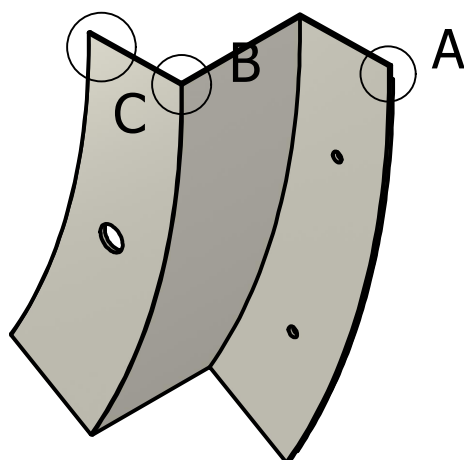
Diseño de Grupo Bowen-Solorzano	Aprobado por ESPOL	Escala 1 : 1	Fecha 21/01/2022		
GRUPO BOWEN-SOLORZANO		PIÑÓN DE MANDO			
		Material principal GFRP		Edición 01	Nº Hoja 33



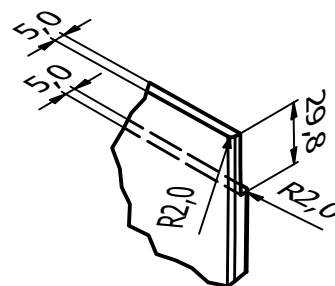
VISTA LATERAL DERECHA



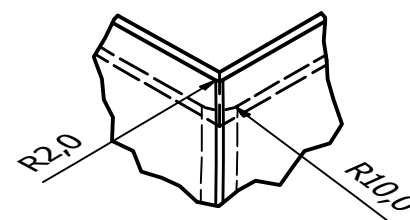
VISTA SUPERIOR



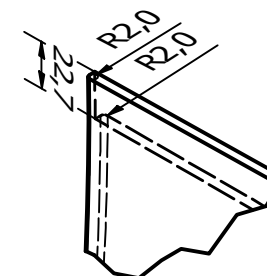
VISTA ISOMÉTRICA



SECCIÓN A
A (1 : 3)

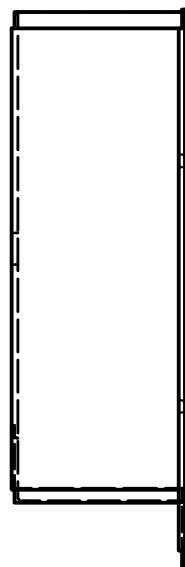


SECCIÓN B
B (1 : 3)

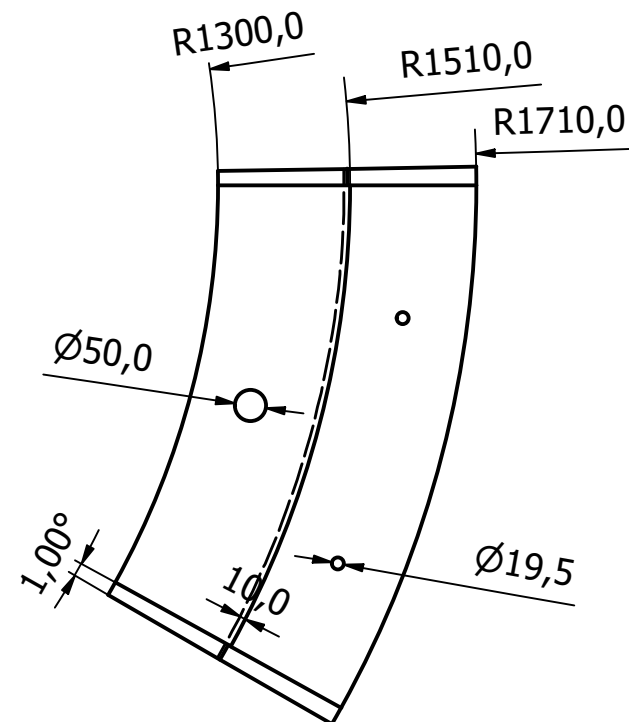


SECCIÓN C
C (1 : 3)

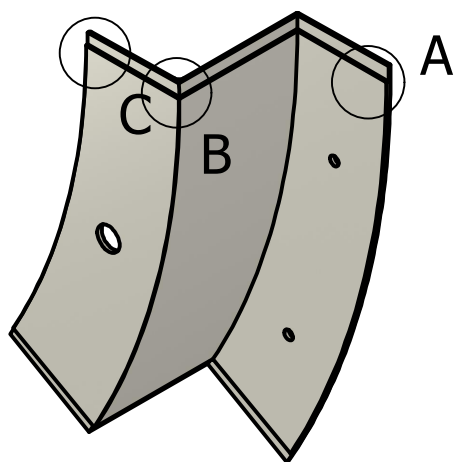
Diseño de Grupo Bowen-Solorzano	Aprobado por ESPOL	Escala 1 : 12	Fecha 21/01/2022		
GRUPO BOWEN-SOLORZANO 		CINTA INFERIOR - CON CALCE INFERIOR			
		Material principal ACERO A36		Edición 01	N° Hoja 34



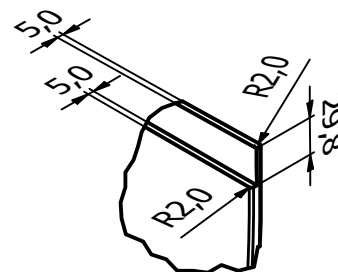
VISTA LATERAL DERECHA



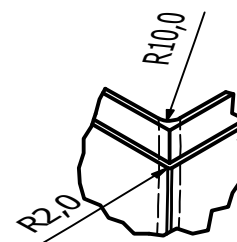
VISTA SUPERIOR



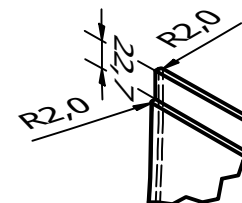
VISTA ISOMÉTRICA



SECCIÓN A
A (1 : 5)

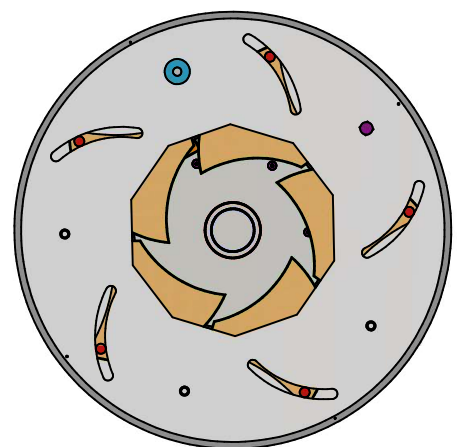
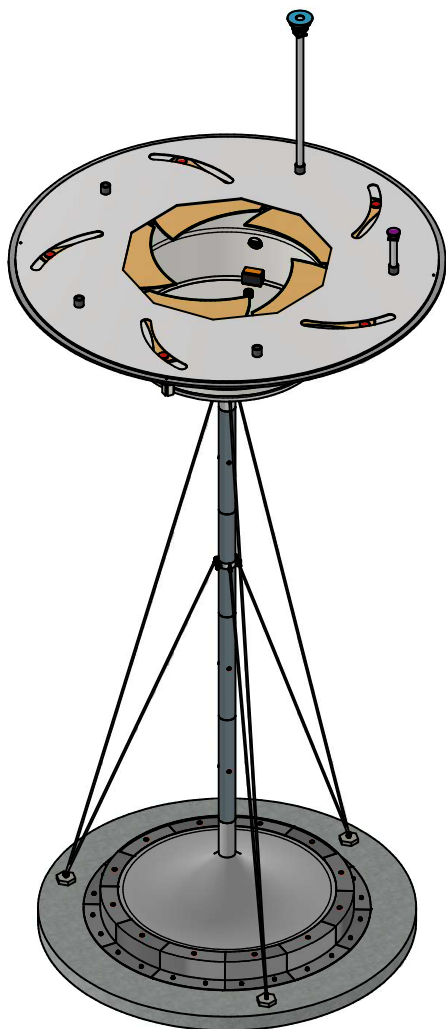
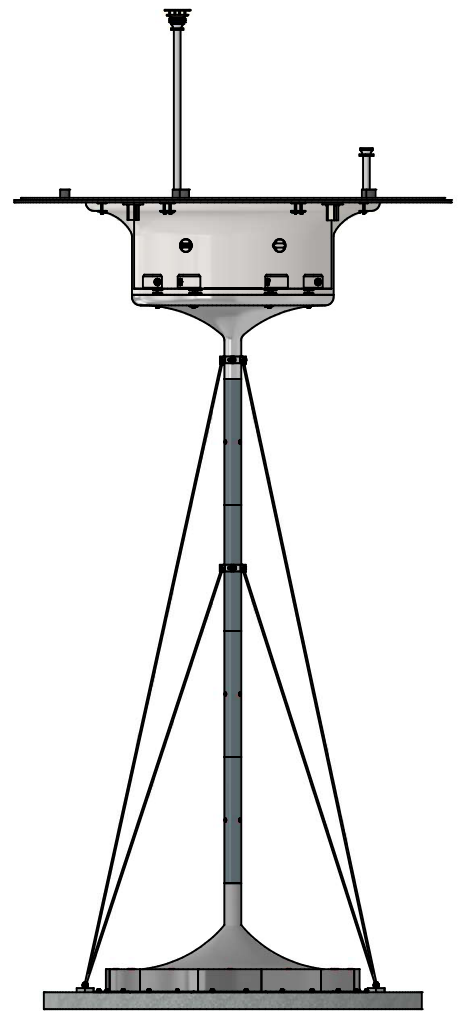
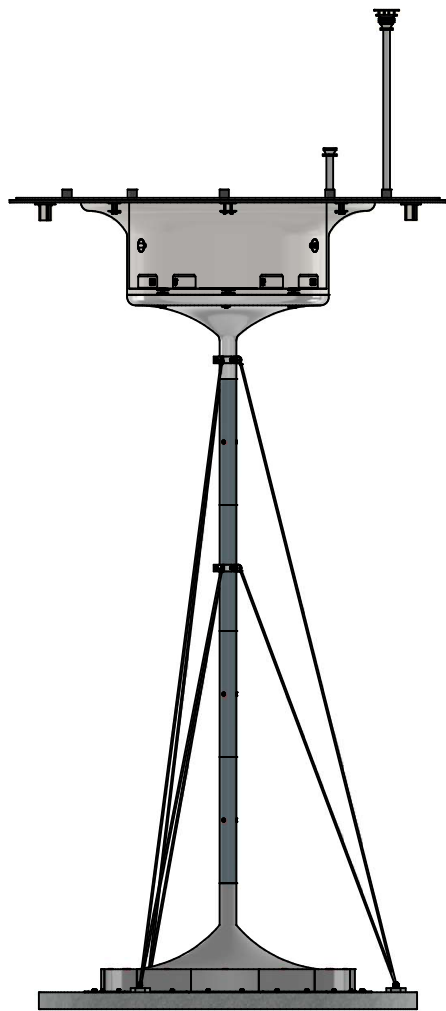


SECCIÓN B
B (1 : 5)

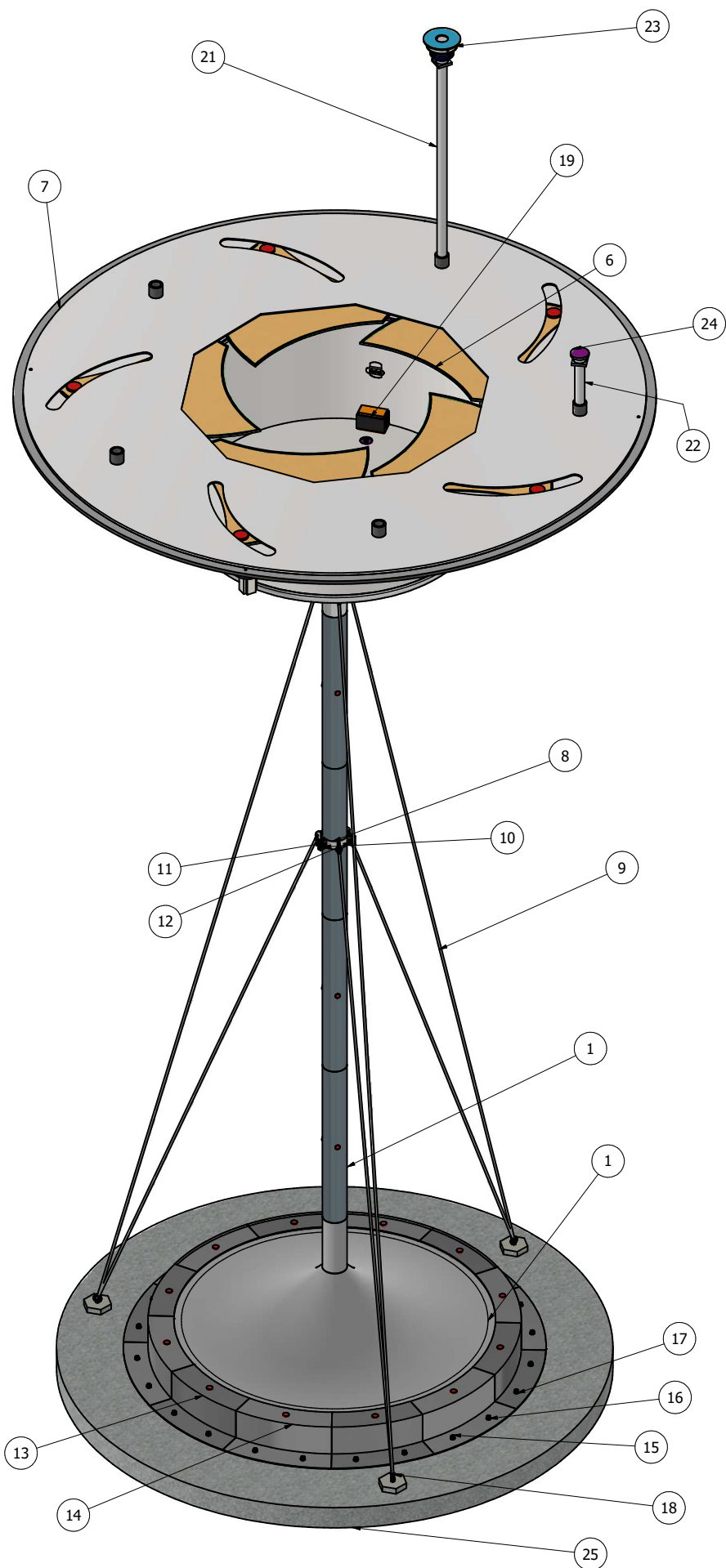


SECCIÓN C
C (1 : 5)

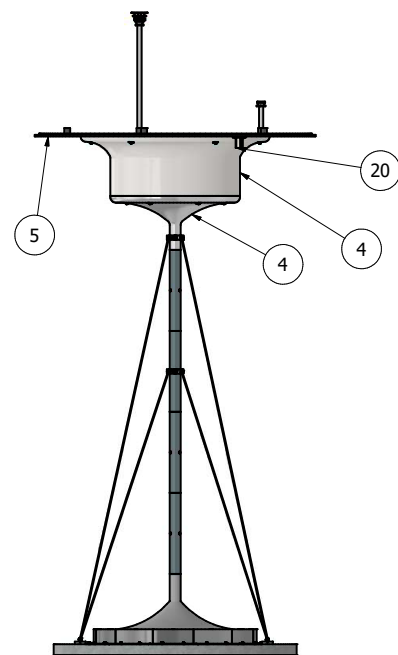
Diseño de	Aprobado por	Escala	Fecha		
Grupo Bowen-Solorzano	ESPOL	1 : 12	21/01/2022		
GRUPO BOWEN-SOLORZANO		CINTA INFERIOR - CON CALCE SUPERIOR			
		Material principal		Edición	N° Hoja
		ACERO A36		01	35



Diseño de Grupo Bowen-Solorzano	Aprobado por ESPOL	Escala 1 : 45	Fecha 21/01/2022	
GRUPO BOWEN-SOLORZANO 		ESTACIÓN PORTABLE		
Material principal GFRP-ACERO: INOXIDABLE 304 Y A36			Edición 01	Nº Hoja 36



ESCALA (1:25)



ESCALA (1:70)

LISTA DE PIEZAS

ELEMENTO	CTDAD	DESCRIPCIÓN
1	1	Base inferior
2	13	Eslabón de columna
3	1	Base superior
4	1	Habitáculo
5	1	Base de iris mecánico
6	5	Sección de iris mecánico
7	1	Cinta de apertura de iris mecánico
8	6	Brida a 120°
9	150 mt	Cables de acero galvanizado 3/8 - 7x1
10	6	Perno 3/4-16 UNF - 2.75
11	12	Arandela 3/4
12	6	Tuerca 3/4-16 UNF
13	6	Cinta inferior con calce inferior
14	6	Cinta inferior con calce superior
15	24	Esparrago 3/4-16 UNF - 8
16	24	Arandela 3/4
17	24	Tuerca 3/4-16 UNF
18	3	Bases de anclaje
19	4	Baterías
20	2	Motor Benomoc de 60 Watts
21	1	Mastil para sensor meteorológico
22	1	Mastil para sensor radiación
23	1	Sensor meteorológico METSENS 500
24	1	Sensor de radiación CS320
25	1	Base-Suelo

Diseño de Grupo Bowen-Solorzano	Aprobado por ESPOL	Escala 1 : 70	Fecha 21/01/2022	
GRUPO BOWEN-SOLORZANO		ESTACIÓN PORTABLE		
Material principal GFRP-ACERO: INOXIDABLE 304 Y A36		Edición 01	Nº Hoja 37	

Diseño de un dron que posea brazo para inyectar material para rehabilitar estructuras de hormigón con estación portable

PROBLEMA

En estructuras de hormigón armado se presentan fisuras debido a los esfuerzos por las cargas actuantes, la labor de reparación de estas fisuras en estructuras de gran altura y difícil acceso genera costos elevados, consumo de tiempo y riesgos de caída de trabajos en altura.

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y analizar la estabilidad de vuelo de un dron inyector de materiales similares a la mezcla de cemento con agua, así como una estación portable de altura variable mediante el uso de herramientas computacionales y criterios de diseño con la finalidad de obtener un equipo que pueda ser usado para reparar fisuras en estructuras de hormigón en lugares de difícil acceso y gran altura.



Fisura de hormigón

Trabajos en altura

PROPUESTA

Se propone un dron (VANT) con un sistema inyector de fluidos similares a la lechada de cemento, que mediante una bomba de desplazamiento positivo y un brazo inyector pueda colocar el material con mayor precisión sobre la fisura.

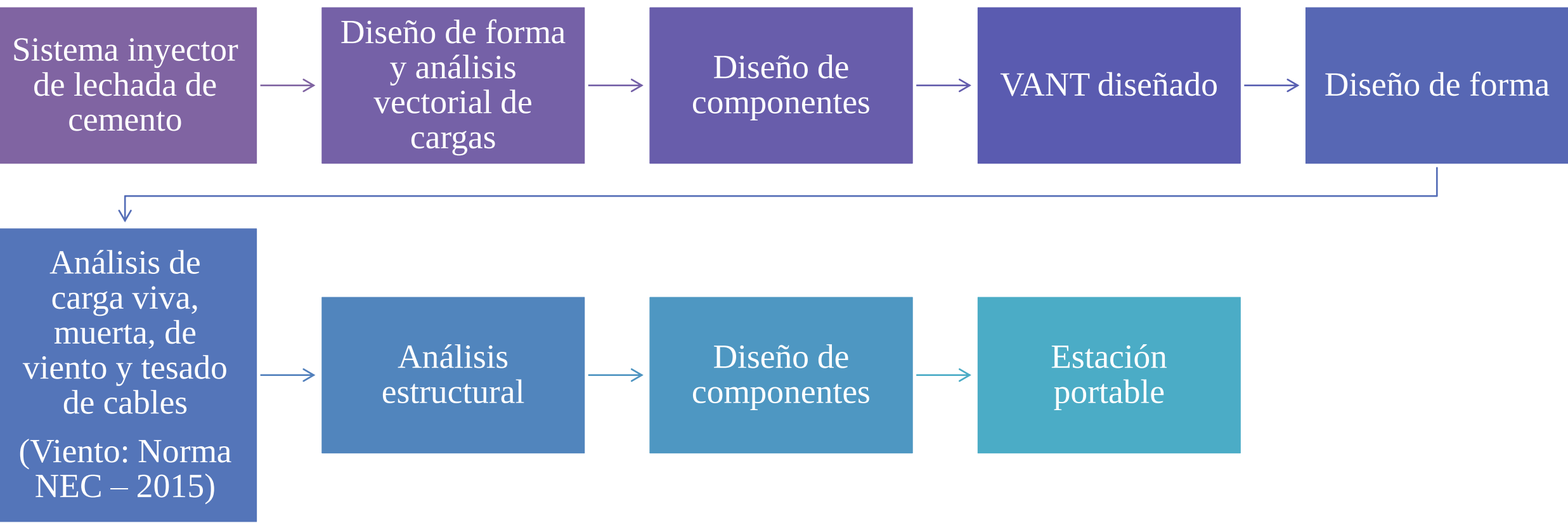


Estructura del VANT

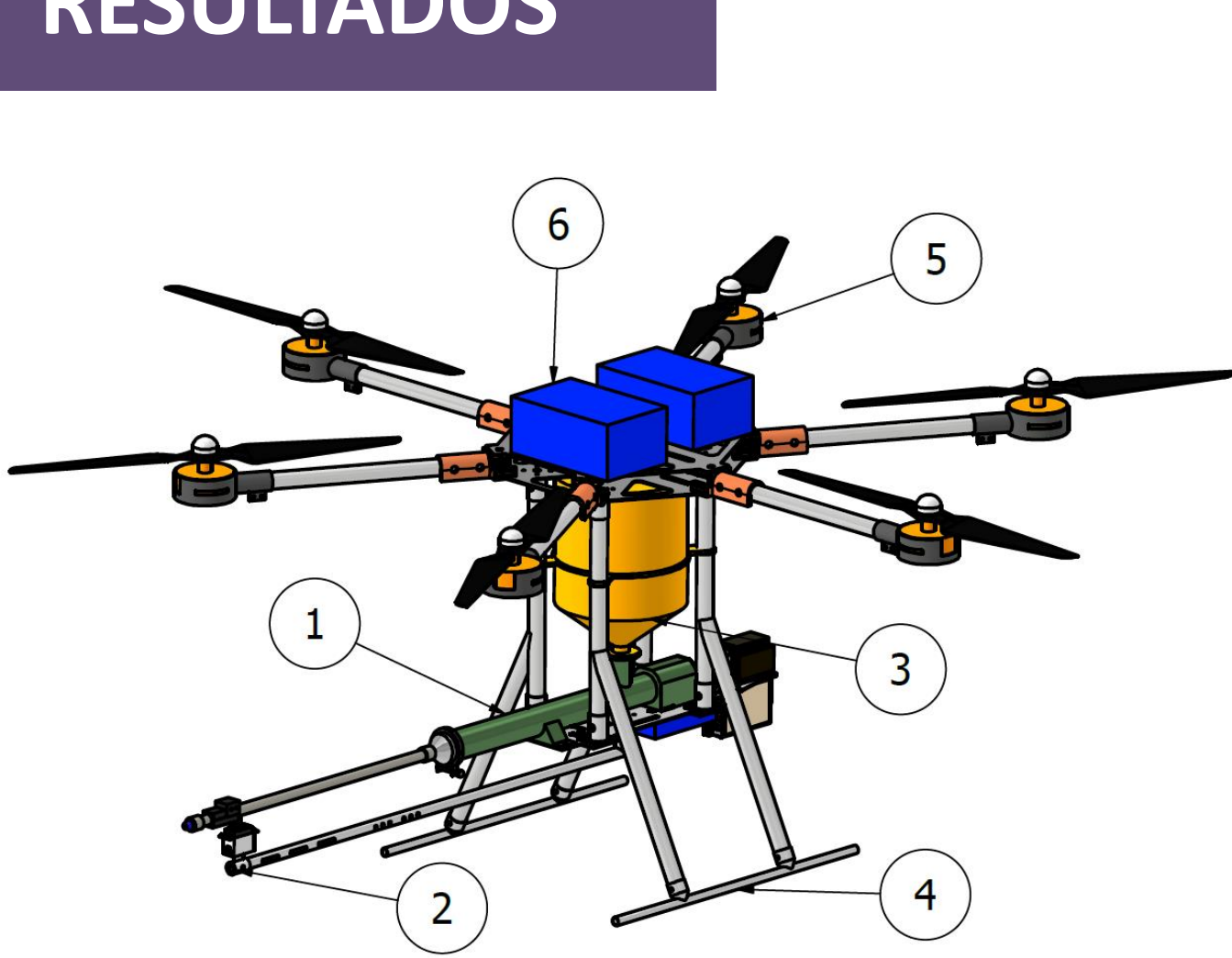
Por otra parte, en vista de que la fuente de energía de un dron son las baterías, se hace imprescindible optimizar el uso de estas; para aquello se propone una estación portable de altura variable que recargue las baterías del VANT, monitoree si las condiciones ambientales son adecuadas para optimizar su rendimiento y que el dron evite descender a la superficie debido a pausas de operación. Los componentes principales se diseñaron con el material GFRP (Polímero reforzado con fibra de vidrio) basándonos en la patente de una viga de perfil polimérico del Dr. Albiol.



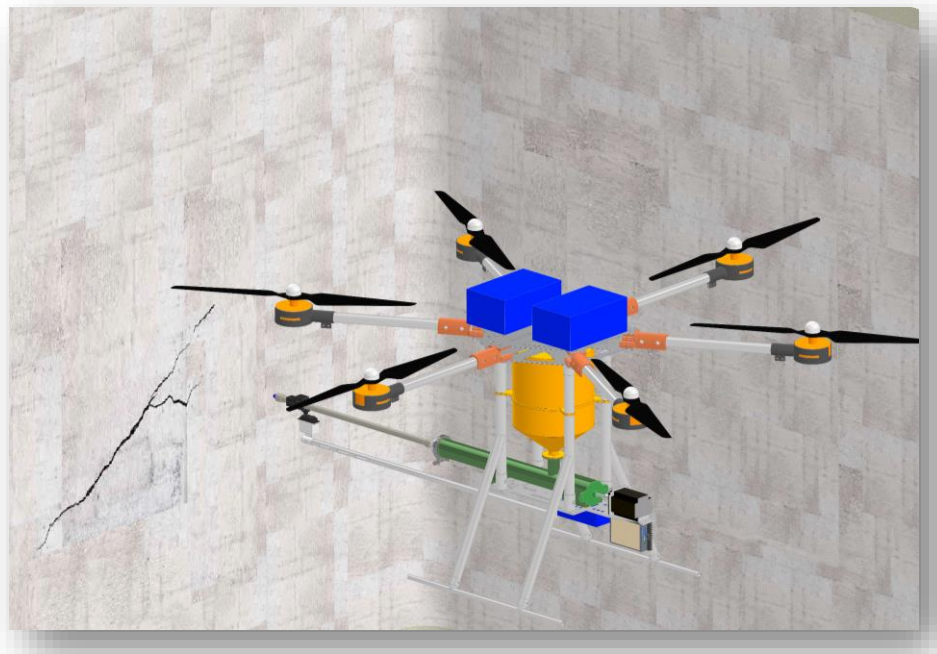
Eslabón de columna



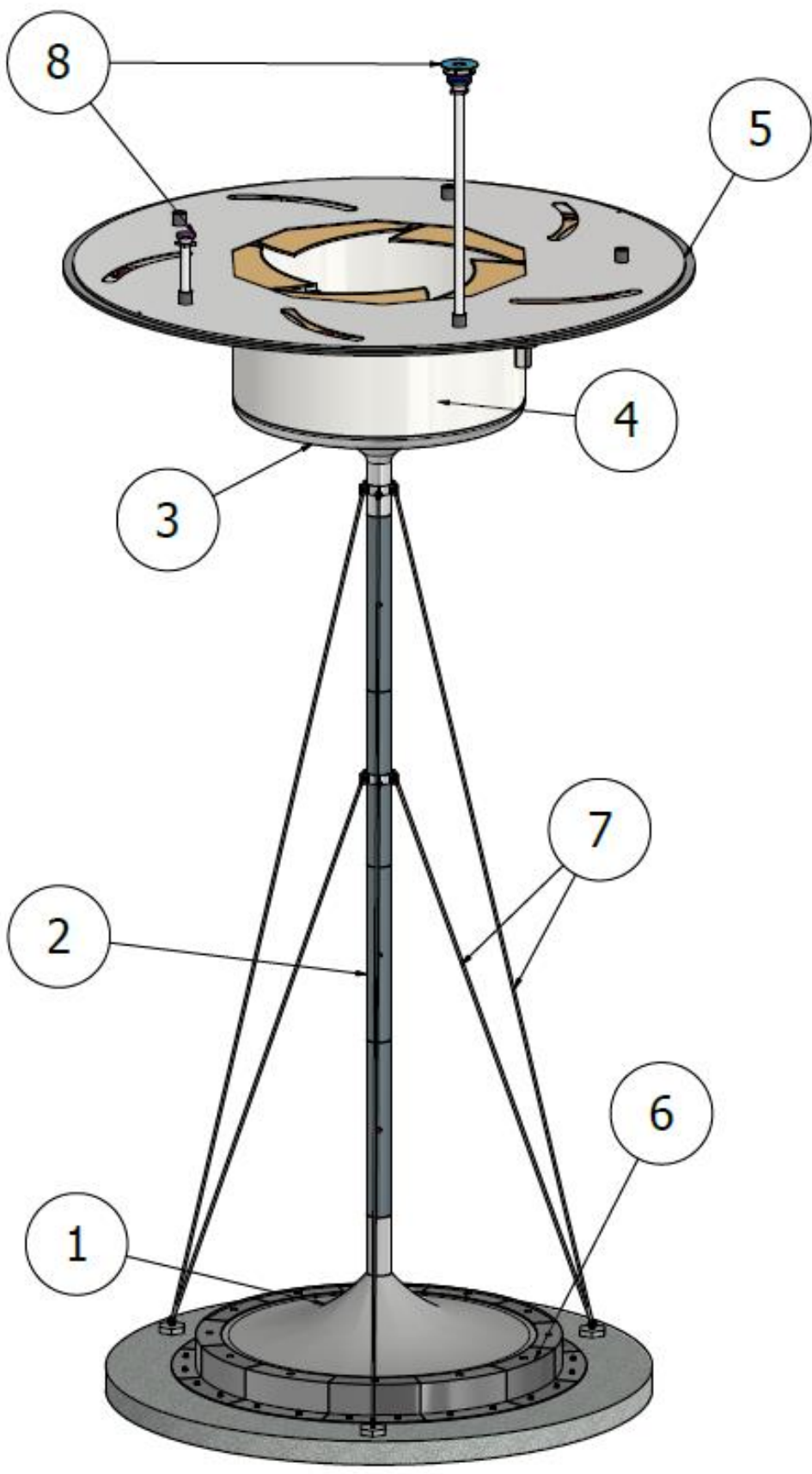
RESULTADOS



VANT



Operación del VANT



Estación portable

VANT 1.9 x 0.75 [m] - Autonomía de vuelo de 25 min - Repara aproximadamente 5 m2 de fisura	1	Sistema inyector
	2	Brazo inyector
	3	Reservorio de material a inyectar
	4	Tren de aterrizaje
	5	Rotores
	6	Baterías
ESTACIÓN PORTABLE - De altura variable hasta 22.94 [m] - Posee sistema de recarga del dron - Monitoreo de condiciones ambientales	1	Base inferior
	2	Columna
	3	Base superior
	4	Habitáculo
	5	Compuerta de acceso
	6	Brida de anclaje
	7	Cables
	8	Sensores ambientales

CONCLUSIONES

- La capacidad de las baterías y el peso total del equipo son factores importantes, es por esto que, la eficiencia del VANT aumenta cuando el peso disminuye.
 - La estación portable es de altura variable y su ensamblaje se base en la unión de piezas mediante calces
- El costo total del proyecto es de \$20252, siendo \$13736 para la estación y \$6516 para el VANT.
 - El diseño del equipo VANT – Estación portable aumenta la producción y disminuye los riesgos laborales en la reparación de hormigón en estructuras de gran altura; requiere menor cantidad de personal, reduce costos y genera menor impacto ambiental.