

# Misión E3Tratos: Diseño de la estructura mecánica, escudo térmico, Sistema de elevación y Sistema de descenso de un globo sonda estratosférico

A. Pitta-Carvajal<sup>1</sup>, S. Esteban-Cudriz<sup>1</sup>, J. Rodriguez-Ferreira<sup>\*1,2</sup>, M. De Jesús-Martínez<sup>1</sup>

1. Grupo de Investigación en Energía y Medio Ambiente. Escuela de Ingeniería Mecánica. Universidad Industrial de Santander, Carrera 27 and Calle 9, (680002) Bucaramanga, Colombia.
2. Grupo de Investigación en Control, Electrónica, Modelado y Simulación. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, Universidad Industrial de Santander, Carrera 27 and Calle 9, (680002) Bucaramanga, Colombia. Misión E3Tratos: [www.e3tratos.co](http://www.e3tratos.co) \*Contacto: [jgrodri@uis.edu.co](mailto:jgrodri@uis.edu.co)

## Introducción

La misión “E3Tratos” es el primer proyecto de investigación de globos estratosféricos con carga útil científica que se está desarrollando en la Universidad Industrial de Santander. Su objetivo principal es observar la superficie de la tierra desde el límite superior de la atmosfera, aproximadamente a 30 km de altura, para tomar imágenes y medir variables meteorológicas y concentración de gases de efecto invernadero a lo largo de su recorrido. Para ello se están diseñando e implementando la instrumentación científica basada en: cámaras de alta resolución en el visible, una estación meteorológica portátil, un novedoso sensor de CO2 desarrollado por investigadores del proyecto, la electrónica de control, un enlace radio que junto a una estación en Tierra permitirán realizar el seguimiento de la posición del globo sonda y recibir los datos de telemetría. El sistema completo será transportado en una góndola que servirá como interfaz mecánica para albergar la carga útil y un sistema de propulsión-recuperación basados en un globo sonda estratosférico y un paracaídas. Este trabajo resume el proceso de diseño y modelado mecánico que permitió seleccionar los materiales y validar el diseño final de la góndola basándose en al análisis de los requisitos científicos y retos técnicos de la misión. Se muestran también los resultados de una serie de simulaciones estructurales y térmicas sobre el diseño escogido, las cuales permitieron validar los requerimientos de masa transportada, choques térmicos durante la duración del vuelo y estructurales ante los esfuerzos de tensión durante la apertura del paracaídas.

## ¿Cuál es el reto?

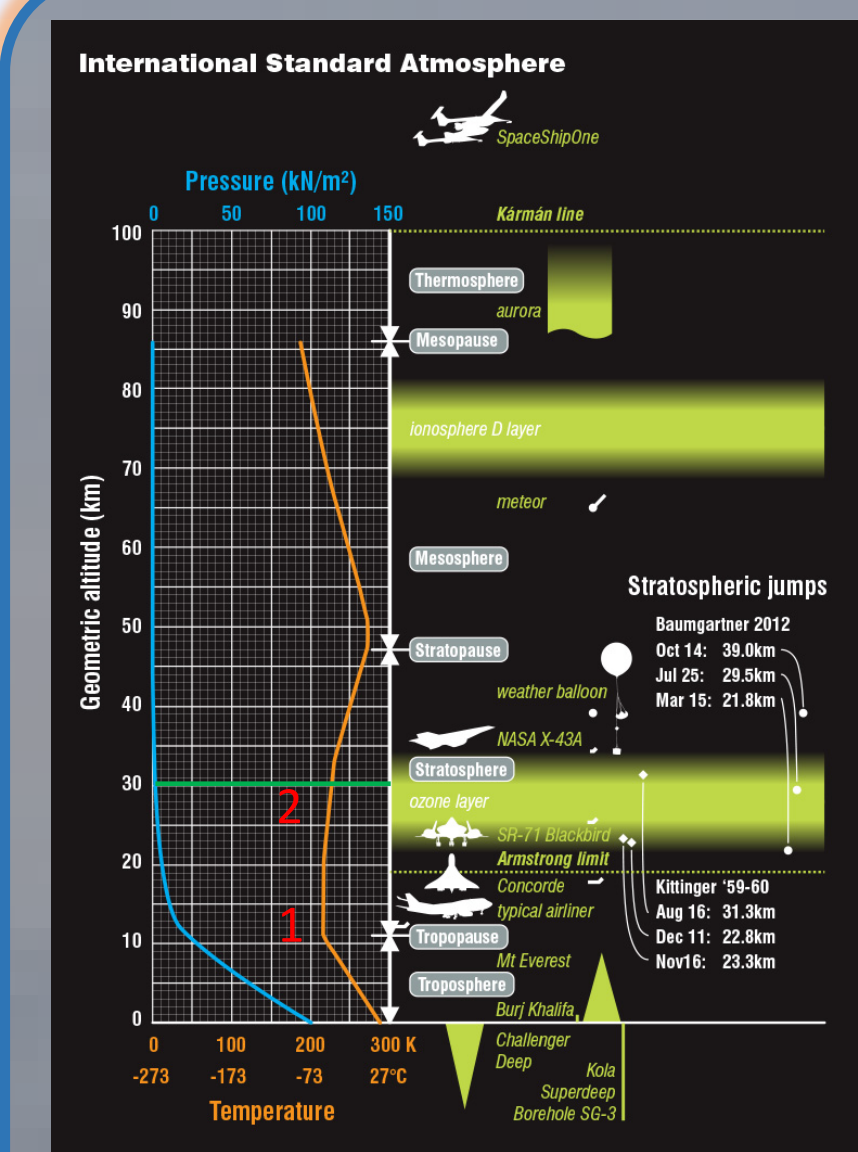


Figura 3. Temperatura y presión atmosférica como función de la altura

Desarrollar un diseño que permita garantizar el funcionamiento de los instrumentos de medición en su ascenso a la estratósfera y en su descenso a la superficie. Durante este trayecto existen dos puntos críticos: 1. La altura a la que se da el pico inferior de temperatura y 2. La altura a la que se abre el paracaídas durante el descenso.

Punto 1. En la figura 3 se muestra el decrecimiento lineal de temperatura de aproximadamente 8.2 K/km hasta alcanzar una temperatura de **218 K (-55°C)** la cual es inferior al rango de operación de los instrumentos de la carga útil creando la necesidad de un escudo térmico.

Punto 2. El ascenso finaliza una vez el globo de látex estalla debido su expansión causada por la baja presión atmosférica. A esta altura la densidad del aire circundante es insuficiente para que el paracaídas se abra dando lugar a una caída libre. Luego, cuando la densidad del aire lo permite, se da la apertura del paracaídas. Este momento del descenso es crítico debido a que la desaceleración causada por el paracaídas, que puede llegar hasta los 98 m/s<sup>2</sup>, genera grandes esfuerzos en la estructura y surge la necesidad de comprobar si el diseño soporta estas condiciones. Finalmente el paracaídas junto con la carga útil descienden a una velocidad media de 5m/s hasta tocar suelo.

## Descripción de la estructura escogida

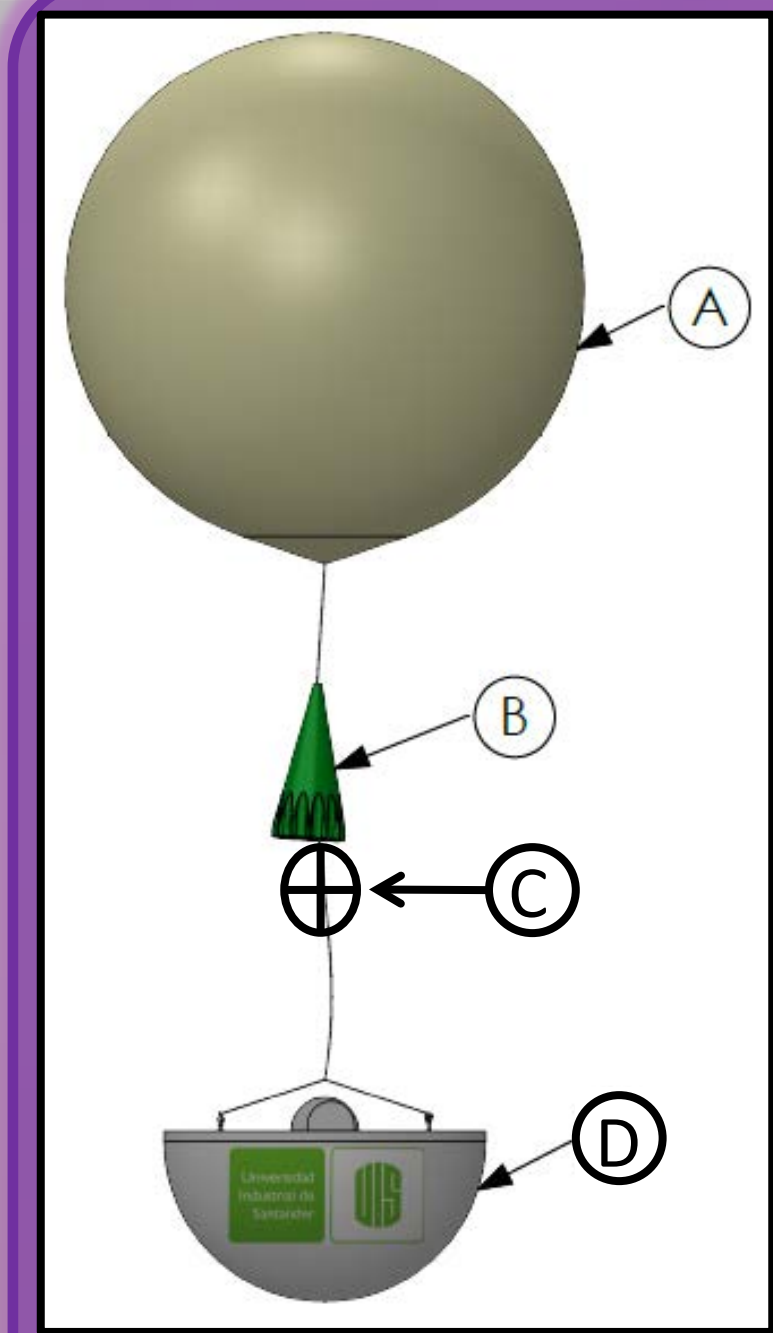


Figura 1. Esquema general del globo sonda. A) Sistema de elevación. B) Sistema de descenso. C) Góndola.

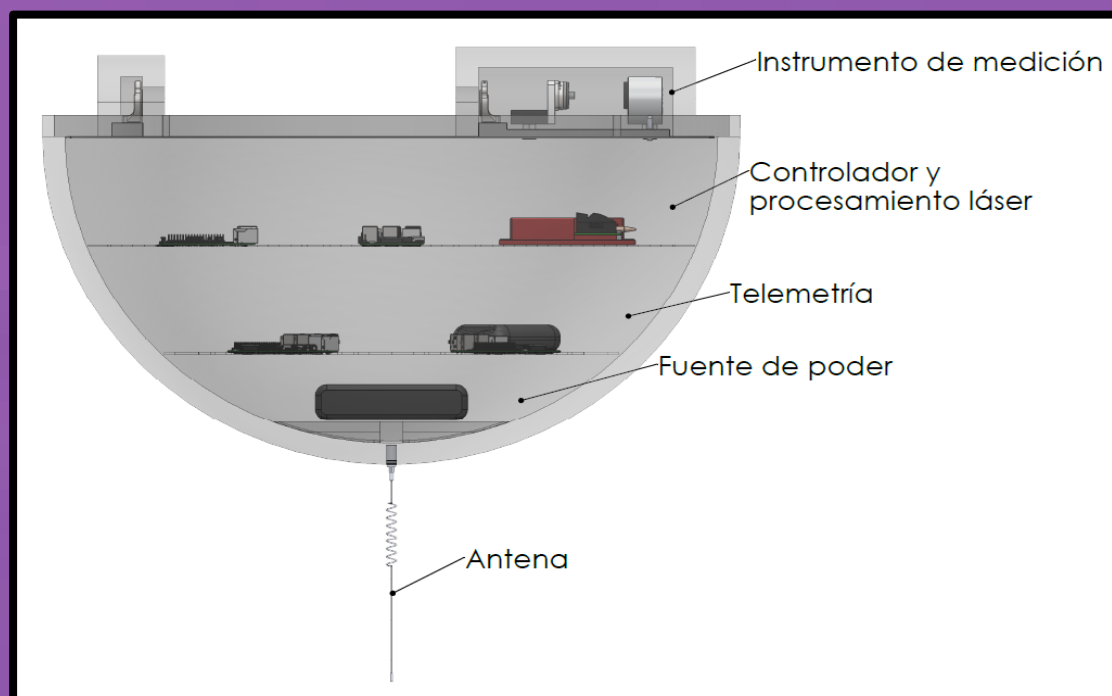


Figura 2. Esquema de distribución de niveles dentro de la góndola.

Electrónica e instrumentos	Masa lb
Batería	2,77
Raspberry Pi3 42gr X 6	0,50
Cámaras Raspberry X 3	0,02
Camara 360°	0,44
Estación Meteorológica EVA	0,30
Sistema radio	0,40
Masa total Instrumentación	4,43

Instrumento de CO2	Masa lb
Espejos	0,11
Fotodiodo	0,44
Láser	0,77
Soporte fibra	0,40
Soporte instrumentos acrílico	0,60
Masa Total Instrumento CO2	2,33

Tabla 1. Resumen masa

Góndola	Masa lb
Estructura Optimizada	1,29
Poliestireno	1,19
Niveles perforados	0,78
Masa Total Góndola	3,27
Masa total	10,03

El globo sonda se compone de tres subsistemas principales:

- **Sistema de elevación** (Fig.1 A) globo de látex de 3000gram lleno de helio
- **Sistema de descenso** (Fig.1 B) Paracaídas para descender a 5 m/s.
- **Reflector de radar** (Fig.1 C) Permite que la carga sea fácilmente detectada por radares.
- **Góndola** (Fig.1 D) Alberga y protege la carga útil de las condiciones exteriores.

## Resultados de las etapas de diseño

La cantidad de masa que puede elevar el globo, el cambio de temperatura que enfrentará en el trayecto y los esfuerzos mecánicos a los cuales será sometida la góndola son parámetros críticos del proceso de diseño, el cual se dio en cinco etapas:

- Etapa 1: Selección del globo de látex y paracaídas.
- Etapa 2: Investigación de prototipos y materiales para la góndola
- Etapa 3: Análisis y selección de los materiales, teniendo en cuenta variables como conductividad térmica, densidad, resistencia mecánica y accesibilidad.
- Etapa 4: Planteamiento de alternativas geométricas de góndola y selección de la más adecuada (Fig. 4).
- Etapa 5: Validación y optimización del prototipo seleccionado haciendo uso de simulaciones.

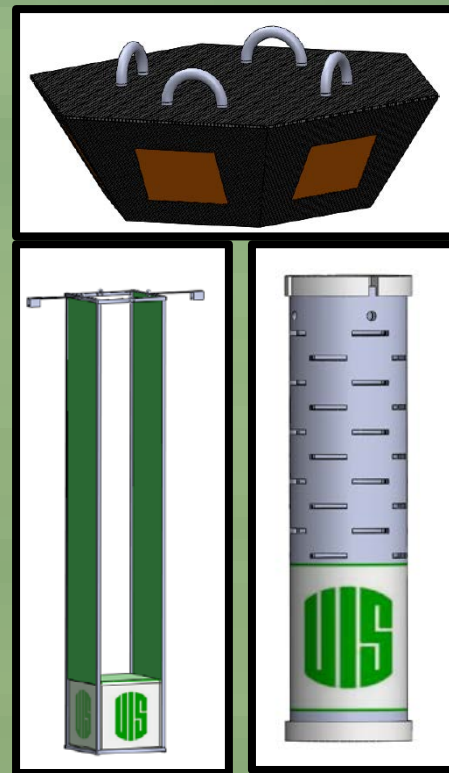


Figura 4. Diseños preliminares de la góndola.

A partir del análisis de los materiales se selecciona el **poliestireno extruido** como aislante térmico y se realiza una simulación (Fig. 5 y 6) para validar esta selección. El material estructural que proporciona la mejor relación rigidez-densidad sin exceder los límites de presupuesto es el aluminio. Estos diseños fueron simulados usando el software ANSYS, estas simulaciones (Fig. 7) mostraron la necesidad de un rediseño (Fig. 8) con el que **se logró reducir las deformaciones de 50 mm a 2,4mm**.

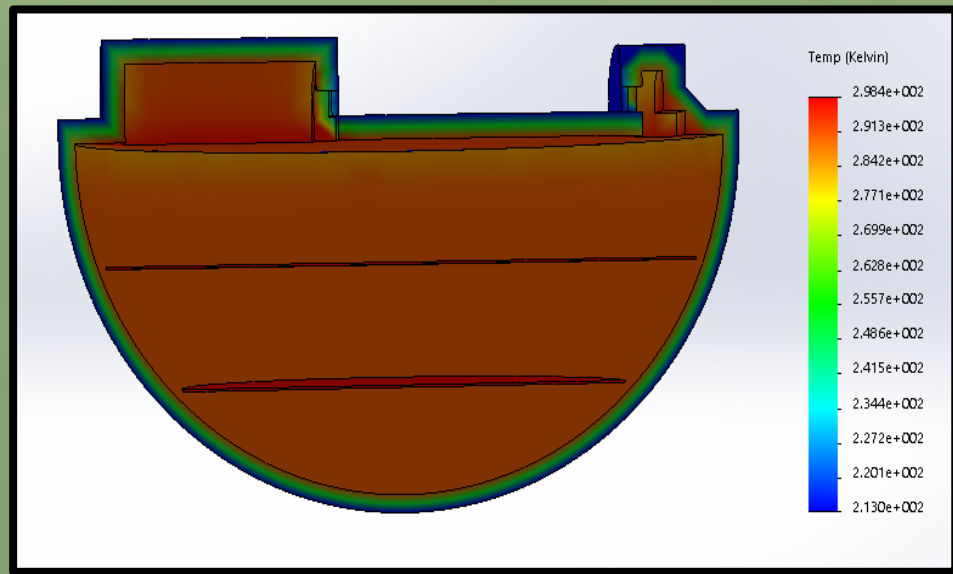


Figura 5. Gradiente de temperatura en la góndola.

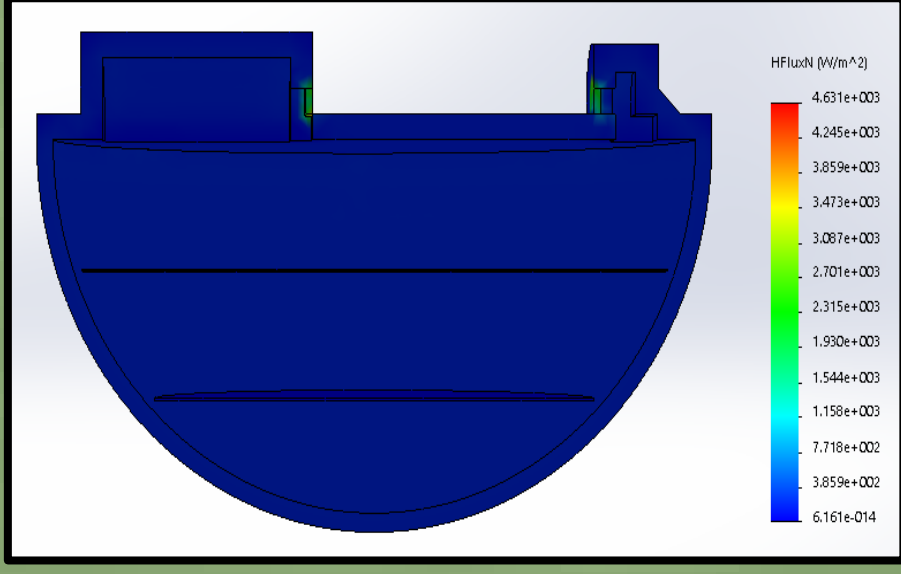


Figura 6. Flujo de calor en la góndola.

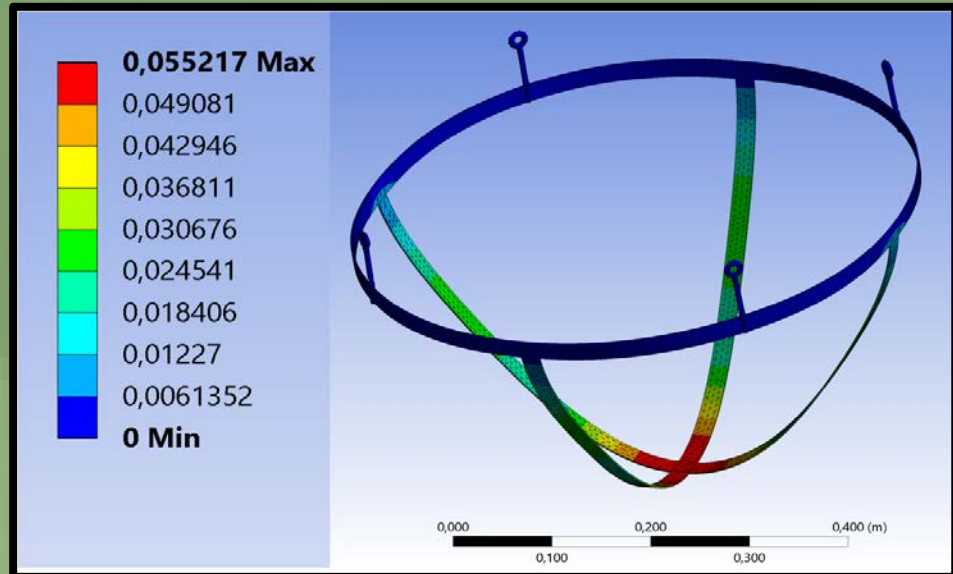


Figura 7. Alternativa seleccionada sometida a una carga de 300 N.

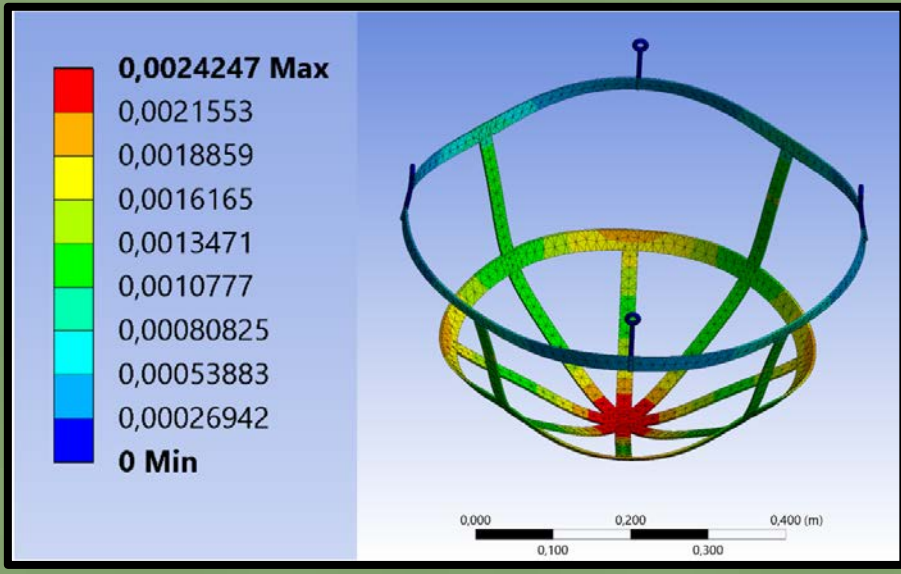


Figura 8. Diseño optimizado sometido a una carga de 300 N

## Configuración final



Figura 9. Diseño estructural de la góndola con el instrumento, electrónica de control y telemetría.

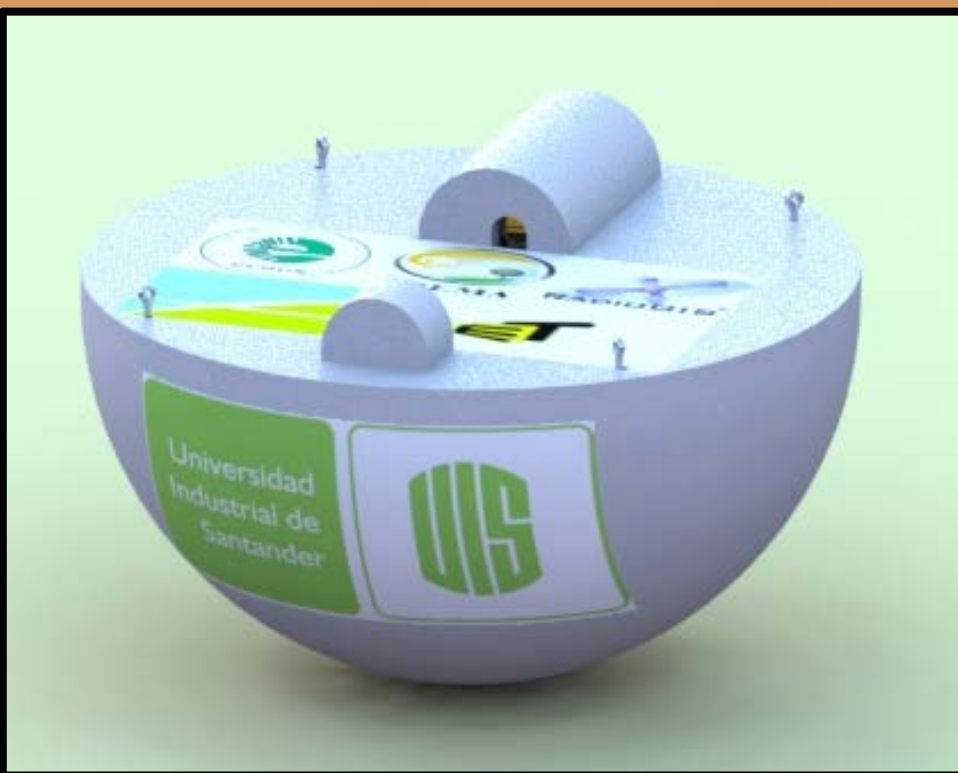


Figura 10. Diseño general de la góndola con el recubrimiento de poliestireno extruido