



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO DE UN SISTEMA PARA MEDICIONES GEODÉSICAS PUNTUALES EN
ZONAS INACCESIBLES DE LOS RAJOS

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO

FERNANDO IGNACIO ZAMBRANO VARGAS

PROFESOR GUIA:

ROBERTO CORVALÁN PAIVA

MIEMBROS DE LA COMISION:

JAVIER RUIZ DEL SOLAR SAN MARTÍN

DANIEL CARRIZO SANTIAGO

SANTIAGO DE CHILE

2017

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA
OPTAR AL TÍTULO DE:** Ingeniero Civil
Mecánico
POR: Fernando Ignacio Zambrano Vargas
FECHA: 28/08/2017
PROFESOR GUÍA: Roberto Corvalán Paiva

DISEÑO DE UN SISTEMA PARA MEDICIONES GEODÉSICAS PUNTUALES EN ZONAS INACCESIBLES DE LOS RAJOS

El presente trabajo de titulación plantea un sistema alternativo para realizar mediciones geodésicas puntuales en zonas inaccesibles de los rajos de minería utilizando un UAV para instalar marcadores de posición en las crestas de los taludes para luego controlar su posición y desplazamientos utilizando un conjunto de estaciones totales.

La principal motivación de este trabajo proviene del hecho que el desprendimiento de rocas es la principal causa de muerte en la minería en Chile, y que cuando aparecen zonas de peligro de derrumbe en zonas inaccesibles de los rajos no siempre se cuenta con instrumentación para monitorear el posible desprendimiento, por lo que se hace necesario generar nuevas alternativas de monitoreo.

Para cumplir con este objetivo se realiza, en primer lugar, un estudio del estado de la técnica y de las tecnologías disponibles en la actualidad. A continuación se procede a determinar los parámetros de diseño del sistema. Luego se continúa seleccionando los componentes comerciales esenciales para el monitoreo.

Una vez seleccionados los componentes para el monitoreo se procede a diseñar marcadores de posición capaces de ser instalados remotamente y que puedan ser detectados desde todas las direcciones. Luego se sigue con el diseño de un sistema de anclaje para la fijación de los marcadores. Finalmente se diseña un sistema acoplable a un UAV capaz de transportar y descargar los marcadores de posición, y se selecciona un UAV comercial.

A continuación se realizan pruebas de concepto para el sistema de fijación diseñado para los marcadores de posición.

El trabajo se concluye con la elaboración de una maqueta digital del sistema diseñado, así como con los planos para la fabricación del mismo.

El sistema planteado permite realizar mediciones geodésicas puntuales en crestas inaccesibles de los taludes de minería, siendo teóricamente capaz de detectar los desplazamientos del orden de un milímetro que preceden al desprendimiento de rocas.

Para mis padres.

Agradecimientos

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a todas aquellas personas que me han permitido llegar a este punto de mis estudios y realizar este trabajo.

Agradezco a mis padres, quienes me han educado, guiado y apoyado desde mi nacimiento.

Agradezco a mi esposa e hijos, quienes me han apoyado incondicionalmente en los momentos más difíciles de mi vida y me alegran el día a día.

Agradezco al profesor Roberto Corvalán Paiva, quien ha sido mi profesor guía en la universidad desde mucho antes de iniciar este trabajo de titulación y me ha educado más allá de su responsabilidad académica.

Agradezco al profesor Javier Ruiz del Solar, y a todas las personas del Centro Avanzado de Tecnologías para la Minería con quienes he compartido y me han apoyado para completar mis estudios universitarios.

Agradezco a todos los académicos y funcionarios de la facultad de ciencias físicas y matemáticas, y en particular a aquellos que pertenecen al departamento de ingeniería mecánica, por acompañarnos y guiarnos a lo largo de nuestro camino en la universidad.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	MOTIVACIÓN	1
1.2	OBJETIVO PRINCIPAL	2
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.4	ALCANCES	2
2	METODOLOGÍA GENERAL	3
3	ANTECEDENTES Y DISCUSIÓN BIBLIOGRÁFICA.	4
3.1	TALUDES, BANCOS Y PROCESOS DE COLAPSO.	4
3.1.1	Morfología de los taludes, bancos y procesos de colapso.	4
3.1.2	Procesos de colapso de Taludes	4
3.2	MONITOREO MEDIANTE ESTACIONES TOTALES	5
3.2.1	Estaciones totales	6
3.2.2	Método de medición de ángulos.	6
3.2.3	Medición de distancia.	7
3.2.4	Mediciones geodésicas puntuales con estaciones totales	8
3.3	BLANCOS REFLECTANTES PARA ESTACIONES TOTALES	11
3.3.1	Prismas reflectantes	12
3.3.2	Arreglos especiales de prismas reflectantes.	13
3.3.3	Otros blancos reflectantes para estaciones totales	16
3.4	RADARES DE ESTABILIDAD DE TALUDES (SSR).	19
3.4.1	Tipos de SSR	19
3.4.2	SSR en Chile	21
3.5	ADHESIVOS PARA ROCA	21
3.5.1	Adhesivos de resina epoxi	21
3.5.2	Adhesivos de mortero	21
3.6	PLATAFORMAS AÉREAS UAV	22
3.6.1	Capacidades de las plataformas aéreas UAV comerciales	23
3.6.2	Nuevas aplicaciones de los UAV en el estado de la técnica	23
4	DISEÑO DEL SISTEMA	25
4.1	PARÁMETROS DE DISEÑO	25
4.2	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA Y SUS COMPONENTES	25
4.3	DEFINICIÓN DE SISTEMAS Y COMPONENTES	27

4.3.1	Identificación de sistemas y componentes	27
4.3.2	Definición de la estación total	28
4.3.3	Selección de reflectantes.....	28
4.3.4	Diseño del cuerpo de reflectantes	29
4.3.5	Diseño de las bases de anclaje.....	34
4.3.6	Carga de diseño	38
4.3.7	Diseño del armazón.....	39
4.3.8	Marcadores de posición	44
4.3.9	Diseño del mecanismo de desacople	44
4.3.10	Componentes de sistema de visión auxiliar.....	46
4.3.11	Cálculo de masa a transportar por el UAV.....	49
4.3.12	Selección del UAV	50
4.3.13	Diseño de placa adaptadora para UAV	51
4.3.14	Maqueta digital 3D	52
5	DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	53
6	BIBLIOGRAFÍA	54

1 INTRODUCCIÓN

Los taludes son paredes o superficies con algún grado de inclinación en comparación al plano horizontal, y son estructuras esenciales en muchas actividades productivas como la construcción de represas y carreteras, y en explotación minera.

Estas estructuras se mantienen estables gracias al equilibrio de las fuerzas que operan sobre ellas, sin embargo, bajo ciertas circunstancias la magnitud de las fuerzas involucradas varía, pudiendo llegar a romper este equilibrio generando zonas de falla en los taludes. Estas fallas pueden causar desprendimientos de material, por lo que son un riesgo para las personas que trabajan en la mina, ya que el desprendimiento de rocas es la principal causa de muerte en la minería chilena [2], por lo que es esencial el mantener monitoreados dichas fallas para alertar en caso de colapso o desprendimiento de material.

Las fallas pueden ocurrir en toda la superficie de los taludes, y alrededor del 70% de dichas superficies es inaccesible para las personas. Actualmente, la aparición de estas situaciones complejas en zonas inaccesibles de los rajos se monitorea utilizando costosos radares de estabilidad de taludes, sin embargo, estos radares son escasos y cuando aparecen varias singularidades al mismo tiempo no siempre se pueden monitorear todas a la vez con un solo radar.

Considerando lo anterior, sería de gran utilidad poder instalar marcadores de posición en estas situaciones geológicas complejas para así poder monitorearlas utilizando equipo más convencional y de menor precio como las estaciones totales.

1.1 Motivación

La motivación principal del trabajo de titulación es diseñar un sistema alternativo para realizar mediciones geodésicas puntuales en zonas inaccesibles de los rajos de minería, ya que cuando aparecen fallas o signos de inicio de algún proceso de colapso en dichas zonas, la alternativa actual es realizar un monitoreo de la zona utilizando radares de estabilidad de taludes, sin embargo por su elevado costo en Chile existe una flota de unos quince de estos radares¹ y solamente en la II región de Antofagasta y la III tercera región de Atacama existen más de 190 minas a rajo abierto [18] por lo que muchas veces estas zonas con indicios de peligro de derrumbe quedan sin monitorear.

Si a lo anterior se suma el hecho que los desprendimientos de roca son la principal causa de muerte en la minería de Chile [2], se hace evidente que es necesario tener nuevas alternativas para monitorear estas zonas de riesgo.

¹ MINERIA CHILENA Negocios e Industria [en línea] <<http://www.mch.cl/2009/04/24/groundprobe-concreta-la-venta-de-un-ssr-x-a-kinross-la-coipa/>> [consulta: 20 de junio de 2017]

1.2 Objetivo principal

El objetivo principal de es diseñar el prototipo de un sistema para realizar mediciones geodésicas puntuales en zonas inaccesibles de los rajes de minería.

1.3 Objetivos específicos

Para cumplir el objetivo general se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Realizar un estudio del estado de la técnica y de las tecnologías disponibles en la actualidad.
- Seleccionar componentes comerciales del sistema con sus especificaciones técnicas.
- Diseñar marcadores de posición capaces de ser instalados remotamente y que puedan ser detectados desde todas las direcciones.
- Diseñar un aparato acoplable a un UAV capaz de realizar el transporte y la descarga de los marcadores de posición.
- Realizar una maqueta digital del sistema de transporte de los marcadores de posición.
- Elaborar planos de fabricación para los componentes diseñados.

1.4 Alcances

El trabajo de título contempla los siguientes alcances:

- El diseño de marcadores de posición capaces de ser instalados remotamente y que puedan ser detectados desde todas las direcciones.
- El diseño de un aparato acoplable a un UAV capaz de realizar el transporte y la descarga de los marcadores de posición.
- La selección con especificaciones técnicas de los componentes comerciales del sistema.
- La realización de una maqueta digital 3D del sistema.
- La elaboración de los planos de construcción para los componentes del prototipo diseñado.

2 METODOLOGÍA GENERAL

Para cumplir con los objetivos de este trabajo se plantea el uso de la siguiente metodología, la cual se encuentra graficada en la figura 2.1:

En una primera etapa se realiza un estudio del estado de la técnica y de las tecnologías disponibles en la actualidad, realizando una recopilación de antecedentes y discusión bibliográfica.

Luego en una segunda etapa, se diseña un sistema para realizar mediciones geodésicas puntuales en zonas inaccesibles de los rajos de minería utilizando un UAV para instalar marcadores de posición en las crestas de los taludes.

Para ello se definen los parámetros de diseño del sistema, luego se realiza una selección de instrumentos de medición comerciales. A continuación se realiza el diseño de los marcadores de posición y el sistema de transporte, evaluando cada diseño según corresponda en base a criterios de resistencia estructural, geométricos, u otros. Finalmente se selecciona un aparato de transporte y se realiza un coteo general del sistema.

El trabajo concluye con la confección de los entregables del trabajo.

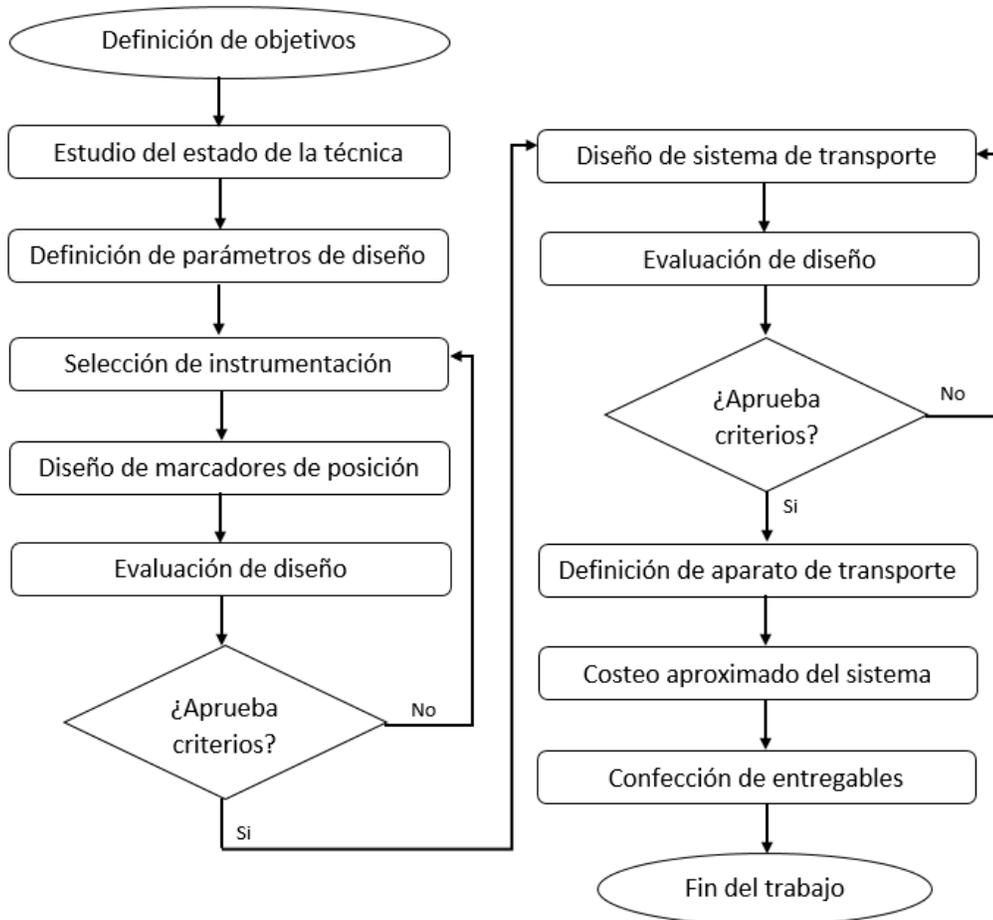


Figura 2.1: Metodología de trabajo

3 ANTECEDENTES Y DISCUSIÓN BIBLIOGRÁFICA.

3.1 Taludes, bancos y procesos de colapso.

Los taludes son relieves abruptos que presentan escalones morfológicos con caras de alta pendiente, los cuales pueden ser de origen natural, como en escapes de falla y escapes de erosión, o bien antropogénicos, como es el caso de taludes de minas de rajo abierto y de taludes de construcción en obras civiles.

3.1.1 Morfología de los taludes, bancos y procesos de colapso.

Los taludes de origen antropogénico son estructuras esenciales en muchas actividades productivas como la construcción de represas, carreteras, y en explotación minera. En estos casos, los taludes forman laderas compuestas por unidades escalonadas llamadas bancos y sus principales elementos se pueden observar en la Figura 3.1.

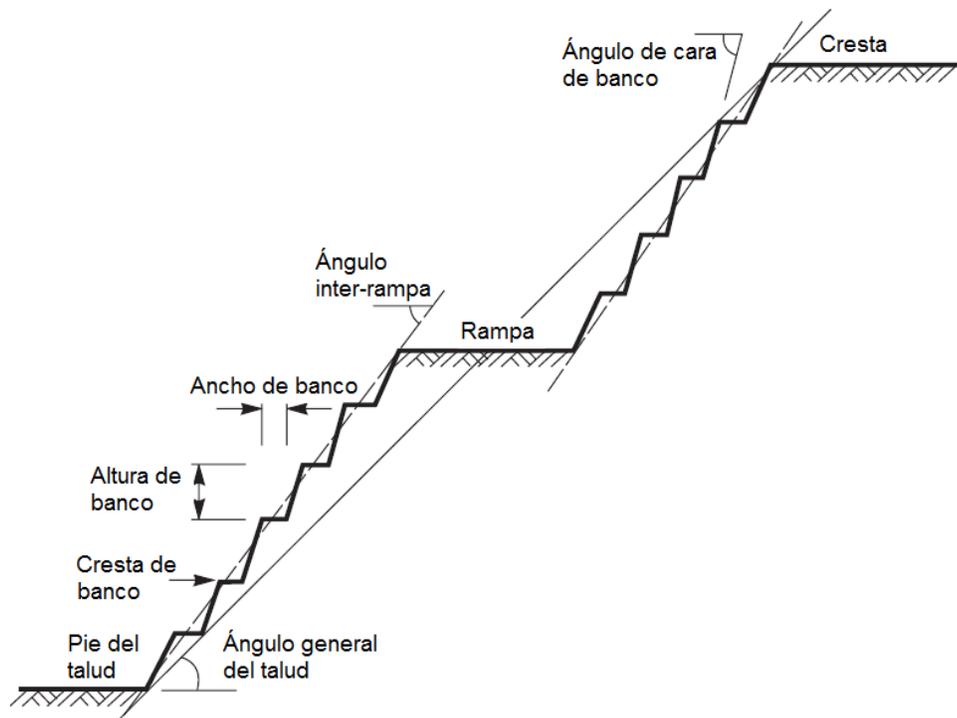


Figura 3.1: Partes de un talud. (Modificado desde [1]. p.7)

3.1.2 Procesos de colapso de Taludes

Este sistema constructivo tiene como objetivo proveer de estabilidad a las laderas, reduciendo y controlando el riesgo de colapso, sin embargo, bajo ciertas circunstancias como precipitaciones, obras civiles, desplazamientos de tierra y terremotos, puede llegar a romperse el equilibrio de fuerzas, generando zonas de falla en los taludes.[1]

Las formas de falla más comunes en los taludes son la falla de plano, la de cuña, la de *topling* y la circular. Representaciones esquemáticas de estas

cuatro formas de falla se pueden observar en la Figura 3.23.2. Este tipo de situaciones envuelven diferentes escalas, pueden involucrar varios bancos del talud, o bien solo uno.

Como los procesos de colapso mencionados pueden causar desprendimientos de material al interior de las minas, son un riesgo tanto para la producción como a las personas que trabajan en la mina, ya que el desprendimiento de rocas es la principal causa de muerte en la minería chilena [2], por lo que es esencial el mantener monitoreados los indicios que se presentan las fallas en taludes antes de llegar a los desprendimientos.

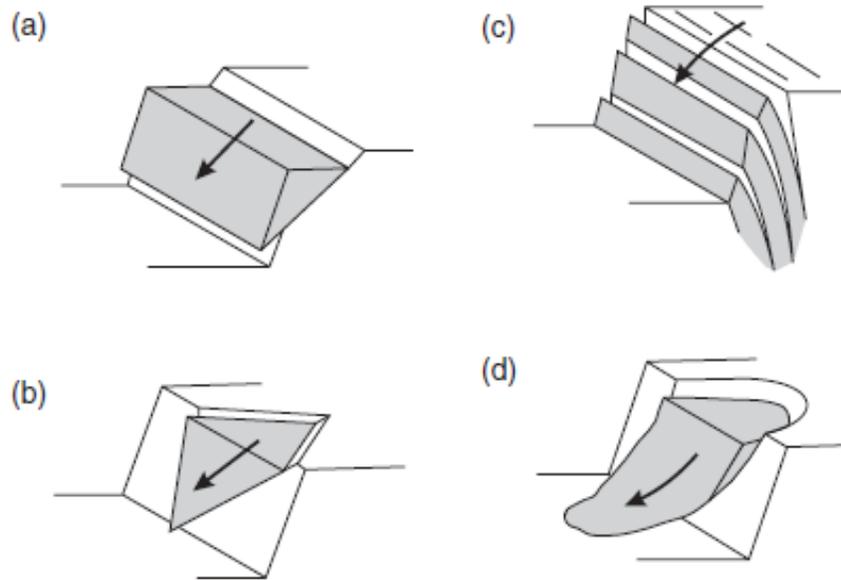


Figura 3.2: Fallas comunes en taludes: (a) Falla por plano. (b) Falla por cuña. (c) Falla por *toppling*. (d) Falla circular. (Modificado desde [1] p.36)

En general, los procesos de colapso son acompañados por indicadores de deformación en los taludes y bancos, sin embargo alrededor del 70% de dichas superficies son inaccesibles, por lo que su monitoreo se realizan de manera indirecta. Por otro lado, debido a las limitaciones tecnológicas actuales, los instrumentos de medición utilizados para monitoreo remoto presentan un alto costo y una baja disponibilidad, como por ejemplo los radares SSR, por lo que muchas veces se debe realizar una priorización de las zonas a monitorear, dejando zonas de riesgo sin controlar.

3.2 Monitoreo mediante estaciones totales

El método tradicional para monitoreo de taludes y paredes rocosas consiste en utilizar estaciones totales para registrar los cambios de posición de un marcador instalado en el objetivo. Para dar una mejor comprensión de cómo se realiza este proceso se presentan a continuación algunos detalles de los principios de funcionamiento de las estaciones totales.

3.2.1 Estaciones totales

Se denomina Estaciones Total a un aparato electro-óptico que incorpora un distanciómetro y un microprocesador sobre un teodolito electrónico. La estación total puede incorporar además otros instrumentos que no poseen los teodolitos como plomadas laser, pantallas alfanuméricas de cristal líquido, calculadora, seguidor de trayectoria y medios de almacenamiento electrónico de información, entre otros [3].

3.2.2 Método de medición de ángulos

Para la medición de ángulos se utiliza un teodolito [4] el cual es un instrumento de precisión para medir ángulos en los planos vertical y horizontal. Un dibujo esquemático de sus partes y componentes de medición se puede observar en la Figura 3.3.

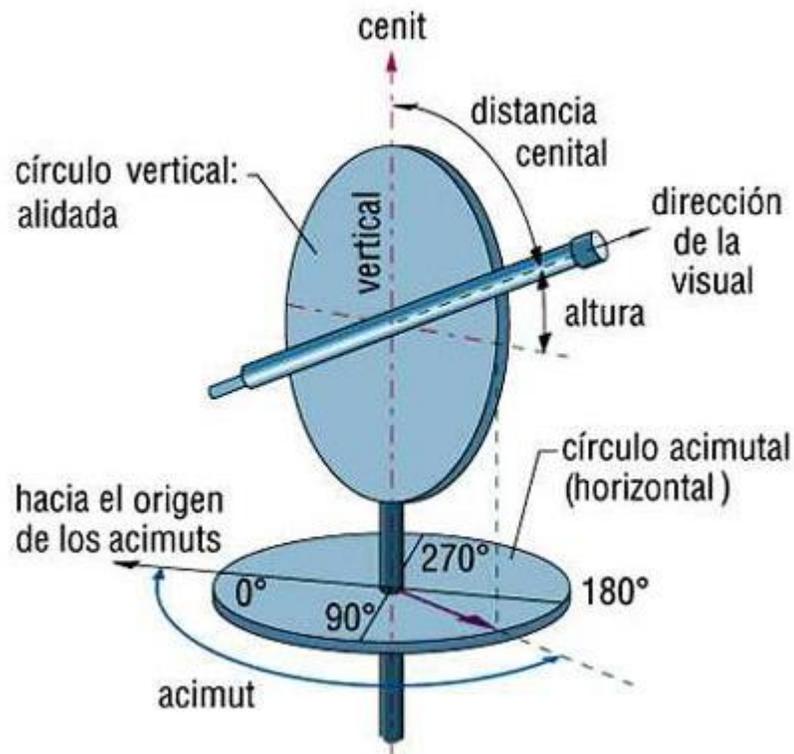


Figura 3.3: Partes y componentes de medición de un teodolito²

La estación total utiliza un teodolito óptico o *encoder*, en el cual se emplea una luz LED para emitir una señal luminosa a través de un disco con ranuras llamado Encoder, la variación de luz y sombra se transforma en una señal sinusoidal que puede ser interpretada para determinar el giro realizado por el *encoder*. Los componentes de este sistema se puede observar en la Figura 3.4.

² CONDE, M. Baterías de costa de la bahía de Palma, Ilustración modificada desde Enciclopedia Salvat, diccionario, Tomo 5, Salvat Editores 1983 [en línea] <<http://perso.wanadoo.es/marcoconde/C%20PASTILLA/Goniometro.htm>> [consulta: 1 de julio de 2017]

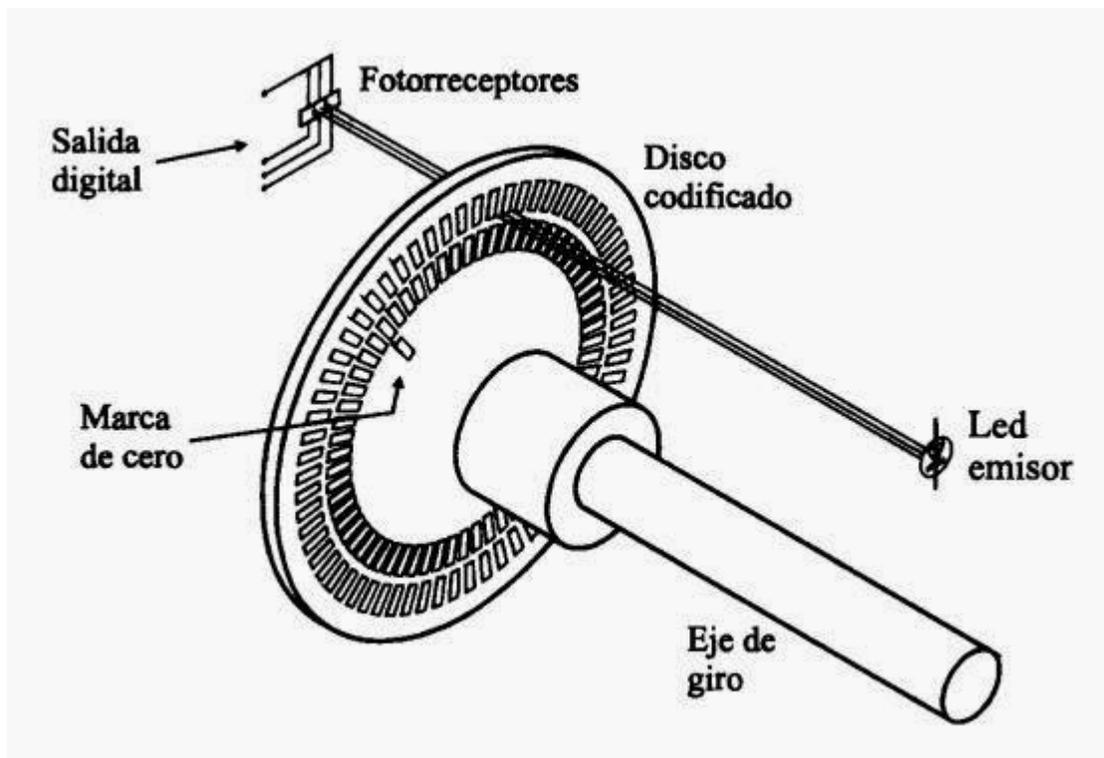


Figura 3.4: Componentes de un teodolito óptico o *encoder*.³

La precisión angular del dispositivo está determinada por la cantidad y ancho de las ranuras del encoder, a mayor cantidad de ranuras en el encoder, mayor es la resolución de la lectura obtenida. Para indicar la precisión, los fabricantes indican la desviación estándar de la medición obtenida a través de la aplicación de la norma ISO 17723-3 o DIN 18723. La mayoría de las estaciones totales tienen precisión del orden de los segundos sexagesimales, siendo los valores comunes de 1", 2", 3", 4", 5", 6" y 10" [3].

3.2.3 Medición de distancia

Para la medición de distancias las estaciones totales emplean distanciómetro electrónicos (EDM) que operan por el método de comparación de fases [5], el cual consiste en la salida de una onda portadora desde el emisor hasta un blanco donde se refleja de regreso. La onda reflejada regresa con un desfase respecto a la onda emitida, al modular la onda emitida y calcular sucesivos desfases es posible calcular la distancia que viaja la onda portadora hasta el blanco. Un esquema del funcionamiento de la comparación de ondas del distanciómetro se puede observar en la Figura 3.5.

³ SENSORES 1 2 3, Sensores tecnológicos [en línea] <<http://sensores123.blogspot.cl/p/tipos-de-sensores.html>> [consulta: 1 de julio de 2017]

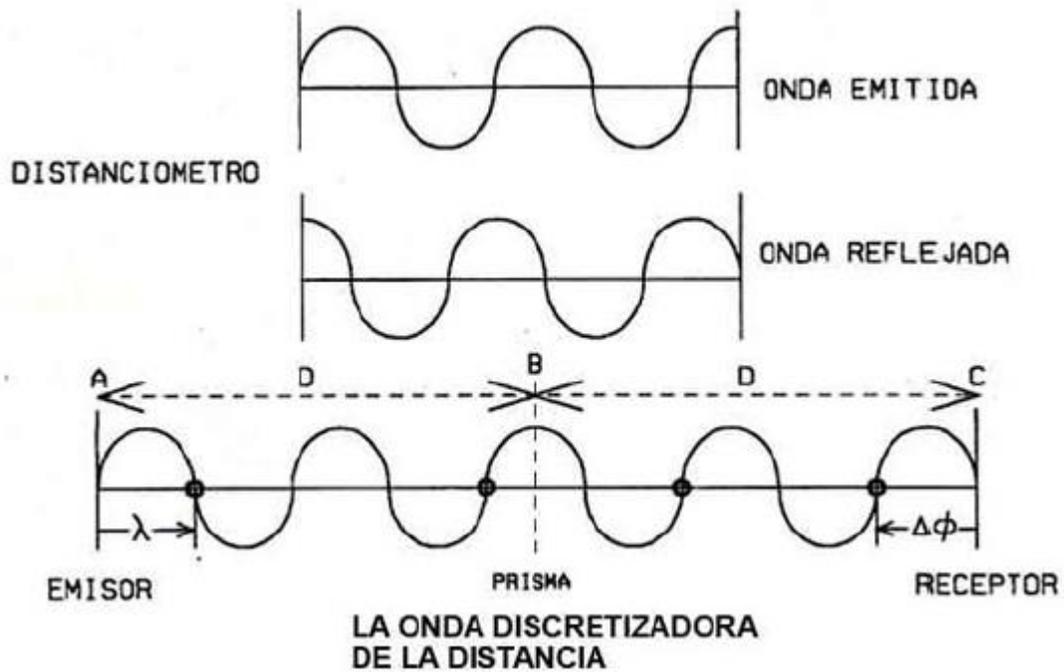


Figura 3.5 Esquema de una onda emitida por distanciómetro electrónico. (Modificado desde [3] p.8)

El alcance del distanciómetro depende de su capacidad de recibir de regreso la lectura de la señal portadora emitida, esto se ve afectado por condiciones ambientales como polvo, radiación solar, humedad relativa, neblina, etc. Otro factor importante es la superficie donde se refleja la señal [3].

Con respecto a la precisión del distanciómetro, este presenta un error de medición que se compone de una parte fija, inherente al instrumento, y una parte variable que es proporcional a la distancia a la cual se mide.

$$e = \pm(\Delta[\text{mm}] + \delta[\text{ppm}]) \quad (3.1)$$

En la Ecuación 3.1 el error e se calcula sumando la componente fija Δ en milímetros con la componente proporcional a la distancia δ en partes por millón, es decir que si a modo de ejemplo δ fuese de 1 [ppm] para una distancia de 1 [km] equivalente a un millón de milímetros, el error de medición aumentaría en δ de 1 [mm].

3.2.4 Mediciones geodésicas puntuales con estaciones totales

Utilizando una estación total es posible determinar la posición, diferencia de nivel y distancia desde la estación total a un punto de referencia. El cálculo para realizar las mediciones varía dependiendo si el punto a medir se encuentra a mayor o menor altura que el instrumento de medición de la estación total.

Para calcular la diferencia de altura de un punto más elevado que la estación total, en primer lugar se ubica la estación total sobre el punto de referencia, mientras que en el punto a medir se posiciona un prisma reflectante, tal como se observa en la Figura 3.6.

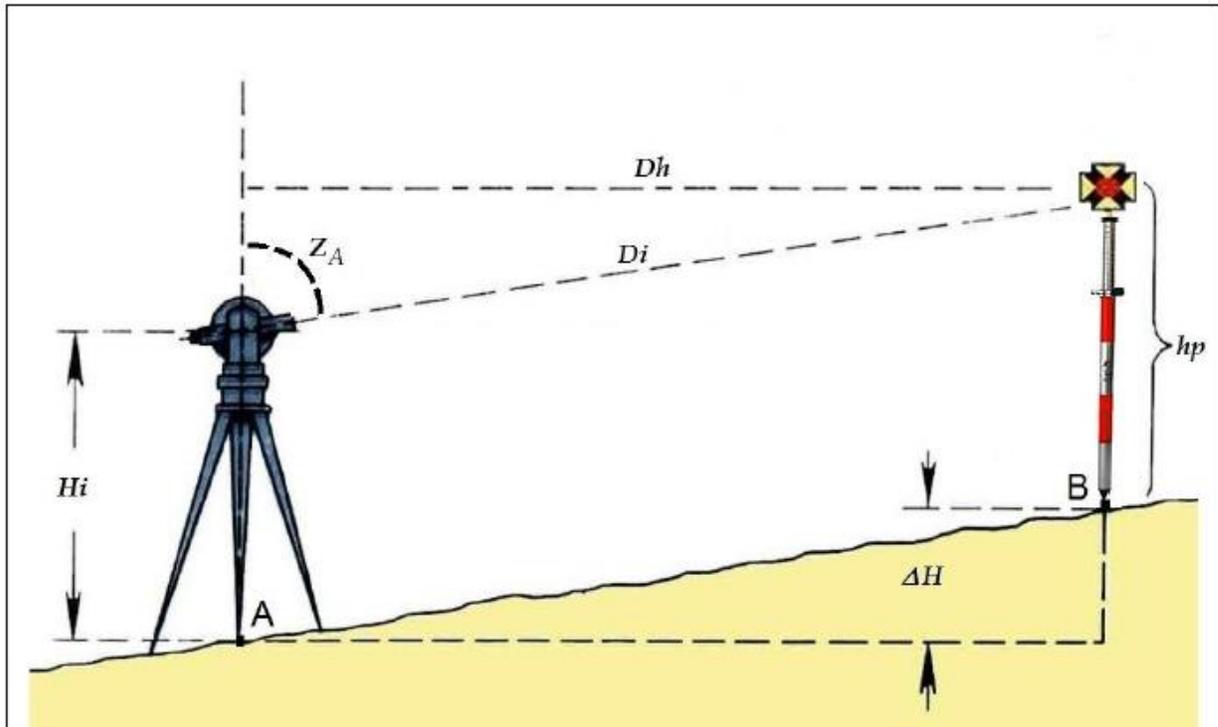


Figura 3.6: Componentes empleados en la medición de diferencia de altura entre dos puntos utilizando una estación total en el caso en que la estación se encuentra en un punto de menor altura. (Fuente: [6] p 13)

A partir de las variables presentadas en la Figura 3.6 es posible calcular la diferencia de altura entre los puntos según la Ecuación 3.2 como:

$$\Delta H = D_i * \cos(Z_A) + H_i - h_p \quad (3.2)$$

donde

- D_h : Distancia horizontal [m]
- D_i : Distancia inclinada [m]
- Z_A : Angulo cenital desde A [°]
- H_i : Altura instrumental [m]
- h_p : Altura de prisma [m]
- ΔH : Desnivel entre los puntos A y B [m]

Por otro lado, para calcular la diferencia de altura de un punto más bajo que la estación total se realiza un proceso como el que se ilustra en la Figura 3.7.

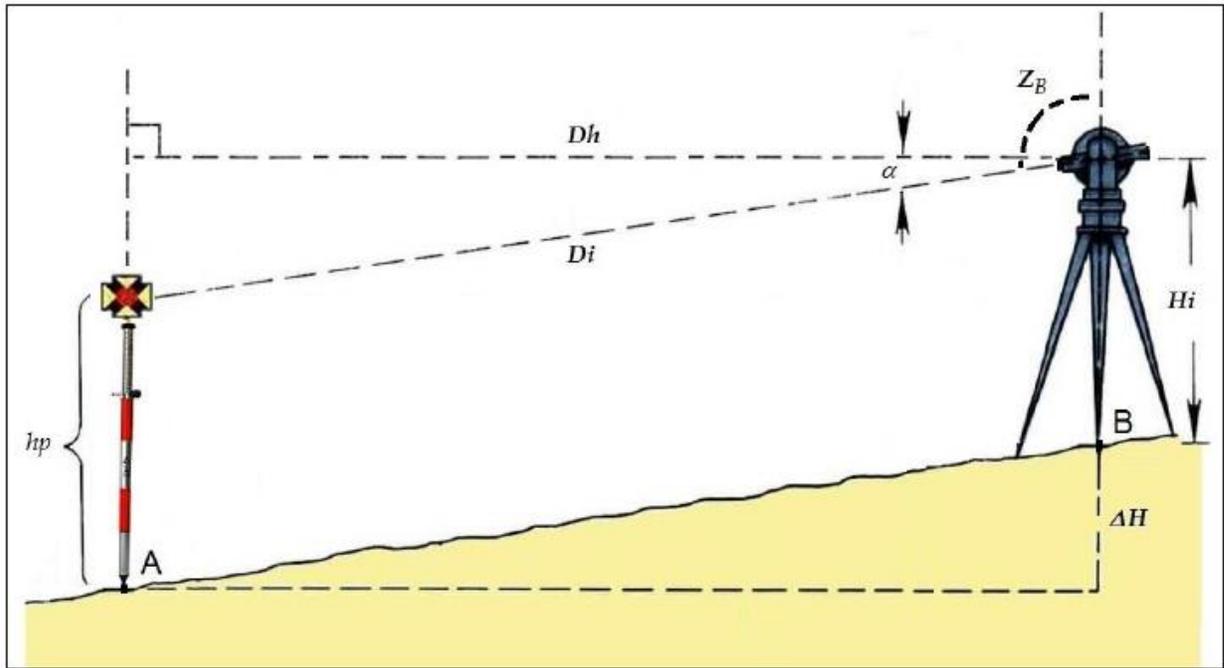


Figura 3.7: Componentes empleados en la medición de diferencia de altura entre dos puntos utilizando una estación total en el caso en que la estación se encuentra en un punto de mayor altura. (Fuente: [6] p. 14)

A partir de las variables presentadas en la Figura 3.7 es posible calcular la diferencia de altura entre los puntos según la Ecuación 3.3 como:

$$\Delta H = D_i * \text{sen}(\alpha) + H_i - h_p \quad (3.3)$$

donde

- D_h : Distancia horizontal [m]
- D_i : Distancia inclinada [m]
- Z_B : Ángulo cenital desde B [°]
- α : Diferencia entre el ángulo cenital (Z_B) y la recta horizontal [°]
- H_i : Altura instrumental [m]
- h_p : Altura de prisma [m]
- ΔH : Desnivel entre los puntos A y B [m]

Siguiendo estos procedimientos es posible realizar el levantamiento topográfico de un terreno realizando sucesivas mediciones de diferentes puntos, tal como se observa en la Figura 3.8.

Cuando la posición de un mismo punto debe ser controlada a través del tiempo se realizan monumentaciones en el terreno, instalando pernos de anclaje o bien levantando monumentaciones de concreto sobre los cuales se fijan blancos reflectantes. Un ejemplo de este tipo de medición se presenta en la Figura 3.9.

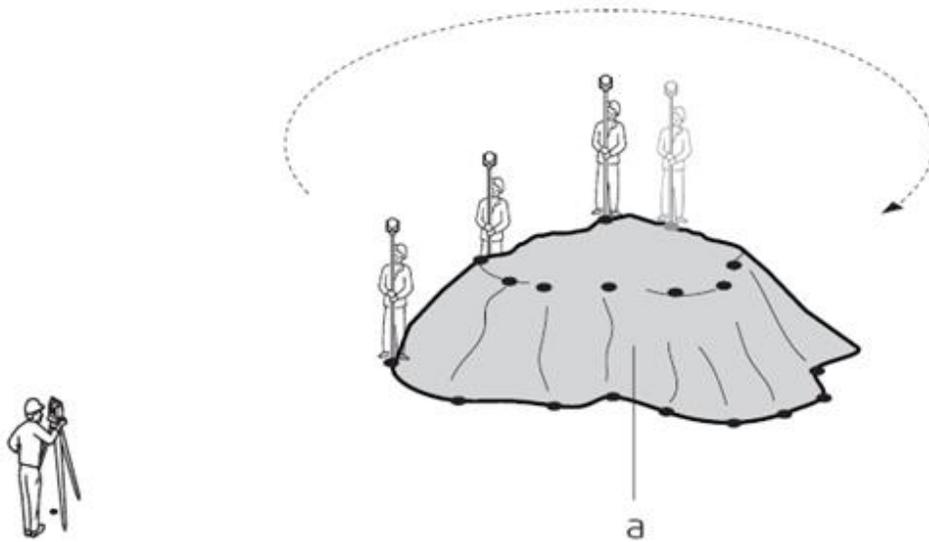


Figura 3.8: Medición de elevaciones en terreno utilizando una estación total. (Modificado de [7] p. 154)



Figura 3.93.3: Fotografía de un prisma reflectante instalado en una monumentación sobre una estación de tren en Australia.⁴

3.3 Blancos reflectantes para estaciones totales

Si bien las estaciones totales son capaces de operar sin blancos reflectantes, tomando la señal reflejada directamente de la superficie enfocada, para los trabajos que requieren mediciones sucesivas del mismo punto o que requieren

⁴ LAND SOLUTION AUSTRALIA. *4d Monitoring (Surveying and Geotechnical). Prism above train station* [fotografía] 1 foto. [en línea] <<http://www.landsolution.com.au/item/4d-monitoring-surveying-and-geotechnical/>> [consulta: 2 de julio de 2017]

mayor grado de precisión en la medición se utilizan blancos reflectantes. A continuación se presentan las características principales de los blancos reflectantes de uso más común.

3.3.1 Prismas reflectantes

Los prismas reflectantes son cuerpos de vidrio con tres caras reflectantes perpendiculares entre sí formando una esquina de cubo, con una cara de entrada perpendicular a la diagonal de dicho cubo. Esta configuración permite que los rayos incidentes que ingresan a través de la cara de entrada se reflejen en forma paralela a la trayectoria incidente, tal como se observa en la Figura 3.10.

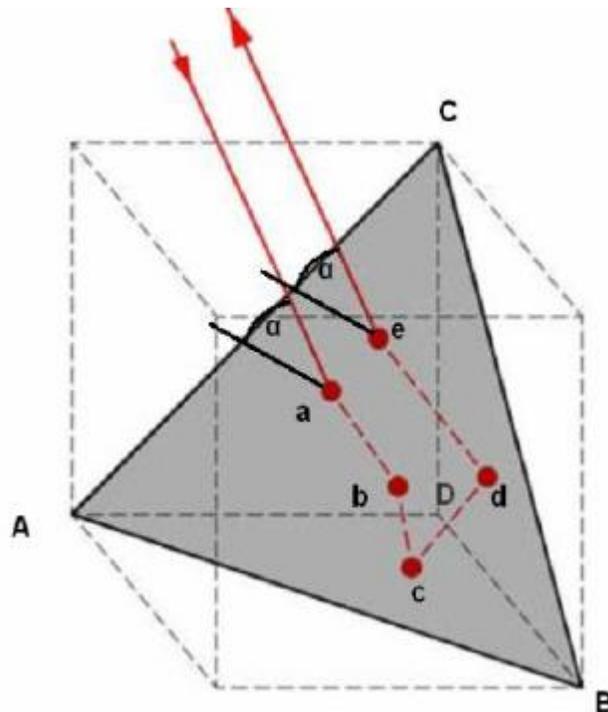


Figura 3.40: Trayectoria de un rayo incidente y un rayo reflejado a través de un prisma reflectante. (Modificado desde [8])

La variación de diseño más popular de este tipo de reflectantes se conoce como prismas reflectantes circulares, los se obtienen luego de redondear las esquinas de la cara de ingreso del prisma hasta generar una cara cilíndrica con centro en la diagonal del cubo virtual generado por el prisma [9]. Una fotografía de esta variación de diseño se puede observar en la Figura 3.11.

Cuando el rayo incidente desde un instrumento de medición ingresa al prisma con un ángulo de incidencia mayor que 0° desde el eje perpendicular de la cara de ingreso se genera un error de medición causado por una variación aparente del centro de reflexión.



Figura 3.51: Prismas reflectantes circulares.⁵

La desviación en la medición puede ser superior a los 0,5 [mm] para ángulos mayores a los 40°. Este error de medición de la distancia respecto del ángulo de incidencia del rayo recibido puede observarse en el gráfico de la Figura 3.12.

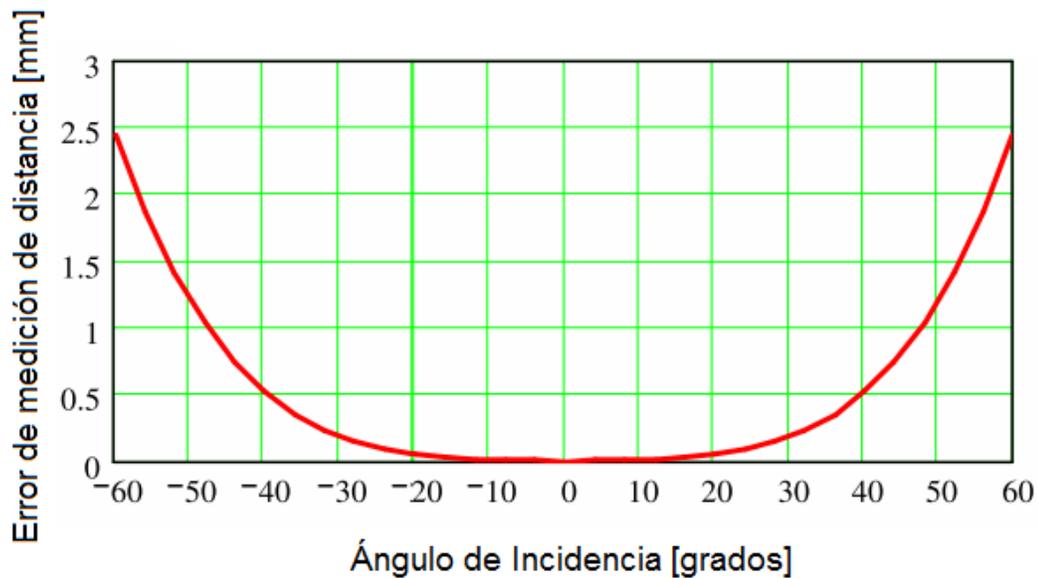


Figura 3.62: Error de medición de distancia con un prisma reflectante en función del Angulo de incidencia en la cara de entrada de un prisma Leica GPR1. (Modificado desde [8])

3.3.2 Arreglos especiales de prismas reflectantes

Existen arreglos especiales de prismas reflectantes diseñados para trabajar con estaciones totales robotizadas. Estos arreglos especiales permiten recibir y reflejar las señales de las estaciones totales en los 360° horizontales sin

⁵ ALTECHNA. *Product details. Corner cube retroreflectors* [fotografía] 1 foto. [en línea] <http://www.altechna.com/product_details.php?id=369> [consulta: 2 de julio de 2017]

necesidad de realinear el prisma para cada medición, permitiendo realizar labores de medición continuas con una o más estaciones totales robotizadas. Los arreglos de prismas reflectantes más utilizados en el mercado se pueden observar en la Figura 3.13.



Figura 3.73: Modelos comerciales de agrupaciones de prismas para detección desde 360°. (a) Prisma Trimble 360 (Modificado desde [10]). (b) Prisma Leica GRZ4 360°. ⁶ (c) Cilindro con agrupación de prismas Renishaw. ⁷

Sin embargo, para su correcto funcionamiento estos arreglos requieren que su eje vertical sea alineado, pues aunque pueden ser detectados en los 360° azimutales (horizontales) su rango de acción en el eje cenital (vertical) es más limitado.

Por otro lado, en el estado de la técnica existen otras configuraciones teóricamente omnidireccionales que no han tenido aplicación práctica que se pueden encontrar en patentes de invención.

Una de estas patentes es la US 2763000 A que presenta un reflector para radares compuesto de ocho cuerpos piramidales reflectantes que le permiten ser visualizado desde los 360° azimutales [11]. Algunas ilustraciones de esta patente se pueden observar en la Figura 3.14.

⁶ LEICA GEOSYSTEMS. Store: Field accessories. Leica GRZ4 360° Reflector [fotografía] 1 foto. [en línea] <<http://store.leica-geosystems.us/field-accessories/equipment-accessories/prisms/prisms-robotic/360-reflector/>> [consulta: 9 de junio de 2017]

⁷ RENISHAW. Reflectores Fanbeam ®. Agrupación de prismas [fotografía] 1 foto. [en línea] <<http://www.renishaw.es/es/objetivos-fanbeam--27482>> [consulta: 9 de junio de 2017]

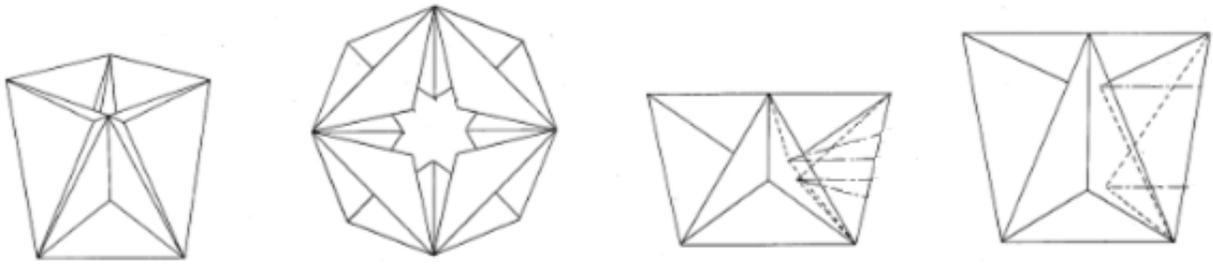


Figura 3.84: Reflector para radares compuesto de ocho cuerpos piramidales reflectantes.
(Modificado desde [11])

Por otro lado, la patente US 3039093 A presenta un reflector para ondas electromagnéticas teóricamente omnidireccional. El cuerpo del reflector está formado por veinte cuerpos piramidales reflectantes cuyas caras exteriores forman un icosaedro. Este diseño de reflector permite teóricamente reflejar ondas electromagnéticas provenientes de todas las direcciones [12]. Ilustraciones de este diseño se pueden observar en la Figura 3.15, sin embargo este diseño no ha tenido aplicación en el mercado.

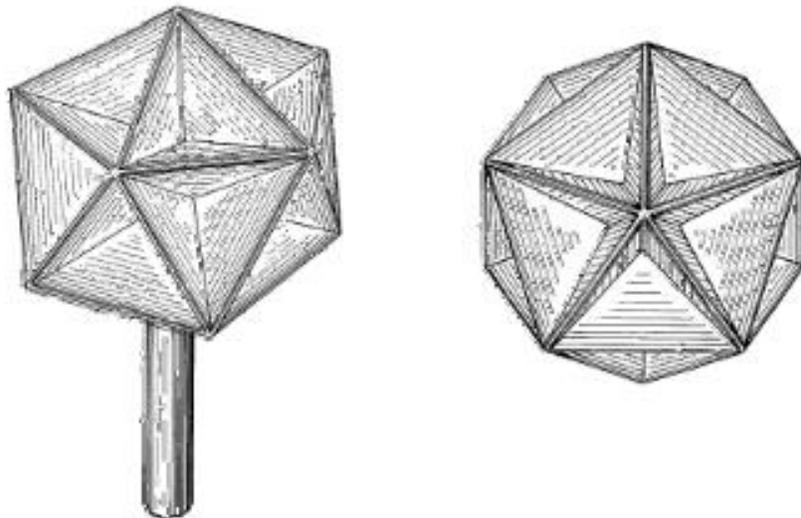


Figura 3.95: Reflector para ondas electromagnéticas teóricamente omnidireccional con forma de icosaedro. (Modificado desde [12])

Otras patentes, como la US 4551726 A presenta reflectores de prisma agrupados en distintas configuraciones que permiten reflejar teóricamente ondas electromagnéticas desde todas las direcciones [13]. Estas configuraciones se pueden observar en la Figura 3.16, pero no presentan aplicaciones comerciales.

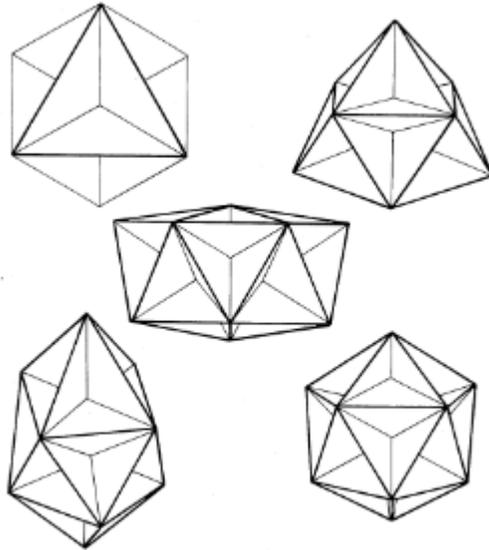


Figura 3.106: Agrupaciones de prismas reflectantes. (Modificado desde [13])

Finalmente, otra de las patentes relacionadas que no ha sido utilizada en la industria corresponde a la patente US 4416509 A, la cual presenta un reflector universal de ondas electromagnéticas que es teóricamente omnidireccional. El reflector está formado por un cuerpo con forma de icosaedro truncado con un conjunto de prismas reflectantes ubicados en cada una de sus caras [14]. Una de las ilustraciones de dicha patente de invención se presenta en la Figura 3.17.

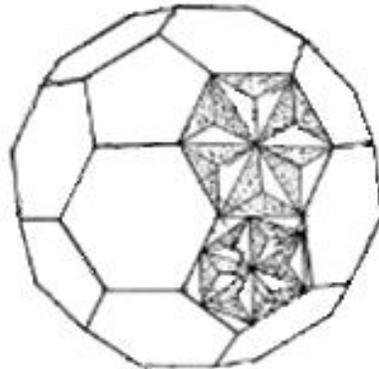


Figura 3.117: Reflector universal de ondas electromagnéticas con forma de icosaedro truncado, con seis prismas reflectantes en cada una de sus caras. (Modificado de [14])

3.3.3 Otros blancos reflectantes para estaciones totales

Dentro del estado de la técnica existe una amplia gama de blancos reflectantes para uso en varias aplicaciones además de los prismas reflectantes. Entre los blancos reflectantes disponibles en el mercado, los de mayor uso son las dianas de cinta reflectante, los tubos reflectantes y las esferas reflectantes.

Las dianas de cinta reflectantes son diseñadas para instalarse mediante un adhesivo a una superficie y permiten realizar mediciones de posición y distancia utilizando estaciones totales. Una fotografía de unas de estas dianas se puede observar en la Figura 3.18.



Figura 3.128: Diana de cinta reflectante⁸

La distancia desde la cual pueden ser detectados con una estación total depende del tamaño de la diana, y puede alcanzar rangos de hasta 500 [m] para las dianas comerciales. En la Tabla 1 se puede observar el rango de operación para distintos tamaños de dianas reflectantes comerciales.

Tabla 3.1: Rangos de operación de diferentes dianas reflectantes.

Tamaño de Diana ([mm] x [mm])	Rango de Operación (Min [m] - Max. [m])
20 x 20	10 - 50
30 x 30	10 - 80
40 x 40	10 - 100
60 x 60	10 - 120
220 x 220	10 - 500

Fuente: Bernsten International, Inc.⁹

Otro tipo de blanco marcador son los llamados tubos reflectantes o reflectores de tubo. Estos reflectores están formados por un tubo de aluminio de 1 metro de longitud recubierto de cinta reflectante. La geometría cilíndrica de estos blancos reflectantes permiten reflejar señales provenientes desde los 360° horizontales, sin embargo la misma geometría cilíndrica de su superficie también dispersa la señal reflejada por lo que su uso se limita a aplicaciones

⁸ BERNSTEN INTERNATIONAL INC. *Reflective tape targets. Reflective targets RSZ* [fotografía] 1 foto [en línea] <<https://www.berntsen.com/Portals/3/Reflective%20Targets/reflective-targets-RSZ6-250.jpg>> [consulta: 2 de enero de 2017]

⁹ BERNSTEN INTERNATIONAL INC. *Reflective tape targets* [en línea] <<https://www.berntsen.com/Surveying/Smart-Targets-Datums-Reflectors/Reflective-Tape-Targets>> [consulta: 2 de enero de 2017]

de corto alcance que varían entre los 10 y los 150 metros¹⁰. Una fotografía de estos marcadores se puede observar en la Figura 3.19.



Figura 3.19: Tubos reflectantes para aplicaciones de corto alcance.¹¹

Los blancos reflectantes esféricos son esferas recubiertas de material reflectante. Gracias a su forma pueden ser detectadas desde todas las direcciones sin tener que rotar o ajustar la posición del blanco¹². Sin embargo, su superficie convexa dispersa los rayos incidentes en la superficie y genera una señal de retorno debilitada, por lo que su aplicación se limita a algunas decenas de metros [11]. Una imagen de este tipo de blancos reflectantes se puede observar en la Figura 3.20.

Los reflectores esféricos tienen un rango de aplicación normal de hasta 50 [m]¹³, sin embargo, arreglos de blancos reflectantes esféricos de alta precisión han sido detectados con estaciones totales a distancias de hasta 150 [m] con errores de medición de 4 [mm].¹⁴

¹⁰ RENISHAW. Reflectores Fanbeam ®. [en línea] <<http://www.renishaw.es/es/objetivos-fanbeam--27482>> [consulta: 9 de junio de 2017]

¹¹ RENISHAW. Reflectores Fanbeam ®. Tubos reflectantes [fotografía] 1 foto. [en línea] <<http://www.renishaw.es/media/img/gen/6c0fa6a94f9c4049a4c9e1776a76157d.jpg>> [consulta: 9 de junio de 2017]

¹² BERNSTEN INTERNATIONAL INC. *Laser scanner target* [en línea] <<https://www.berntsen.com/Surveying/Smart-Targets-Datums-Reflectors/Laser-Scanner-Targets>> [consulta: 2 de enero de 2017]

¹³ FARO Laser Scanner, Focus [en línea] <https://knowledge.faro.com/Hardware/Laser_Scanner/Focus/Reference_Target_Placement_for_Automatically_Registering_Scans_in_SCENE> [consulta: 26 de mayo de 2017]

¹⁴ RIWGL. Laser measurement systems. [en línea] <<http://www.riegl.com/products/terrestrial-scanning/selection-guide/print.html>> [consulta: 26 de mayo de 2017]



Figura 3.130: Blanco reflectante esférico.¹⁵

3.4 Radares de estabilidad de taludes (SSR).

Los radares de estabilidad de taludes conocidos como SSR por sus siglas en inglés (*Slope Stability Radar*) son equipos que permiten monitorear la superficie de taludes y otras paredes rocosas con precisión sub-milimétrica [15]. El principio de funcionamiento se basa en la técnica de interferometría de radar diferencial [16], en la cual el sistema escanea una región de la pared rocosa generando una imagen a intervalos de uno a diez minutos, luego compara las fases medidas en cada pixel con respecto al escaneo inicial para determinar el desplazamiento de cada pixel de la imagen.

Desde su posición en la mina, el SSR transmite la información recopilada a una computadora en una oficina central donde mediante un software especializado se procesa para luego ser presentada en pantalla en un mapa coloreado del área escaneada o bien mediante gráficos de desplazamiento de mediciones puntuales [15].

Los SSR van montados sobre remolques con generadores eléctricos que permiten posicionarlos en la base de una mina a rajo abierto, en rampas intermedias o bien en la cima de las paredes rocosas.

3.4.1 Tipos de SSR

Existen dos tipos principales de SSR, los SSR que son para monitoreo exclusivo y los SSR que son para monitoreo de áreas amplias. Los SSR para monitoreo exclusivo son radares de alta precisión que sirven para el monitoreo de

¹⁵ BERNSTEN INTERNATIONAL INC. Blanco reflectante esférico [fotografía] 1 foto. [en línea] <<https://www.berntsen.com/Surveying/Smart-Targets-Datums-Reflectors/Laser-Scanner-Targets/ctl/ViewProduct/mid/1612/itemID/1627>> [consulta: 2 de enero de 2017]

peligros conocidos, escaneando un área reducida de una pared rocosa¹⁶. Un ejemplo de este tipo de SSR se puede observar en la Figura 3.21.



Figura 3.141: SSR-XT para monitoreo exclusivo. (Modificado desde [d])

Por otro lado, los SSR de monitoreo de área amplia permiten escanear grandes superficies en busca de nuevos riesgos en paredes rocosas, pudiendo realizar escaneos de barrido en hasta 180°¹⁷. Un ejemplo de este tipo de SSR se puede observar en la Figura 3.22.



Figura 3.22: SSR-XT para monitoreo exclusivo. (Modificado desde [d])

¹⁶ GROUNDPROBE. Productos y servicios: SSR FX [en línea] <<http://spain.groundprobe.com/productos-y-servicios/radar-de-estabilidad-de-taludes-ssr-fx-ssr-fm>> [consulta: 19 de junio de 2017]

¹⁷ GROUNDPROBE. Productos y servicios: SSR FM [en línea] <<http://spain.groundprobe.com/productos-y-servicios/radar-de-estabilidad-de-taludes-ssr-fx-ssr-fm>> [consulta: 19 de junio de 2017]

3.4.2 SSR en Chile

En Chile, si se suman los SSR de monitoreo exclusivo y los SSR de monitoreo de área amplia opera una flota combinada de unos quince SSR¹⁸. Sin embargo, solamente en la II región de Antofagasta y la III tercera región de Atacama existen más de 190 minas a rajo abierto [18], por lo que es posible deducir que más del 90% de las faenas mineras a rajo abierto en Chile opera sin estos radares.

Si a lo anterior sumamos el hecho de que en una sola mina a rajo abierto pueden aparecer varias zonas con peligro de derrumbe a un mismo tiempo, se vuelve evidente que los SSR son un recurso escaso.

3.5 Adhesivos para roca

Para los trabajos que requieren el uso de adhesivos en superficies rocosas existe una amplia gama de productos, sin embargo la mayoría de los productos de uso comercial pueden agruparse en dos grandes grupos: los adhesivos de resina epoxi y los adhesivos de mortero.

3.5.1 Adhesivos de resina epoxi

Los adhesivos de resina epoxi también son adhesivos cuyo polímero base está formado por el grupo químico denominado epoxi, los adhesivos de epoxi son conocidos también como adhesivos rígidos, dado a que poseen una alta resistencia frente tensiones o cargas y muy poca elongación, estas propiedades son debidas a la estructura de termoestable que adoptan el conjunto de polímeros que conforma el adhesivo una vez que ha reticulado o curado.¹⁹

Dentro de la gama de adhesivos de resina epoxi podemos distinguir dos grandes grupos, las resinas epóxicas de un componente conocidas como resinas epóxicas mono-componente y las resinas epóxicas de dos componentes conocidas como resinas epóxicas bi-componente.

3.5.2 Adhesivos de mortero

Los morteros son un elemento básico e imprescindible en la construcción. Se emplean como material de agarre y unión. Por ejemplo, para unir ladrillos, crear muros, cubrir superficies, revestir paredes, reparar desconchones, para impermeabilizar superficies o nivelar soportes irregulares.²⁰

Se entiende como mortero seco a toda masa hecha con una mezcla de arena y conglomerante, es decir, el material que une, pega o aglomera otros

¹⁸ MINERIA CHILENA. Negocios e industria: GroundProbe concreta la venta de un SSR-X a Kinross-La Coipa [en línea] <<http://www.mch.cl/2009/04/24/groundprobe-concreta-la-venta-de-un-ssr-x-a-kinross-la-coipa>> [consulta: 20 de junio de 2017]

¹⁹ LOS ADHESIVOS. Adhesivos epoxy [en línea] <<http://www.losadhesivos.com/adhesivos-epoxi.html>> [consulta: 18 de junio de 2017]

²⁰ LEROY MERLIN. Como elegir mortero [en línea] <<http://www.leroymerlin.es/ideas-y-consejos/comoHacerlo/como-elegir-mortero.html>> [consulta: 18 de junio de 2017]

materiales. Los morteros tienen la propiedad de fraguar y endurecer en presencia de agua al reaccionar químicamente con ella. Los morteros de mayor aplicación en la industria corresponden a los morteros cementicios y los morteros epóxicos.

La mezcla de mortero cementicio se hace con cemento, yeso y/o cal. A esta mezcla se le puede añadir diversos aditivos que modifican o potencian las propiedades originales de los materiales. Entre los aditivos más utilizados están los plastificantes, los emulsionantes, aceleradores del fraguado o los impermeabilizantes.

Por su parte, los morteros epóxicos son morteros compuestos por una mezcla de granos de cuarzo con resinas epóxicas solidificadas. Este tipo de mortero presenta alta adherencia y resistencia al ser aplicado sobre concreto y superficies rocosas [19].

3.6 Plataformas aéreas UAV

Los vehículos aéreos no tripulados, también conocidos como drones o UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*), son vehículos voladores desprovistos de tripulación que son controlados de manera remota o mediante vuelos semiautónomos. Su forma puede variar desde configuraciones de tipo avión hasta configuraciones sin alas de tipo multi-rotor como se puede observar en la Figura 3.23. [20]

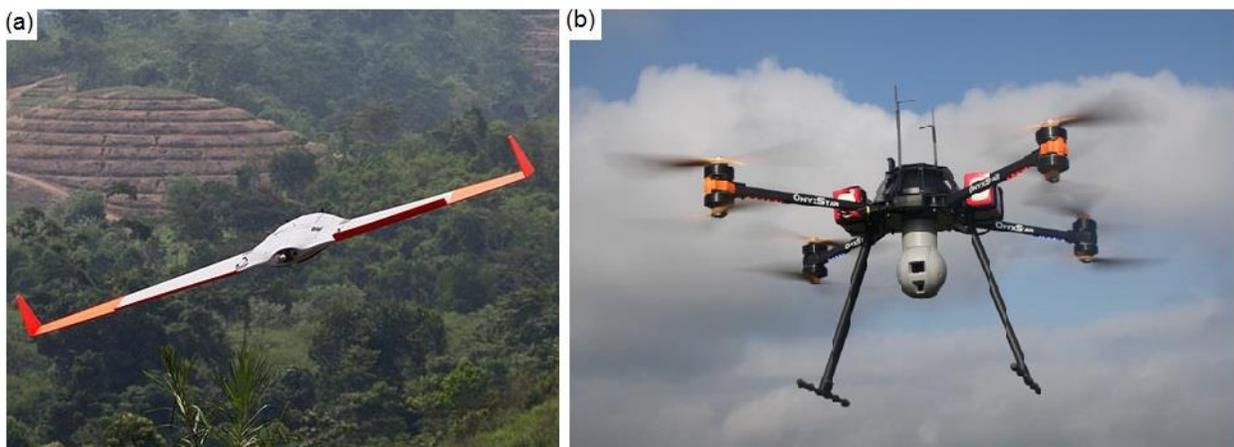


Figura 3.23: Configuraciones comunes para UAVs. (a) UAV Ai450 de tipo avión para usos de mapeo aéreo. (b) UAV Altitude de tipo multi-rotor.²¹

Gracias a la reducción de los costos de los UAV, éstos se han convertido en un instrumento común en trabajos de reconocimiento aéreo, búsqueda y rescate de personas, control de incendios, y como instrumento de recreación, entre otras aplicaciones [21].

²¹ ZULLY C3P. "Drone Fox-C8 XT en vol" [Fotografía] 1 foto [en línea] <https://en.wikipedia.org/wiki/File:Onyxstar_Fox-C8_XT_xender_360.jpg> [consulta: 3 de junio de 2016]

3.6.1 Capacidades de las plataformas aéreas UAV comerciales

Los UAV se encuentran fuertemente limitados por la carga máxima que pueden llevar y por la autonomía de vuelo que presentan, lo cual genera que pequeños incrementos en la carga máxima que puede cargar un UAV generan gran incremento del costo del vehículo. Por ejemplo, un UAV de entretenimiento puede costar alrededor de USD\$200 con capacidad de carga de 200 [g] y autonomía de vuelo de 20 minutos, pero un UAV con capacidad de carga de 2000 [g] y autonomía de vuelo de 15 minutos puede costar USD\$1.500²².

3.6.2 Nuevas aplicaciones de los UAV en el estado de la técnica

La idea de utilizar UAVs para alcanzar lugares inaccesibles, así como la idea de utilizarlos para depositar cargas en ubicaciones determinadas no es nueva en el estado de la técnica, sin embargo, es aún una rama en desarrollo pues los resultados obtenidos han sido limitados.

Entre las soluciones del estado de la técnica podemos destacar el desarrollo realizado por la empresa Amazon en su solicitud de patente "*Unmanned aerial vehicle delivery system*" [22], en la cual ha desarrollado un sistema de reparto de encomiendas utilizando UAVs. En dicho desarrollo, el UAV recibe una carga y un código que le indica la ubicación de su destino, luego se desplaza volando hasta el objetivo y descarga el paquete llevado antes de regresar a su base. Tanto la plataforma aérea como el dispositivo de carga mencionados se pueden observar en la Figura 24. Este sistema es un gran avance pues permite posicionar cargas de hasta 2,3 kg en distintos lugares de manera remota.



Figura 3.24: Fotografía del prototipo del dispositivo de reparto mediante UAVs desarrollado por la empresa Amazon.²³

Otro logro en el estado de la técnica es el logrado por Witold Mielniczek en su solicitud de patente "*Propulsion system for a vehicle or a toy vehicle*" [23], en

²² DJI STORE. Store: Flying Platforms [en línea] < <http://store.dji.com/category/spreading-wings> > [consulta: 3 de junio de 2016]

²³ AMAZON "Amazon PrimeAir Prototipe" [Fotografía] 1 foto [en línea] <<http://www.robotshop.com/blog/en/files/maxresdefault.jpg>> [consulta: 3 de junio de 2016]

el cual presenta un UAV híbrido, el cual puede volar como un dron o bien desplazarse por tierra mediante un sistema de orugas motorizadas.

Este desarrollo permite flexibilizar y ampliar los alcances de los UAV, sin embargo, no es un diseño que permita llevar cargas en su estado actual.

4 DISEÑO DEL SISTEMA

4.1 Parámetros de diseño

Para discriminar entre las diferentes soluciones a los problemas que se presentan una serie de parámetros de diseño, listados y jerarquizados de tal manera que permiten discriminar entre las posibles soluciones. El listado jerarquizado y la descripción de los parámetros de diseño seleccionados se presentan a continuación:

- 1) Instalación Remota: Es sistema debe ser capaz de permitir la instalación de blancos marcadores de manera remota en la cresta de los taludes.
- 2) Precisión: El sistema debe ser capaz de detectar variaciones en la posición de 1 [mm], el cual es el umbral de desplazamiento utilizados por los radares SSR para generar alertas de peligro de derrumbe.
- 3) Alcance: Para que el sistema tenga opción de aplicación real, su alcance de trabajo debe cubrir el rango desde los 20 [m] a los 500 [m].
- 4) Superficie de montaje: Los blancos marcadores deben ser capaces de ser instalados sobre una superficie rocosa de inclinación máxima de 30°, con presencia de polvo y agua moderada.

4.2 Descripción del sistema y sus componentes

El presente trabajo de titulación plantea un sistema alternativo de monitoreo de estabilidad de taludes utilizando estaciones totales y marcadores de posición instalados en ubicaciones antes inaccesibles.

El sistema a diseñar se concibe para monitorear alguna zona de los taludes que ha sido previamente identificada como zona de interés para monitorear.

Para realizar el monitoreo en primer lugar se emplea un UAV provisto de una cámara de video para realizar un reconocimiento aéreo de la zona a controlar, identificando puntos clave en las crestas de los taludes en los que instalar marcadores de posición.

A continuación, se utiliza un UAV para transportar por vía aérea un conjunto de marcadores de posición a los puntos clave identificados en el reconocimiento aéreo de a uno por vuelo. Una vez en la ubicación escogida el UAV descarga los marcadores de posición, los cuales quedan adheridos en la ubicación de descarga.

Los marcadores de posición son detectables desde los 360° azimutales (horizontales) y desde los 30° a los 150° cenitales (verticales), por lo que no es necesario controlar la orientación de éstos al momento de instalarse, ni tampoco se ven afectados por irregularidades de la superficie de anclaje que causen que puedan quedar con su eje vertical inclinado en dirección cenital.

Para controlar los marcadores de posición se dispone de un conjunto de estaciones totales robotizadas, las cuales se encuentran instaladas en diferentes ubicaciones fijas de la mina. Estas estaciones se encargan de. Cada uno de los marcadores de posición es monitoreado por una o más de las estaciones totales, las cuales determinan la posición relativa que existe entre ellas y los marcadores de posición monitoreados realizando mediciones a intervalos de dos minutos. Un esquema de la ubicación de los marcadores de posición y las estaciones totales se puede observar en la Figura 4.1.

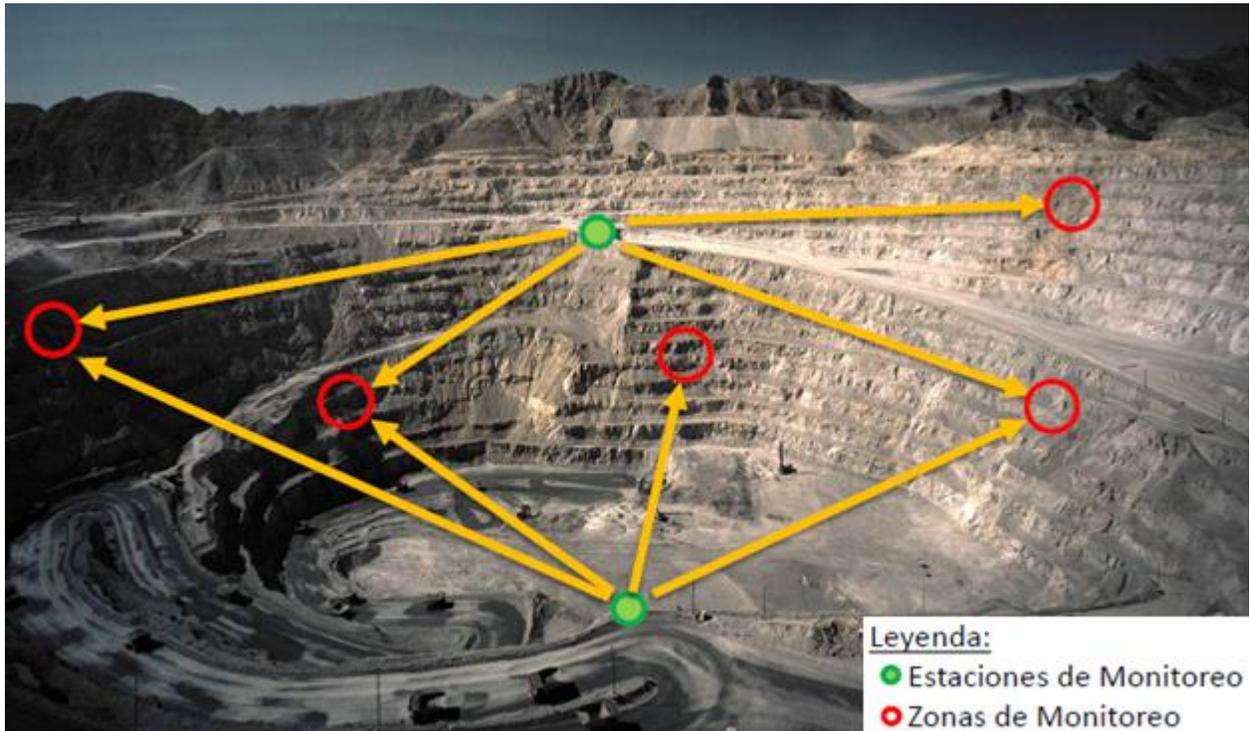


Figura 4.1: Esquema de posicionamiento de las estaciones de monitoreo y de las zonas de monitoreo en un caso de aplicación ficticio. ²⁴

La información recopilada por las estaciones totales es transmitida por las estaciones totales a través de una red de área local inalámbrica, WLAN por sus siglas en inglés, hacia una computadora donde se compara la posición relativa del último monitoreo de cada marcador de posición con la posición relativa medida inicialmente.

Cuando se detecta mediante una o más estaciones totales una variación de al menos un milímetro a partir de la posición relativa inicial de uno o más marcadores de posición se debe declarar una alerta de inestabilidad de la zona por existir un alto riesgo de derrumbe inminente en la ubicación monitoreada.

²⁴ BERNAL, F. "Mina a cielo abierto" [Fotografía] 1 foto. [en línea] <<http://1.bp.blogspot.com/-krzmUqOU79U/UUZ47NI4yVI/AAAAAAAAADk/xt-urshLQqM/s1600/mina+a+cielo+abierto.jpg>> [consulta: 19 de enero de 2017] (Modificada)

4.3 Definición de sistemas y componentes

A continuación se procede a definir y seleccionar los componentes requeridos para el funcionamiento del sistema.

4.3.1 Identificación de sistemas y componentes

El sistema está conformado por un conjunto de instrumentos de monitoreo, un conjunto de marcadores de posición y un dispositivo de transporte.

El conjunto de instrumento de monitoreo se compone por una o más estaciones totales robotizadas instaladas en diferentes posiciones de la mina.

Por su parte el conjunto de marcadores de posición consiste varios marcadores de posición constituidos por un cuerpo de reflectantes, un armazón y un sistema de anclaje. El cuerpo de reflectantes de cada marcador de posición es el que recibe la ondas desde las estaciones totales del sistema de monitoreo y las refleja de regreso, permitiendo a las estaciones totales conocer la posición relativa del marcador de posición con respecto a la estación total.

Finalmente, el dispositivo de transporte se compone de un UAV equipado con un sistema de carga y descarga de los marcadores de posición, y un sistema de visión auxiliar que permita ver el entorno del UAV durante las maniobras de reconocimiento del terreno y de transporte e instalación de los marcadores de posición. Los componentes del sistema se pueden observar en la Figura 4.2

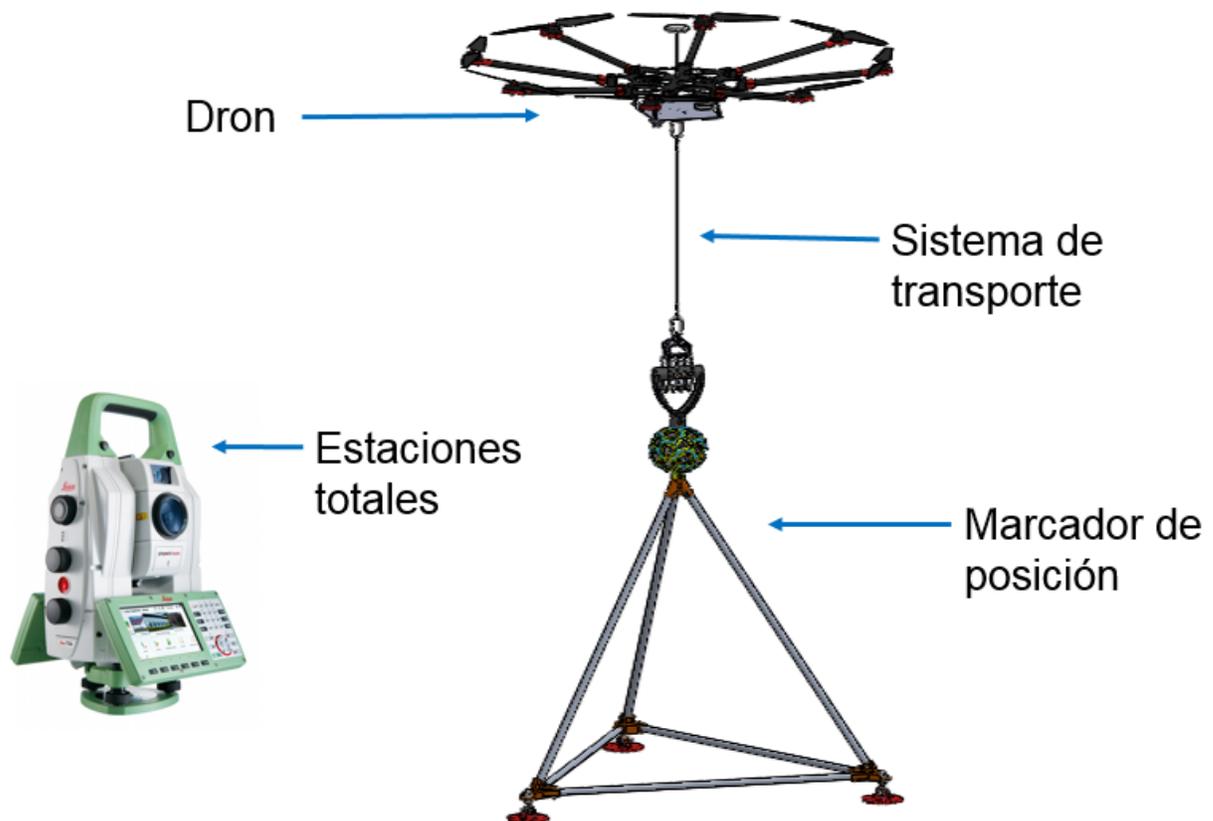


Figura 4.2: Componentes principales del sistema para mediciones geodésicas puntuales

4.3.2 Definición de la estación total

Para realizar el trabajo planteado se requiere de una estación total robotizada que permita controlar la posición de los marcadores de posición instalados a intervalos regulares de dos minutos de forma automatizada.

Por otro lado, es necesario que el alcance de la estación total permita controlar la posición de los marcadores de posición dentro del rango comprendido entre los 20 [m] y los 500 [m].

Como los desplazamientos a monitorear son del orden de 1 [mm] o menos se escoge una estación total que tenga un nivel de precisión que permita detectar estos movimientos en base a reflexiones en prismas.

Además, la estación total debe ser capaz de transmitir los datos de las mediciones mediante una conexión WLAN o similar hacia un computador central para poder procesar los datos.

Finalmente, tal como se planteó en los parámetros de diseño, la estación total debe ser capaz de operar en condiciones de intemperie en la mina por lo que debe poder funcionar en condiciones de polvo, lluvia y sol.

En base a los parámetros de diseño antes mencionados se escoge la estación total Leica Nova TS60. Las características principales de la estación total seleccionada se presentan en la Tabla 4.1. La hoja de datos completa de la estación total seleccionada se encuentra en el Anexo A.

Tabla 4.1: Características principales de la estación total seleccionada.

Fabricante	Leica Geosystems
Modelo	Leica Nova TS60
Rango de medición con prisma	1,5 [m] a 3500 [m]
Resolución	0,1 [mm]
Precisión Angular	0,5"
Error de Medición	0,6 [mm] \pm 1 [ppm]
Grado de Protección IP	IP 65
Temperatura de Operación	-20 [°C] a 50 [°C]

Fuente: Leica Geosystems.

Cabe mencionar que una estación total diferente con especificaciones técnicas equivalentes o superiores también puede ser usada como instrumento de monitoreo para el sistema diseñado.

4.3.3 Selección de reflectantes

Para poder ser detectados correctamente por la estación total, los marcadores de posición deben estar equipados con reflectores compatibles con la estación total seleccionada.

Para llevar a cabo esta labor se escogen prismas circulares retro-reflectores de diámetro 25,4 [mm] con recubrimiento de plata por sus especificaciones técnicas y su bajo precio comparativo frente a prismas circulares equivalentes.

Las características principales de los prismas seleccionados se presentan en la Tabla 4.2. La hoja de datos completa de los prismas seleccionados se encuentra en el Anexo B.

Tabla 4.2: Características principales de los prismas reflectantes seleccionados.

Fabricante	Jiaying Jeoc Electronic & Optic Co. Ltd
Modelo	Silver coated 1 inch Corner Cube Prism
Material	Vidrio Óptico BK-7
Calidad superficial	60/40
Precisión angular	0,5"
Fabricantes compatibles	Leica, Nikon, Topcon y Sokkia.

Fuente: Jiaying Jeoc Electronic & Optic Co. Ltd.

Cabe mencionar que otros prismas reflectantes de igual geometría, con especificaciones técnicas equivalentes o superiores, y que sean compatibles con las estaciones totales seleccionadas también pueden ser usados en el sistema diseñado.

4.3.4 Diseño del cuerpo de reflectantes

Para el cuerpo de reflectantes se requiere que éste pueda ser observado desde los 360° azimutales (horizontales) y desde los 30° a los 150° cenitales (verticales).

Además se considera que el rango de alta precisión en la medición de la posición de un prisma utilizando una estación total está dentro de los 30° de desviación desde el eje perpendicular a la cara delantera del prisma.[8]

Considerando las restricciones anteriormente planteadas y con el objetivo de no dejar puntos ciegos dentro del rango angular seleccionado, se escoge en primera instancia una geometría de icosaedro, un poliedro regular de 20 caras formadas por triángulos equiláteros, con los prismas reflectantes ubicados en los centros de sus caras, sin embargo luego de corroborar que con la restricción de desviación desde la perpendicular inferior a 30° la geometría de icosaedro deja puntos ciegos en sus vértices, tal como se puede apreciar en la Figura 4.3, se opta por escoger una geometría de icosaedro truncado. Así, al agregar prismas reflectantes en las nuevas caras truncadas se eliminan por completo las zonas de "punto ciego" que tiene el icosaedro.

Al truncar los vértices de un icosaedro se obtiene el icosaedro truncado, un sólido de Arquímedes formado por 20 caras hexagonales y 12 caras pentagonales con idéntica dimensión de arista. Tanto el icosaedro como el icosaedro truncado se pueden observar a continuación en la Figura 4.4.

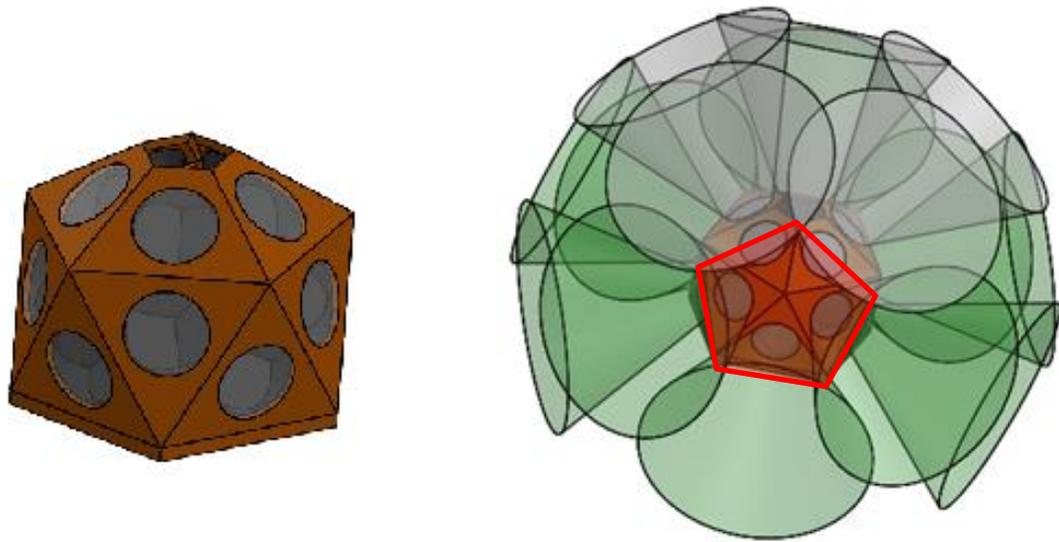


Figura 4.3: (Der.) Geometría de icosaedro con prismas reflectantes. (Izq.) Área de acción cónica proyectada de cada prisma. En rojo se observa la zona de “punto ciego” en cada vértice.

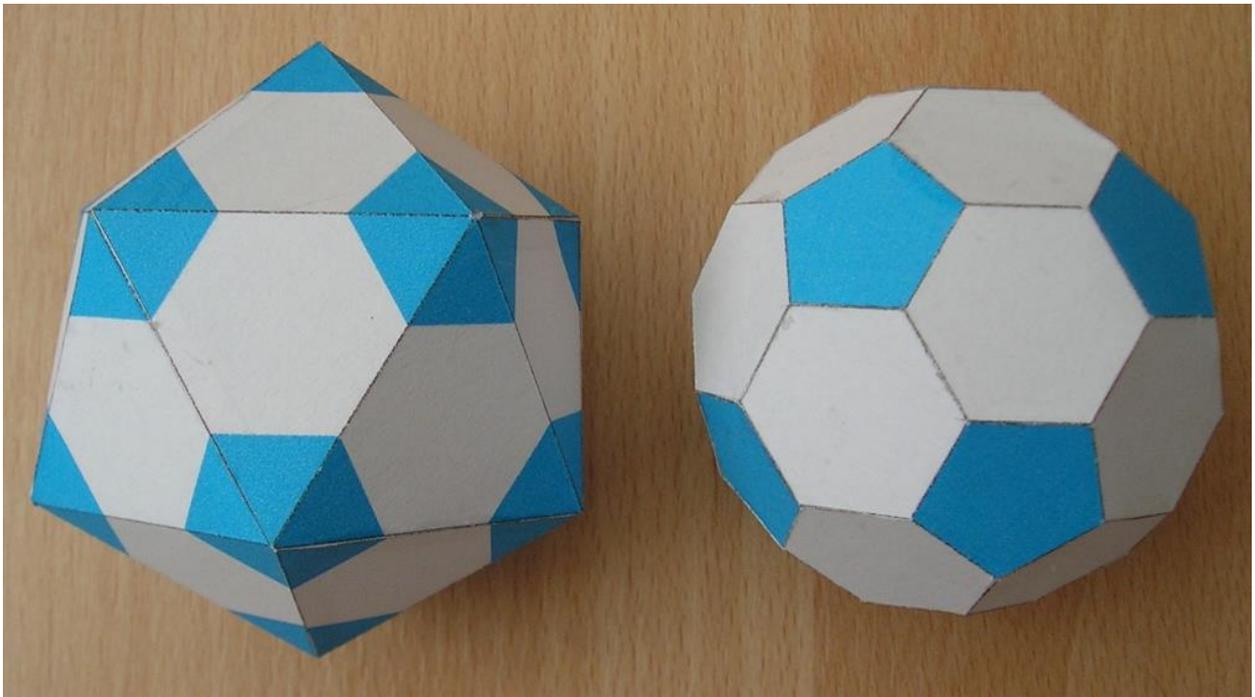


Figura 4.4: Fotografía de un Icosaedro (derecha) y de un icosaedro truncado (izquierda)²⁵.

²⁵ KORTHAL GIJS, A. “*icosahedron and truncated icosahedron*” [Fotografía] 1 foto. [en línea] <http://www.korthalsaltes.com/photo/icosahedron_and_truncated_icosahedron-large.jpg> [consulta: 25 de mayo de 2017]

Las características principales de un icosaedro truncado se presentan en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3: Características principales del icosaedro truncado.

Nombre	Icosaedro truncado
Tipo de poliedro	Solido de Arquímedes
N° de caras	32 caras (20 Hex, 12 Pent)
N° de aristas	90 aristas
N° de vértices	60 vértices
Ángulos entre caras	138° 11' (Hex-Hex) 142° 37' (Hex-Pent)

Fuente: Elaboración propia.

La geometría del icosaedro truncado garantiza que cualquier rayo incidente sobre él llega con un ángulo inferior a los 30° respecto al eje perpendicular de alguna de sus caras.

En base a la geometría seleccionada se diseña un cuerpo de reflectores para alojar los prismas reflectantes con forma de icosaedro truncado. Dos de sus caras pentagonales se ubican en los extremos superior e inferior a modo de bases del cuerpo de reflectores, mientras que el resto de sus caras presentan un espacio para alojar los prismas reflectantes. Extensiones cilíndricas en las bases y una perforación cilíndrica que atraviesa el cuerpo de reflectores entre sus bases son añadidos para permitir el montaje del mismo. El cuerpo de reflectores diseñado se puede observar en la Figura 4.5.

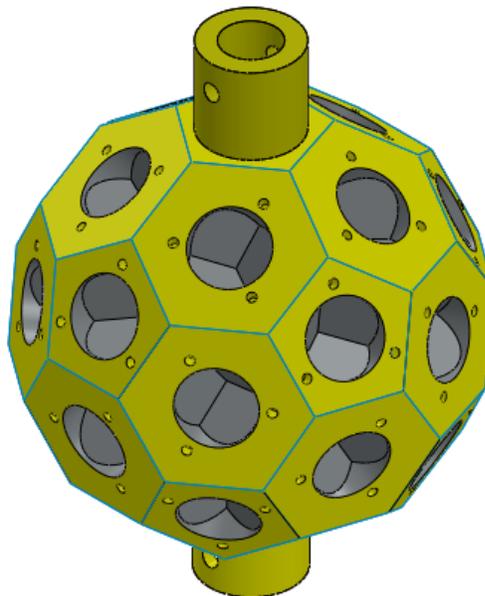


Figura 4.5: Modelo del cuerpo de reflectores diseñado con forma de icosaedro truncado.

Por otro lado, en cada una de las caras que aloja un prisma reflectante se incluyen tres perforaciones roscadas M3 x 0,5 [mm] para permitir la

instalación de pernos con dicha rosca, tal como se puede observar en la Figura 4.6.

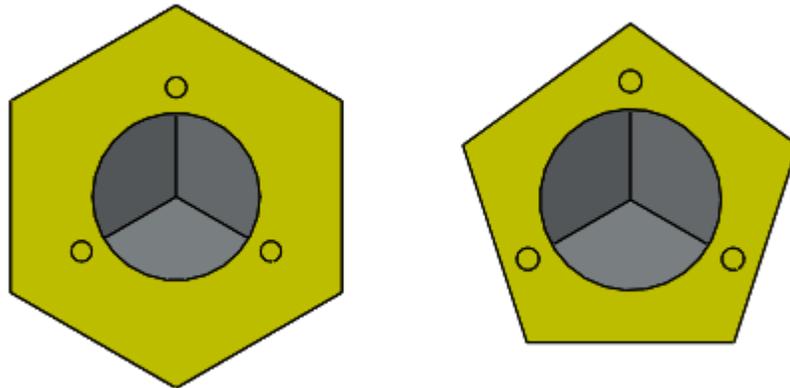


Figura 4.6: Caras hexagonales y pentagonales del cuerpo de reflectores con perforaciones para pernos M3.

Para asegurar los prismas reflectantes en su posición se diseña una tapa cilíndrica de centro hueco que permita mantener sujetos los prismas reflectantes desde su borde exterior sin interferir con la superficie reflectante. Las tapas van sujetas al cuerpo de reflectores utilizando tres pernos DIN 912 M3 x 0,5 [mm] con largo roscado de 6 [mm]. Las tapas diseñadas se pueden observar en la Figura 4.7.

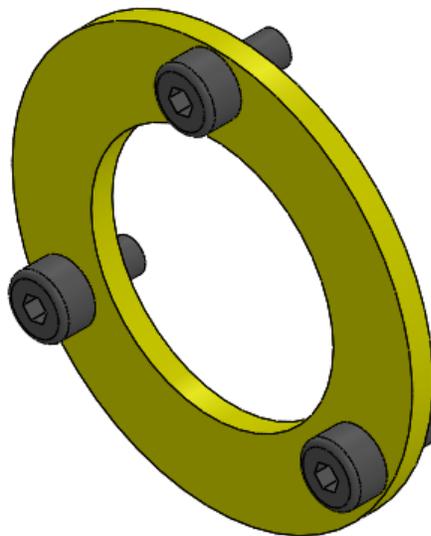


Figura 4.7: Tapas de sujeción para los prismas reflectantes con pernos M3.

Finalmente se incorpora una manilla de transporte a la parte superior del cuerpo de reflectantes. La manilla sirve de elemento de soporte para realizar el transporte aéreo de los marcadores de posición así como también facilita su manipulación en tierra. La manilla seleccionada corresponde a una manilla de PVC de una pala con punta redonda del fabricante Tramontina Chile S.A. y

puede ser adquirida como repuesto. Una imagen de la manilla seleccionada se puede observar en la Figura 4.8.



Figura 4.8: Manilla de PVC de una pala con punta redonda del fabricante Tramontina Chile S.A.²⁶

Una imagen del cuerpo de reflectantes con los prismas reflectantes, las tapas de sujeción y la manilla de transporte se puede observar en la Figura 4.9.



Figura 4.9: Imagen del cuerpo de reflectantes ensamblado.

²⁶ SODIMAC. Productos: palas [en línea] <<http://www.sodimac.cl/sodimac-cl/product/521183/Pala-redonda-con-punta-de-huevo/521183>> [consulta: consulta: 9 de junio de 2017]

Para su construcción como prototipo, el cuerpo de reflectantes es diseñado para ser manufacturado mediante impresión 3D utilizando PLA como material base.

4.3.5 Diseño de las bases de anclaje

Para realizar la instalación de los marcadores de posición en la cresta de los taludes se considera el uso de un adhesivo para fijarlos a su posición. El adhesivo debe ser capaz de fijar los marcadores de posición en condiciones en que la superficie de adhesión no puede ser intervenida antes de la instalación, por lo que debe poder adherirse a superficies rocosas con polvo moderado y/o mojadas con agua.

Se selecciona un adhesivo de tipo mortero cementicio mezclado con compuestos poliméricos que es capaz de adherirse a rocas con superficies con polvo, suciedad, humedad y/o empapadas con agua.

Los componentes del adhesivo así como sus propiedades físicas se encuentran protegidas por las leyes de propiedad intelectual de Chile bajo la categoría de secreto industrial de la Corporación Nacional del Cobre de Chile (Codelco). Entre las aplicaciones del adhesivo destaca su utilización para pegar conos de explosivos en el techo de cavernas rocosas.

Para su aplicación, el adhesivo se debe mezclar con agua, agregando entre 200 [ml] y 400 [ml] de agua por kilogramo de adhesivo, convirtiéndose en una mezcla pastosa. Una vez mezclado con agua, su tiempo de fragüe es de entre siete y nueve minutos.

Para poder fijar los marcadores de posición en el suelo rocoso se diseñan bases de anclaje. En las bases de anclaje se aplica el adhesivo seleccionado ya mezclado con agua para su utilización.

La superficie de contacto de las bases de anclaje hacia el suelo rocoso se diseña en forma de disco con un patrón estriado que permite la salida del aire y de exceso de adhesivo en la zona de contacto, genera una distribución uniforme del adhesivo y aumenta la superficie de contacto entre las bases de anclaje y el suelo rocoso, tal como se puede apreciar en la Figura 4.10. Por encima de los discos estriados se diseña el soporte para la conexión del componente.

Para que los marcadores de posición sean capaces de adaptarse a las irregularidades del terreno, las bases de anclaje se diseñan con una conexión rotulada. Para dicha conexión se escoge la rótula SKF SA 10C y se diseña un juego de bujes para permitir su movimiento. Tanto los bujes como el montaje de la conexión se pueden observar en la Figura 4.11.

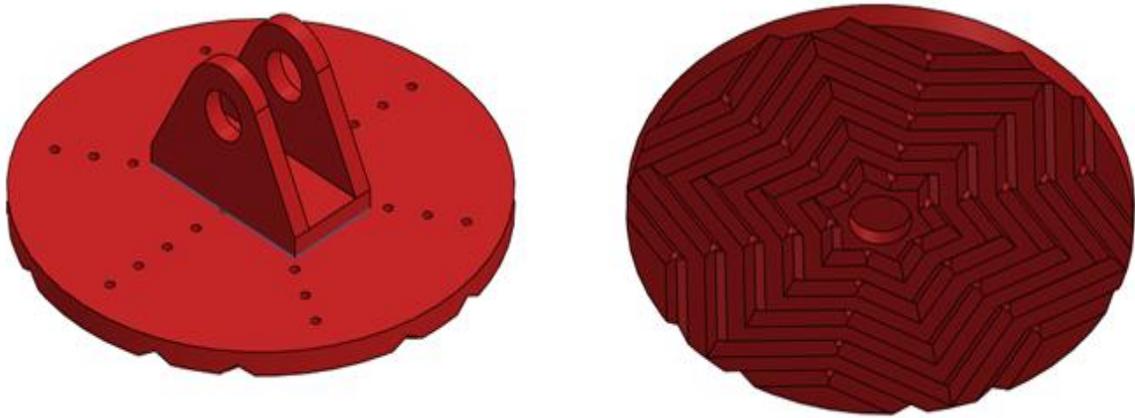


Figura 4.10: Discos con cara inferior estriada para la aplicación de adhesivo.

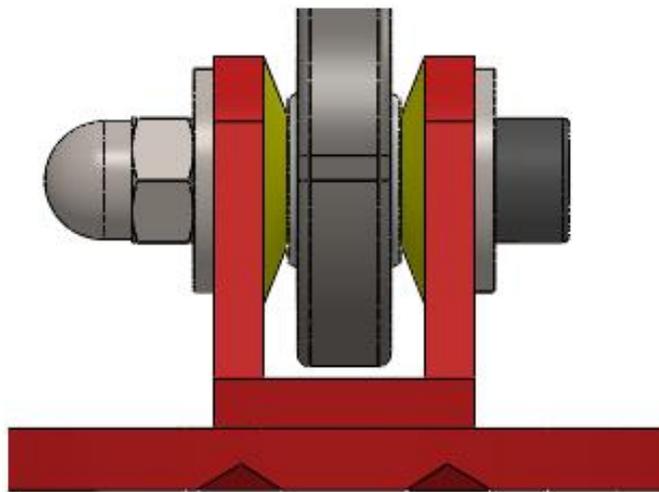
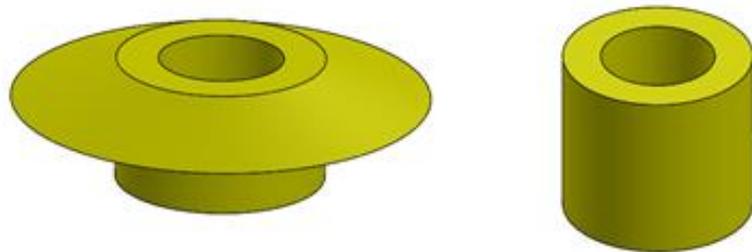


Figura 4.11: Bujes de conexión rotulada.

Para fijar las bases de anclaje al armazón de los marcadores de posición se utilizan golillas planas y tuercas. El conjunto ensamblado se puede observar en la Figura 4.12.

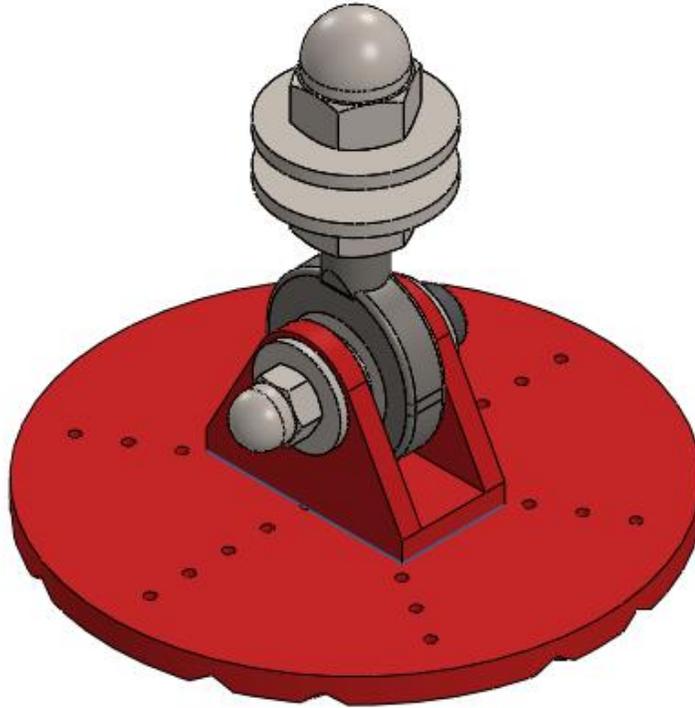


Figura 4.12: Bases de anclaje para los marcadores de posición.

Una vez diseñadas las bases de anclajes se procede a realizar una prueba funcional a escala para determinar la proporción de mezcla de agua y adhesivo a utilizar, y determinar si el adhesivo puede ser aplicado en los discos de anclaje sin desprenderse durante el transporte de los marcadores. Para ello se manufacturan tres discos de ácido poliláctico (PLA) con la forma del disco inferior de las bases de anclaje mediante impresión 3D.

A continuación se procede a preparar tres mezclas de adhesivo con agua en diferentes proporciones, una en proporción de 400 ml de agua por kilogramo de adhesivo, otra en proporción de 300 ml de agua por kilogramo de adhesivo y una en proporción de 200 ml de agua por kilogramo de adhesivo. Luego, a cada uno de los discos se le aplica una de las mezclas de adhesivo y se deja suspendido durante seis minutos con la cara con adhesivo colgando hacia un recipiente de goteo destinado a recibir el adhesivo que se desprenda por gravedad desde disco. Esto permite emular el comportamiento del adhesivo durante el transporte aéreo de los marcadores de posición.

Una vez cumplidos los seis minutos en suspensión, los discos son descolgados y ubicados sobre una superficie cerámica. A continuación se los presiona contra la superficie poniéndoles encima una masa de 500 gramos durante cinco minutos. A continuación se puede observar en la Figura 4.13 una fotografía de los recipientes de goteo y los discos de PLA ensayados para las 3 concentraciones diferentes.



Figura 4.13: Fotografía de los recipientes de goteo y los discos de PLA ensayados para las 3 concentraciones. De izquierda a derecha se encuentran los que corresponden a 400 ml/kg, 300 ml/kg y 200 ml/kg. (Fuente: elaboración propia)

Finalmente, la superficie con los discos pegados se pone en posición vertical hacia el piso y se procede a colgar de cada uno de los discos una masa de 500 gramos, aplicando sobre el adhesivo una fuerza de corte durante un minuto. El resumen de los resultados obtenidos se puede observar en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4: Resultados de pruebas con adhesivos

Proporción	200 [ml/kg]	300 [ml/kg]	400 [ml/kg]
Desprendimiento de adhesivo al estar colgado.	No	Si	Si
Se adhiere luego del periodo en suspensión.	Si	Si	Si

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los resultados obtenidos, la proporción de agua y adhesivo a utilizar en el sistema debiese ser de 200 [ml] de agua por cada kilogramo de adhesivo. Cabe destacar que para el caso de la concentración de 200 [ml/kg] el estriado de la base de PLA y los agujeros de rebalse del mismo permiten una distribución más uniforme del adhesivo, tal como se puede observar en la Figura 4.14

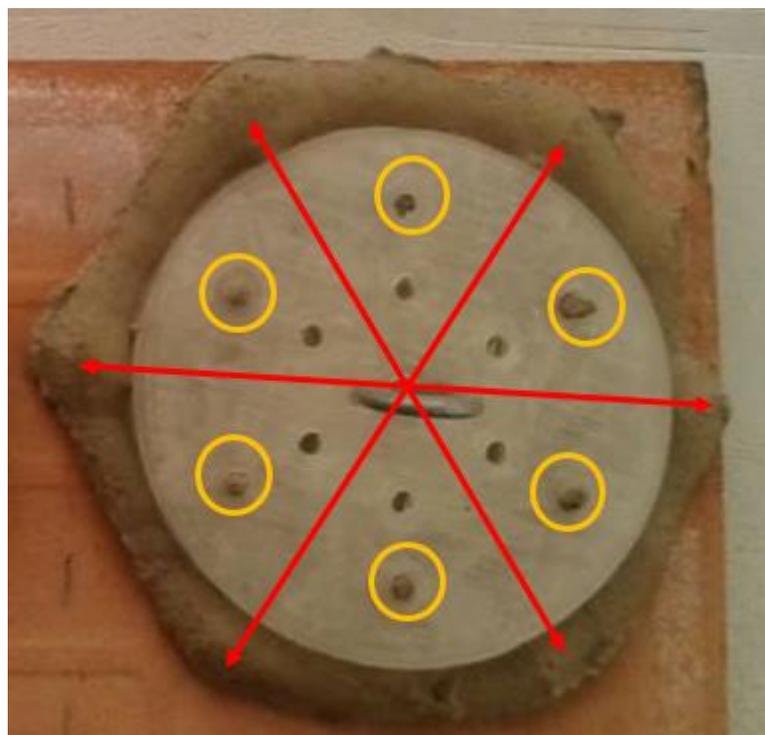


Figura 4.14: Disco ensayado para concentración de 200 ml/kg con una distribución más uniforme del adhesivo.

4.3.6 Carga de diseño

Para evaluar la resistencia estructural de los componentes diseñados se determina una carga de diseño bajo una serie de supuestos. En primer lugar se determina una carga de impacto bajo el supuesto que el marcador de posición cae desde un metro de altura e impacta directamente sobre uno de los vértices de las bases de anclaje. A continuación se supone que la carga por peso propio y la carga aerodinámica que soportan los componentes son mucho menores a la carga de impacto, y no se consideran para un cálculo de esfuerzo combinado.

Por otro lado se supone que la carga de diseño es igual a la carga de impacto traspasada completamente a cada componente del sistema, esto es sin repartir la carga entre los componentes como conjunto.

Para calcular la fuerza de impacto, el proceso consiste en calcular una fuerza de impacto multiplicando la masa del cuerpo por una aceleración media que se obtiene de calcular el cambio de velocidad del cuerpo entre el instante antes y el instante después del impacto, y luego dividirlo por el tiempo total de la interacción del impacto.

Para el caso estudiado, al no tener información previa respecto a la elasticidad del sistema, se opta por utilizar una aproximación de la fuerza de impacto que se usa para dimensionar las barras anti-vuelco de los vehículos solares de carreras [24] que consiste en suponer que la fuerza de impacto es igual a cuatro veces la masa total del cuerpo, multiplicada por la aceleración de

gravedad de la tierra. Esta aproximación tiende a sobreestimar la fuerza de impacto, pero es una aproximación apropiada considerando que es para el diseño de un prototipo sin precedentes en el estado de la técnica. Así, la fuerza de impacto se calcula según la Ecuación 4.1

$$F = 3 * g * m \quad (4.1)$$

Considerando que la masa m de los marcadores de posición esté dentro de los 3 [kg] y considerando una aceleración de gravedad g de 10 [m/s²] la fuerza de impacto calculada es de

$$F = 3 * 10 * 3 \quad (4.2)$$

$$F = 90 \text{ N} \quad (4.3)$$

Luego, considerando el grado de incertidumbre con el que se realizan los cálculos, las aproximaciones realizadas y los supuestos utilizados para los cálculos, se escoge un factor de seguridad de tres. Luego, para los cálculos de esfuerzo en los materiales se considera como parámetro de aceptación el cumplimiento de la Ecuación 4.5

$$F.S. = 3 \quad (4.4)$$

$$\sigma_{Material} \geq \sigma_d * F.S. \quad (4.5)$$

Donde

- σ_d : Esfuerzo de diseño para el componente [MPa]
- $\sigma_{Material}$: Esfuerzo de fluencia para el material [MPa]
- $F.S.$: Factor de seguridad escogido [Adim.]

4.3.7 Diseño del armazón

Teniendo el diseño de las bases de anclaje y del cuerpo de reflectantes se procede a diseñar el armazón de soporte de los marcadores de posición. Considerando que el cuerpo de reflectantes va en la zona superior de la estructura y que cada marcador de posición lleva tres bases de anclaje, se escoge una geometría de pirámide de base triangular para la estructura, en la cual en el vértice superior va montado el cuerpo de reflectantes y en los vértices inferiores se ubican las bases de anclajes.

Para las aristas de la pirámide del armazón se seleccionan tubos de aluminio de diámetro 19 [mm] y de un milímetro de espesor en Aluminio AA1050, por su elevada resistencia específica y baja densidad. Además a diferencia de otros posibles materiales, el aluminio no requiere de recubrimientos adicionales y puede ser maquinado mediante métodos convencionales.

A continuación se evalúa la resistencia de los tubos de aluminio bajo la carga de diseño calculada considerando que el tubo recibe completamente la carga y que las perforaciones para los pernos se comportan como concentradores de esfuerzo. Así, en base a los datos de la Tabla 4.5 se realiza el siguiente cálculo.

Tabla 4.5: Características principales de los tubos de aluminio seleccionados.

Material	Aluminio AA1050
Esfuerzo de fluencia ($\sigma_{Material}$)	60 – 95 [MPa]
Diámetro exterior	19 [mm]
Espesor	1 [mm]
Área transversal	56,55 [mm ²]
Esfuerzo de diseño (σ_d)	1,59 [MPa]
Factor de seguridad (FS)	3
Factor de concentración de esfuerzos (K_C)	3

Fuente: Alacer Mas²⁷.

$$\sigma_{Material} \geq \sigma_d * F.S.* K_C \quad (4.6)$$

$$60 [MPa] \geq 1,59 [MPa] * 3 * 3 \quad (4.7)$$

$$60 [MPa] \geq 14,31 [MPa] \quad (4.8)$$

Como el esfuerzo de diseño calculado, ponderado por el factor de seguridad y el factor de concentración de esfuerzos es menor que el esfuerzo de fluencia del material concluimos que para la carga de diseño determinada, los perfiles de aluminio escogidos solo trabajan dentro del rango elástico del material.

Por otro lado, la esquina superior de la pirámide del armazón se diseña para alojar los tres tubos de las aristas junto con un cuarto tubo que se encarga de soportar el cuerpo de reflectantes. Una imagen de la conexión diseñada para la esquina superior se encuentra en la Figura 4.15.

²⁷ ALACER MAS. Aluminio [en línea]

<http://www.alacermas.com/img/galeria/files/aluminio/chapa_1050_aluminio.pdf> [consulta: 15 de julio de 2017]

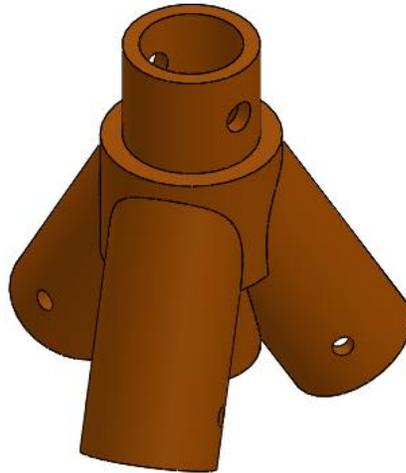


Figura 4.15: Conexión diseñada para la esquina superior del armazón.

A continuación se evalúa la resistencia del vértice superior bajo la carga de diseño calculada considerando que el vértice recibe completamente la carga a través de uno de los anclajes para los tubos de aluminio y que las perforaciones para los pernos se comportan como concentradores de esfuerzo. Así, en base a los datos de la Tabla 4.6 se realiza el siguiente cálculo.

Tabla 4.6: Características principales del anclaje para tubo de aluminio del vértice superior del armazón.

Material	Ácido Poliláctico (PLA)
Esfuerzo de fluencia ($\sigma_{Material}$)	60 – 65 [MPa]
Diámetro exterior	25 [mm]
Espesor	3 [mm]
Área transversal	207,35 [mm ²]
Esfuerzo de diseño (σ_d)	0,43 [MPa]
Factor de seguridad (FS)	3
Factor de concentración de esfuerzos (K_C)	3

Fuente: Plastic Prospector²⁸.

$$\sigma_{Material} \geq \sigma_d * F.S.* K_C \quad (4.9)$$

$$60 [MPa] \geq 0,43 [MPa] * 3 * 3 \quad (4.10)$$

$$60 [MPa] \geq 3,87 [MPa] \quad (4.11)$$

Como el esfuerzo de diseño calculado, ponderado por el factor de seguridad y el factor de concentración de esfuerzos es menor que el esfuerzo de fluencia del material concluimos que para la carga de diseño determinada, la pieza de PLA diseñada solo trabaja dentro del rango elástico del material. Cabe

²⁸ PLASTIC PROSPECTOR. Polylactic Acid (PLA) Typical Properties. [En línea] <<https://plastics.ulprospector.com/generics/34/c/t/polylactic-acid-pla-properties-processing>> [consulta: 15 de julio de 2017]

mencionar que pese al holgado margen de seguridad que tiene esta pieza, no se puede realizar reducciones considerables en la cantidad de material empleado pues se encuentra restringida por consideraciones geométricas constructivas.

Por otro lado, para los vértices inferiores de la pirámide se diseñan piezas que sirvan de unión entre los tubos de las aristas de la pirámide, y para que permitan montar las bases de anclaje en ellos. El diseño realizado para estos vértices se puede observar en la Figura 4.16.

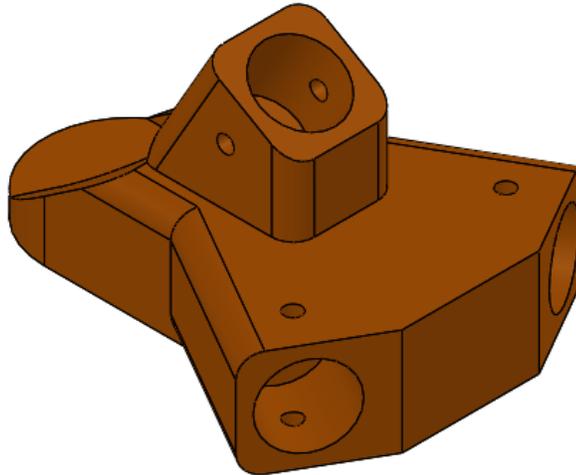


Figura 4.16: Vértices inferiores del armazón.

A continuación se evalúa la resistencia del vértice inferior bajo la carga de diseño calculada considerando que el vértice recibe completamente la carga desde el soporte de la rótula de las bases de anclaje y que la perforación para la misma se comporta como concentrador de esfuerzo. Así, en base a los datos de la Tabla 4.7 se realiza el siguiente cálculo.

Tabla 4.7: Características principales del anclaje para la rótula del vértice inferior del armazón.

Material	Ácido Poliláctico (PLA)
Esfuerzo de fluencia ($\sigma_{Material}$)	60 – 65 [MPa]
Área transversal en zona de rótula	216 [mm ²]
Esfuerzo de diseño (σ_d)	0,41 [MPa]
Factor de seguridad (FS)	3
Factor de concentración de esfuerzos (K_C)	3

Fuente: Plastic Prospector

$$\sigma_{Material} \geq \sigma_d * F.S.* K_C \quad (4.12)$$

$$60 [MPa] \geq 0,41 [MPa] * 3 * 3 \quad (4.13)$$

$$60 [MPa] \geq 3,69 [MPa] \quad (4.14)$$

Como el esfuerzo de diseño calculado, ponderado por el factor de seguridad y el factor de concentración de esfuerzos es menor que el esfuerzo de fluencia del material concluimos que para la carga de diseño determinada, la pieza de PLA diseñada solo trabaja dentro del rango elástico del material. Cabe mencionar que pese al holgado margen de seguridad que tiene esta pieza, no se puede realizar reducciones considerables en la cantidad de material empleado pues se encuentra restringida por consideraciones geométricas constructivas.

Las diferentes piezas del armazón se ensamblan entre ellas y se fijan utilizando pernos M4 con golillas planas y tuercas. Un esquema del armazón ensamblado se puede observar en la Figura 4.17.

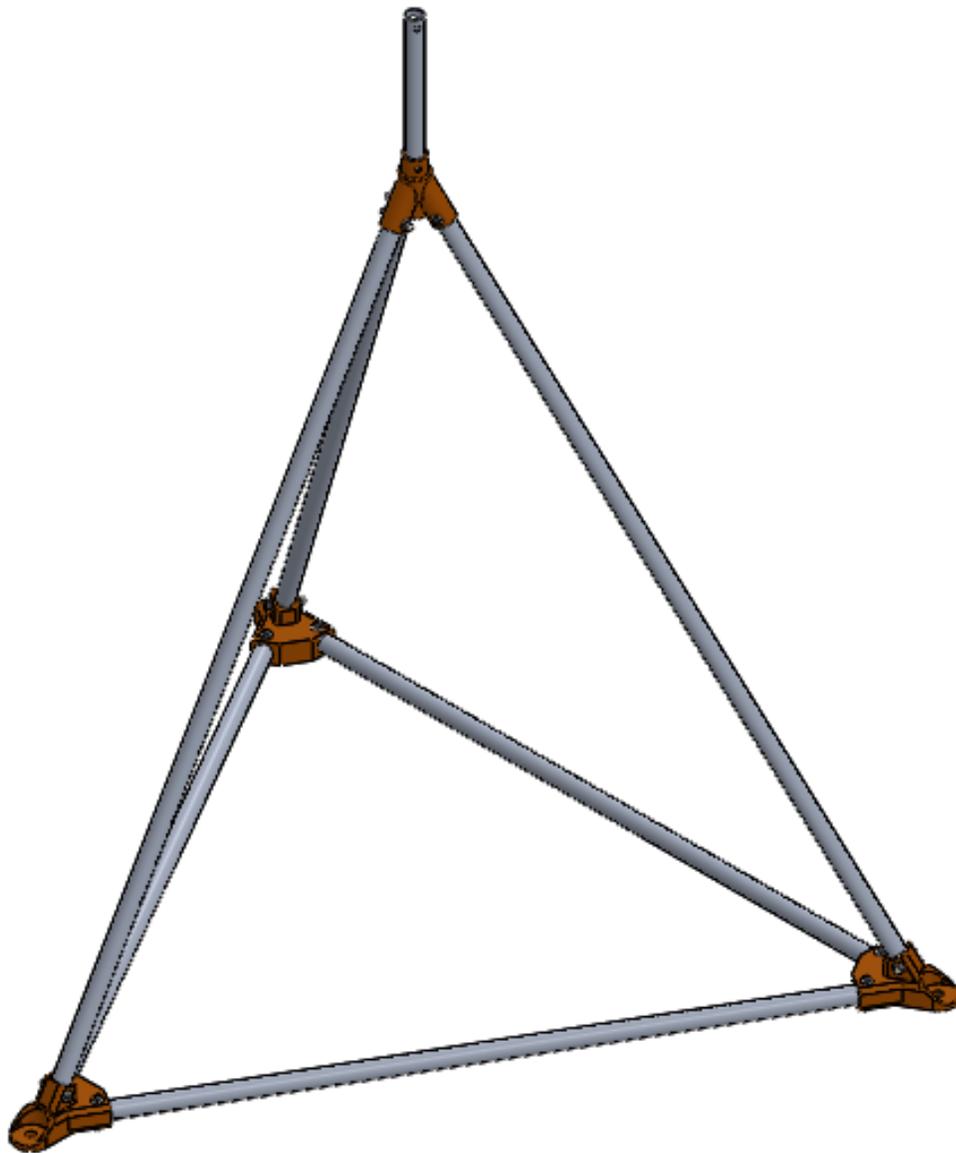


Figura 4.17: Imagen del armazón ensamblado.

4.3.8 Marcadores de posición

Los marcadores de posición se arman al ensamblar sus subcomponentes, una imagen de un marcador de posición ensamblado se puede observar en la Figura 4.18.

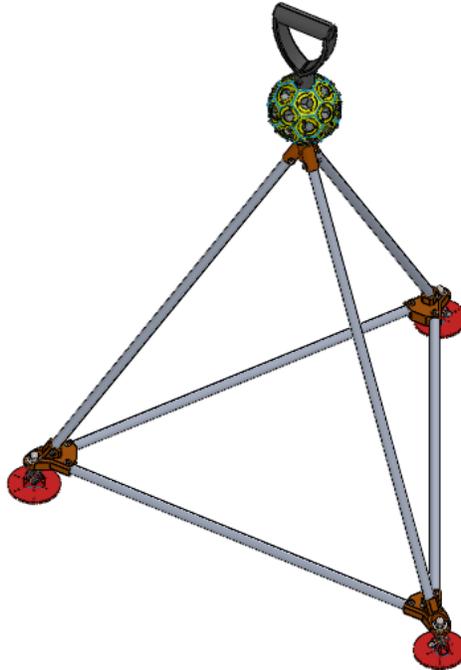


Figura 4.18: Marcador de posición ensamblado.

4.3.9 Diseño del mecanismo de desacople

Para realizar el transporte de los marcadores de posición se selecciona una garra mecánica comercial de la empresa Red Hawk. Una fotografía de este componente se presenta en la Figura 4.19.



Figura 4.19: Garra mecánica Red Hawk²⁹.

²⁹ ALI EXPRESS. Store: Products [en línea] <<https://es.aliexpress.com/store/product/DIY-Robot-Claw-Robot-Gripper-Holder-Gripper-Manipulator-Mechanical-Claw-Arm-For-DIY-Robot-Parts-LDX/>> [consulta: 8 de junio de 2017]

Para el accionamiento de la garra mecánica seleccionada, se escoge de entre los servomotores compatibles al servomotor JX PDI-6221MG que posee un torque máximo de 20 [kg/cm]. Una imagen de dicho servomotor con sus accesorios se puede observar en la Figura 4.20. Las especificaciones técnicas del servomotor seleccionado se encuentran en el Anexo G.



Figura 4.20: Servomotor JX PDI-6221MG.³⁰

Para sostener la garra mecánica en el UAV, se escogen mosquetones de escalada unidos mediante un cable de acero recubierto en PVC de 3 [mm] de diámetro. La conexión entre los componentes se realiza mediante placas de soporte que se pueden observar en la Figura 4.21.

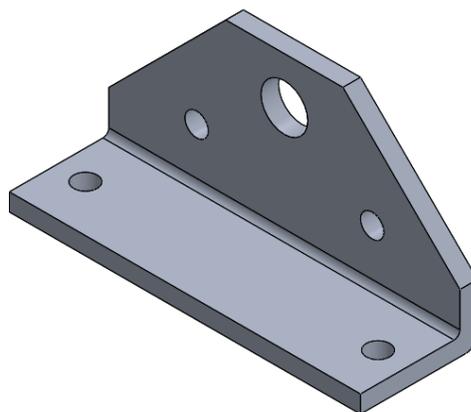


Figura 4.21: Placas de soporte para la garra mecánica.

³⁰ BANG GOOD. Tienda: piezas de avión RC. [en línea] <<https://www.banggood.com/es/JX-PDI-6221MG-20KG-Large-Torque-Digital-Coreless-Servo-For-RC-Model-p-973947.html>> [consulta: 8 de junio de 2017]

A continuación se evalúa la resistencia de la pieza de aluminio bajo una carga de diseño, considerando que la única carga es el peso de los componentes sostenidos por esta pieza. Así la fuerza aplicada se calcula como

$$P = g * m \quad (4.15)$$

Considerando que la masa m de los marcadores de posición esté dentro de los 3 [kg] y considerando una aceleración de gravedad g de 10 [m/s²] la fuerza de calculada es de

$$P = 3 * 10 \quad (4.16)$$

$$P = 30 \text{ N} \quad (4.17)$$

Empleando los valores de la Tabla 4.8 se calcula el esfuerzo de diseño

Tabla 4.8: Características principales del aluminio seleccionado.

Material	Aluminio AA1050
Esfuerzo de fluencia ($\sigma_{Material}$)	60 – 95 [MPa]
Área transversal	54 [mm ²]
Esfuerzo de diseño (σ_d)	0,55 [MPa]
Factor de seguridad (FS)	3
Factor de concentración de esfuerzos (K_C)	3

Fuente: Alacer Mas

$$\sigma_{Material} \geq \sigma_d * F.S.* K_C \quad (4.18)$$

$$60 \text{ [MPa]} \geq 0,55 \text{ [MPa]} * 3 * 3 \quad (4.19)$$

$$60 \text{ [MPa]} \geq 4,95 \text{ [MPa]} \quad (4.20)$$

Como el esfuerzo de diseño calculado, ponderado por el factor de seguridad y el factor de concentración de esfuerzos es menor que el esfuerzo de fluencia del material concluimos que para la carga de diseño determinada, las piezas diseñadas solo trabajan dentro del rango elástico del material.

4.3.10 Componentes de sistema de visión auxiliar.

Para poder realizar el reconocimiento aéreo de la zona antes de posicionar los marcadores de posición, y para tener visión del proceso de descarga de los marcadores se incorpora un sistema de visión auxiliar mediante una cámara de video instalada en la parte inferior del UAV.

La cámara a utilizar debe ser una cámara para UAVs, de pequeñas dimensiones y bajo peso. Para ello se selecciona la cámara para drones SN555 SONY® 550TVL capaz de realizar videos a color con un lente de 3,6 [mm], y que presenta un peso total de 29 [g]. Sus especificaciones técnicas se pueden observar en el Anexo C, mientras que una fotografía de la cámara escogida se puede observar en la Figura 4.22.



Figura 4.22: Cámara de video para drones SN555 SONY® 550TVL.³¹

Por otro lado, para transmitir el video grabado por la cámara se selecciona un transmisor de video para drones compatible con la cámara escogida. El transmisor seleccionado es el T1013-PRO que presenta un peso total de 16 [g]. Sus especificaciones técnicas se pueden observar en el Anexo D, mientras que una fotografía del transmisor escogido se puede observar en la Figura 4.23.



Figura 4.23: Transmisor de video T1013-PRO.³²

³¹ HOBBY WIRELESS. *Products: Mini cameras* [en línea] <http://hobbywireless.com/mini-fpv-cameras-c-179_122_6/sn555-sony-550tvl-12v-high-resolution-camera-ntsc-p-12.html> [consulta: 10 de junio de 2017]

³² HOBBY WIRELESS. *Products: Video transmitters only* [en línea] <http://hobbywireless.com/12-13-ghz-transmitters-c-179_117_165_113/t1013pro-1213-ghz-051w-fpv-transmitter-international-version-p-3520.html> [consulta: 10 de junio de 2017]

Luego, para recibir la señal de video se selecciona un receptor compatible con el transmisor. El receptor escogido es el Receptor Estándar R12 - 900 MHZ - 1300 MHZ, con salida de video RCA. Sus especificaciones técnicas se pueden observar en el Anexo E, mientras que una fotografía del transmisor escogido se puede observar en la Figura 4.24.



Figura 4.24: Receptor Estándar R12 - 900 MHZ - 1300 MHZ.³³

Finalmente, para mostrar la señal de video recibida al usuario se selecciona una pantalla con entrada de video RCA compatible. La pantalla seleccionada corresponde a la pantalla 4.3" FPV TFT. Sus especificaciones técnicas se pueden observar en el Anexo F, mientras que una fotografía de la pantalla seleccionada se puede observar en la Figura 4.25.



Figura 4.25: Pantalla de video 4.3" FPV TFT.³⁴

³³ HOBBY WIRELESS. *Products: Video receivers only* [en línea] <http://hobbywireless.com/12-13-ghz-receivers-c-179_117_160_162/r12-900-mhz-1300-mhz-12-channel-standard-receiver-p-4387.html> [consulta: 10 de junio de 2017]

³⁴ HOBBY WIRELESS. *Products: Video Monitors* [en línea] <http://hobbywireless.com/video-monitors-c-179_52_66/43-fpv-tft-display-monitor-p-2296.html> [consulta: 10 de junio de 2017]

4.3.11 Cálculo de masa a transportar por el UAV

Para determinar la masa a transportar se suman los pesos de los componentes individuales de cada subsistema. Las masas calculadas por cada subsistema se presentan en las tablas a continuación.

Tabla 4.9: Masas de los componentes del cuerpo de reflectantes.

Cuerpo de reflectantes			
Componente	Masa [g]	Cantidad	Masa total [g]
Prisma reflectante	8,0	30	240,0
Cuerpo de reflectantes	90,0	1	90,0
Tapa de prisma	1,8	30	54,0
Manilla de transporte	168,0	1	168,0
Perno DIN 912 M3x5 [mm]	0,7	90	63,0
Perno DIN 912 M6x40 [mm]	11,0	2	22,0
Tuerca DIN1587 M6	4,6	2	9,2
Total			646,2

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.10: Masas de los componentes del armazón.

Armazón			
Componente	Masa [g]	Cantidad	Masa total [g]
Vértice superior	14,0	1	14,0
Vértice de base	24,6	3	73,8
Tubo arista de base	118,0	3	354,0
Tubo arista de elevación	142,0	3	426,0
Mástil de reflectantes	39,0	1	39,0
Perno DIN 912 M6x30 [mm]	8,3	9	74,7
Golilla plana M6	2,8	18	50,4
Tuerca DIN1587 M6	4,6	9	41,4
Total			1073,3

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.11: Masas de los componentes de las bases de anclaje.

Bases de anclaje			
Componente	Masa [g]	Cantidad	Masa total [g]
Disco de anclaje	10,6	3	31,8
Espaciador de articulación	0,6	6	3,6
Buje de rótula	0,5	3	1,5
Rótula SKF SA 10C	48,4	3	145,2
Perno DIN 912 M6x30 [mm]	8,3	3	24,9
Golilla plana M6	2,8	6	16,8
Tuerca DIN1587 M6	4,6	3	13,8
Golilla plana M10	12,2	6	73,2
Tuerca DIN934 M10	11,6	3	34,8
Tuerca DIN1587 M10	20,1	3	60,3
Adhesivo	50,0	3	150,0
Total			555,9

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.12: Masa total de un marcador de posición.

Masa total de un marcador de posición	
Subconjunto	Masa [g]
Cuerpo de reflectantes	646,2
Armazón	1073,3
Bases de anclaje	555,9
Total	2275,4

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se repite el proceso de cálculo para los otros subsistemas a montar en el UAV.

Tabla 4.13: Masa total del mecanismo de desacople.

Mecanismo de desacople			
Componente	Masa [g]	Cantidad	Masa total [g]
Garra mecánica	123,0	1	123,0
Servomotor PDI-6221MG	62,0	1	62,0
Soporte de garra	18,7	4	74,8
Alambre de soporte	120,0	1	80,0
Mosquetón de anclaje	62,0	2	124,0
Total			463,8

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.14: Masa total de los componentes a montar en la placa adaptadora.

Conjunto de placa adaptadora			
Componente	Masa [g]	Cantidad	Masa total [g]
Cámara	10,6	3	31,8
Transmisor de video	0,6	6	3,6
Controlador	9,0	1	9,0
Placa adaptadora	300,0	1	300,0
Total			344,4

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.15: Masa total de los componentes a montar en el UAV.

Masa total de componentes a montar en el UAV	
Subconjunto	Masa [g]
Mecanismo de desacople	463,8
Conjunto de placa adaptadora	344,4
Total	808,2

Fuente: Elaboración propia.

4.3.12 Selección del UAV

Considerando que los subsistemas y componentes a instalar en el UAV pesan 0,808 kilogramos y que cada marcador de posición a transportar pesa 2,275 kilogramos, se requiere de un UAV capaz de transportar al menos 3,083 kilogramos.

Se escoge como UAV de transporte al dron DJI S1000. Éste es un UAV de 4,2 [kg] con peso máximo de despegue de 11 [kg], por lo que puede transportar

cargas de hasta 6,8 [kg]³⁵. Una fotografía del UAV seleccionado se puede observar en la Figura 4.26, mientras que sus características técnicas completas se pueden observar en el Anexo H.



Figura 4.26: Fotografía del dron DJI S1000.³⁶

4.3.13 Diseño de placa adaptadora para UAV

Con el UAV seleccionado se procede a diseñar la placa adaptadora para el montaje de los componentes en el UAV. Para ello se considera una placa de aluminio con perforaciones de anclaje compatibles con los soportes de carga del dron DJI S1000. A continuación se procede a incluir los componentes del sistema de visión auxiliar y el soporte de anclaje para el mecanismo de desacople. Una imagen de la maqueta digital diseñada para estos componentes se puede observar en la Figura 4.27.

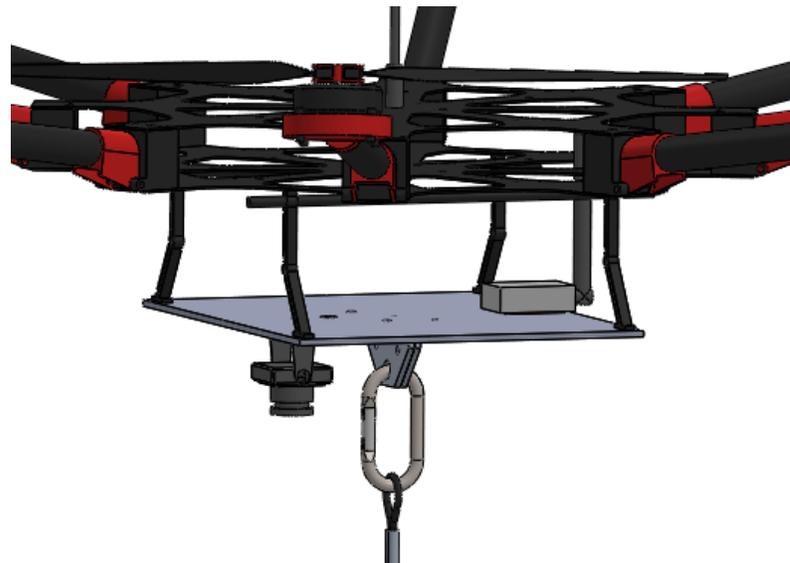


Figura 4.27: Maqueta digital de la placa adaptadora para el UAV DJI S1000.

³⁵ DJI Drones: Spread wings S1000+ specs [en línea] <<https://www.dji.com/spreading-wings-s1000/spec>> [consulta: 9 de junio de 2017]

³⁶ DJI. Drones: Spread wings S1000+ [en línea] <<https://www.dji.com/spreading-wings-s1000>> [consulta: 15 de diciembre de 2016]

4.3.14 Maqueta digital 3D

Teniendo definidos e identificados los componentes del sistema se elabora una maqueta digital 3D del dron de transporte con el sistema de descarga y un marcador de posición. Una imagen de esta maqueta se presenta en la Figura 4.28.



Figura 4.28: Maqueta digital 3D de un marcador de posición cargado en el dron de transporte.

5 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El sistema de monitoreo diseñado tiene un error de medición de 1 [mm] cuando la distancia entre la estación total y el marcador de posición es de 500 [m]. Sin embargo, este error se comporta como una desviación estándar, por lo que al realizar un gran número de mediciones desde diferentes puntos el error final disminuye. Este error también disminuye al reducir la distancia entre el marcador de posición y la estación total. Bajo estas condiciones es posible afirmar que se cumplieron con los objetivos planteados para este trabajo de titulación.

Los marcadores de posición diseñados pueden ser observados desde los 360° azimutales (horizontales) y desde los 30° a los 150° cenitales (verticales), además de poder ser instalados de forma remota.

Cada marcador de posición diseñado, junto con los sistemas adicionales a montar en el UAV para realizar las labores de transporte y reconocimiento de zona tienen un peso total del orden de los 3 [kg], mientras que el UAV seleccionado tiene una capacidad de carga de despegue de 6,8 [kg] por sobre su propio peso.

La proporción de agua y adhesivo a utilizar con el mortero cementicio seleccionado debe ser de 200 [ml] de agua por cada kilogramo de adhesivo. Sin embargo, este resultado no resulta concluyente debido al bajo número de pruebas realizadas, así como también porque la superficie de prueba no corresponde con rocas expuestas a la intemperie. Esta proporción permite que al menos el adhesivo no se desprenda durante el vuelo del UAV.

Los componentes diseñados para ser manufacturados en PLA mediante impresión 3D pueden ser modificados para posteriormente ser manufacturados en otros materiales y con otros procesos de fabricación.

Antes de realizar pruebas completas con el sistema se recomienda realizar pruebas parciales, determinando en primera instancia la capacidad real de los marcadores de posición de mantenerse anclados a una superficie rocosa, y a continuación evaluando la precisión de las mediciones obtenidas por el sistema, ya que estos son los dos aspectos claves en el desarrollo tecnológico realizado.

El sistema diseñado permitiría realizar mediciones geodésicas puntuales mediante métodos no disponibles con anterioridad, utilizando equipo de alta disponibilidad y bajo precio.

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] WYLLIE, Duncan, MAH, Christopher, HOEK Evert, BRAY John. Rock slope engineering: civil and mining. 4th ed. New York, Spon Press, 2005. P.1-43
- [2] SERNAGEOMIN, Accidentabilidad Minera 2014, Gobierno de Chile, 2015.
- [3] BUSTOS, G. Cátedra: Topografía II, Universidad Nacional de San Juan, San Juan, Argentina. 17 nov 2015.
- [4] THYER, NORMAN. Double Theodolite Pibal Evaluation by Computer, Journal of Applied Meteorology and Climatology, American Meteorological Society, Mar 1962. p 66-68
- [5] BRAUNECKER, B, GAECHTER, B, FRITZ, M. Measuring device for determining relative position between two items, USPTO, US 4715714 A, 30 Dic 1983.
- [6] COMISION NACIONAL DE RIEGO, Manual de procedimientos geodésicos y topográficos, Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile, abr 2014
- [7] LEICA GEOSYSTEMS AG. Leica FlexLine TS02/TS06/TS09 Manual de Empleo, Versión en español 2.0. Heerbrugg, Suiza. 2014
- [8] MAO, J. NINDL, D. Surveying Reflectors White Paper. Leica Geosystems AG. Heerbrugg, Suiza. Mar 2009
- [9] YODER, P. VUCOBRATOVICH, D. Opto-Mechanical Systems Design, Fourth Edition, Volume 1: Design and Analysis of Opto-Mechanical Assemblies. CRC Press. Boca Ratón, Estados Unidos. Mar 19, 2015 P435-436.
- [10] GEOTRONIC, Product Bulletin Trimble 360 Prisms Summary. Nov 2014
- [11] GRAHAM, E. Reflector for radar purposes, USPTO, US 2763000 A, 16 Oct 1952.
- [12] ROCKWOOD, C. Reflective radar target, USPTO, US 3039093 A, 31 May 1956.
- [13] BERG, M. Omni-directional radar and electro-optical multiple corner retro reflectors, USPTO, US 4551726 A, 30 Jul 1982.

- [14] DRNDARSKI, M. Universal reflector of electromagnetic waves mounted on a float, USPTO, US 4416509 A, 26 May 1980.
- [15] HARRIES, N. NOON, D. Slope stability radar for managing rock fall risks in open cut mines. Large Open Pit Mining Conference, Perth, Australia. 11 sept 2007.
- [16] NOON, D. Slope stability radar for monitoring mine walls. Proceedings Mining Risk Management Conference, pp 595-603. Melbourne, Australia. 2003.
- [17] CAHILL, J, LEE M. Ground control at Leinster Nickel Operations. Proceedings International Symposium on Stability of Rock Slopes in Open Pit Mining and Civil Engineering, pp 321-334. Cape Towns, Sudafrica. 2005.
- [18] SERNAGEOMIN, Atlas de Faenas Mineras: Regiones de Antofagasta y de Atacama (Versión Actualizada). Mapas y Estadísticas de Faenas Mineras de Chile N°7. Santiago, Chile. 2011.
- [19] FORMACRET, Catálogo de productos Formacret Edición 2014. San Luis Potosi, Mexico. Mar 2014
- [20] International Civil Aviation Organization. Cir 328 AN/190 Unmanned Aircraft Systems (UAS), 2011
- [21] ASADI, Aaron "et al". Drones: the complete manual. Bournemouth, Imagine Publishing Ltd, 2016.
- [22] AMAZON Technologies Inc, Unmanned aerial vehicle delivery system, USPTO, AS US20150120094 A1, 26 oct 2013.
- [23] MIELNICZEK, Witold, Propulsion system for a vehicle or a toy vehicle, European Patent Office EP, WO2013182708 A1, 7 jun 2013
- [24] WORLD SOLAR CHALLENGE. 2011 Technical Regulation. International Solarcar Federation Roll Bar Specifications, Apendix A, 2006.

Anexo A:

Hoja de datos de estación total Leica Nova TS60

Leica Nova TS60

Data sheet



Engaging software

The Leica Nova TS60 total station comes with the revolutionary Captivate software, turning complex data into the most realistic and workable 3D models. With easy-to-use apps and familiar touch technology, all forms of measured and design data can be viewed in all dimensions. Leica Captivate spans industries and applications with little more than a simple swipe, regardless of whether you work with GNSS, total stations or both.



Infinitely bridging the field to the office

While Leica Captivate captures and models data in the field, Leica Infinity processes the information back in the office. A smooth data transfer ensures the project stays on track. Leica Captivate and Leica Infinity work in conjunction to join previous survey data and edit projects faster and more efficiently.

ACC»

Customer care is only a click away

Through Active Customer Care (ACC), a global network of experienced professionals is only a click away to expertly guide you through any problem. Eliminate delays with superior technical service, finish jobs faster with excellent consultancy support, and avoid costly site revisits with online service to send and receive data directly from the field. Control your costs with a tailored Customer Care Package, giving you peace of mind you're covered anywhere, anytime.

Leica Nova TS60 Total Station

ANGLE MEASUREMENT

Accuracy ¹ Hz and V	Absolute, continuous, quadruple	0.5" (0.15 mgon)
--------------------------------	---------------------------------	------------------

DISTANCE MEASUREMENT

Range ²	Prism (GPR1, GPH1P) ³ Non-Prism / Any surface ⁴	1.5m to 3500m 1.5m to >1000m
Accuracy / Measurement time	Single (prism) ^{2,5} Single (any surface) ^{2,4,5,6}	0.6mm + 1ppm / typically 2.4s 2mm + 2ppm / typically 3s
Laser dot size	At 50m	8mm x 20mm
Measurement technology	System analyser	Coaxial, visible red laser

IMAGING

Overview and telescope camera	Sensor Field of view (overview / telescope) Frame rate	5 megapixel CMOS sensor 19.4° / 1.5° Up to 20 frames per second
-------------------------------	--	---

MOTORISATION

Direct drives based on Piezo technology	Rotation speed Time to change face	Maximum 200 gon (180°) / s Typically 2.9s
---	---------------------------------------	--

AUTOMATIC AIMING - ATRplus

Target aiming range ² / Target locking range ²	Circular prism (GPR1, GPH1P) 360° prism (GRZ4, GRZ122)	1500m / 1000m 1000m / 1000m
Accuracy ^{1,2} / Measurement time	ATR angle accuracy Hz, V	0.5" (0.15 mgon) / typically 3–4s

POWERSEARCH

Range / Search time	360° prism (GRZ4, GRZ122)	300m / typically 5s
---------------------	---------------------------	---------------------

GUIDE LIGHT (EGL)

Working range / Accuracy		5–150m / typically 5cm @ 100m
--------------------------	--	-------------------------------

GENERAL

Field software	Leica Captivate with apps	
Processor	TI OMAP4430 1GHz Dual-core ARM® Cortex™-A9 MPCore™	Operating system - Windows EC7
Autofocus telescope	Magnification / Focus range	30 x / 1.7m to infinity
Display and keyboard	5" (inch), WVGA, colour, touch, both faces	37 keys, illumination
Operation	3x Endless drives, 1x Servofocus drive, 2x Autofocus keys, User-definable SmartKey	
Power management	Exchangeable Lithium-Ion battery with internal charging capability	Operating time 7–9 h
Data storage	Internal memory Memory card	2 GB SD card 1 GB or 8 GB
Interfaces	RS232, USB, Bluetooth®, WLAN	
Weight	Total station including battery	7.7kg
Environmental specifications	Working temperature range Dust & Water (IEC 60529) / Blowing rain Humidity	-20°C to +50°C IP65 / MIL-STD-810G, Method 506.5-I 95%, non-condensing

¹ Standard deviation ISO 17123-3

² Overcast, no haze, visibility about 40 km, no heat shimmer

³ 1.5m to 2000m for 360° prisms (GRZ4, GRZ122)

⁴ Object in shade, sky overcast, Kodak Gray Card (90% reflective)

⁵ Standard deviation ISO 17123-4

⁶ Distance > 500m: Accuracy 4mm+2ppm, Measurement time typ. 6 s

The Bluetooth® trademarks are owned by Bluetooth SIG, Inc.

Laser radiation, avoid direct eye exposure. Class 3R laser product in accordance with IEC 60825-1:2014.

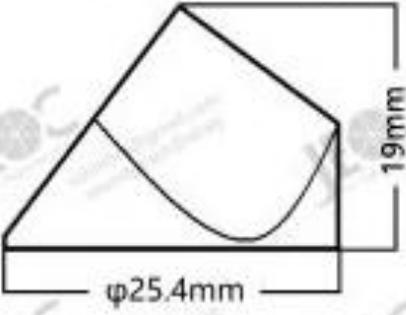
Illustrations, descriptions and technical data are not binding. All rights reserved.

Printed in Switzerland - Copyright Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland, 2015.

836439en - 05.15 - INT.

Anexo B:

Especificaciones técnicas de prisma reflectante JEOC 1"

Part Number	Coating and Accuracy	Dimension
50pcs of 1inch Corner Cube Produced by 	Silver Coated 5 Arcsec	



Material: BK-7 Optical Glass

Surface Quality: 60/40

Angle Tolerance: 5 arcsec

Flatness: 1/8 lambda

Model Number: 25.4mm

Shape: Circle

Dimension Tolerance: 0.2mm

Anexo C:

Especificaciones técnicas de cámara SN555 SONY® 550TVL



****SN555 SONY® 550TVL 12V HIGH RESOLUTION CAMERA (NTSC)**

Product SKU: 0012-142

Specifications:

Model:	12-54
Signal format:	NTSC
Image sensor:	Sony 1/3" High Res CCD
Total pixels:	811(H) × 508(V), 410K
Effective pixels:	768(H) × 494(V), 380K
Horizontal resolution:	550 TV line
Electronic shutter:	1/60 ~ 1/100,000sec
S/N ratio:	More than 45 dB (AGC OFF)
Sensitivity:	0.1 Lux
Video output:	1 [Vp-p] Composite 75Ω unbalanced
Power Requirement:	DC12V (±10%)
Current Consumption:	90mA or less
Dimensions:	30 x 30mm
Operating temperature:	-10 ? ~ +45 ?
Storage temperature:	-20 ? ~ +60 ?
Weight:	29 Grams (1 ounce)

Anexo D:

Especificaciones técnicas del transmisor de video T1013-PRO



T1013-PRO 1.2-1.3 GHZ 0.5-1W FPV TRANSMITTER (INTERNATIONAL VERSION)

Product SKU: 3520-24

Brand: ElectrifyRC

Features:

- 500/1000mW RF output power
- (7) User-selectable channels
- 1.3 GHz frequency band
- Works with any camera PAL or NTSC
- Digital Phase-Lock-Loop circuit no drifting problem
- Works with any of our receivers
- Audio and Video cable with RCA adapter
- Highly integrated circuit
- High reliability/linearity/AlGaAs/GaAs FET amplifier module
- Uses digital phase-lock-loop circuit without temperature drifting problem
- Weight: 16g (transmitter only)

Specifications:

- Output power 50-ohm load CH1 Vcc = 12V: 30dBm (1000mW)
- Nominal output impedance: 50 ohms
- Operating voltage: Vcc, 10.5V (minimum), 12V (typical), 13V (maximum)
- Supply current Vcc = 12V: 350mA (typical), 400mA (maximum)
- Video input voltage 75-ohm impedance: 1Vp-p
- Audio input voltage 10k ohm impedance: 1Vp-p
- Sub carrier frequency: 5.5MHz
- Operation temperature: -10 to 40 degrees Celsius
- Storage temperature: -40 to 80 degrees Celsius
- Operating humidity: 20 to 80%
- Storage humidity: 10 to 80%
- Dimensions and weight: 37 x 27 x 12.25mm, 0.21oz (16g) (without antenna)

Anexo E:

Especificaciones técnicas del receptor de video estándar R12



***R12 - 900 MHZ - 1300 MHZ 12 CHANNEL STANDARD RECEIVER**

Product SKU: 0952-22

Frequency of each channel:

Channel 0: 910 MHz (0.910 GHz)
Channel 1: 980 MHz (0.980 GHz)
Channel 2: 1010 MHz (1.010 GHz)
Channel 3: 1040 MHz (1.040 GHz)
Channel 4: 1080 MHz (1.080 GHz)
Channel 5: 1120 MHz (1.120 GHz)
Channel 6: 1160 MHz (1.160 GHz)
Channel 7: 1200 MHz (1.20 GHz)
Channel 8: 1240 MHz (1.240 GHz)
Channel 9: 1280 MHz (1.280 GHz)
Channel H: 1320 MHz (1.320 GHz)
Channel C: 1360 MHz (1.360 GHz)
Channel D: 1258 MHz (1.258 GHz)

Features:

- DC 12V operating voltage
- 230mA power consumption
- Typical Sensitivity -85dBm
- 910 MHz - 1360 MHz Ghz frequency band
- 12 Selectable channels
- Detachable SMA Omini antenna

Anexo F:

Especificaciones técnicas del monitor FPV TFT



4.3" FPV TFT DISPLAY MONITOR

Product SKU: 2296-131

Use this 4.3 inch 16x9 monitor anywhere size is a concern. Adjustments are easily made using the onscreen menus. The screen tilts forward/back and left/right and is attached to a swivel type base. This monitor does not have a tripod mount.

Specifications:

Screen Size: 4.3 inches(4: 3/16: 9) TFT Screen

Resolution: 480(H) x RGB x 272(V)

Model: PAL/NTSC (Automatic switching)

Power Supply: DC 12V

Power Consumption: 3W max

Operating Temperature:-10 to +50C

Storage Temperature:-30 to 70C

Dimensions:108 x 82x 15mm

Weight:165g

What's Included:

1 xLCD TFT 3.5" Monitor with AV cable

1 xPower Cable

Anexo G:

Especificaciones técnicas del servomotor JX PDI-6221MG

JX Servo - PDI 6221MG

Description:

Brand: JX Servo

Item: PDI-6221MG

Angle: 120 degree

Operating Frequency: 1520 μ s/330hz

Operating Speed: (4.8V) 0.18 sec/60°

Operating Speed: (6.0V) 0.16 sec/60°

Stall Torque: (4.8V) 17.25 kg.cm (239.55oz/in)

Stall Torque: (6.0V) 20.32 kg-cm (281.89 oz/in)

Dimensions: 40.5X20.2X38mm

Weight: 62g

Connector Wire Length: JR 265mm

Bearing: 2BB

Gear: 25T (Futaba apply universally)

Feature:

High-performance standard digital servo

high-precision metal gear

CNC aluminous mesochite

Dual ball bearing

Anexo H:

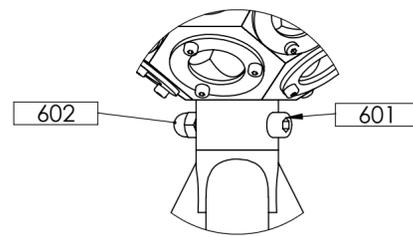
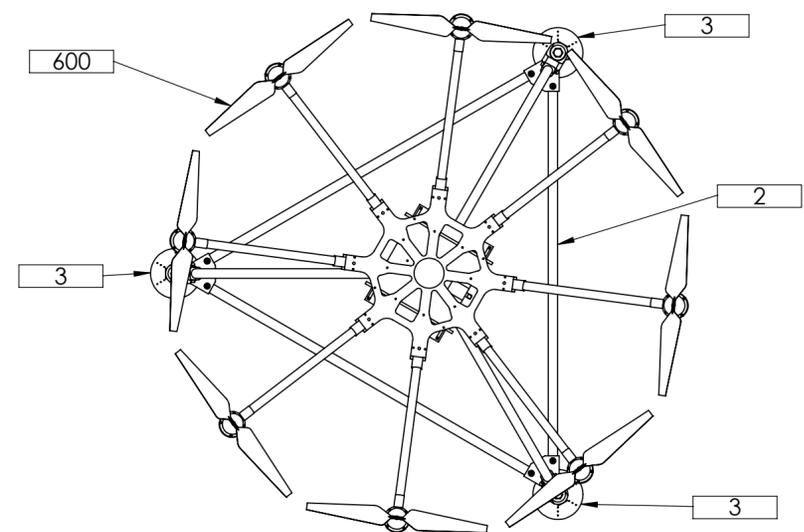
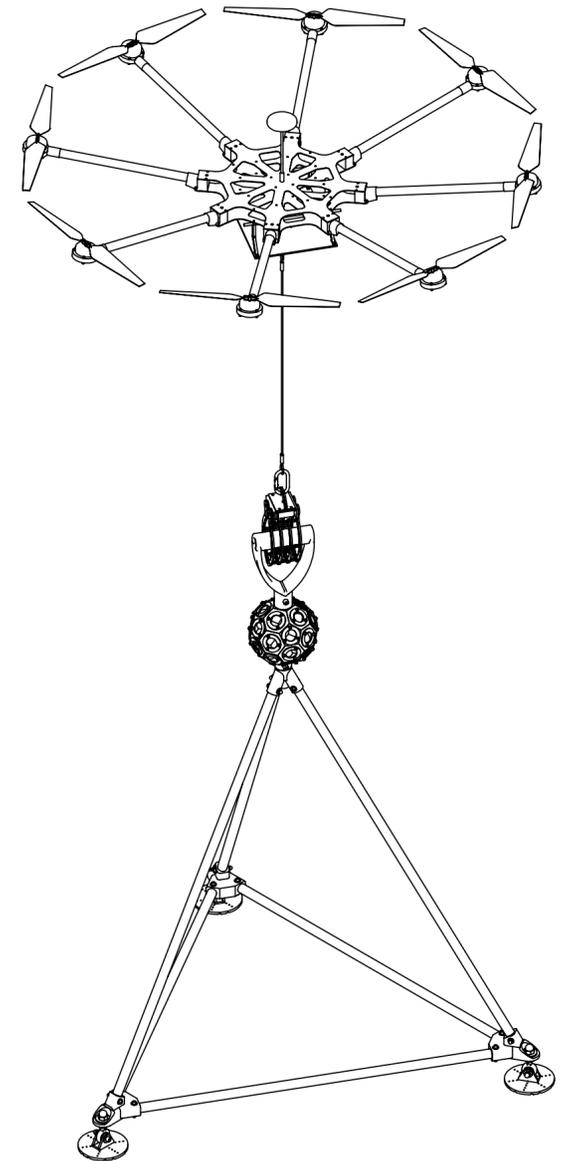
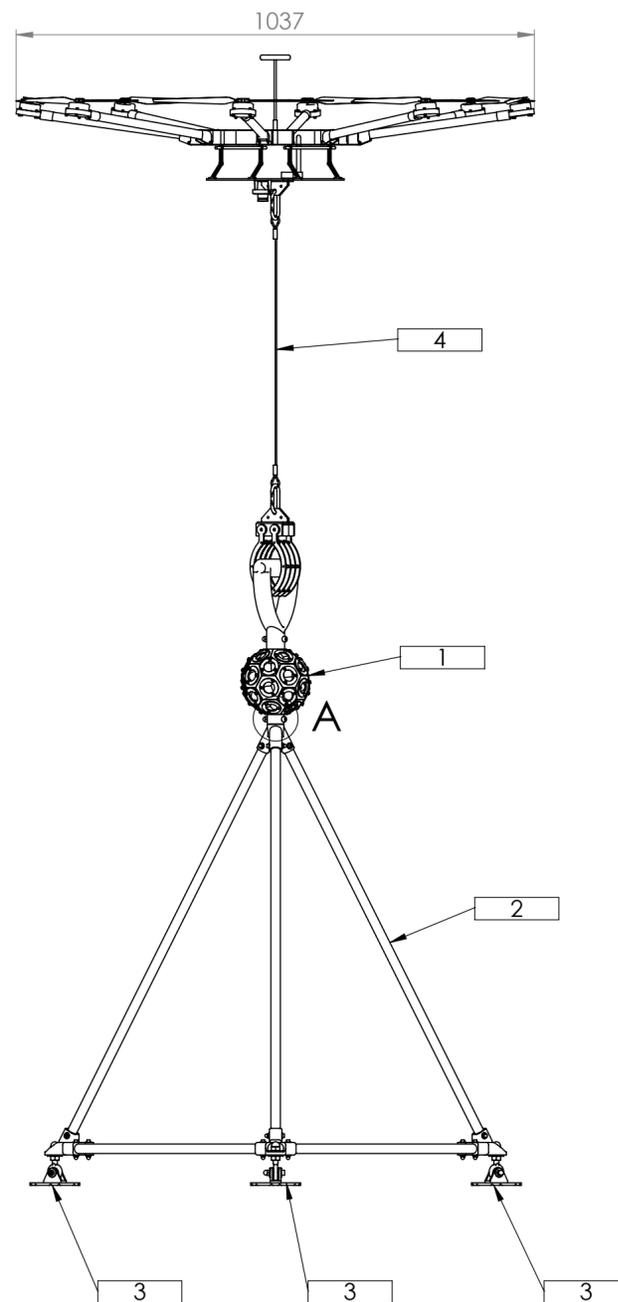
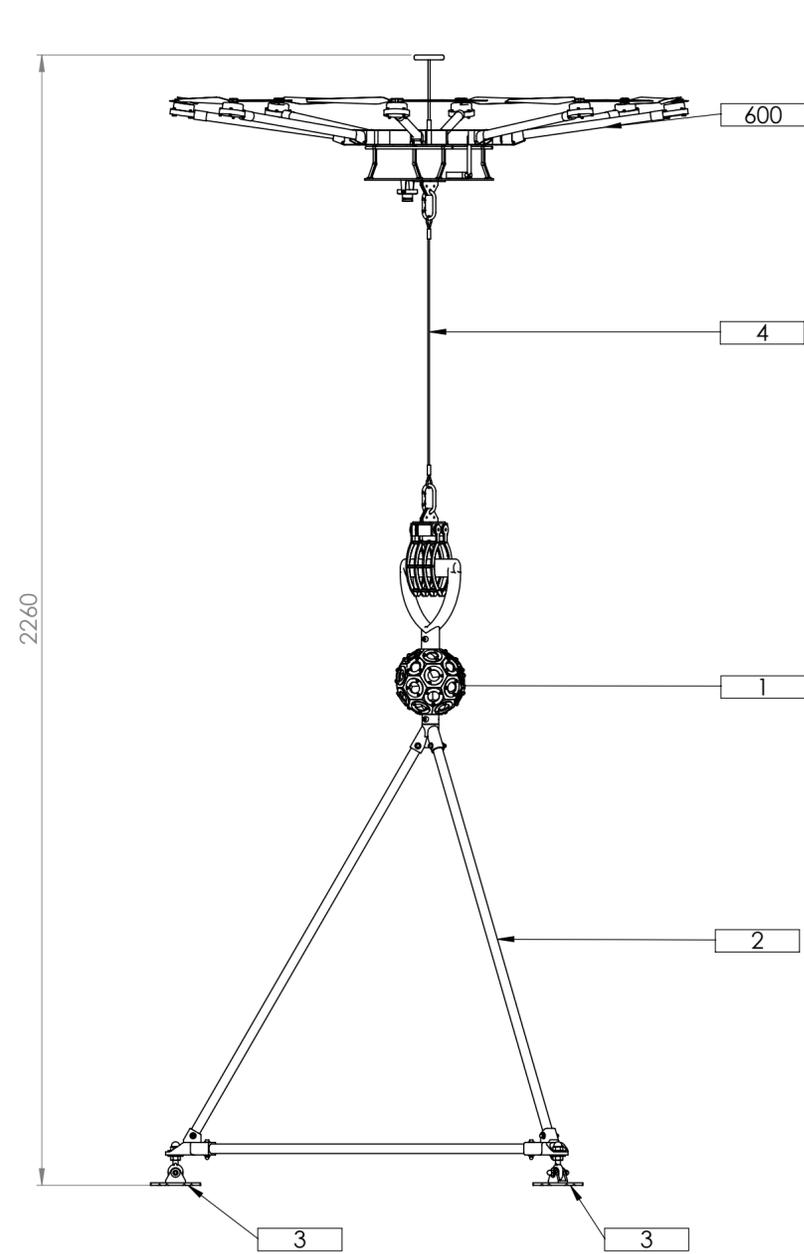
Especificaciones técnicas del dron DJI S1000

Specifications

Frame	
Diagonal Wheelbase	1045mm
Frame Arm Length	386mm
Frame Arm Weight (with Motor, ESC, Propeller)	325g
Center Frame Diameter	337.5mm
Center Frame Weight (with Landing Gear Mounting Base, Servos)	1330g
Landing Gear Size	460mm(Length)×511mm(Width)×305mm(Height) (Top width: 155 mm)
Motor	
Stator Size	41×14mm
kV	400rpm/V
Max Power	500W
Weight (with Cooling Fan)	158g
ESC	
Working Current	40A
Working Voltage	6S LiPo
Signal Frequency	30Hz - 450Hz
Drive PWM Frequency	8KHz
Weight (with Radiators)	35g
Foldable Propeller (1552/1552R)	
Material	High strength performance engineered plastics
Size	15×5.2inch
Weight	13g
Flight Parameters	
Takeoff Weight	6.0Kg - 11.0Kg
Total Weight	4.2Kg
Power Battery	LiPo (6S, 10000mAh-20000mAh, 15C(Min))
Max Power Consumption	4000W
Hovering Power Consumption	1500W (@9.5Kg Takeoff Weight)
Hovering Time	15min (@15000mAh& 9.5Kg Takeoff Weight)
Working Environment Temperature	-10 °C - +40 °C

Anexo I:

Planos

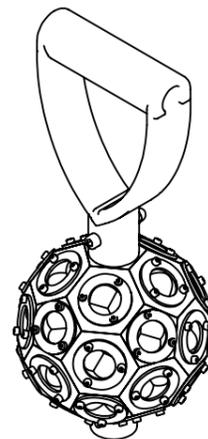
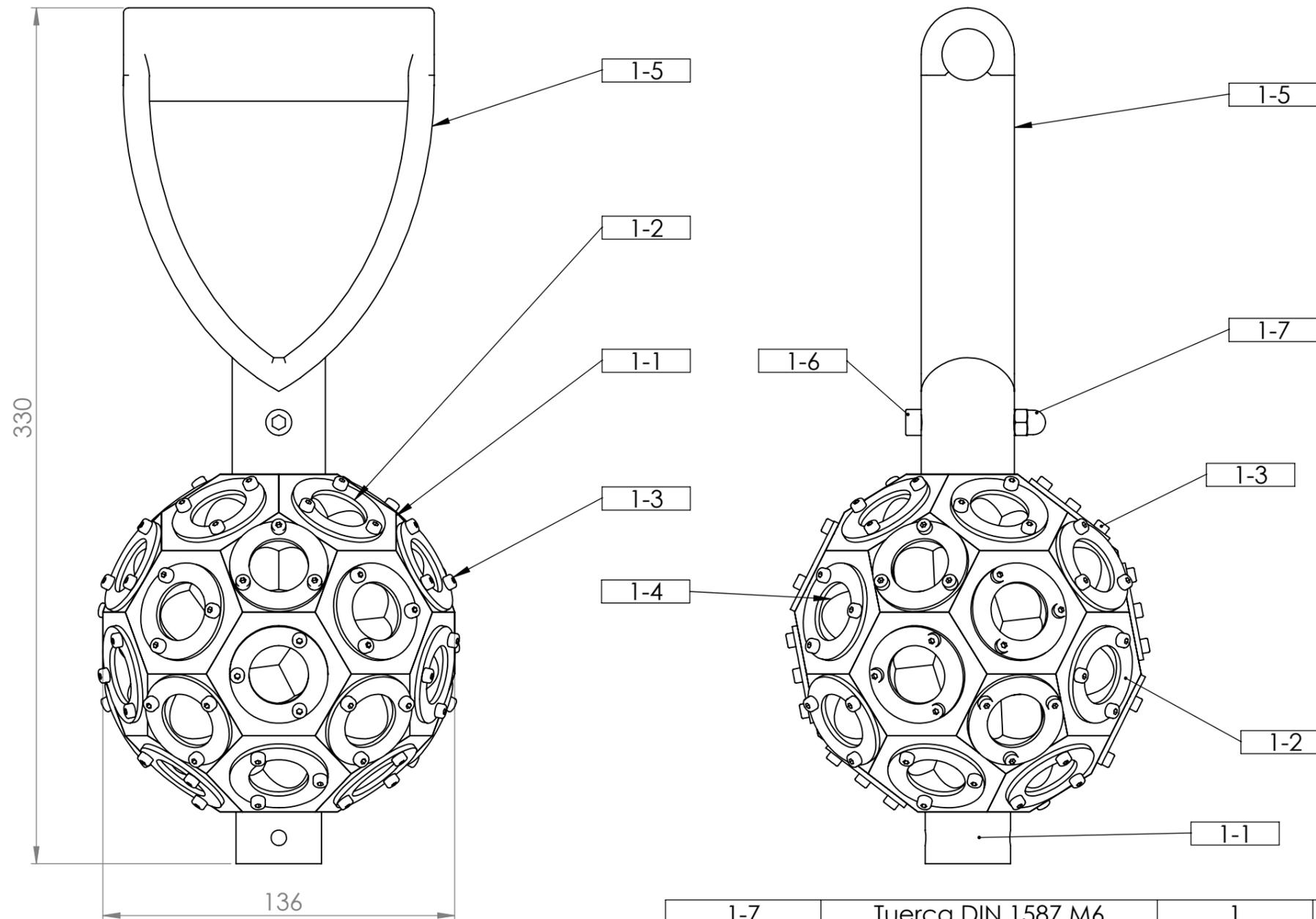


DETALLE A
ESCALA 1 : 2

602	Tuerca DIN 1587 M6	Comercial
601	Perno DIN 912 M6 x 40 mm	Comercial
4	Sistema de Carga	Plano n° 104
3	Sistema de Anclaje	Plano n° 103
2	Armazón	Plano n° 102
1	Cuerpo de Reflectantes	Plano n° 101
600	UAV de Transporte	UAV DJI S1000
N°	Designacion	Referencia

Departamento de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
Universidad de Chile

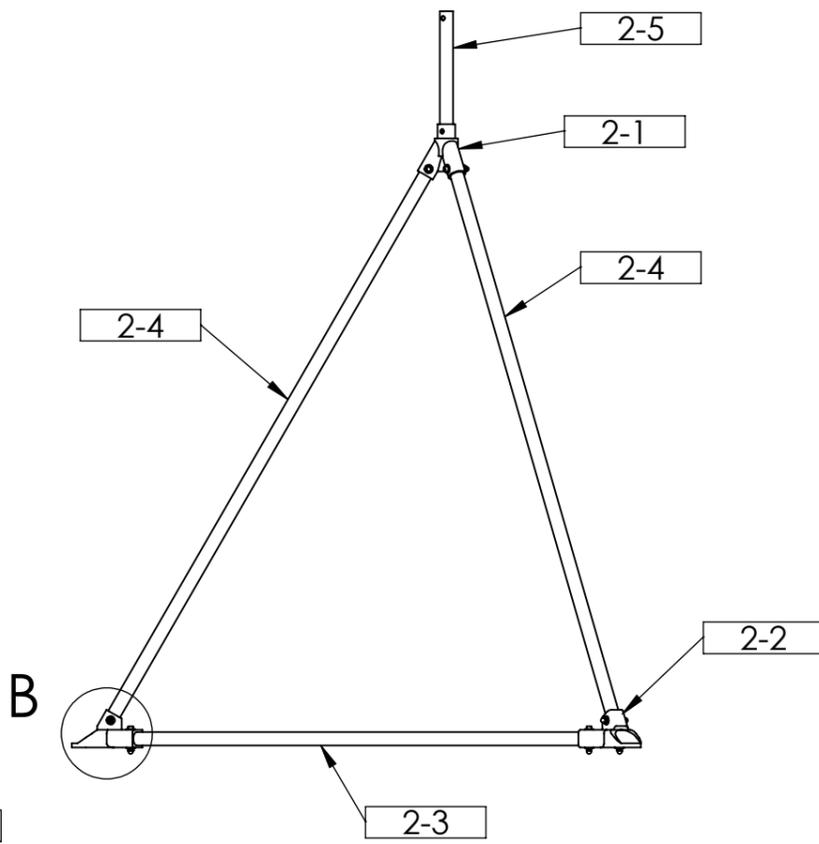
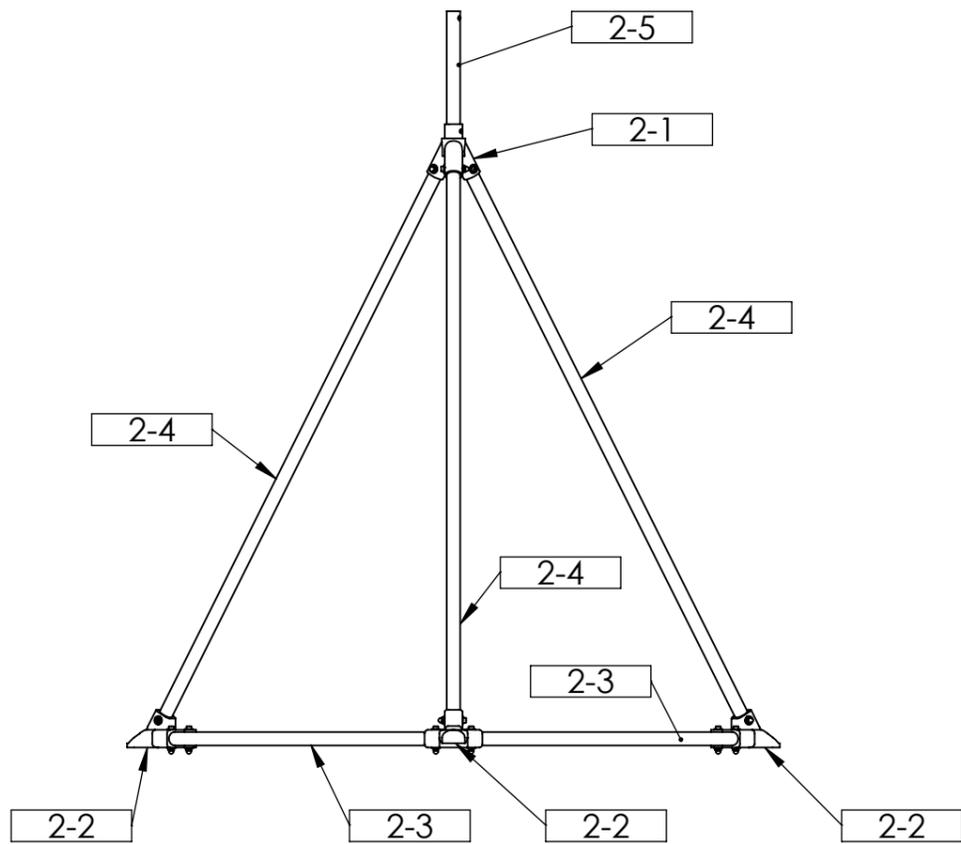
DIBUJ.		NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:
DIBUJ.		FERNANDO ZAMBRANO V.		28/08/2017	Plano de Conjunto
VERIF.		FERNANDO ZAMBRANO V.		28/08/2017	
APROB.		ROBERTO CORVALÁN P.		28/08/2017	
A2	ESCALA:	1:10	N.º DE PLANO:		100
					REVISIÓN
					0



1-7	Tuerca DIN 1587 M6	1	Comercial
1-6	Perno DIN 912 M6 x 40 mm	1	Comercial
1-5	Manilla de Pala Tramontina	1	Comercial
1-4	Prisma Reflectante 1"	30	Comercial
1-3	Perno DIN 912 M3 x 5 mm	90	Comercial
1-2	Tapa de Prisma	30	Plano n° 202
1-1	Cuerpo de Reflectantes	1	Plano n° 201
N°	Designacion	Cantidad	Referencia

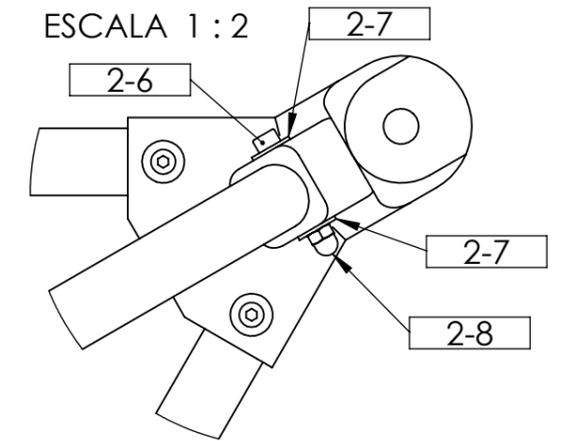
Departamento de Ingeniería Mecánica
 Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
 Universidad de Chile

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
DIBUJ.	FERNANDO ZAMBRANO V.		28/08/2017	Subconjunto Cuerpo de Reflectantes	
VERIF.	FERNANDO ZAMBRANO V.		28/08/2017		
APROB.	ROBERTO CORVALÁN P.		28/08/2017		
A3	ESCALA:	1:2	N.º DE PLANO:	101	REVISIÓN: 0



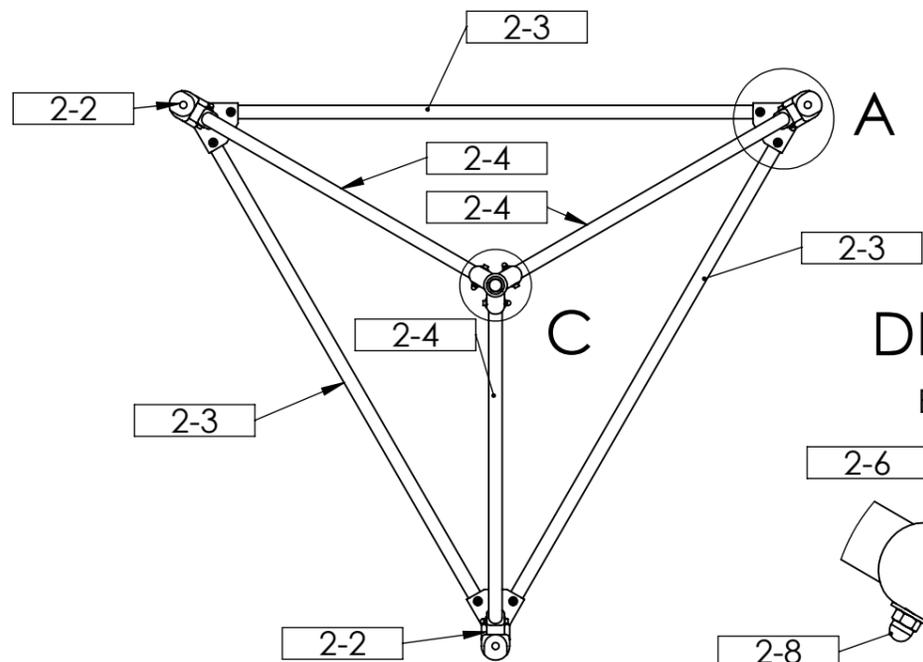
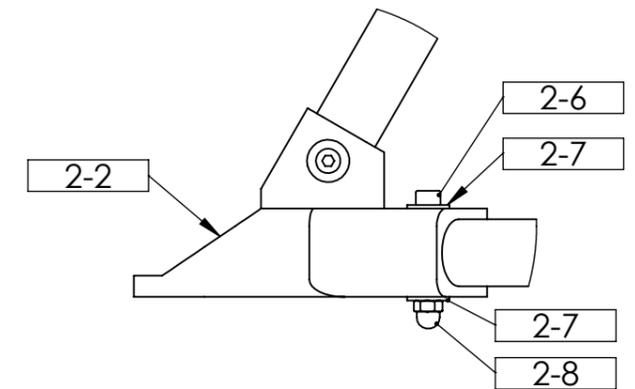
DETALLE A

ESCALA 1 : 2



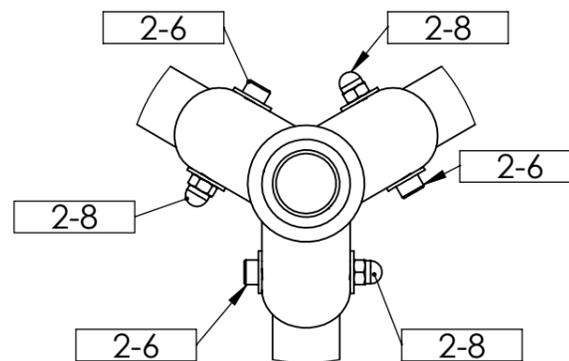
DETALLE B

ESCALA 1 : 2



DETALLE C

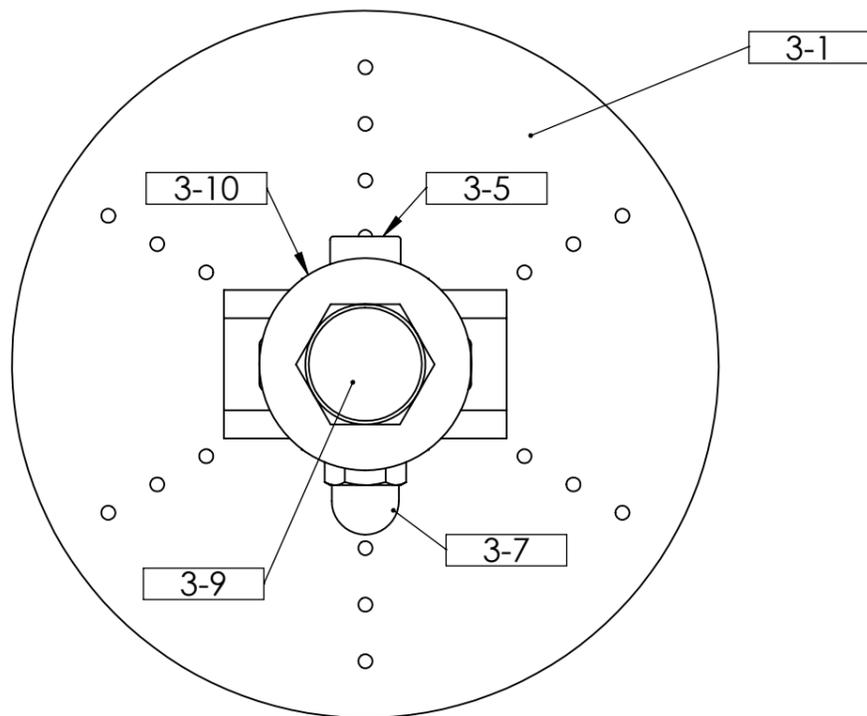
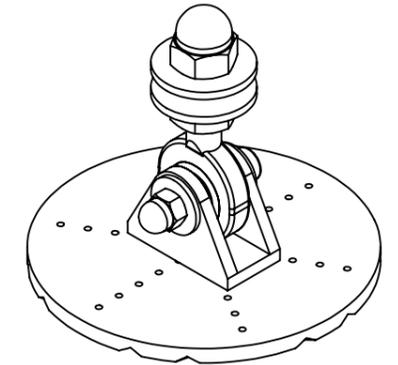
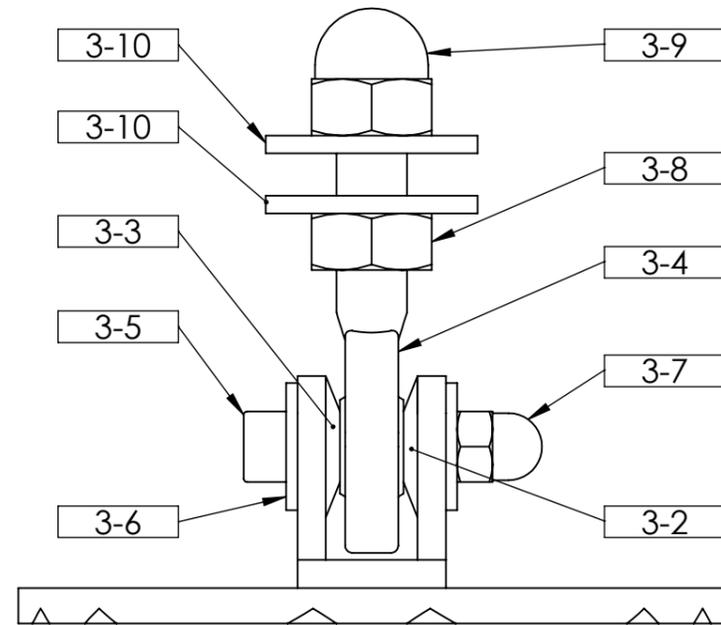
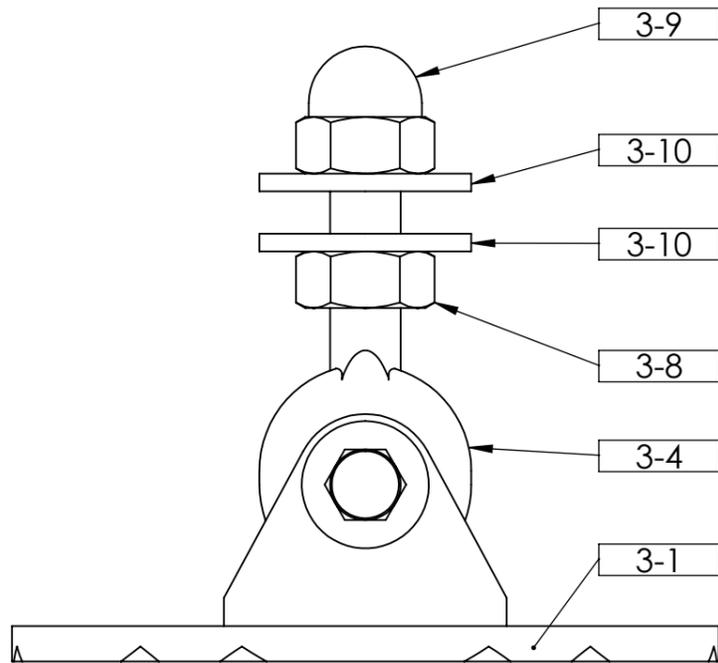
ESCALA 1 : 2



2-8	Tuerca DIN 1587 M4	12	Comercial
2-7	Golilla DIN 125A M4	24	Comercial
2-6	Perno DIN 912 M4 x 30 mm	12	Comercial
2-5	Mástil de Reflectantes	1	Plano n° 205
2-4	Tubo de Lado	3	Plano n° 205
2-3	Tubo de Base	3	Plano n° 205
2-2	Vértice de Base	3	Plano n° 204
2-1	Vértice Superior	1	Plano n° 203
N°	Designacion	Cantidad	Referencia

Departamento de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
Universidad de Chile

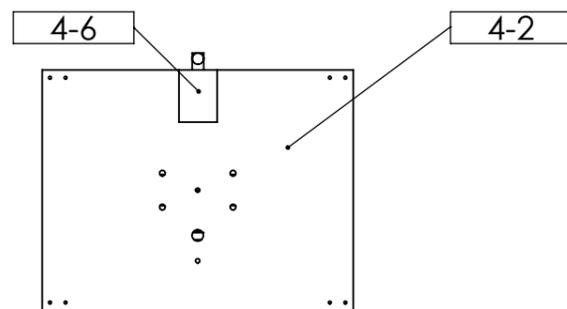
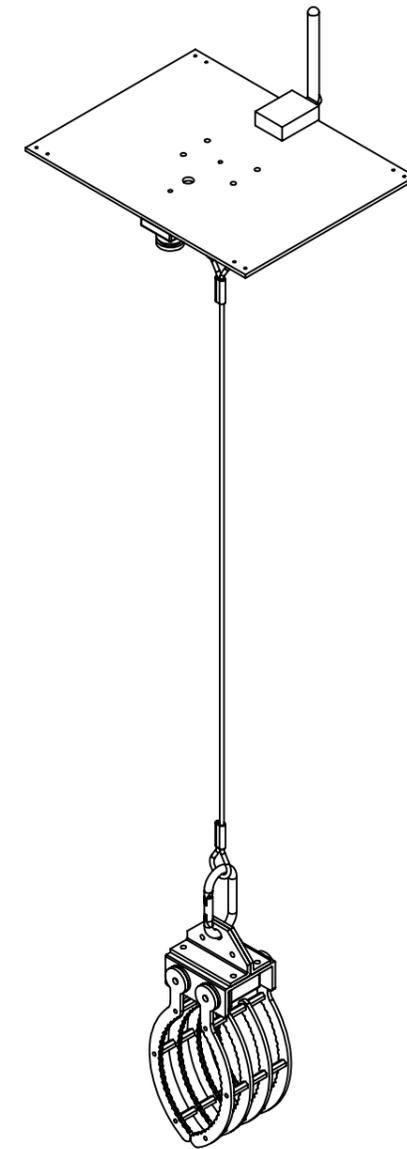
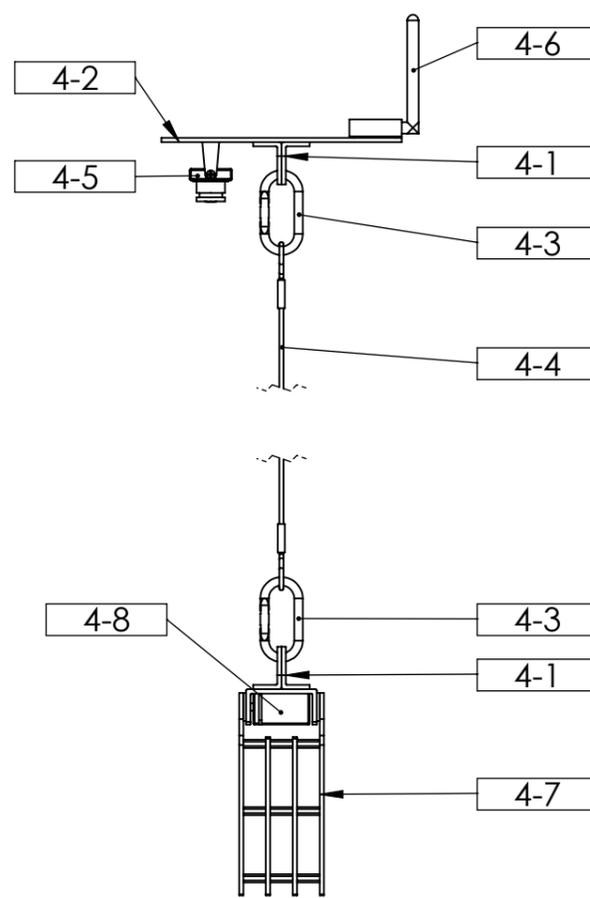
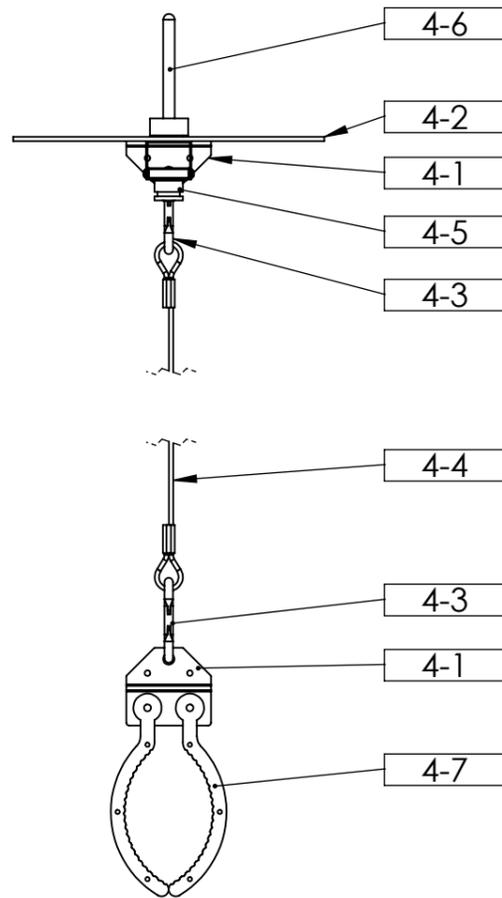
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
DIBUJ.	FERNANDO ZAMBRANO V.		28/08/2017	Subconjunto de Armazón	
VERIF.	FERNANDO ZAMBRANO V.		28/08/2017		
APROB.	ROBERTO CORVALÁN P.		28/08/2017		
A3	ESCALA:	1:10	N.º DE PLANO:	102	REVISIÓN: 0



3-10	Golilla DIN 125A M10	6	Comercial
3-9	Tuerca DIN 1587 M10	3	Comercial
3-8	Tuerca DIN 934 M10	3	Comercial
3-7	Tuerca DIN 1587 M6	3	Comercial
3-6	Golilla DIN 125A M6	6	Comercial
3-5	Perno DIN 912 M6 x 30 mm	3	Comercial
3-4	Rótula SKF SA 10C	3	Comercial
3-3	Buje Angular	3	Plano n° 207
3-2	Buje de Rótula	3	Plano n° 207
3-1	Base de Anclaje	3	Plano n° 206
N°	Designacion	Cantidad	Referencia

Departamento de Ingeniería Mecánica
 Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
 Universidad de Chile

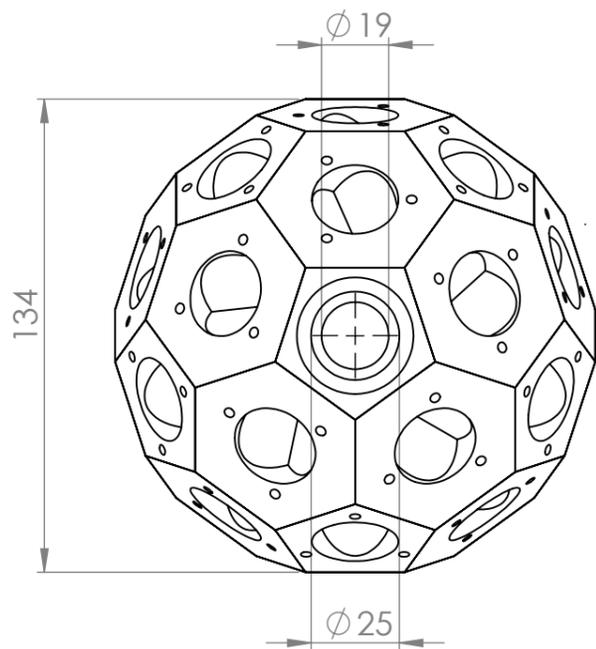
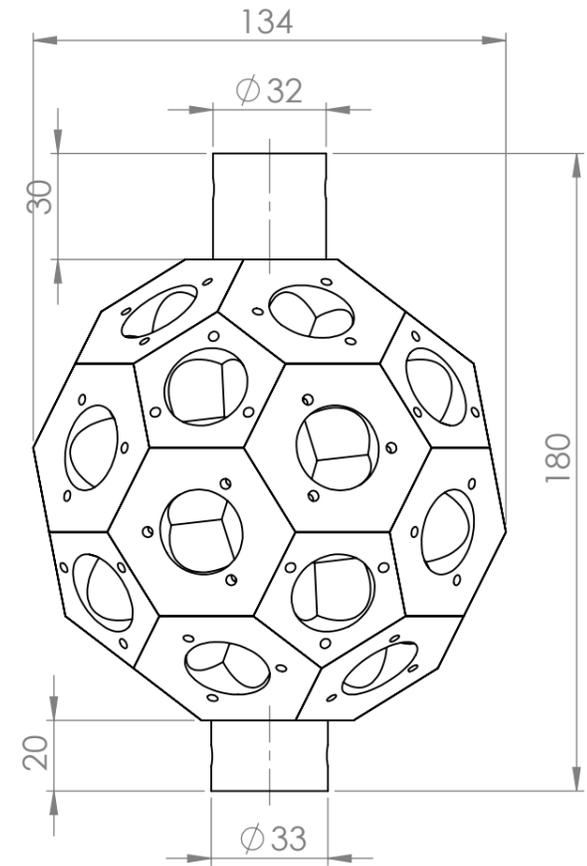
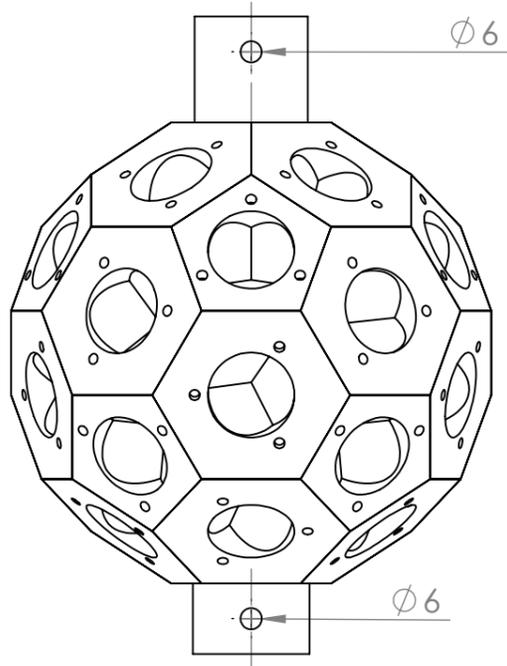
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:	<h1>Subconjunto Sistema de Anclaje</h1>
DIBUJ.	FERNANDO ZAMBRANO V.		28/08/2017		
VERIF.	FERNANDO ZAMBRANO V.		28/08/2017		
APROB.	ROBERTO CORVALÁN P.		28/08/2017		
A3	ESCALA:	1:1		N.º DE PLANO:	103
				REVISIÓN:	0



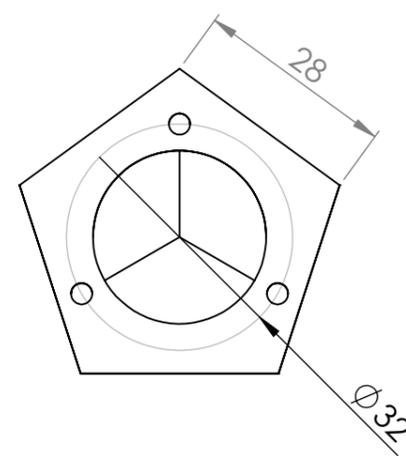
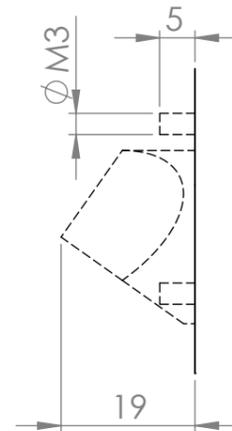
4-8	Servomotor JX PDI-6221MG	1	Comercial
4-7	Garra Red Hawk 5 Kg	1	Comercial
4-6	Transmisor T1013-PRO	1	Comercial
4-5	Cámara Sony 55YVL	1	Comercial
4-4	Piola Acero-PVC 3mm x 1m	1	Comercial
4-3	Mosquetón Escalada 60 Kg	2	Comercial
4-2	Placa Adaptadora	1	Plano n° 202
4-1	Soporte de Anclaje	4	Plano n° 201
N°	Designacion	Cantidad	Referencia

Departamento de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
Universidad de Chile

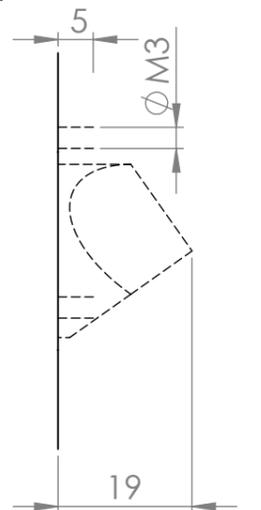
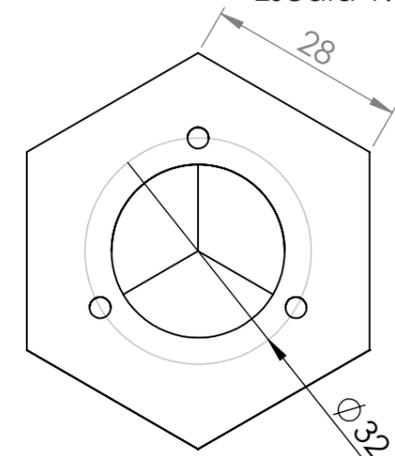
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:	Subconjunto Sistema de Transporte
DIBUJ.	FERNANDO ZAMBRANO V.		28/08/2017		
VERIF.	FERNANDO ZAMBRANO V.		28/08/2017		
APROB.	ROBERTO CORVALÁN P.		28/08/2017		
A3	ESCALA:	1:5		N.º DE PLANO:	104
				REVISIÓN:	0



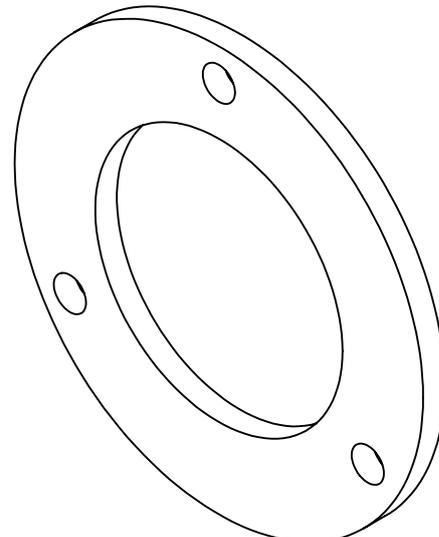
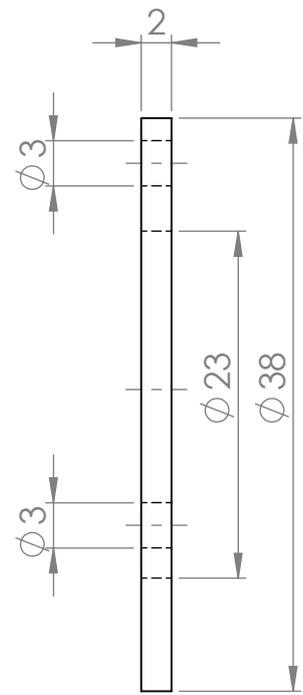
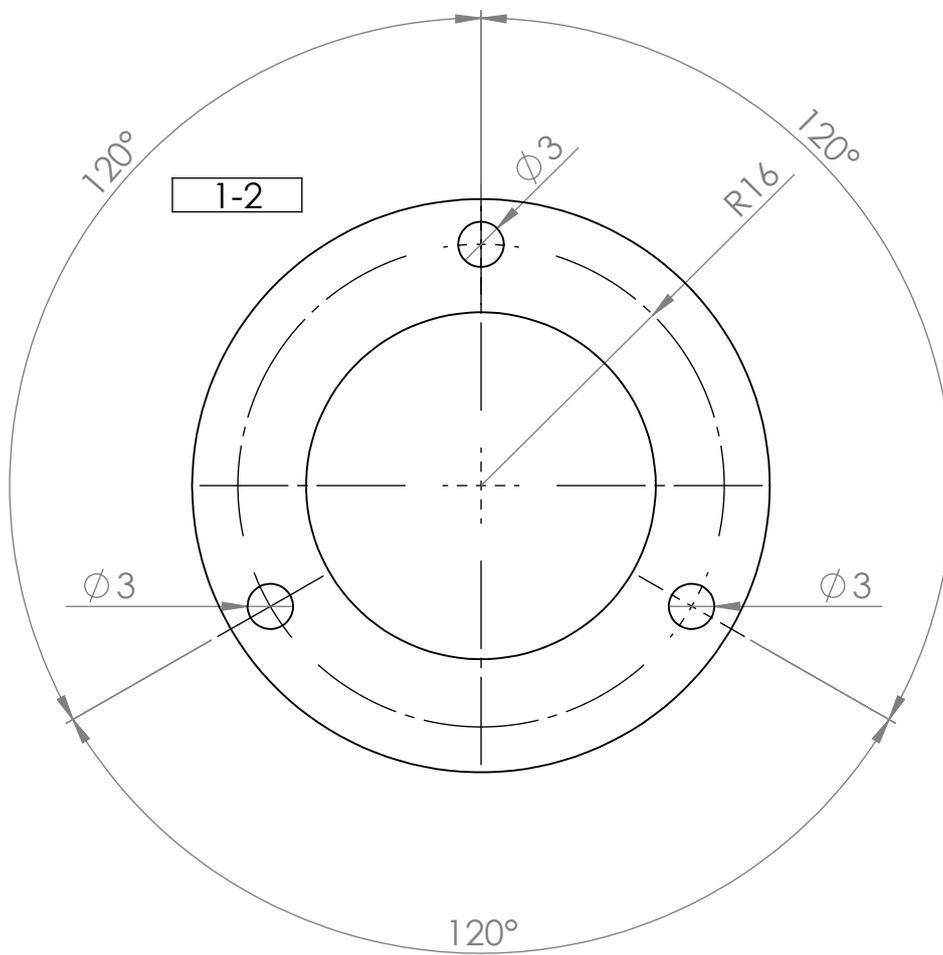
Detalle de
Cara Pentagonal
Escala 1:1



Detalle de
Cara Hexagonal
Escala 1:1



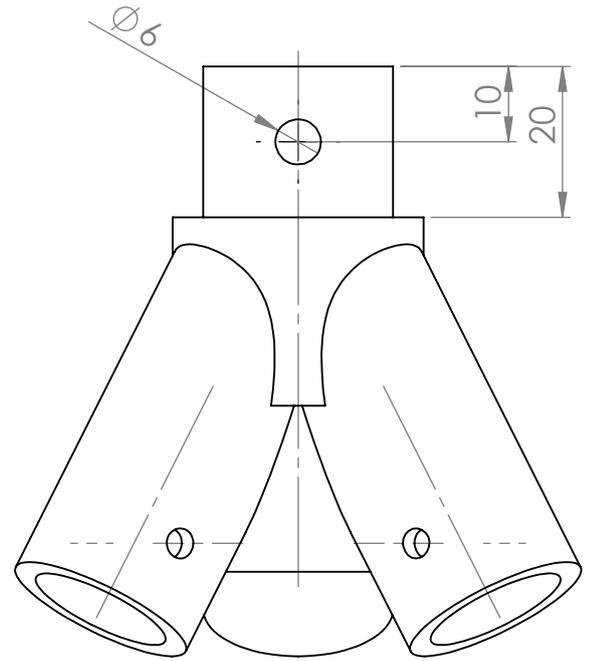
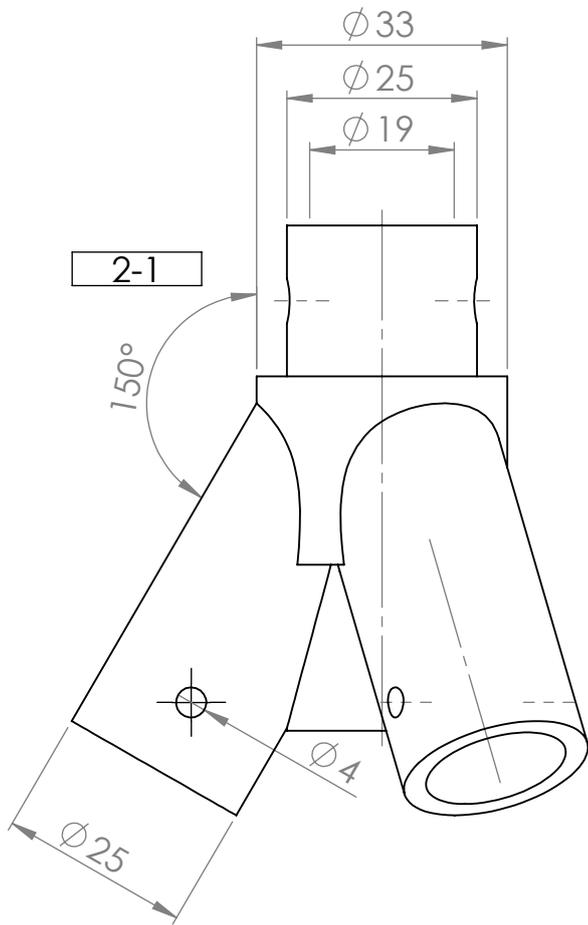
N°	Designacion	Cantidad	Material
1-1	Cuerpo de Reflectantes	1	Ácido Poliláctico (PLA)
Departamento de Ingeniería Mecánica Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile			
NOMBRE		FIRMA	FECHA
DIBUJ.	FERNANDO ZAMBRANO V.		28/08/2017
VERIF.	FERNANDO ZAMBRANO V.		28/08/2017
APROB.	ROBERTO CORVALÁN P.		28/08/2017
ESCALA:		TÍTULO:	
A3	1:2	Cuerpo de Reflectantes	
N.º DE PLANO:		REVISIÓN:	
201		0	



1-2	Tapa de Reflectantes	30	Acido Poliláctico (PLA)
N°	Designacion	Cantidad	Material

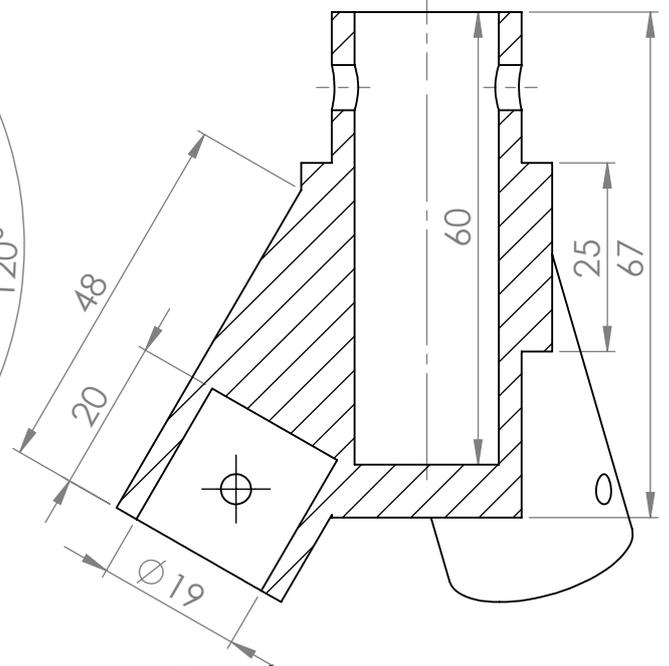
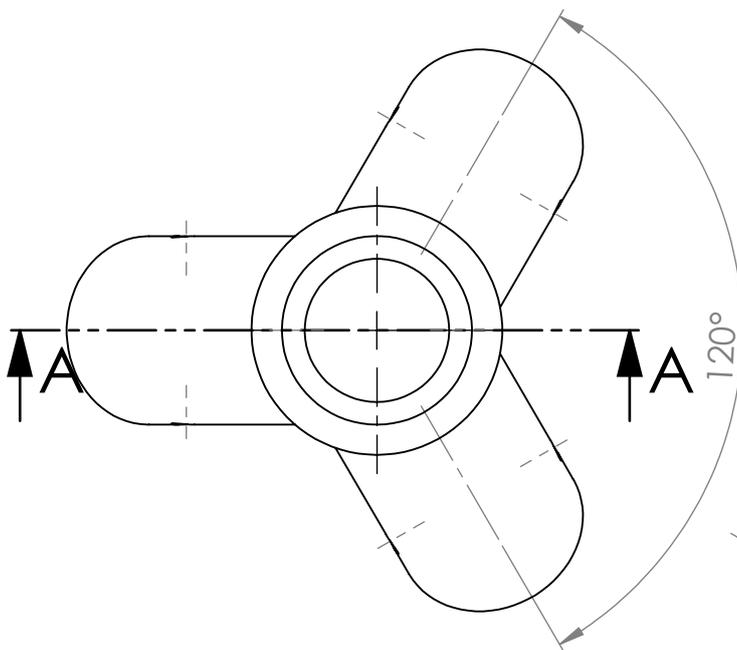
Departamento de Ingeniería Mecánica
 Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
 Universidad de Chile

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:		
DIBUJ.	FERNANDO ZAMBRANO V.		28/08/2017	<h1>Tapa de Reflectantes</h1>		
VERIF.	FERNANDO ZAMBRANO V.		28/08/2017			
APROB.	ROBERTO CORVALÁN P.		28/08/2017			
A4	ESCALA:	2:1	N.º DE PLANO:	202	REVISIÓN:	0



SECCIÓN A-A

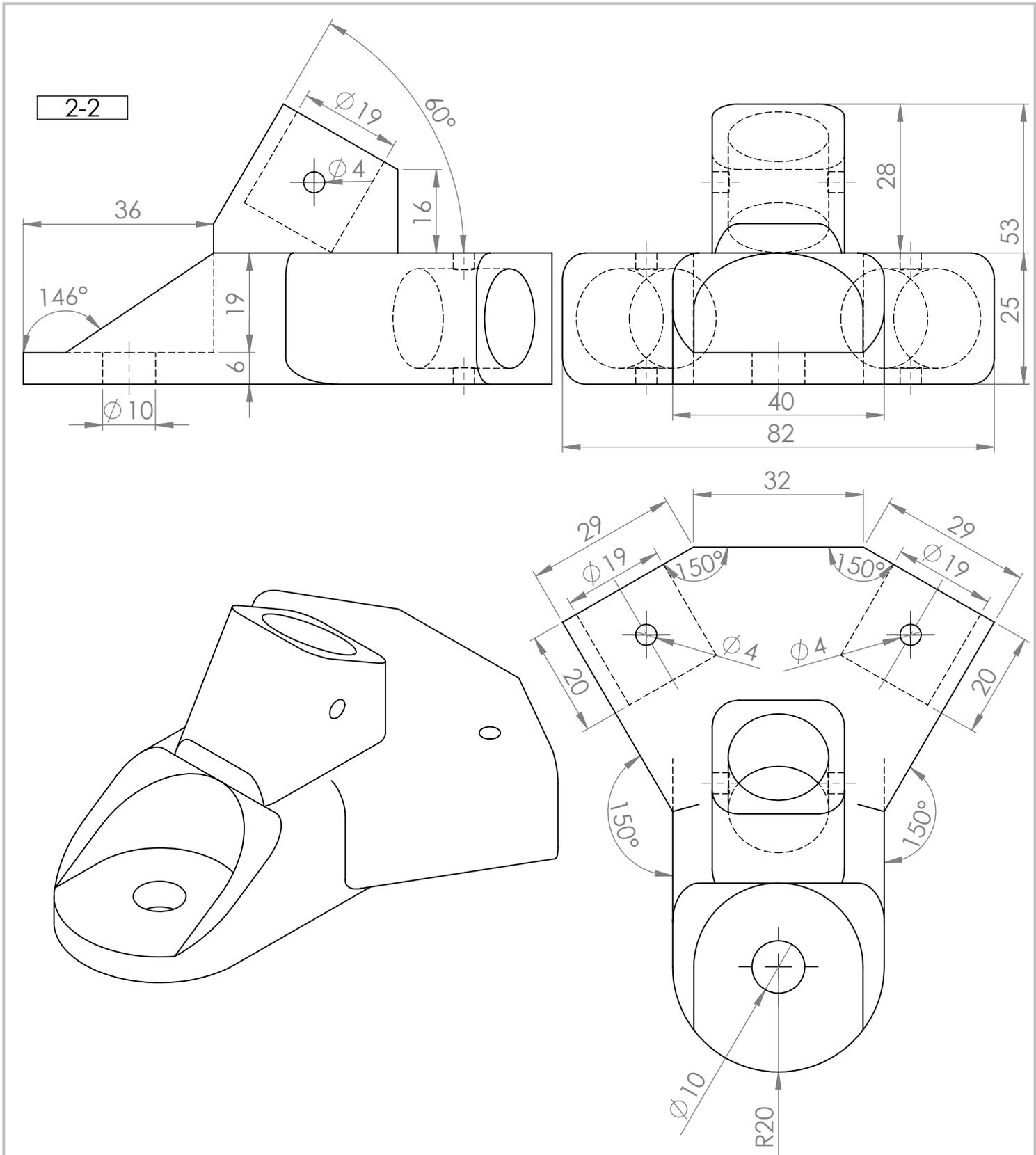
ESCALA 1 : 1



2-1	Vértice superior	1	Acido Poliláctico (PLA)
N°	Designacion	Cantidad	Material

Departamento de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
Universidad de Chile

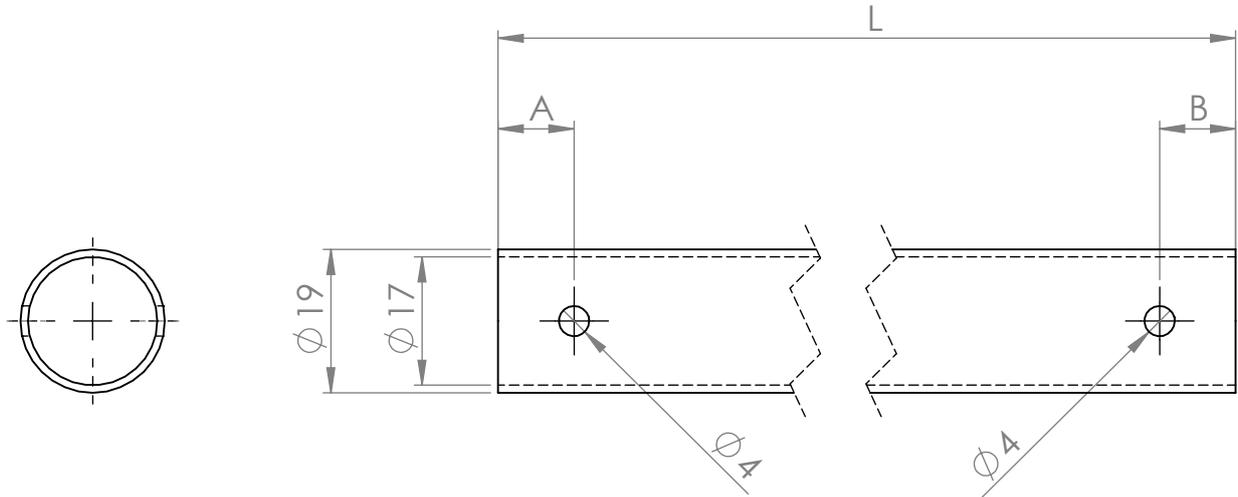
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:
DIBUJ.	FERNANDO ZAMBRANO V.		28/08/2017	Vértice Superior
VERIF.	FERNANDO ZAMBRANO V.		28/08/2017	
APROB.	ROBERTO CORVALÁN P.		28/08/2017	
A4	ESCALA:	1:1	N.º DE PLANO:	203
				REVISIÓN:
				0



2-2	Vértice de Base	3	Ácido Poliláctico (PLA)
N°	Designacion	Cantidad	Material

Departamento de Ingeniería Mecánica
 Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
 Universidad de Chile

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:
DIBUJ.	FERNANDO ZAMBRANO V.		28/08/2017	Vértice de Base
VERIF.	FERNANDO ZAMBRANO V.		28/08/2017	
APROB.	ROBERTO CORVALÁN P.		28/08/2017	
A4	ESCALA:	1:1	N.º DE PLANO:	204
				REVISIÓN:
				0

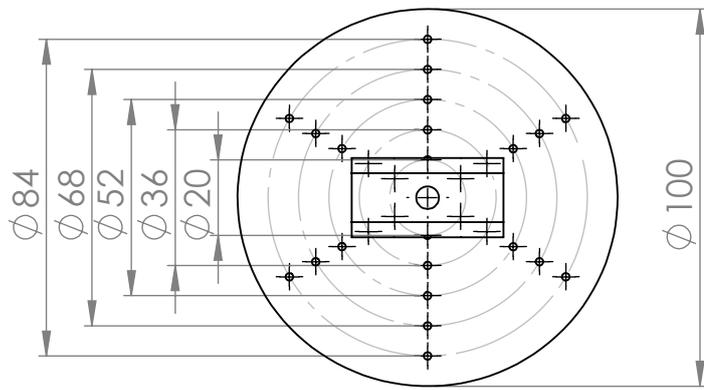


Pieza	L	A	B
2-3	769	10	10
2-4	920	10	10
2-5	220	10	50

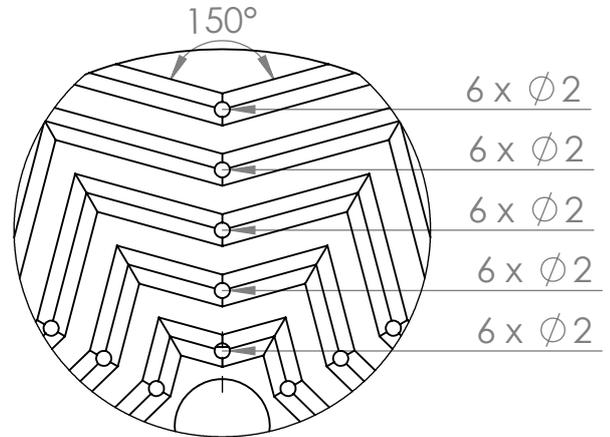
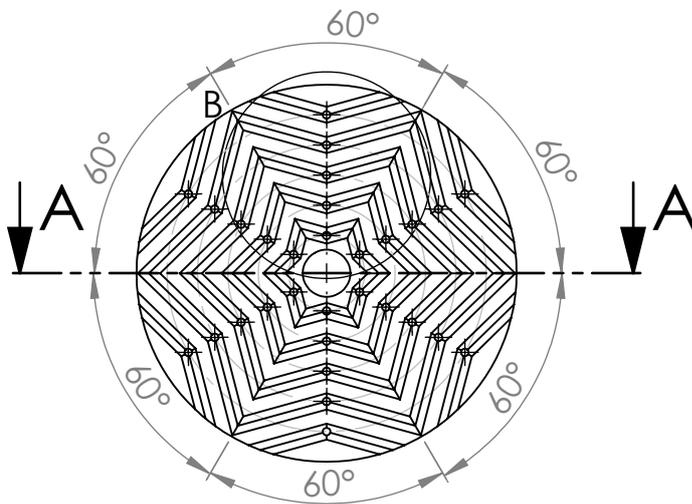
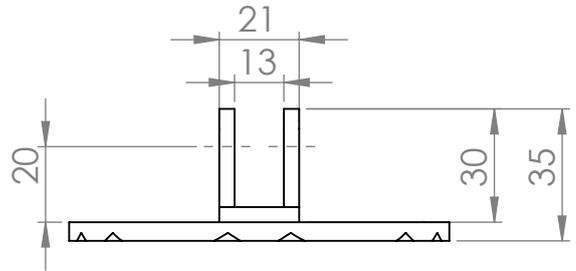
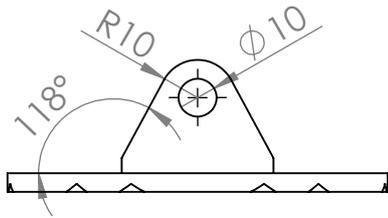
2-5	Mástil de reflectantes	1	Aluminio AA 1050
2-4	Tubo de lado elevación	3	Aluminio AA 1050
2-3	Tubo de lado base	3	Aluminio AA 1050
N°	Designacion	Cantidad	Material

Departamento de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
Universidad de Chile

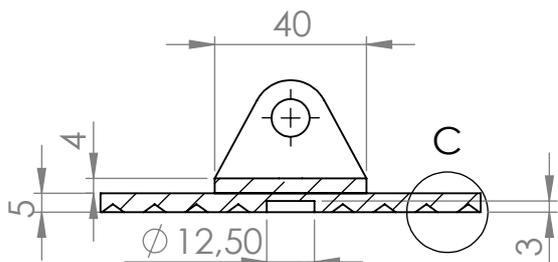
NOMBRE		FIRMA	FECHA	TÍTULO:
DIBUJ.	FERNANDO ZAMBRANO V.		28/08/2017	<h1>Tubos de Armazón</h1>
VERIF.	FERNANDO ZAMBRANO V.		28/08/2017	
APROB.	ROBERTO CORVALÁN P.		28/08/2017	
A4	ESCALA: 1:1	N.º DE PLANO: 205		REVISIÓN: 0



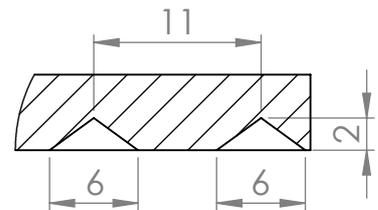
3-1



DETALLE B
ESCALA 1 : 1



SECCIÓN A-A



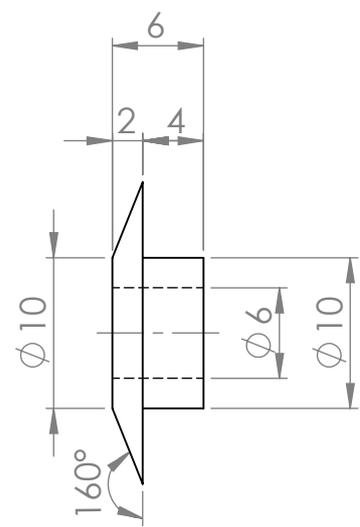
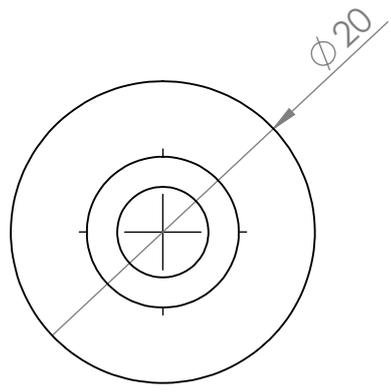
DETALLE C
ESCALA 2 : 1

3-1	Disco de anclaje	3	Acido Poliláctico (PLA)
N°	Designacion	Cantidad	Material

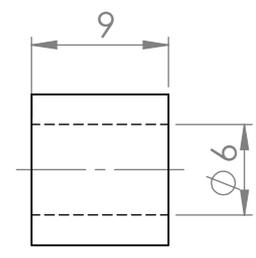
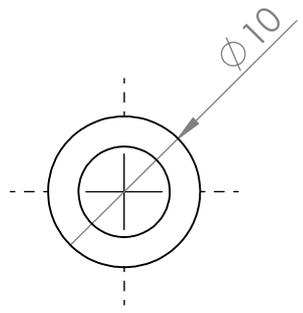
Departamento de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
Universidad de Chile

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:
DIBUJ.	FERNANDO ZAMBRANO V.		28/07/2017	Disco de Anclaje
VERIF.	FERNANDO ZAMBRANO V.		28/07/2017	
APROB.	ROBERTO CORVALÁN P.		28/07/2017	
A4	ESCALA:	1:2	N.º DE PLANO:	206
				REVISIÓN:
				0

3-2



3-3

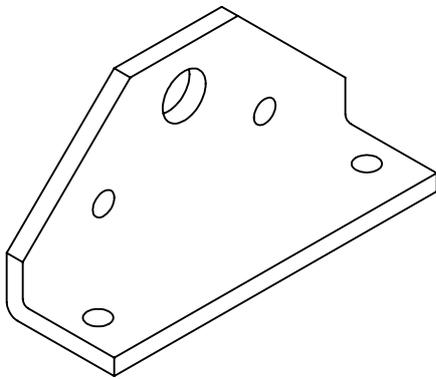
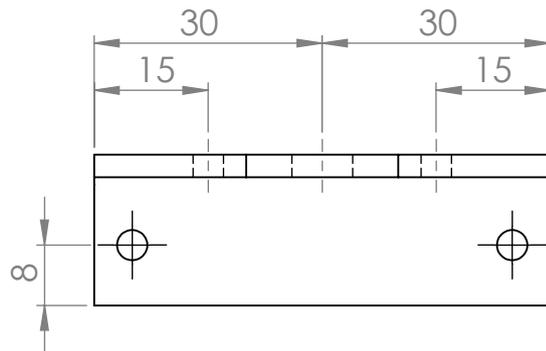
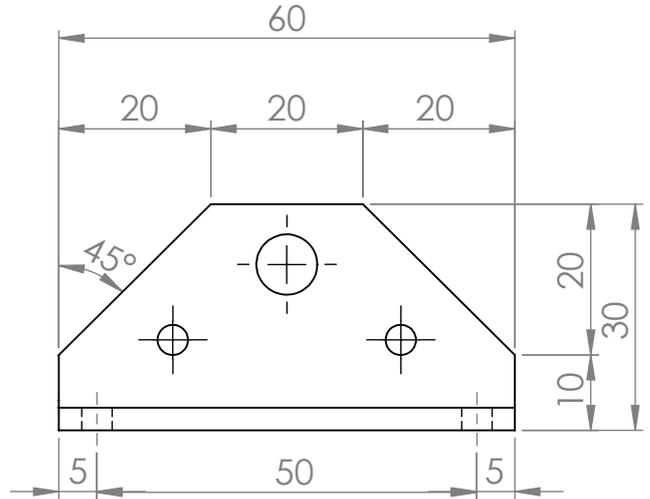
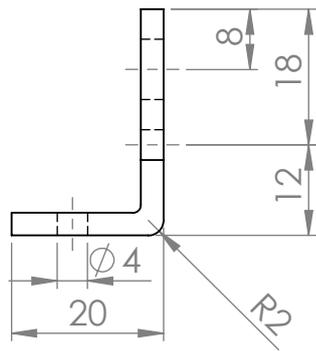


3-3	Buje interior de rótula	3	Technyl Poliamida (PA6)
3-2	Buje extensor angular	6	Technyl Poliamida (PA6)
N°	Designacion	Cantidad	Material

Departamento de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
Universidad de Chile

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:	<h1>Bujes de Base</h1>
DIBUJ.	FERNANDO ZAMBRANO V.		28/08/2017		
VERIF.	FERNANDO ZAMBRANO V.		28/08/2017		
APROB.	ROBERTO CORVALÁN P.		28/08/2017		
A4	ESCALA:	2:1	N.° DE PLANO:	207	REVISIÓN: 0

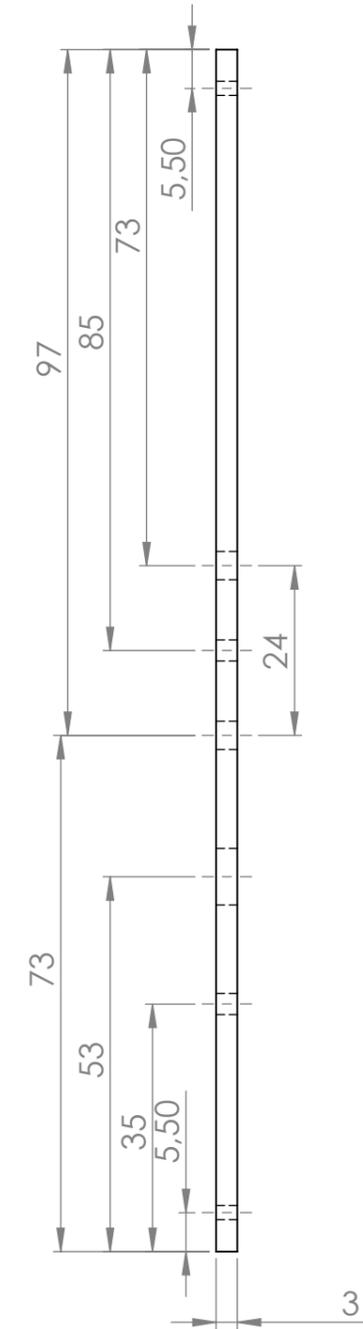
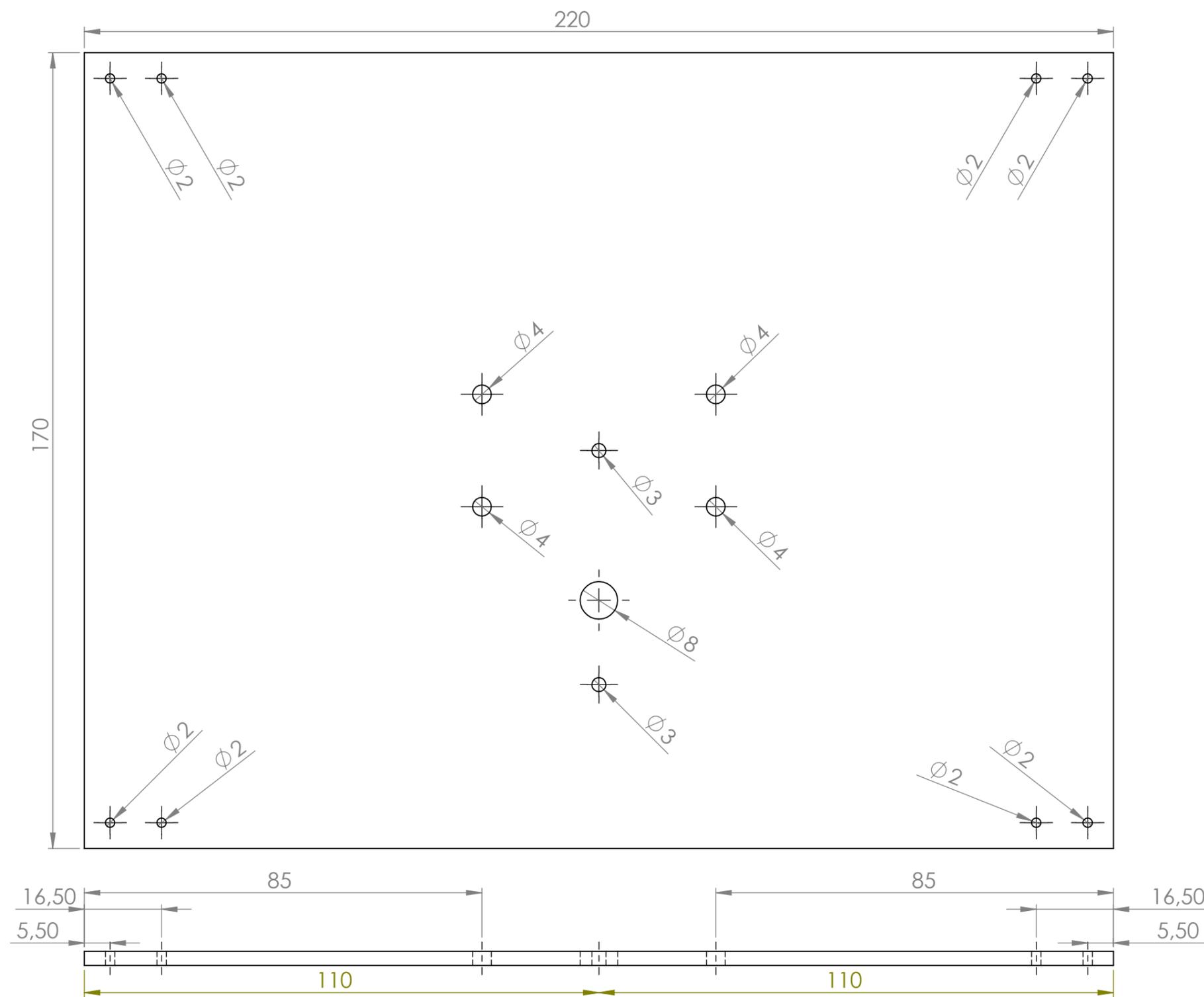
4-1



4-1	Anclaje de mosquetón	4	Aluminio AA1050
N°	Designacion	Cantidad	Material

Departamento de Ingeniería Mecánica
 Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
 Universidad de Chile

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:		
DIBUJ.	FERNANDO ZAMBRANO V.		28/08/2017	Anclaje de mosquetón		
VERIF.	FERNANDO ZAMBRANO V.		28/08/2017			
APROB.	ROBERTO CORVALÁN P.		28/08/2017			
A4	ESCALA:	1:1	N.º DE PLANO:	208	REVISIÓN:	0



4-2	Placa Adaptadora	1	Aluminio AA 1050
N°	Designacion	Cantidad	Material
Departamento de Ingeniería Mecánica Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile			
	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	FERNANDO ZAMBRANO V.		28/08/2017
VERIF.	FERNANDO ZAMBRANO V.		28/08/2017
APROB.	ROBERTO CORVALÁN P.		28/08/2017
A3	ESCALA:	1:1	N.º DE PLANO:
			209
			REVISIÓN:
			0