

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

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

“Diseño de un Sistema de Energía Solar para el funcionamiento de un  
Aerostato”

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero Mecánico**

Presentado por:

Juan Pablo Wright Medina

José Luis García Baquerizo

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2020

## DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedicamos a aquellos grupos que día a día luchan por desarrollar un mundo más sustentable, para que las siguientes generaciones puedan disfrutar las mismas o mejores condiciones en que estamos viviendo en nuestro planeta.

A los profesores politécnicos, que en las aulas hacen incapié como parte primordial la sustentabilidad, motivándonos y generando ideas para hacer de nuestro entorno un mundo mejor, mientras nos desarrollamos en el campo educativo, profesional y humano.

A Nuestra Familia por ser un pilar fundamental en nuestra formación, por el apoyo incondicional en cada etapa para que se pueda cumplir nuestras metas.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por darnos sabiduría, para poder cumplir a cabalidad cada uno de los retos presentados en nuestra formación profesional y permitimos encontrarnos con las personas correctas que hicieron nuestra estancia en la universidad una gran experiencia de vida.

Nuestro más sincero agradecimiento a nuestras familias, en especial a nuestros padres y hermanos por el apoyo incondicional recibido a lo largo de toda la carrera.

A nuestros amigos por el apoyo que nos brindaron siempre y los buenos momentos que pasamos juntos.

A nuestros compañeros Pacheco y Vargas por mantenernos en constante comunicación acerca de las novedades del proyecto.

A nuestro tutor, el MSc. Marcial, por ayudarnos, guiarnos y apoyarnos durante todo el trabajo de tesis.

A la ESPOL por brindarnos las herramientas y conocimientos necesarios para el desarrollo del proyecto.

A aquellos buenos maestros que nos formaron a lo largo de toda la carrera y nos sirvieron de ejemplo.

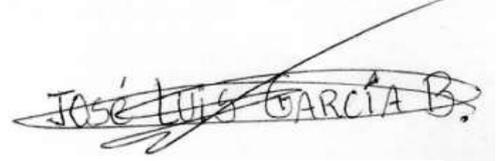
Al Dr. Peralta y MSc. Reyes por ayudarnos con el primer paso del proyecto.

## DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Juan Pablo Wright Medina* y *José Luis García Baquerizo* y damos mi nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Juan Pablo Wright  
Medina



José Luis García  
Baquerizo

## EVALUADORES



Jorge Medardo Marcial Hernández

PROFESOR DE LA MATERIA



Jorge Medardo Marcial Hernández

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

Debido a la inexistencia de una aeronave con alta autonomía de vuelo en el mercado local, se propone la instalación de un sistema de energía solar en un aerostato y lograr obtener 10 horas de vuelo continuas. Este proyecto podría aplicar a sectores como seguridad, cartografía o actividades relacionadas a la vigilancia aérea, en la ciudad de Guayaquil. Entre los equipos necesarios para la instalación, los más importantes fueron los paneles solares, las baterías y el regulador de carga. Estos fueron seleccionados en base a diferentes criterios, particularmente, datos estadísticos de clima, geometría del aerostato, normativas vigentes, objetivos de diseño y datos técnicos. Se aprovecharon las condiciones climáticas, duración del día y alta radiación solar del medio, para optimizar el número de los paneles fotovoltaicos y los acumuladores utilizados sin perjudicar la autonomía de vuelo. Entre los resultados más destacados, se obtuvo una autonomía de vuelo de 10 horas con 50 minutos para condiciones climáticas normales y 4 horas con 47 minutos para condiciones críticas, con un peso total del sistema de energía solar de 22,3 kg. La instalación completa, incluyendo envío y una estimación de la mano de obra, tuvo un costo de USD\$4500. Esto refleja un sistema de energía solar ligero y de bajo costo, que ocupa un espacio mínimo del total disponible en el Aerostato.

**Palabras clave:** Aeronave, Energía solar, Guayaquil, Paneles Fotovoltaicos, Ligero.

## **ABSTRACT**

*Due to the inexistence of an aircraft with high flight autonomy in the local market, it is proposed to install a solar energy system into an aerostat to achieve 10 hours of continuous flight. This project could possibly have applications in fields such as security, cartography or any other activities related to aerial surveillance, in the city of Guayaquil. Among the equipment needed for the installation, the most important were the solar panels, the batteries, and the charge controller. These were selected based on different criteria, in particular, statistical data on climate, Aerostat geometry, current regulations, design objectives and technical data. The climatic conditions, duration of the day and high solar radiation in the environment, were used advantageously to optimize the number of photovoltaic panels and accumulators used without affecting flight autonomy. Among the most outstanding results, a flight autonomy of 10 hours and 50 minutes for normal weather conditions and 4 hours and 47 minutes for critical conditions were obtained, with a total weight of 22.3 kg for the solar energy system. The entire installation, including shipping and a labor estimate, cost USD\$4,500. This reflects a low-cost and lightweight solar energy system, that takes up a minimum of the aircraft's available space.*

**Keywords:** *Aircraft, Solar Energy, Guayaquil, Photovoltaic Panels, Lightweight.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i> .....	II
ÍNDICE GENERAL .....	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
CAPÍTULO 1	
1. Introducción .....	1
1.1 Definición del problema .....	1
1.2 Justificación del proyecto .....	1
1.3 Objetivos .....	1
1.3.1 Objetivo general.....	1
1.3.2 Objetivos específicos .....	1
1.4 Marco teórico.....	2
1.4.1 Energía solar fotovoltaica en el mundo.....	2
1.4.2 Autonomía de Vuelo en Aeronaves .....	3
1.4.3 Células Solares.....	3
1.4.4 Acumuladores.....	9
1.4.5 Regulador .....	12
1.4.6 Cableado .....	16
1.4.7 Fuerza de Arrastre.....	19
1.4.8 Datos proporcionados del Aerostato.....	19
CAPÍTULO 2	
2. Metodología.....	21

2.1	Normativas .....	21
2.2	Potencia Suministrada al Aerostato.....	21
2.2.1	Elementos Eléctricos del Aerostato .....	22
2.3	Distribución de tiempo de alimentación al Aerostato en uso y en reposo.....	26
2.4	Paneles Solares .....	29
2.4.1	Irradiación Total y Orientación de Paneles Solares .....	29
2.4.2	Consumo Eléctrico.....	33
2.4.3	Selección de paneles solares .....	34
2.4.4	Conexión.....	36
2.4.5	Montaje .....	36
2.5	Selección del Acumulador .....	36
2.5.1	Conexión.....	38
2.5.2	Montaje .....	38
2.6	Selección del Regulador de Carga.....	38
2.6.1	Conexión.....	40
2.6.2	Montaje .....	40
2.7	Selección de Accesorios .....	40
2.7.1	Cables.....	40
2.7.2	Conectores.....	41
2.7.3	Correcciones.....	42
2.7.4	Elementos de Protección en la Instalación .....	43
2.7.5	Regulador de voltaje .....	43
2.7.6	Cargador de baterías .....	43
CAPÍTULO 3		
3.	Resultados y análisis .....	44
CAPÍTULO 4		
4.	Conclusiones Y Recomendaciones .....	49

Conclusiones..... 49

Recomendaciones..... 51

BIBLIOGRAFÍA

APÉNDICES

## **ABREVIATURAS**

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
STC	Standard Test Condition (condiciones de prueba estándar)
FV	Fotovoltaico
IDAE	Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía
PTC	Pliego de Condiciones Técnicas
REBT	Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión
MPPT	Seguidor de punto de máxima potencia
PWM	Modulación por ancho de pulsos

## SIMBOLOGÍA

M	Metro
W	Watts
°	Grados
N	Newtons
kg	Kilogramo
s	Segundos
$\Omega$	Ohms
mm	Milímetros
V	Voltios
A	Amperios
h	Horas
g-f	Gramos fuerza
Pa	Pascal
USD\$	Dólar Americano

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Velocidad promedio del viento en Guayaquil [(Weather Spark, 2016)] .....	22
Figura 2.2 Calculador de rapidez de viento [(Danish Wind Industry Association 2003)]	23
Figura 2.3 Coeficientes de arrastre para una elipsoide [(Shames, 1995)].....	24
Figura 2.4 Nubosidad en un año promedio [(Weather Spark 2020)] .....	27
Figura 2.5 Nubosidad del 22 de mayo de 2019 [(Weather Spark 2020)].....	27
Figura 2.6 Irradiación mensual sobre una superficie horizontal [(NASA, 2020)] .....	29
Figura 2.7 Dirección del viento en 2019 [(Weather Spark 2020)] .....	30
Figura 2.8 Vista superior de ubicación de paneles sobre el Aerostato .....	30
Figura 2.9 Vista frontal del Aerostato para cálculo de ángulo de inclinación .....	31
Figura 2.10 Irradiación diaria media a 6° de inclinación (Grupo Idea, 2004). .....	32
Figura 3.1 Disposición de los paneles solares en el Aerostato.....	45
Figura 3.2 Vista trasera del Aerostato .....	46
Figura A.1 Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico.....	57
Figura A.2 Disposición de los paneles solares en el Aerostato .....	58
Figura A.3 Vista trasera del Aerostato.....	58
Figura A.4 Interior de la Góndola.....	59
Figura B.1 Especificaciones del motor seleccionado [(T-MOTOR 2020)].....	60
Figura B.2 Ficha Técnica de los paneles seleccionados (MiaSolé, 2019).....	61
Figura B.3 Paneles MiaSolé FLEX SERIES–03NL 330W (MiaSolé, 2019) .....	61
Figura B.4 Ficha Técnica del acumulador seleccionado (Panasonic, s. f.).....	62
Figura B.5 Regulador de carga seleccionado.....	62
Figura B.6 Ficha Técnica del regulador de carga (Victron Energy, s. f.). .....	63
Figura B.7 Regulador de voltaje seleccionado .....	63
Figura B.8 Especificaciones del regulador de voltaje seleccionado (Drok, s. f.).....	64
Figura B.9 Ficha Técnica de cables seleccionados (Prysun, s. f.).....	64
Figura B.10 Conectores seleccionados .....	65
Figura B.11 Datos técnicos de conectores seleccionados (Amphenol, 2012) .....	65
Figura B.12 Fusible fotovoltaico seleccionado.....	66
Figura B.13 Datos técnicos del fusible fotovoltaico seleccionado (Bussmann, 2016) ...	66
Figura B.14 Interruptor termomagnético seleccionado .....	67
Figura B.15 Datos técnicos del interruptor termomagnético (Benny, 2015) .....	67

Figura B.16 Cargador de baterías de litio seleccionado .....68  
Figura B.17 Datos técnicos de cargador de baterías (Alibaba, 2020) .....68

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Datos del aerostato.....	20
Tabla 2.1 Promedio de radiación en $W \cdot h/m^2$ sobre cada par de ángulos.....	33
Tabla 2.2 Datos de consumo eléctrico para los propulsores .....	34
Tabla 2.3 Consumo eléctrico del sistema en DC .....	34
Tabla 2.4 Datos de paneles proporcionados por el fabricante.....	35
Tabla 2.5 Matriz de decisión para paneles solares.....	35
Tabla 2.6 Datos de acumuladores proporcionados por el fabricante.....	37
Tabla 2.7 Matriz de decisión para la selección del acumulador.....	37
Tabla 2.8 Parámetros para la selección del Regulador de Carga .....	39
Tabla 2.9. Matriz de decisión para el Regulador de carga .....	40
Tabla 2.10 Parámetros para la selección del Regulador de Carga .....	42
Tabla 3.1 Características importantes de cada elemento seleccionado .....	44
Tabla 3.2 Resultados de autonomía de vuelo bajo las peores condiciones .....	46
Tabla 3.3 Resultados de longitud y sección de cables para diferentes tramos .....	47
Tabla C.1 Irradiación promedio mensual incidente sobre superficie inclinada .....	69

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Definición del problema

La falta de una aeronave ligera, con alta autonomía de vuelo y alimentada con energías renovables para su operación y control, en el mercado ecuatoriano, genera una evidente necesidad debido al servicio y facilidades que esta podría brindar en el desarrollo de diferentes actividades económicas como la agricultura, seguridad, comunicación, entre otras.

### 1.2 Justificación del proyecto

Este proyecto facilitaría considerablemente aplicaciones en diversas áreas de la industria local ya sea en la agricultura, cartografía, seguridad, entre otros, además de ser referencia para el desarrollo de nuevos proyectos de aerostatos alimentados con energía solar fotovoltaica con mayor eficiencia, control y autonomía.

### 1.3 Objetivos

#### 1.3.1 Objetivo general

Diseñar el sistema solar fotovoltaico para la energización y control de un aerostato.

#### 1.3.2 Objetivos específicos

- 1) Elaborar el diseño de un sistema solar fotovoltaico capaz de superar la autonomía de vuelo de una aeronave común y de la misma aplicación.
- 2) Implementar el uso de partes y/o equipos livianos.
- 3) Ilustrar los resultados con esquemas eléctricos y modelos 3D.
- 4) Detallar cada etapa del proceso de diseño.

## 1.4 Marco teórico

### 1.4.1 Energía solar fotovoltaica en el mundo

La energía fotovoltaica es un recurso moderno que se ha ido desarrollando a lo largo de los últimos años en Ecuador. El año 2005 fue el primero en que se tomó en cuenta a la energía fotovoltaica para los Estudios del Sector Eléctrico Ecuatoriano, el valor producido de esta energía era casi nulo (0.00008%) en el país (*Estadística del Sector Eléctrico Ecuatoriano, 2005*). Para el año 2013 este valor ascendió al 0.08% debido a una inversión que realizó el estado en paneles solares, marcando un punto de partida para la implementación de esta tecnología en el país (*Estadística del Sector Eléctrico Ecuatoriano, 2013*). En el 2018 la energía fotovoltaica generada en Ecuador representó un 0,33% de la energía eléctrica total (*Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano, 2018*). En ese mismo año se aprobó una regulación para la implementación de energía fotovoltaica en instalaciones privadas (El Telégrafo, 2018). Actualmente, este porcentaje no ha variado significativamente, pero tiende a seguir creciendo en el pasar de los años (*Informe Operativo Anual, 2019*).

El desarrollo de la energía fotovoltaica en Ecuador se ha visto reflejado en el interés de establecer empresas dedicadas a labores relacionadas con este tipo de energía. Actualmente, se encuentran varias compañías con diferentes servicios como fabricantes de luminarias solares; o empresas capaces de proveer, diseñar, e instalar sistemas fotovoltaicos (RENOVAENERGIA S.A., 2020).

A pesar de esto, este tipo de energía apenas se ha implementado en muy pocos proyectos independientes o que no estén relacionados al sector productor eléctrico. Entre estos proyectos se encuentra una lancha que funciona con energía solar fotovoltaica en Galápagos, este bote es el primero en Ecuador que funciona con este tipo de energía (Ecuavisa, 2014). Aparte de este proyecto, no se encuentran muchos relacionados a vehículos, ya sean aéreos, terrestres o acuáticos, por lo cual se puede notar

que la implementación de sistemas generadores a partir de energía solar fotovoltaica no es muy común y aún no se ha desarrollado en el país.

Por lo contrario, a nivel internacional, la implementación de estos sistemas se encuentra en un nivel mucho más alto de desarrollo. Se pueden encontrar proyectos como el Aerostato diseñado por *Mothership Aeronautics*, el cual funciona con energía solar y su costo en el mercado es alrededor de USD\$30000. Este permite una autonomía de vuelo mayor a la de los drones que se encuentran en el mercado actualmente (eBlimp, 2016).

#### **1.4.2 Autonomía de Vuelo en Aeronaves**

Entre las aeronaves diseñadas para seguridad, control e inspección que se encuentran disponibles en el mercado, los drones son uno de los más populares y utilizados. En los últimos años se ha potenciado su desarrollo y comercialización más que nunca, debido a su fácil control, peso ligero y pequeñas dimensiones, aunque estos poseen una desventaja la cual es su corto tiempo de autonomía en el vuelo. Los drones suelen durar entre 20 minutos a 2 horas en el aire, soportando una carga máxima de 5 kilogramos (Aero Cámaras, 2019). Esto se debe a que sus baterías deben alimentar constantemente sus motores para proporcionarle sustentación, además debido a sus reducidas dimensiones, sería imposible implementar una instalación fotovoltaica para recargar las baterías de forma constante. Por lo contrario, en un Aerostato esto se facilita debido a que su sustentación es completamente proporcionada por el gas ligero que contiene en su interior, además se puede realizar una instalación fotovoltaica capaz de alimentar sus baterías debido a su oportuna superficie, donde se podrían ubicar paneles fotovoltaicos con facilidad.

#### **1.4.3 Células Solares**

La célula solar es el principal componente en un sistema de energía solar fotovoltaica al permitir la transformación de la energía solar en potencia eléctrica, esto se logra gracias al efecto fotovoltaico que es una propiedad

que poseen ciertos materiales semiconductores al reaccionar a la radiación solar transformándola en energía eléctrica, las células solares funcionan como un diodo, poseen un lado tipo N o dopaje tipo N en el lado superior de la célula (donde inciden los rayos del sol) y otro lado tipo P o dopaje tipo P en el lado inferior, estos tipos de dopaje se generan al inyectar energía quedando electrones en exceso y huecos respectivamente, al juntarse excitan los electrones que ansiosos por moverse, viajan al lado opuesto tipo P, llenando los agujeros vacantes en la frontera creando una región de agotamiento con un campo eléctrico sin electrones libres ni agujeros, por lo que existe una diferencia de cargas positiva y negativa en cada lado, cuando la luz solar se expone sobre las células solares del lado tipo N existe flujo de electrones y al llegar la radiación a la región de agotamiento se crea un camino llamado unión PN generando pares de electrones (migran al lado N) y huecos (migran al lado P), produciendo una diferencia de potencial, por lo que al conectar una carga los electrones fluyen y se incrustan en los huecos, mientras se siguen generando nuevos pares electrones-huecos al incidir la luz solar sobre la junta, obteniendo energía eléctrica continuamente. Es importante destacar que el conjunto de células solares conectados en serie o paralelo dependiendo la potencia que se pretenda generar, forman un panel solar (Mayfield, 2010).

Existen parámetros importantes a tener en cuenta al momento de seleccionar una célula solar tales como:

$V_{oc}$ : voltaje máximo sin carga eléctrica que puede entregar célula solar (V)

$V_m$ : voltaje máximo asociada a carga eléctrica que puede entregar célula solar (V)

$I_{sc}$ : corriente máxima sin carga eléctrica que puede entregar célula solar, cuando sus terminales se encuentran en cortocircuito (A)

$I_m$ : corriente máxima con carga eléctrica que puede entregar célula solar (A)

$P_{mpp}$ : máxima potencia que una célula solar puede entregar en un determinado instante (W)

$V_{mpp}$ : máximo voltaje correspondiente al punto de máxima potencia  $P_{mpp}$   
(V)

$I_{mpp}$ : máxima corriente correspondiente al punto de máxima potencia  $P_{mpp}$   
(A)

Las células solares se pueden diferenciar de acuerdo al material con el que son construidas, entre las principales que podemos encontrar en el mercado están:

Silicio monocristalino, Silicio policristalino. Silicio amorfo, CIGS, CIS, UGM, telurio de Cadmio, Arseniuro de Galio, siendo la última la que obtiene mayor rendimiento de alrededor del 33% (Barriga et al. 2014, p. 80)

#### **1.4.3.1 Consumo eléctrico**

El consumo eléctrico define la demanda de energía que el sistema solar tendrá que cubrir en un determinado periodo de tiempo, se mide en Watts-hora (Wh), para ello es necesario conocer si los equipos trabajan en DC o AC y calcular la potencia por separado. El consumo de un equipo que funciona en DC se calcula mediante la siguiente ecuación (Díaz Corcobado & Carmona Rubio, 2010):

$$C_{DC} = V_u * I_u * N_u + V_R * I_R * N_R \quad (1.1)$$

Donde:

$C_{DC}$ : consumo eléctrico del equipo en corriente directa (W-h)

$V_u$ : voltaje de consumo en uso (V)

$I_u$ : corriente de consumo en uso (A)

$N_u$ : Número de horas del equipo en uso (h)

$V_R$ : voltaje de consumo en reposo (V)

$I_R$ : corriente de consumo en reposo (A)

$N_R$ : Número de horas del equipo en reposo (h)

#### **1.4.3.2 Radiación solar**

La radiación solar incidente es el recurso energético que alimenta los paneles solares. El utilizar el sol como fuente de energía nos da grandes

ventajas y desventajas frente a otros recursos de energía, por lo que depende de nosotros hacer buen uso de esta fuente de energía, entre las principales ventajas tenemos que la radiación solar es una fuente renovable por lo que es inagotable, es gratis, omnipresente, en contraste llega a la tierra con grandes índices de dispersión, no es constante en el tiempo, entre otros (Díaz Corcobado & Carmona Rubio, 2010).

La energía que llega a una instalación solar es la suma parcial de diferentes tipos de energía tales como:

- Radiación directa: Es la radiación incidente que los paneles solares perciben de forma directa desde el sol.
- Radiación difusa: Es la radiación parcial de energía recibida luego que es filtrada por la atmósfera, generando pérdidas de energía y que los rayos se dispersan en diferentes direcciones, en este proceso intervienen los fenómenos de Dispersión, Reflexión, Difracción, Absorción.
- Radiación de Albedo: es la radiación reflejada por el entorno, como el suelo, árboles, entre otros.

Por lo tanto, la energía total recibida sobre los paneles solares es la suma de la radiación difusa, directa y de Albedo (Barriga et al. 2014, p. 34, 45). La radiación solar depende de la ubicación geográfica y factores atmosféricos y astronómicos tales como la latitud, longitud, la nubosidad, el acimut, la reflexividad, entre otros. Podemos medir la radiación recibida del sol usando los siguientes conceptos:

- Irradiancia: Es la potencia recibida del sol por unidad de área ( $W/m^2$ )
- Irradiación: Es la energía recibida del sol por unidad de área ( $Wh/m^2$ ) (Díaz Corcobado y Carmona Rubio 2010, p. 33)

En bases de datos podemos encontrar medidas de irradiación promedio

diaria (medidas anuales, mensuales o propiamente valores diarios), para una superficie horizontal. Para instalaciones fotovoltaicas autónomas se trabaja con irradiación diaria media mensual en un determinado ángulo de inclinación.

#### **1.4.3.3 Angulo óptimo de inclinación de los paneles solares**

Existe un ángulo de declinación de la tierra respecto al sol, se genera debido a que la tierra además de girar sobre su propio eje de rotación se inclina sobre él dependiendo de las estaciones del año y gira alrededor del sol, este valor de declinación es fundamental al encontrar el ángulo óptimo de inclinación solar que, como previamente se mencionó, varía de acuerdo con las estaciones del año en Ecuador existiendo solo invierno y verano. Existen ciertas fórmulas para calcular este ángulo, pero debido a situaciones prácticas se suele usar un valor aproximado, el ángulo óptimo de inclinación se define como aquel que forma el suelo con el panel solar, y se puede aproximar mediante la siguiente ecuación (Díaz Corcobado y Carmona Rubio 2010, p. 37):

$$\beta = \phi \pm \delta \quad (1.2)$$

Donde:

$\beta$ : Ángulo de inclinación

$\phi$ : Latitud

$\delta$ : Declinación solar

La declinación solar se aproxima a un valor de 10 en la práctica, sumando este valor para los meses de invierno y restando el valor para los meses de verano, además un factor importante es el norte verdadero o acimut, en el hemisferio sur esto es el ángulo medido respecto al punto cardinal norte hasta una determinada orientación en sentido horario por ejemplo el panel solar al estar situado en Guayaquil y orientado hacia el norte tendría un acimut de 0° y si estuviera orientado hacia el sur tendría un acimut de 180° (Barriga et al. 2014, p. 96).

#### 1.4.3.4 Potencia Pico

La potencia Pico es la potencia máxima que el generador fotovoltaico, tendría que suministrar en extremas condiciones, es decir en el caso que exista la peor radiación promedio recibida en el año, estuvieran funcionando todos los equipos en su máxima capacidad al mismo tiempo, situación que es bastante complicada que suceda, la potencia pico se mide en Vatios, y puede calcularse mediante la siguiente ecuación (Díaz Corcobado y Carmona Rubio 2010, p. 42):

$$F_{SG} = \frac{E_{producida}}{E_{demandada}} = \frac{P_{G-no\ nominal} \left( \frac{G_{dm}(\beta)}{I_{STC}} \right)}{L_{dm}} \quad (1.3)$$

Donde:

$G_{dm}(\beta)$ : Radiación Para el mes en que se hace el diseño este es el peor mes de radiación solar en el ángulo de inclinación óptimo  $\left( \frac{kW \cdot h}{m^2 \cdot dia} \right)$

$I_{STC}$ : Irradiancia en condiciones estándares, esto es  $1000 \frac{W}{m^2}$

$L_{dm}$ : Consumo medio estimado en vatios por hora (W.h)

$P_{G-no\ nominal}$ : Potencia pico de generador fotovoltaico ( $W_p$ )

$F_{SG}$ : Factor de seguridad del generador fotovoltaico entre (1.1-1.4)

El número de paneles que se conectaran para obtener la potencia deseada se obtiene dividiendo la potencia pico del sistema para la potencia nominal del panel solar, en caso de que el resultado sea un numero decimal se redondea al entero mayor (Díaz Corcobado y Carmona Rubio 2010, p. 61):

$$N_p = \frac{P_{G-no\ nominal}}{P_{panel}} \quad (1.4)$$

$N_p$ : número de paneles solares

$P_{G-no\ nominal}$ : Potencia pico de generador fotovoltaico ( $W_p$ )

$P_{panel}$ : Potencia nominal del panel solar ( $W_p$ )

#### **1.4.3.5 Ángulo Mínimo que forma panel solar instalado en aerostato**

Para calcular el ángulo mínimo que formará el punto medio del panel solar una vez instalado en el aerostato, usamos la siguiente ecuación para hallar la longitud de arco, despejando el ángulo en grados y siendo el centro del ancho del panel solar nuestra referencia, por lo tanto:

$$\alpha = \frac{180*s}{\pi*d} \quad (1.5)$$

Donde:

$\alpha$ : Ángulo mínimo que forma medio panel solar en la superficie horizontal del aerostato (°)

$s$ : Longitud de panel solar (m)

$d$ : Diámetro de la proyección frontal del aerostato (m)

#### **1.4.3.6 Conexión de Paneles Solares**

Los paneles solares pueden ser conectados en serie, paralelo o mixto (serie y paralelo), teniendo en cuenta que al estar en serie aumenta el voltaje y se mantiene constante la corriente, al conectarse en paralelo aumenta la corriente del sistema, pero el voltaje se mantiene constante. Dos paneles solares se conectan en serie al compartir un terminal de diferente polaridad (+-) y así secuencialmente para un determinado número de paneles, dos paneles se conectan en Paralelo al compartir 2 terminales de polaridad común (++) y (--) (Díaz Corcobado y Carmona Rubio 2010, p. 18).

#### **1.4.4 Acumuladores**

Los acumuladores o baterías reciben energía proveniente del generador FV (paneles solares), la almacenan como energía química y la devuelven a la carga como energía eléctrica. Son de vital importancia en una conexión autónoma y de manera especial en ciertas aplicaciones donde el funcionamiento y la autonomía del sistema es primordial, las baterías están diseñadas generalmente para proveer energía a la carga cuando los paneles solares no sean capaces por diferentes motivos, en ciertos casos

predecibles como la noche y otros no tan predecibles como días con altas nubosidad o sombras instantáneas.

Los acumuladores cumplen 3 funciones principales: almacenan energía y la entregan a la carga cuando el generador fotovoltaico no puede hacerlo, suministran una gran potencia instantánea y establece el voltaje al que va a trabajar la instalación. El valor de tensión de circuito abierto del generador debe ser mayor que la tensión nominal de las baterías para asegurar la carga completa y correcta del acumulador (Díaz Corcobado y Carmona Rubio 2010, p. 21)

Existen parámetros importantes a tomar en cuenta al seleccionar un acumulador tales como:

- Profundidad de Descarga (DoD): valor porcentual de energía que se descarga la batería desde su carga completa, es inversamente proporcional a la vida útil de la batería, el valor máximo en aplicaciones es fijado por el proyectista.
- Auto descarga: valor porcentual de energía que consume la batería al no usarse durante un determinado periodo de tiempo.
- Eficiencia de carga: es la relación entre la energía del panel para recargar la batería y la energía almacenada real, valor ideal 100%.
- Capacidad: Es la intensidad de corriente que se puede consumir en un periodo de tiempo, viene expresada en las hojas de datos que brindan los fabricantes en  $C^*(\text{número})$ , donde este número indica las horas ideales en que está supuesta a descargarse la batería a una determinada intensidad de trabajo, por ejemplo para una misma batería C10 y C20, significa que la batería podrá descargarse en 10 horas para un determinado valor de corriente y que la batería podrá descargarse en 20 horas para otro valor de corriente menor, respectivamente.

- Ciclos de carga y descarga: es el número de veces que la batería puede cargarse y descargarse hasta agotar su vida útil, depende de la profundidad de descarga, en ciertas aplicaciones solares cada día se carga y descarga la batería por lo que 1 día representa un ciclo (Díaz Corcobado y Carmona Rubio 2010, p. 22)

Se define el factor de seguridad del acumulador  $F_{SB}$  como los días de autonomía que el acumulador debe proveer al sistema, es equivalente a la relación entre la energía almacenada y la energía demandada. Además existe un factor muy importante al seleccionar el acumulador, que es la capacidad nominal de la batería y se define mediante la siguiente ecuación (Díaz Corcobado y Carmona Rubio 2010, p. 44):

$$C_{B-no\ min\ al} = \frac{L_{dm} * F_{SB}}{PD_{max}} \quad (1.6)$$

Donde:

$C_{B-no\ min\ al}$ : Capacidad nominal de la batería (W\*h)

$L_{dm}$ : Consumo de la instalación (W\*h)

$F_{SB}$ : Días de autonomía

$PD_{max}$ : Profundidad máxima de descarga

#### **1.4.4.1 Tipos de Acumuladores**

Existen diferentes tipos de baterías variando en precio y calidad dependiendo de la marca, entre los principales tipos de baterías para aplicaciones solares, tenemos las baterías de plomo-ácido, níquel-cadmio, níquel-metal hydride e ion litio, teniendo una amplia gama dentro de cada tipo, por ejemplo, en la categoría de baterías de plomo ácido encontramos las baterías tubulares estacionarias de alto ciclado, las baterías de gel, solares y de arranque.

En el mercado existe mayor demanda de las baterías tubulares estacionarias OPzS, gel e ión-litio debido a varios factores como su capacidad por tamaño o peso, precio, facilidad de mantenimiento,

rendimiento o disponibilidad en el mercado (Díaz Corcobado & Carmona Rubio, 2010).

#### **1.4.4.2 Conexión de Acumuladores**

El banco de baterías o acumulador se puede conectar dependiendo de la capacidad y el voltaje fijado para el proyecto. Teniendo en cuenta que la capacidad aumenta conectando baterías en paralelo y el voltaje aumenta conectando las baterías en serie. Los acumuladores también pueden tener una conexión mixta cuando se necesita aumentar la capacidad y el voltaje en una determinada aplicación. La conexión en serie se realiza con terminales de diferente polaridad es decir (+-) hasta lograr el voltaje deseado. Para aumentar la capacidad conectamos en paralelo los terminales de igual polaridad (++) (--) hasta lograr la capacidad deseada.

#### **1.4.5 Regulador**

El regulador de carga es el cerebro de una instalación solar fotovoltaica, debido a que regula el funcionamiento del sistema evitando la sobrecarga y sobre descarga en las baterías. Al diseñar una instalación solar fotovoltaica se escogen los niveles más bajos de radiación en el año, esto generaría que en épocas donde la radiación es alta, se produzcan altos niveles de potencia en el panel solar, por lo que sin la ayuda del regulador se echaría a perder todo el sistema, al sobrecargar el banco de baterías con valores de voltaje y corriente disparados en el proceso de carga, además de echar a perder las cargas eléctricas de consumo en consecuencia. El regulador cumple sus funciones principales en el acumulador evitando una sobrecarga, una profundidad de descarga excesiva (desconectando las cargas eléctricas) y asegurándose de que las baterías reciban el nivel de carga suficiente, de manera análoga en el consumo al controlar que la carga reciba los niveles necesarios de potencia eléctrica para su correcto funcionamiento, evitando posibles fallas o daños (Díaz Corcobado & Carmona Rubio, 2010).

Es importante destacar que los fabricantes indican el tipo de baterías compatibles a este regulador, las alarmas, protecciones o normas de seguridad utilizadas, la temperatura de trabajo que afecta el rendimiento del equipo, certificaciones, características mecánicas y físicas (Díaz Corcobado & Carmona Rubio, 2010). Existen varias etapas de carga de la batería que son importantes mencionar:

- Etapa de Bulk: Esta etapa de carga sucede cuando la batería comienza a cargarse, partiendo de la batería descargada por el uso del día anterior, la batería intenta cargarse con la máxima cantidad de amperios que pueda extraer desde el generador fotovoltaico aumentando el voltaje en el proceso, hasta un punto fijado dado por el fabricante donde la corriente de carga necesita disminuir al igual que el voltaje, generando una carga más lenta para el proceso restante de carga (alrededor del 20% del total), este parámetro es manejado automáticamente por el controlador de carga y de no tomarse en cuenta podría reducir considerablemente la vida útil de la batería.
- Etapa de Absorción: Durante esta etapa que se produce al culminar la Etapa de Bulk, la corriente que se extrae del panel solar y que llega a las baterías se reduce al igual que el voltaje (constante) completando la carga total de la batería, el regulador de carga se encarga de este proceso de manera automática.
- Etapa de Flotación: Luego de la Etapa de Absorción, las baterías se encuentran totalmente cargadas, sin embargo, el regulador de ser posible intentará mantener el banco de baterías en este estado (carga máxima), a esta carga se le denomina Etapa de Flotación, regularmente en invierno no siempre se llegará a la carga completa por lo tanto no ocurrirá este proceso, pero en verano las baterías pueden mantenerse cargadas todo el día (Mayfield, 2010).

Los reguladores de carga tienen un rango de voltaje de entrada (desde los paneles FV) necesario para funcionar de manera óptima, uno mínimo para trabajar y uno máximo que puede soportar.

#### **1.4.5.1 Tipos de Reguladores**

Existen 2 tipos de reguladores de carga en la industria solar, aplicados para grandes instalaciones (mayores a 500w) el regulador con tecnología MPPT (seguidor de punto de máxima potencia y PWM (modulación por ancho de pulso).

El controlador MPPT se encarga de optimizar la potencia que se obtiene de los paneles solares, al recibir siempre la máxima potencia que nos da el fabricante  $P_{mpp}$  (teniendo cuidado que este valor puede presentar desviaciones en la práctica dependiendo de los factores externos que generen condiciones diferentes a las STC) y enviarla a la batería variando los valores de corriente y voltaje de tal manera que se mantenga constante la potencia, pero se compense el exceso o falta de corriente o voltaje. Por lo tanto, el controlador MPPT puede aumentar o disminuir si es necesario el voltaje o corriente que suministre el generador fotovoltaico manipulando la potencia máxima que pueden entregar al banco de baterías por ejemplo, si un panel solar puede entregar un voltaje máximo de 42v con una corriente máxima de 10A y se necesita cargar una batería de 36v, suponiendo que necesita 38v para cargarse, los 4 voltios restantes el regulador lo compensará como corriente, adicional a la corriente de 10A que se entregó inicialmente. Una desventaja frente al controlador PWM es su precio elevado no justificable en instalaciones pequeñas que no aproveche todo el potencial y características que nos puede brindar este tipo de regulador. Los reguladores PWM necesitan un voltaje nominal desde los paneles solares igual al del banco de baterías (Mayfield 2010, p. 145).

El controlador PWM a diferencia del regulador MPPT, solo receipta del generador fotovoltaico el valor de voltaje que las baterías necesitan para cargarse, aunque el voltaje suministrado por los paneles solares sea

mucho mayor, no aprovechando toda la energía que podríamos obtener del generador, en consecuencia, tampoco obtendríamos la máxima corriente que los paneles solares puedan proveer. Cuando el banco de baterías está pronto a su capacidad máxima el regulador enciende y apaga rápidamente la energía que recibe de los paneles, bajando el flujo de corriente para la carga completa. Son de bajos costo y son compatibles para todo tipo de baterías (Díaz Corcobado & Carmona Rubio, 2010).

En caso de que la corriente recibida por el regulador de carga MPPT sea mayor a la permitida, la potencia adicional se disipará como calor, pero no dañará el controlador. Para garantizar no exceder la potencia máxima del controlador evitando pérdidas en calor, podemos multiplicar el voltaje del banco de baterías por la corriente máxima de salida que el controlador permite al sistema, seleccionando así un panel PV que no exceda este valor de potencia o un controlador con mayor corriente máxima de salida (Mayfield, 2010)

Otros valores importantes a tomar en cuenta son los valores de capacidad para la carga de la batería con la energía de los paneles PV, este valor debe estar por encima de C20 y por debajo de C10, en lo que se cargará la batería por ejemplo si un banco de baterías tiene una capacidad nominal de 300Ah y un voltaje nominal de 36V, y está supuesto a cargarse con un corriente entre 15A y 30A, entonces al hablar de una misma batería teniendo una capacidad constante y sabiendo que el valor más alto de corriente corresponde a la menor capacidad establecida, tenemos que  $300\text{Ah}/10\text{h}=30\text{A}$  y  $300\text{Ah}/20\text{h}=15\text{A}$  por lo tanto, el generador PV debe ser capaz de suministrar una potencia entre 540w y 1080W (Mayfield, 2010).

Otros valores importantes a considerar encontrados en los catálogos de los fabricantes de reguladores de carga son:

- Tensión Nominal: es la tensión de trabajo del acumulador establecida siendo igual la tensión nominal del acumulador.
- Intensidad Máxima de Generación: es la corriente máxima que podrá procesar el controlador desde los paneles solares.
- Intensidad Máxima de Consumo: es la máxima corriente que se puede suministrar a la carga eléctrica que alimentará el sistema.
- Sobrecarga: valor de desviación referente a la tensión nominal que soporta el controlador.
- Corriente de carga nominal: corriente que puede enviar el controlador a las baterías en condiciones normales.
- Autoconsumo: Es la corriente de consumo que necesita el acumulador para funcionar (Díaz Corcobado y Carmona Rubio 2010, p. 20).

#### **1.4.6 Cableado**

Al momento de seleccionar los conductores que conectarán un sistema solar FV, es necesario tener presente el tipo de protección que necesitamos, si fluirá corriente directa o alterna, la caída de tensión máxima que puede soportar el tramo, la longitud y sección transversal mínima que este debe tener de modo que la instalación funcione correctamente.

La longitud es un parámetro de entrada que se determina al colocar los diferentes componentes de la instalación en el lugar donde se van a alojar para su funcionamiento continuo.

La sección transversal mínima se puede calcular a partir de la caída de tensión máxima recomendadas en el pliego de condiciones técnicas de

instalaciones aisladas de red para diferentes tramos de la instalación donde:

- Caída de tensión entre regulador de carga y generador FV debe ser menor o igual al 3%.
- Caída de tensión entre regulador de carga y acumulador debe ser menor o igual al 1%.
- Caída de tensión entre regulador de carga y cargas eléctricas debe ser menor o igual al 3% (Barriga et al., 2014, p. 98).

Por lo tanto, hallamos la sección mínima que puede circular por el cable, mediante la siguiente ecuación:

$$S_{mínima} = 2 * \frac{\rho_{cable} * L_{cable} * P_{max}}{V_{sistema} * V_{caída-sistema}} \quad (1.7)$$

Donde:

$P_{max}$ : Potencia máxima que se entrega en un tramo (W).

$V_{sistema}$ : Voltaje nominal al que trabaja el tramo (A).

$V_{caída-sistema}$ : Caída de voltaje respecto al voltaje nominal del tramo del cable (v).

$S_{mínima}$ : Sección transversal mínima que puede tener el cable en un determinado tramo ( $mm^2$ ).

$\rho_{cable}$ : Resistividad del cable (propiedad del material conductor)  $\left(\frac{\Omega * mm^2}{m}\right)$ .

$L_{cable}$ : Longitud del tramo de cable (m).

Además, se debe cumplir con las normas de seguridad y protección dependiendo las necesidades que tenga el proyectista. Regularmente se escogen los conductores de cobre a pesar de ser más caros en comparación con los conductores de aluminio que poseen ciertas ventajas como ser compatibles con la mayoría de los terminales disponibles en el mercado que al no ser correctamente elegidos pueden fallar e incluso provocar incendios, por lo que el ahorro en aluminio no vale la pena.

Existen varios tipos de cables que se pueden usar en aplicaciones solares entre ellos tenemos:

- USE-2: Este tipo de cable de cobre está diseñado para ser expuesto a extremas condiciones como la exposición a la luz solar directa y temperaturas de 60°C en condiciones secas o húmedas, por lo que es resistente a la luz solar, al calor y a la humedad, no tiene propiedades retardantes para fuego, se encuentra disponibles en variedades de colores. El -2 indica que el conductor está diseñado para trabajar a 90°C en humedad o en seco.
- Cable PV: Tiene doble capa de polietileno como aislamiento, a diferencia del use-2 que solo posee una, lo que lo hace más duradero y caro, ha ganado popularidad en los últimos años y es recomendable usarlo para disminuir el tipo de cables que se usarán en el sistema FV.
- THHN: este tipo de cable esta recubierto por un termoplástico resistente al calor, puede ser de cobre o aluminio, al no tener protección solar no puede ser expuesto a la intemperie.
- THWN-2: este tipo de cable esta recubierto por un termoplástico resistente al calor y a la humedad, puede ser de cobre o aluminio. El -2 indica que el conductor está diseñado para trabajar a 90°C en condiciones secas o húmedas.
- RHW: termo endurecible resistente a la humedad, aplicable para cableado de la batería a la carga.
- THW: termoplástico resistente al calor y a la humedad, hechos comúnmente con cobre.

#### 1.4.7 Fuerza de Arrastre

Esta es importante para calcular la potencia que requieren los motores. La fuerza de arrastre es la que ejerce un fluido hacia un cuerpo, cuando este viaja a través de dicho medio, siendo aplicada en la misma dirección del fluido (Cengel y Cimbala 2006, p.563). Esta fuerza puede ser calculada mediante la siguiente ecuación:

$$F_D = \frac{C_D A \rho V^2}{2} \quad (1.8)$$

Donde:

$F_D$ : Fuerza de Arrastre en (N).

$C_D$ : Coeficiente de arrastre del cuerpo.

$A$ : Área proyectada en dirección del fluido ( $m^2$ ).

$\rho$ : Densidad del fluido ( $kg/m^3$ ).

$V$ : Velocidad relativa entre fluido y cuerpo (m/s).

Para calcular el número de Reynolds se utiliza la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{\rho * V * L}{\mu} \quad (1.9)$$

Donde:

$Re$ : Número de Reynolds

$\mu$ : Viscosidad dinámica del fluido (Pa.s).

$L$ : Longitud característica (m).

$\rho$ : Densidad del fluido ( $kg/m^3$ ).

$V$ : Velocidad relativa entre fluido y cuerpo (m/s).

#### 1.4.8 Datos proporcionados del Aerostato

En la siguiente tabla se encuentran detallados las dimensiones del Aerostato sobre el cual se diseñará el Sistema de Energía Solar Fotovoltaica.

**Tabla 1.1 Datos del aerostato**

Largo (Diámetro mayor)	9 [m]
Ancho (Diámetro menor)	3,5 [m]
Área Superficial	82 [m <sup>2</sup> ]
Largo de Góndola	1,39 [m]
Ancho Inferior de Góndola	0,32 [m]
Ancho Superior de Góndola	0,6 [m]

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

La selección de los componentes se realizó tomando en cuenta condiciones climáticas promedio del año, para lo cual se busca conseguir una autonomía de vuelo de 10 horas. Cabe recalcar que estas condiciones no son ni las más favorables ni las menos favorables del año. Luego de haber seleccionado los componentes y partes del sistema, se procedió a realizar un cálculo de cuantas horas podría alimentar dicho sistema al aerostato en las peores condiciones.

### 2.1 Normativas

La mayor parte de normativas encontradas fueron relacionadas a instalaciones conectadas a la red, lo cual no corresponde al diseño de este proyecto. Se consideró que lo más importante sería que cada elemento seleccionado cumpla con los requisitos de normas vigentes, lo cual se detalla en las fichas técnicas correspondientes a cada parte de la instalación fotovoltaica, ubicadas en el apéndice de este documento. Para los paneles solares se tomó en cuenta la normativa UNE-EN 61646:2009 y UNE-EC IEC 61730-1:2019, bajo la cual fueron fabricados los paneles seleccionados (International Electrotechnical Commission, 2019) (International et al., 2008). Para el acumulador se encontró la normativa IEC/EN 62133 (International Electrotechnical Commission, 2012). Para el regulador de carga se consideró la norma UNE-EN 62109-1:2011 (Normativa Española, 2011).

Para la dimensionar los cables se tomó en cuenta la norma UNE 20003 que recoge propiedades eléctricas de los conductores de cobre y aluminio, además del REBT donde se emiten criterios al seleccionar los cables para diferentes aplicaciones eléctricas.

### 2.2 Potencia Suministrada al Aerostato

La potencia eléctrica que requiere el Aerostato fue el valor que se necesitó para empezar el diseño y selección de las partes del Sistema de Energía

Solar, por lo tanto, se estimó este valor mediante una lista de elementos eléctricos instalados en el Aerostato y la potencia eléctrica que requiere cada uno.

## 2.2.1 Elementos Eléctricos del Aerostato

### 2.2.1.1 Motores de propulsión

Para la propulsión se consideró el caso crítico, en el cual se necesita la mayor potencia para que el Aerostato sea capaz de moverse en el aire a su velocidad máxima. En este caso se asumió que la nave tendría una velocidad de 5 m/s, respecto a tierra, en dirección opuesta al viento, este con una velocidad muy alta, estadísticamente hablando para la ciudad de Guayaquil. La velocidad del viento fue obtenida mediante datos de la siguiente figura.

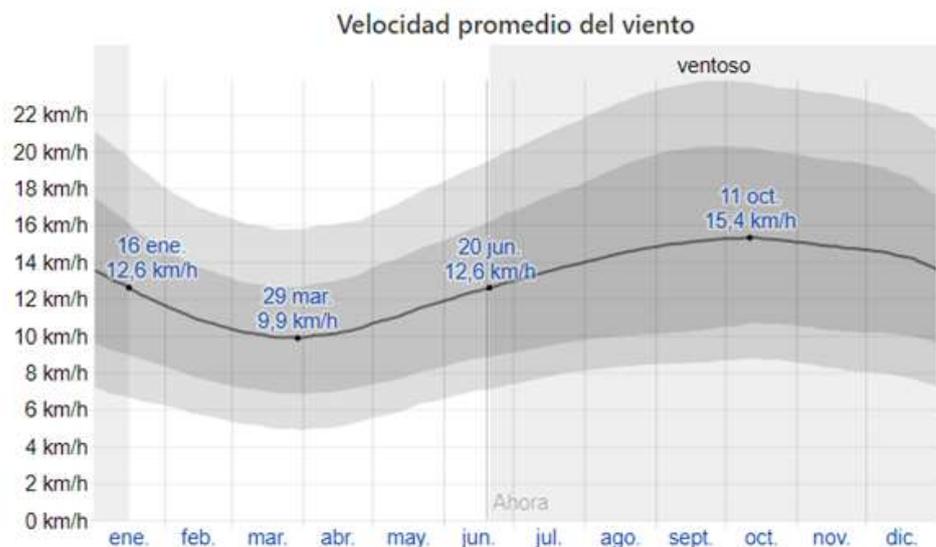


Figura 2.1 Velocidad promedio del viento en Guayaquil [(Weather Spark, 2016)]

En esta gráfica se pudo observar que la velocidad promedio máxima del viento es de 15,4 km/h (4.28 m/s), a 10 metros de altura y ocurrió en el mes de octubre.

Debido a la variación de la velocidad del viento respecto a la altura y a que el Aerostato se diseñó para volar a 100 metros, se usó un calculador

de velocidad de viento a diferentes alturas, mostrado en la siguiente figura.

CALCULATOR							
Rugosidad							
Clase	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0
Long. (m)	0.0002	0.0024	0.03	0.055	0.1	0.4	1.6
150 m	16.46	15.49	14.14	13.74	13.31	12.13	10.61
140 m	16.38	15.39	14.03	13.62	13.18	11.98	10.45
130 m	16.29	15.29	13.9	13.49	13.05	11.83	10.27
120 m	16.19	15.18	13.77	13.35	12.9	11.67	10.09
110 m	16.08	15.05	13.63	13.20	12.74	11.49	9.88
100 m	15.97	14.92	13.47	13.04	12.57	11.3	9.66
90 m	15.84	14.77	13.29	12.85	12.38	11.08	9.41
80 m	15.70	14.61	13.1	12.65	12.16	10.84	9.14
70 m	15.53	14.42	12.88	12.42	11.92	10.57	8.83
60 m	15.35	14.20	12.62	12.15	11.64	10.25	8.47
50 m	15.12	13.95	12.32	11.83	11.31	9.88	8.04
40 m	14.85	13.63	11.95	11.44	10.9	9.42	7.52
30 m	14.5	13.23	11.47	10.95	10.38	8.83	6.85
20 m	14.01	12.66	10.8	10.24	9.64	8	5.9
10 m	13.17	11.69	9.64	9.04	8.38	6.59	4.28

Figura 2.2 Calculador de rapidez de viento [(Danish Wind Industry Association 2003)]

En este se ingresó una velocidad a una altura conocida (4.28 m/s a 10 m), y se visualiza el valor a 100 m según la rugosidad de la zona. El valor de rugosidad fue de 2.0 dado que se trató de “Centros de las ciudades con mezcla de edificaciones de alturas diversas, bosques de altura irregular con zonas deforestadas” (JMGD, 2001). En esta tabla no se encontró un valor de 2.0 de rugosidad, por lo cual se tomó 1.6 que se le acercaba más. Se observó que la velocidad del viento a 100 m de altitud es de 9.66 m/s.

Con el valor de velocidad, previamente calculado, se procedió a obtener la fuerza de arrastre sobre el Aerostato y así poder obtener la potencia eléctrica necesaria de un motor para impulsar la nave. Se utilizó la ecuación (1.8) para calcular esta fuerza:

$$F_D = \frac{c_D * A * \rho * V^2}{2}$$

El coeficiente de arrastre se obtuvo de la siguiente figura, dado que el aerostato diseñado tiene la forma de una elipsoide, con L/D de 2,6, según las dimensiones del diseño.

Forma	$C_D$	
	Flujo laminar	Flujo turbulento
Esfera : 	0.47	0.27
Elipsoide de revolución :		
2:1 → 	0.27	0.06
4:1 → 	0.20	0.06
8:1 → 	0.25	0.13

Figura 2.3 Coeficientes de arrastre para una elipsoide [(Shames, 1995)]

Para diferenciar el caso entre laminar o turbulento, se usó el Número de Reynolds, el cual fue calculado mediante la ecuación (1.9):

$$Re = \frac{\rho * V * L}{\mu}$$

La densidad del aire a 100 m de altura es de 1.213 kg/m<sup>3</sup> y su viscosidad dinámica es de 1.786 x 10<sup>-5</sup> Pa\*s (Cengel & Cimbala, 2006).

$$Re = \frac{1,213 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] * \left( 9,66 \left[ \frac{m}{s} \right] + 5 \left[ \frac{m}{s} \right] \right) * 9 [m]}{1,786 \times 10^{-5} Pa * s)}$$

$$Re = 8,96 \times 10^6$$

Se trató de un caso turbulento debido a que el número de Reynolds es mayor a 4000 (Cengel & Cimbala, 2006). Interpolando, según la figura anterior, se obtuvo un coeficiente de arrastre de 0,06. El área proyectada

en dirección del flujo es un círculo, por lo cual su área fue calculada de la siguiente manera:

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi * (3,5 [m])^2}{4}$$

$$A = 9,624 [m^2]$$

Reemplazando los valores, se obtuvo:

$$F_D = \frac{0,06 * 9,624 [m^2] * 1,213 [\frac{kg}{m^3}] * (14,66 [\frac{m}{s}])^2}{2}$$

$$F_D = 75,245 [N]$$

Debido a que esta se trataba de una estimación, se utilizó un factor de diseño de 1,3, en caso de que la fuerza calculada por el otro grupo haya sido mayor debido a cambios en la geometría del diseño. Esto resultó en una fuerza de 97,82 N.

Esta fuerza fue expresada en gramos-fuerza para la selección del motor propulsor, según el catálogo de *T-Motor*. También se dividió la fuerza en 2 debido a que se seleccionaron 2 propulsores. Esta fuerza de propulsión resultó:

$$F_P = \frac{97,82 [N]}{2} * \frac{1000 [gramo fuerza]}{9,8 [N]}$$

$$F_P = 4990,7 [g - f]$$

Se seleccionaron 2 motores “U10PLUS KV100” con propulsores “T-MOTOR 27\*8.8CF”, los cuales se muestran en el apéndice B. De las especificaciones se obtuvo que la propulsión que genera cada uno de estos motores es de 5160  $[g - f]$ , y la potencia eléctrica que necesitan es de 550.4 W cada uno.

### **2.2.1.2 Otros elementos**

Entre los elementos adicionales que consumían potencia eléctrica y debían ser alimentados por energía solar se encontraron: la antena, el receptor de la antena, el sistema de radio y el servo. Dado que estos elementos aportaban en una pequeña parte de la potencia total (relativo a los propulsores), y a que la selección de estos elementos dependía de los requerimientos y preferencias de diseño del Aerostato en sí (ajeno a este documento), se realizó una estimación, basada en otros proyectos, sobre el porcentaje que consumen estos elementos respecto a la potencia total. El porcentaje que se encontró fue 4% pero se usó un porcentaje de 10% de forma conservadora (Van Lee, 2011).

Una vez realizada la selección de dichos elementos, se reemplazó por el valor real con los respectivos cambios y ajustes en el resto de las variables.

## **2.3 Distribución de tiempo de alimentación al Aerostato en uso y en reposo**

Fue necesario establecer en qué proporción alimentarían los paneles solares y los acumuladores de carga al Aerostato, para esto fue preciso realizar una investigación de la nubosidad en un día promedio del año, es decir, un día de un mes con una nubosidad media. Luego, se observó el porcentaje en que este día se encuentra despejado y se asignaría al tiempo de trabajo de los paneles, pero cuando estos no puedan recibir suficiente radiación solar, es decir, el porcentaje del día que se encuentre nublado se asignará al tiempo de trabajo de las baterías. En este caso, el día de nubosidad media fue el 22 de mayo de 2019, según la siguiente figura.



Figura 2.4 Nubosidad en un año promedio [(Weather Spark 2020)]

Una vez encontrado un día con una nubosidad promedio (considerando día y noche), se procedió a estimar la misma, pero considerando solo las horas del día, dado que el aerostato solo funciona durante el día. Se estimó un promedio en el día 22 de mayo de 2019, como se muestra en la siguiente figura.

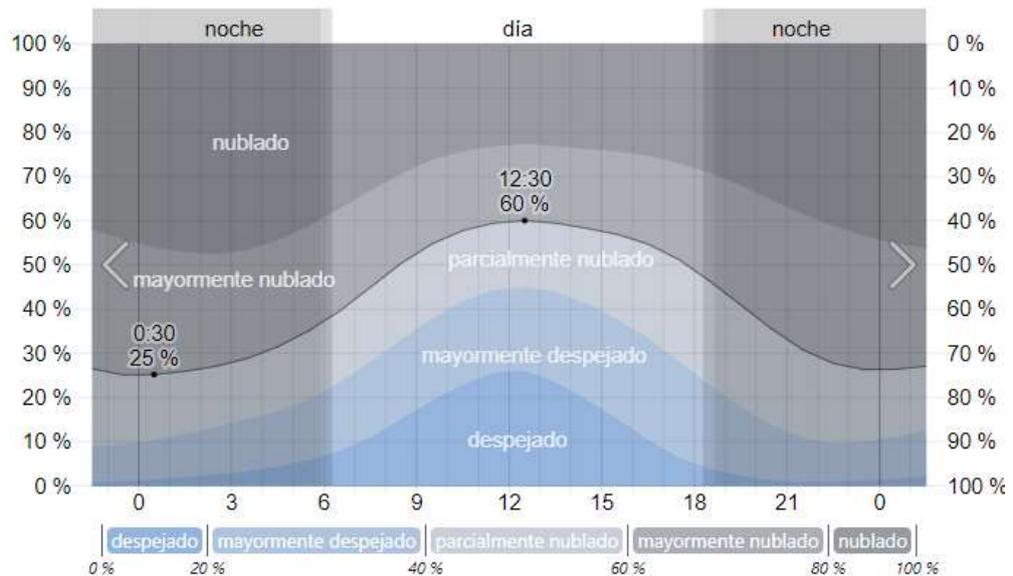


Figura 2.5 Nubosidad del 22 de mayo de 2019 [(Weather Spark 2020)]

Se obtuvo el promedio considerando solo las horas del día, obteniendo así un resultado del 50%. Esto quiere decir que, para condiciones normales, el

aerostato debía ser alimentado por los paneles durante un 50% del día, y con baterías el otro 50%. El tiempo de vuelo para el diseño, en condiciones normales, debía ser de 10 horas, lo cual resultó en 5 horas para cada componente.

Una vez calculado el tiempo que trabajaría cada componente, fue necesario realizar un cálculo del tiempo que se encontrarían en uso y en reposo los motores, dado que estos no debían permanecer funcionando todo el tiempo. También se consideró que el Aerostato debía ser capaz de regresar a un punto determinado por medio de sus motores, después de ser desplazado por el viento. Para esto se estableció una relación, donde la distancia que pueda desplazarse el Aerostato, usando sus motores a una velocidad constante de diseño de 5 m/s, deba ser mayor o igual a la distancia que el Aerostato se desplaza debido al arrastre del viento con una velocidad constante de 9,66 m/s, como se observó en los datos estadísticos usados anteriormente. Esto fue representado por la siguiente inecuación:

$$d_u \geq d_r$$

$$\left(5 \frac{m}{s}\right) * t_u \geq \left(9,66 \frac{m}{s}\right) * t_r$$

Donde

$d_u$ : Distancia que se desplaza el Aerostato con los motores en uso

$d_r$ : Distancia que se desplaza el Aerostato con los motores en reposo

$t_u$ : Tiempo en uso

$t_r$ : Tiempo en reposo

También se conocía el que la suma de ambos tiempos debía ser 5 horas, por lo tanto, se obtuvieron los siguientes resultados:

$$t_u = 3,3 \text{ horas}$$

$$t_r = 1,7 \text{ horas}$$

## 2.4 Paneles Solares

### 2.4.1 Irradiación Total y Orientación de Paneles Solares

Para el cálculo de la irradiación global que incide sobre los paneles solares, fue crucial el apoyo en una base de datos, misma que proporcionó datos medios mensuales de radiación global diaria incidente sobre una superficie horizontal, para ellos existen varias páginas disponibles en la web, en este caso se escogió una base de datos de la NASA abierta al público (*POWER Data Access Viewer*, 2020). Para ello fue necesario proporcionar parámetros de entrada tales como latitud y longitud en grados (en este caso para la ciudad de Guayaquil), obteniendo un valor de  $-2.19616^{\circ}$  y  $-79.8266^{\circ}$  (Google, s. f.) respectivamente, además del periodo de tiempo en que los datos fueron tomados, en este caso se escogió el último año completo, es decir 2019 por tener la radiación más baja anual entre el 2015-2019.

```

-BEGIN HEADER-
NASA/POWER SRB/FLASHFlux/MERRA2/GEOS 5.12.4 (FP-IT) 0.5 x 0.5 Degree Interannual Averages/Sums
Dates (month/day/year): 01/01/2015 through 12/31/2019
Location: Latitude -2.1962 Longitude -79.8266
Elevation from MERRA-2: Average for 1/2x1/2 degree lat/lon region = 456.84 meters Site = na
Climate zone: na (reference Briggs et al: http://www.energycodes.gov)
Value for missing model data cannot be computed or out of model availability range: -999
Parameter(s):
ALLSKY_SFC_SW_DWN SRB/FLASHFlux 1/2x1/2 All Sky Insolation Incident on a Horizontal Surface (kW-hr/m^2/day)
PARAMETER YEAR JAN FEB MAR APR MAY JUN JUL AUG
-END HEADER-
ALLSKY_SFC_SW_DWN 2015 3.79 4.03 4.06 4.16 3.93 3.74 3.77 3.87
ALLSKY_SFC_SW_DWN 2016 3.86 3.41 3.55 4.07 4.39 3.87 3.56 4.49
ALLSKY_SFC_SW_DWN 2017 3.77 3.90 4.19 4.49 3.82 3.30 3.51 3.96
ALLSKY_SFC_SW_DWN 2018 4.57 3.63 3.94 4.60 3.33 3.56 3.51 4.02
ALLSKY_SFC_SW_DWN 2019 3.98 3.60 4.06 4.26 3.64 3.28 3.68 4.17
SEP OCT NOV DEC ANN
4.40 3.79 3.90 4.15 3.97
4.14 4.61 5.39 4.47 4.15
4.09 4.29 4.02 3.81 3.93
4.42 3.97 3.85 4.13 3.89
4.64 3.73 3.61 4.17 3.83

```

Figura 2.6 Irradiación mensual sobre una superficie horizontal [(NASA, 2020)]

Para calcular la orientación de los paneles (ángulo acimutal), se dio paso a una investigación de la dirección del viento a lo largo del año. Según los parámetros bajo los que se realizó el diseño, la nariz del Aerostato debía apuntar en dirección contraria al viento para tener menor fuerza de arrastre, siendo esta dirección el Este, como se muestra en la siguiente figura.

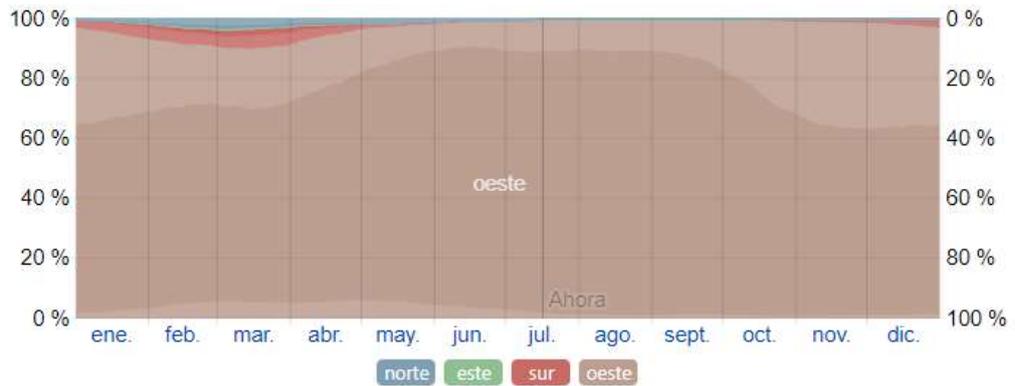


Figura 2.7 Dirección del viento en 2019 [(Weather Spark 2020)]

Dado que el tiempo que el viento sopla hacia el Oeste es mayor al 90% durante todo el año, se decidió orientar el Aerostato hacia el Este. Esto significó que los paneles apuntarían hacia el Norte y Sur (ángulo acimutal  $0^\circ$  y  $180^\circ$ , respectivamente), dado que los paneles se orientaron como se muestra en muestra en la siguiente figura.

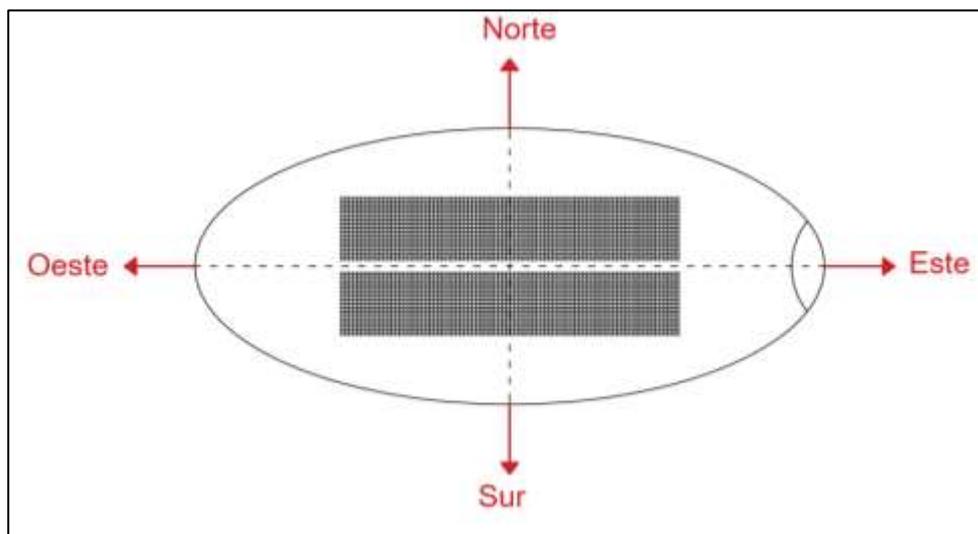


Figura 2.8 Vista superior de ubicación de paneles sobre el Aerostato

Una vez encontrado el ángulo acimutal, se procedió a encontrar el ángulo de inclinación de los paneles, para esto se realizó una tabla con diferentes ángulos de inclinación. Cabe recalcar que debido a la simetría que se debía mantener al momento de colocar los paneles por razones estabilidad en el vuelo, cada panel debía encontrarse a la misma distancia alejado del centro

del Aerostato en ambos sentidos. Por esto, los paneles no podían tener una inclinación de 0°, ya que para lograr esto debía encontrarse uno encima de otro. Entonces, se calculó el ángulo mínimo para que los paneles no se traslapen, esto significó que la longitud de arco correspondiente a dicho ángulo debía ser mayor o igual al ancho de los paneles, como se muestra en la siguiente figura.

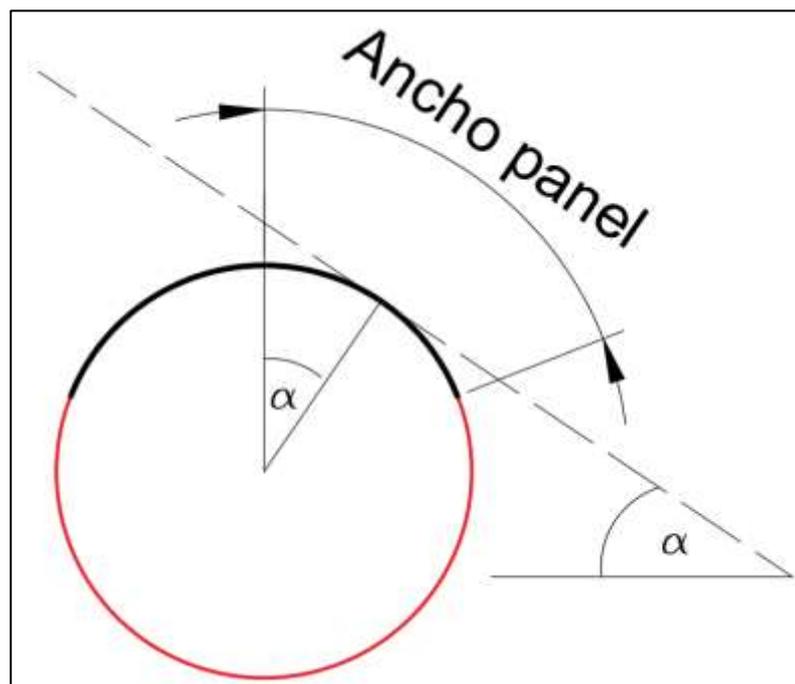


Figura 2.9 Vista frontal del Aerostato para cálculo de ángulo de inclinación

El ancho del panel se obtuvo mediante métodos iterativos, hasta que se seleccionó un panel de 0,348 metros de ancho, mediante la ecuación (1.5) y el ancho de los paneles se obtuvo la siguiente, por lo que el ángulo mínimo es:

$$\alpha = \frac{180 * s}{\pi * d}$$

$$\alpha = 5,7$$

Se trabajó con un ángulo mínimo de 6°, para lo cual, considerando que un panel apuntaría al Norte (acimut 0°) y el otro al Sur (acimut 180°), se sumó

la radiación incidente en cada panel por cada mes, y se obtuvo un promedio para cada par de ángulos. Finalmente, se eligió el ángulo que tuvo mayor promedio de radiación en un mes durante el año, considerando los datos de radiación sobre superficie horizontal en Guayaquil a lo largo de los meses en 2019 obtenidos previamente, además de las variables geográficas de latitud en grados, ángulo acimutal y reflexividad. En la siguiente figura se muestra un ejemplo del software utilizado para calcular la radiación a 6° de inclinación con ángulo acimutal de 180°, es decir apuntando hacia el Sur:

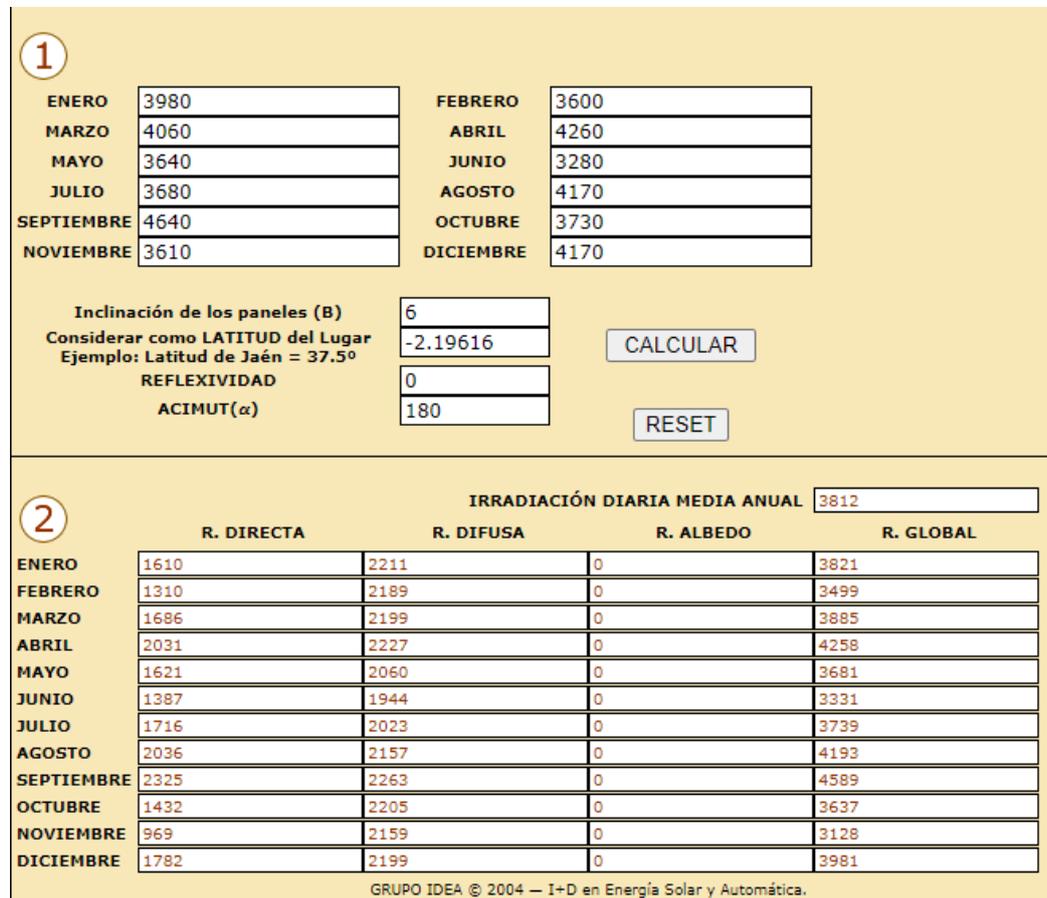


Figura 2.10 Irradiación diaria media a 6° de inclinación (Grupo Idea, 2004).

De esta manera, se calculó la radiación en  $W \cdot h / m^2$  para los ángulos que se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 2.1 Promedio de radiación en W\*h/m<sup>2</sup> sobre cada par de ángulos**

Áng	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
6°	4023	3592	3893	4126	3488	3131	3509	4015	4539	3708	3226	4240	3791
-6°	3821	3499	3885	4258	3681	3331	3739	4193	4589	3637	3128	3981	3812
Sum	7844	7091	7778	8384	7169	6462	7248	8208	9128	7345	6354	8221	7603
10°	4062	3597	3867	4050	3397	3041	3405	3924	4486	3705	3237	4295	3756
-10°	3727	3444	3854	4269	3718	3373	3788	4221	4569	3588	3074	3868	3791
Sum	7789	7041	7721	8319	7115	6414	7193	8145	9055	7293	6311	8163	7547
15°	4089	3586	3814	3934	3266	2914	3258	3790	4396	3683	3236	4342	3692
-15°	3591	3358	3794	4260	3745	3409	3829	4231	4519	3508	2993	3706	3745
Sum	7680	6944	7608	8194	7011	6323	7087	8021	8915	7191	6229	8048	7438
20°	4092	3555	3740	3794	3118	2771	3092	3633	4279	3639	3217	4362	3608
-20°	3435	3254	3713	4226	3750	3426	3847	4217	4442	3409	2896	3523	3678
Sum	7527	6809	7453	8020	6868	6197	6939	7850	8721	7048	6113	7885	7286

Como se pudo observar en la anterior tabla, la radiación tiende a disminuir mientras el ángulo de inclinación aumenta, y el mayor promedio de radiación se obtiene al colocar ambos paneles a un ángulo de inclinación de 6°, apuntando al Norte y Sur, respectivamente. Debido a las condiciones de diseño establecidas al principio del capítulo, se decidió trabajar con la menor radiación promedio entre ambos paneles, siendo esta de 3790,8 W\*h/m<sup>2</sup>.

#### 2.4.2 Consumo Eléctrico

Para cada artefacto eléctrico que se incorporó al aerostato, fue necesario suministrarle energía de manera que funcione correctamente, por ello se calculó el consumo eléctrico que demandaría cada uno de los equipos, teniendo en cuenta que el consumo de los propulsores sería el mayor, en relación con los otros componentes. Como se observó en enunciados anteriores, el consumo del resto de aparatos eléctricos representaba un 10% del consumo de los propulsores; y se estimó que los paneles solares alimentarían directamente al sistema durante 5 horas, al igual que los acumuladores. También se encontró que el tiempo en uso sería de 3,3 horas y en reposo de 1,7 horas cuando tanto paneles como baterías, alimenten al sistema.

Debido a las condiciones normales para las que se diseña, se asumió que los motores trabajarían, en promedio, a un 75% de su capacidad de manera constante cuando se encuentren en uso, debido a las variaciones de la velocidad del viento que se producen. Es importante destacar que todos los equipos que se usaron trabajan en corriente continua DC. En la Figura B.1, se obtuvieron los siguientes datos:

**Tabla 2.2 Datos de consumo eléctrico para los propulsores**

Motor	Número de propulsores	Corriente en reposo (A)	Corriente en uso (A) (a 75%)	Voltaje en reposo (V)	Voltaje en uso (V)	Número de horas en uso (h)	Número de horas en reposo (h)
T-MOTOR 27*8. 8CF	2	1	8	10	32	3,3	1,7

Con estos datos y mediante la ecuación 1.1, se calcularon los siguientes valores:

**Tabla 2.3 Consumo eléctrico del sistema en DC**

Consumo total por propulsor (w*h)	Consumo otros (w*h)	Consumo total (w*h)
861,8	172,36	1895,96

### 2.4.3 Selección de paneles solares

La selección de paneles solares se realizó considerando la potencia pico que el sistema solar tendría que generar bajo las condiciones establecidas, calculada mediante la ecuación (1.3) con un factor de seguridad de 1.2, el menor promedio de Irradiación diaria incidente anual, el consumo total y una irradiación en condiciones estándares de medida igual a 1000W/m<sup>2</sup>.

$$P_{G-no\ min\ al} = \frac{1,2 * 1895,96 [W.h] * 1000 [\frac{W}{m^2}]}{3790,83 [\frac{W * h}{m^2}]} = 600,19 [W_p]$$

Una vez obtenida la potencia pico, se seleccionó el modelo del panel solar a utilizar en el generador FV, teniendo en cuenta que al asociarlos la potencia real debe ser ligeramente mayor a la Potencia pico calculada. A través de una matriz de decisión, tomando como criterios de selección la potencia en relación con el peso unitario, área superficial y costo del panel solar, cuyos pesos porcentuales en la matriz corresponde a los valores de 60%, 20% y 20% respectivamente, además se escogió 5 alternativas de diseño de paneles solares flexibles debido a la curvatura de la superficie del Aerostato.

**Tabla 2.4 Datos de paneles proporcionados por el fabricante**

Alternativa/Criterio	Potencia/Peso [W/kg]	Área [m <sup>2</sup> ]	Costo [\$]
Eleksol 160W	53.3	0,91	373,2
Renogy 175W	62.5	1,01	288,25
SunPower 170W	58.6	0,93	375
Miasolé 330 W	67.3	2,05	528
Miasolé 560W	84.8	3,34	784

**Tabla 2.5 Matriz de decisión para paneles solares**

Alternativa/Criterio	Potencia/peso	Área	Costo	Satisfacción de objetivos
	0,6	0,2	0,2	
Eleksol 160W	1	4	4	2,2
Renogy 175W	2	3,7	5	2.94
SunPower 170W	1,5	3,8	4	2,46
Miasolé 330W	4	3	3	3,6
Miasolé 560W	5	1	1	3,4

Como se puede observar la alternativa ganadora fue el panel Miasolé modelo FLEX-03NL con una potencia pico de 330W, mediante la ecuación (1.4) obtuvimos el número de paneles solares a usar.

$$N_p = \frac{600,19}{330} = 1.64$$

Debido a que el resultado fue un valor decimal, se redondeó al entero mayor 2, obteniendo un peso total de 9,8 kg entre ambos paneles.

#### **2.4.4 Conexión**

Se requirió una conexión en paralelo para duplicar el valor de la corriente, y así duplicar también la potencia entregada.

#### **2.4.5 Montaje**

El montaje de los paneles no debe ser una preocupación ya que los mismos llevan incorporado un pegamento capaz de mantenerlos adheridos al aerostato, diseñados para adaptarse a las curvas de una superficie. Dicho pegamento se encuentra detallado en la ficha técnica, ubicada en el Apéndice B.

### **2.5 Selección del Acumulador**

Dado que el peso de la batería es la mayor prioridad, se buscó una de tipo ion-Litio debido a su buena relación de potencia/peso (Díaz Corcobado y Carmona Rubio, 2010, p.22). Para la selección del Acumulador se calculó la capacidad nominal en A\*h, usando la ecuación (1.6).

$$C_{B-no\ min\ al} = \frac{L_{dm} * F_{SB}}{PD_{max}}$$

El consumo de la instalación fue 1896 W\*h, el mismo que se usó para seleccionar los paneles, debido a que los tiempos de uso y reposo eran los mismos. Se consideró un solo día de autonomía, dado que las baterías

podían ser recargadas en tierra durante la noche antes de ser utilizadas. La profundidad de descarga de las baterías de ion-Litio se encuentra entre 0,8 y 0,9 (Solanki, 2013), por lo cual se trabajó con un valor de 0,8. Se obtuvo:

$$C_{B-no\ min\ al} = \frac{1896 [W * h] * 1}{0,8}$$

$$C_{B-no\ min\ al} = 2370 [W * h]$$

El voltaje de las baterías se fijó en 36 V debido a que este fue el voltaje que permitía el regulador de carga, siendo este también el voltaje nominal de la instalación.

$$C_{B-no\ min\ al} = 65,83 [A * h]$$

Una vez encontrado este valor, se compararon 3 acumuladores distintos, basados en conexiones entre baterías o celdas solares para alcanzar un voltaje de 36 V, y una capacidad de 65,83 A\*h o superior. Los datos de los acumuladores fueron los siguientes:

**Tabla 2.6 Datos de acumuladores proporcionados por el fabricante**

Alternativa/Criterio		Peso total [kg]	Precio total [\$]	# Ciclos	Conexiones
Marca	Modelo				
Renogy	RNG-BAT TLFP-12-170	44	3000	2000	2 serie
Panasonic	NCR 18650B	9,18	850	300	20 paralelo 10 serie
Overkill Solar	LiFePo4 Cell 100ah 3.2v	42,5	2480	1500	13 serie

Se realizó una comparación a través de una matriz de decisión, tomando como criterios de selección el Peso, el Precio y el Número de Ciclos, cuyos pesos porcentuales en la matriz corresponde a los valores de 50%, 35%, y 15% respectivamente.

**Tabla 2.7 Matriz de decisión para la selección del acumulador**

Alternativa/Criterio		Peso	Precio	# Ciclos	Satisfacción de objetivos
Marca	Modelo	0,5	0,35	0,15	
Renogy	RNG-BAT TLFP-12-170	2,5	2,5	5	2,875
Panasonic	NCR 18650B	5	4	1,5	4,125
Overkill Solar	LiFePo4 Cell 100ah 3.2v	3	3	4	3,15

Según la matriz de decisión, las baterías NCR18650B de Panasonic, fueron la mejor opción para la instalación.

### 2.5.1 Conexión

Para las especificaciones de las baterías elegidas, se debían conectar 20 en paralelo para alcanzar la capacidad requerida, y 10 en serie para satisfacer el voltaje necesario, obteniendo 200 baterías con un peso total de 9,18 kg.

### 2.5.2 Montaje

El fabricante de los acumuladores cuenta con una opción para armar paquetes de baterías, de modo que puede ser solicitada la configuración de baterías para que solo deban ser conectadas al regulador de carga, y ubicadas dentro de la góndola para disminuir las posibilidades de recalentamiento.

## 2.6 Selección del Regulador de Carga

Entre los diferentes tipos de Reguladores, se eligió el regulador tipo MPPT debido a que los paneles proporcionan un voltaje mucho mayor que el de las baterías. Fue necesario manipular la potencia máxima que se podía entregar desde los paneles FV para aumentar la corriente que se entrega a la carga eléctrica y que pueda funcionar el consumo, como fue supuesto.

Para la selección del Regulador, se tomó en cuenta algunos parámetros importantes que suelen considerarse (Díaz Corcobado y Carmona Rubio 2010, p.63). Estos se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 2.8 Parámetros para la selección del Regulador de Carga**

<b>Parámetro</b>		<b>Total</b>
<b>Voltaje de instalación</b>	36 [V]	36 [V]
<b>Corriente de carga de baterías</b>	1,625 [A] x 20 en paralelo	32,5 [A]
<b>Potencia nominal de paneles</b>	330 [W] x 2 paneles	660 [W]
<b>Corriente de cortocircuito de paneles</b>	4,41 [A] x 2 paneles	8,82 [A]
<b>Potencia nominal del controlador</b>	36v*35A	1260W
<b>Voltaje de circuito abierto</b>	96,4 [V]	96,4 [V]

La potencia nominal que puede manipular el controlador dada por el voltaje de las baterías y la corriente máxima de carga del controlador (1260w) debe ser mayor o igual a la que puede suministrar el panel solar fotovoltaico (660W) evitando pérdidas innecesarias en calor y sobredimensionamientos. Además, fue necesario tomar en cuenta la corriente que llegan desde los paneles FV, teniendo en cuenta que el controlador de carga debe soportarla ( $I_{max} = 40 \text{ A}$ ), se obtuvo al multiplicar la corriente de cortocircuito que puede entregar el panel FV por el número de paneles (8.82 A). La corriente de carga de las baterías se obtiene al multiplicar el número de baterías en paralelo por la corriente individual de carga de cada una de las baterías, por último, el voltaje de circuito abierto de los paneles FV debe ser menor al máximo permitido por el controlador como se muestra en la tabla 2.8, además al ser compatibles con las baterías ion-Litio usadas en el acumulador.

Se realizó una matriz de decisión para 3 alternativas tomando criterios de selección al peso, protección, precio, cuyos pesos porcentuales fueron 0,4, 0,5 y 0,1, respectivamente. Se seleccionó el regulador BlueSolar MPPT 150/35, con un peso de 1,25 kg, siendo el ganador en la matriz de decisión.

**Tabla 2.9. Matriz de decisión para el Regulador de carga**

Alternativa/Criterio		Peso	Protección	Precio	Satisfacción de objetivos
Marca	Modelo	0,4	0,5	0,1	
EPEVER	XTRA3415N	2,5	5	5	4
RENOGY	60A rover	1,75	3,5	4,9	2,94
BLUE SOLAR	MPPT 150/35	5	4	4	4,4

### 2.6.1 Conexión

Fue necesario que el regulador de carga se conecte directamente con cada uno de los otros componentes, es decir, los paneles, las baterías, regulador de voltaje y los elementos que consumen electricidad debían conectarse al regulador para que pueda cumplir su función correctamente. Según la ficha técnica, debe conectarse primero la batería para que pueda encenderse, luego los paneles y finalmente las cargas con sus respectivos reguladores de voltaje.

### 2.6.2 Montaje

Se estableció que el regulador se encuentre dentro de la góndola, debido a que la sombra ayudaría a que no se recalienten sus circuitos, además podría encontrarse más cerca del acumulador y de las cargas para un fácil manejo y control.

## 2.7 Selección de Accesorios

### 2.7.1 Cables

Para la selección de los cables tomamos en cuenta ciertas condiciones de diseño como ambientales y de circuito que debe resistir el tipo de cable, por

lo tanto, el cable elegido fue flexible para adaptarse al aerostato, debía resistir la luz solar, ser compatibles con instalaciones FV fijas exteriores, con colores adaptados a la normativa, sin propagación de llamas en caso de incendio, resistente a la humedad, durable, entre otros. Tomando en cuenta estos parámetros se seleccionó el cable PRYSUN H1Z2Z2-K.

Una vez realizada la selección del cable se procedió a realizar el dimensionamiento, para ello se utilizó la ecuación (1.7) tomando en cuenta las caídas de tensión máximas establecidas en el PTC del IDEA para diferentes tramos en el sistema. Además, según REBT en la tabla ITC-BT-49, debemos tomar en cuenta que para cables flexibles la sección mínima de los conductores es  $2.5mm^2$ , lo que es consistente con la mayoría de las hojas de datos encontradas. Para el cálculo de la sección mínima del tramo que va desde los paneles FV al controlador utilizando  $\frac{1 \Omega * mm^2}{58 m}$  para la  $\rho_{cable}$  según la norma UNE 20003, tenemos:

$$S_{mínima} = 2 * \frac{\rho_{cable} * L_{cable} * P_{max}}{V_{sistema} * V_{caida-sistema}}$$

$$S_{mínima} = 2 * \frac{\left(\frac{1 \Omega * mm^2}{58 m}\right) * 8m * 660W}{36v * (36v * 0.03)}$$

$$S_{mínima} = 4.6828mm^2$$

Por lo que la sección comercial a escoger es  $6mm^2$  para este tramo, de forma similar se procedió con los otros tramos de cable que forman el sistema. Para conexiones DC se utiliza el color rojo o marrón para el polo positivo y negro, azul o blanco para el polo negativo.

## 2.7.2 Conectores

Se seleccionó el conector HELIOS H4 de acuerdo con los requerimientos eléctricos (intensidad y voltaje) y de seguridad tales como resistencia a la

luz solar, la intemperie, polvo, humedad y que al ser compatible con el cobre. Los mismos fueron usados para conectar la salida del generador FV con los conductores dirigidos al regulador de carga y para conectar la salida de las baterías con el regulador de carga.

### 2.7.3 Correcciones

Una vez que fueron proporcionados los datos reales de fuerza de arrastre y potencia consumida por los aparatos electrónicos, se procedió a realizar las correcciones en los valores pertinentes a la selección de equipos, y estos son los siguientes:

**Tabla 2.10 Parámetros para la selección del Regulador de Carga**

Fuerza de arrastre estimada [N]	97,82
Fuerza de arrastre real [N]	99,14
<b>Consumo de elementos [W*h]</b>	
Servo Motor	10,56
Servo Motor	10,56
Servo Motor	10,56
Motor Bldc	24,42
Motores de Propulsión	1723,6
Consumo real	1779,7
Consumo estimado	1895,96

Según la anterior tabla, la fuerza estimada fue menor que la fuerza real, pero de todas formas la fuerza de propulsión de los motores seleccionados anteriormente fue mayor (101.14 [N]) por lo tanto, no se cambió la selección de motores. Respecto al consumo estimado, este fue un 5% menor que el consumo real, por lo tanto, se mantuvo la misma selección de paneles, acumuladores y el resto de los equipos. En consecuencia, se procedió a realizar un recálculo del tiempo de autonomía de vuelo bajo las mismas condiciones anteriormente establecidas, y un nuevo cálculo del tiempo de autonomía bajo las peores condiciones, siendo estas el día más nublado del año y el día con menor radiación solar, usando la misma metodología.

El valor final de tiempo de autonomía para condiciones normales fue de 10 horas con 50 minutos, y el valor para las peores condiciones fue de 4 horas con 47 minutos.

#### **2.7.4 Elementos de Protección en la Instalación**

Se protegió el sistema a través de un fusible entre las baterías y el regulador de carga instalado en el terminal positivo (protección sobre corriente) modelo PV-50ANH1 con una protección de sobre corriente de 50 A y un interruptor termomagnético de 2 polos con un voltaje máximo de entrada de 600V y una corriente máxima de 16A (protección sobre corriente) a la salida del generador PV, además los reguladores de voltaje contienen protecciones extras para la carga.

#### **2.7.5 Regulador de voltaje**

Para regular la potencia que llega a los diferentes artefactos eléctricos, se necesitó un circuito que nos permita esta aplicación, debido a la alta eficiencia en conversión que presentan los convertidores reductores DC-DC se usaron para este proyecto, estos reguladores son ajustables a diferentes voltajes de salida y trabajan muy bien a altas temperaturas, se seleccionó el modelo QS-4805CBAN-90W de la marca QSKJ.

#### **2.7.6 Cargador de baterías**

Se seleccionó un cargador de baterías para mantenerlas recargadas desde antes de usar el Aerostato. Este podría usarse durante la noche ya que se conecta a la línea convencional de energía de una vivienda, con entrada de corriente alterna a 110 V y 60 Hz. La ficha técnica se encuentra en los Anexos B.

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la selección de componentes pertinentes al diseño del Sistema Fotovoltaico para el Aerostato, junto a sus características más importantes a través de la siguiente tabla:

**Tabla 3.1 Características importantes de cada elemento seleccionado**

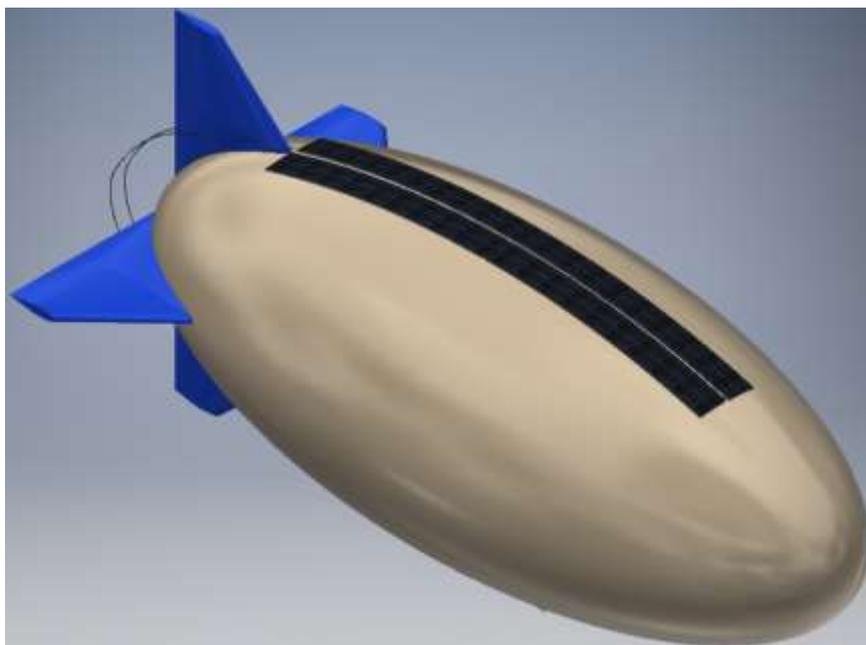
Componente	Marca	Modelo	Cantidad	Peso Total	Precio Total
Paneles	MiaSolé	FLEX SERIES- 03NL 330 W	2	9,8 [kg]	USD\$1056
Acumuladores	Panasonic	NCR 18650B	200	9,18 [kg]	USD\$850
Regulador	BlueSolar	MPPT 150/35	1	1,25 [kg]	USD\$323
Regulador de Voltaje	QSKJ	090406	2	0,26 [kg]	USD\$21,00
Cables	Prysmian	H1Z2Z2-K	27 [m]	1,435 [kg]	USD\$280
Conectores	Amphenol	PV cable connector	3	0.1 [kg]	USD\$2,09
Fusible	Bussmann	PV-50ANH1	1	0.407 [kg]	USD\$192,76
Interruptor TM	Benny	BB1-63	1	0,25 [kg]	USD\$22,49
Cargador baterías	IDOITWELL	1500D	1	-	USD\$230
Costo de importación (aproximado)					USD\$700
Mano de Obra (30% aproximado)					USD\$1074,1
Total	-	-	-	22,33 [kg]	USD\$4521,1

Los datos de la tabla anterior se encontraron en las hojas de ficha técnica de cada elemento, las mismas que se encuentran en los anexos, y los precios se encontraron en diferentes fuentes. Para los paneles se contactó directamente a la empresa por medio de correo electrónico, donde fueron detallados los precios de cada tipo de panel (E. Tandiono, comunicación personal, julio de 2020). Los acumuladores contaban con una promoción de cada batería a USD\$4,25 si se deseaba adquirir 100 unidades, en este caso fueron 200 (18650battery store). El precio del regulador fue encontrado en *Amazon.com* con un precio de USD\$323 (Amazon, s. f.). Los cables

fueron encontrados con un precio de USD\$138 por cada 100 metros, por lo cual se estimó un aproximado de \$USD280 (LAPPESPAÑA, s. f.). El regulador de voltaje tuvo un precio de USD\$10,50 (Drok, s. f.). El precio total de los elementos seleccionados, los costos aproximados de importación y mano de obra fueron de USD\$4521,1. Este precio es relativamente bajo, añadiendo el costo de fabricación del Aerostato (USD\$5000), este se encuentra muy por debajo del precio del aerostato diseñado por *Mothership Aeronautics*, como se mencionó en el capítulo 1.

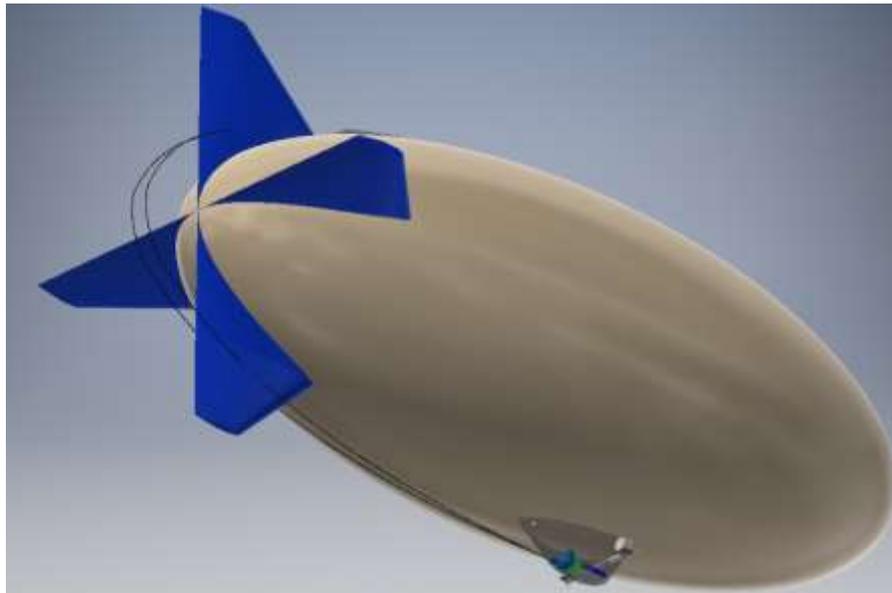
El peso total del sistema de energía solar para el Aerostato fue de 22,33 kg, el cual se encontró por debajo del peso máximo establecido por el diseño del Aerostato (25 kg), además fue muy liviano en relación con la potencia capaz de producir, además de los elementos de protección con los que cuenta.

En el Apéndice A, se muestran los resultados del modelo 3D realizado, estos muestran la disposición de los paneles solares en el Aerostato con las medidas reales proporcionadas por el fabricante. La ubicación de los cables, es decir el recorrido que se consideró óptimo debido a la dirección del viento, se representa de manera realista en las figuras del Apéndice A.



**Figura 3.1 Disposición de los paneles solares en el Aerostato**

Cabe recalcar que, a pesar de mostrar el recorrido real de los cables, su disposición no es exactamente como se muestra en la siguiente figura, ya que los cables deben ir pegados a la superficie del Aerostato para evitar vibraciones y una posible desconexión de estos. En la siguiente figura se ilustraron de esa manera para que puedan ser mejor visualizados.



**Figura 3.2 Vista trasera del Aerostato**

Se recalcularon los tiempos de vuelo proporcionados por las baterías y los paneles, tomando en consideración las peores condiciones climáticas en el peor mes de radiación en los últimos 5 años y las cargas eléctricas funcionando al 100% de su capacidad, como se menciona en el capítulo 2 sección 7.3, y se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 3.2 Resultados de autonomía de vuelo bajo las peores condiciones**

Paneles (en uso)	1,42775402
Paneles (reposo)	0,73550965
Baterías	2,63
TOTAL	4,79326367
<b>TOTAL HORAS</b>	<b>4H 47Min</b>

**Tabla 3.3 Resultados de longitud y sección de cables para diferentes tramos**

	<b>Longitud [m]</b>	<b>Sección mínima(mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Sección comercial [mm<sup>2</sup>]</b>
Generador - Regulador de carga	16	4.68	6
Baterías - Regulador de carga	2	3.77	4
Regulador de voltaje - Regulador de carga	1	0.56	2.5
Regulador de voltaje - Carga eléctrica	8	2.47	2.5

Estos parámetros se calcularon en base a la ecuación (1.7), teniendo en cuenta que se usó el cable color rojo para conectar los polos positivos y el negro para conectar los polos negativos, además que los dispositivos de protección sobre corriente se encuentran a la salida del generador (interruptor termomagnético) y entre las baterías y el regulador de carga (fusible) en el terminal positivo.

Se realizó un diagrama o esquema unifilar donde una línea representa un conjunto de cables o conductores y la simbología se encuentra normalizada, el mismo se observa en el apéndice A, donde se ilustró la ubicación de los equipos y como se encuentran interconectados. Se pudo observar que a pesar de ser un esquema sencillo es funcional, el uso de pocos elementos ayudó a que el peso se minimice al máximo posible, una de las restricciones que representó un gran reto para este proyecto que se pudo lograr con éxito al tener un peso del sistema mucho menor al peso promedio de una instalación FV autónoma.

La longitud de los cables, teniendo en cuenta que cada tramo está conectado por un terminal positivo y negativo, se encuentra detallado en la tabla 3.3.

En el apéndice C se observan los resultados promedios mensuales reales de irradiación incidente sobre los paneles solares instalados en el aerostato, en comparativa con los datos de irradiación promedios anuales que se usaron en la

metodología se pudo observar que existe un intervalo de  $618.06 \text{ W}\cdot\text{h}/\text{m}^2$  lo que generó una menor autonomía de alrededor de 4 horas y 47 minutos desde los paneles solares, para las condiciones críticas establecidas al final del capítulo 2.

El aerostato pudo resistir una carga útil de 20kg, por lo que se adaptó bastante bien a la justificación del proyecto.

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- En base a los resultados obtenidos, la autonomía de vuelo con la que cuenta esta aeronave supera considerablemente a la mayor parte de las que se encuentran disponibles en el mercado local con el mismo propósito, siendo esta 5 veces mayor, aproximadamente. Todo esto gracias a la capacidad de generar energía constantemente durante el día por medio de paneles fotovoltaicos, siendo esta una gran ventaja, además de ser una energía limpia y renovable. Otra gran ventaja es la ubicación para la que se encuentra diseñado el sistema, ya que en Ecuador se puede obtener radiación solar 12 horas al día durante todos los días del año, lo cual es un intervalo seguro para las 10 horas de autonomía del Aerostato, además de poder cubrir 5 horas en la noche, aproximadamente, en caso de que las baterías se encuentren cargadas.
- Uno de los parámetros más importantes para seleccionar los equipos fue que estos fueran lo más liviano posible, de forma que el Aerostato pueda levantarlos sin problema. Esto se siguió de manera muy estricta y se cumplió dado que se realizó una profunda investigación en los equipos seleccionados, principalmente en los paneles y baterías, lo cual representaría al peso total en mayor proporción. En total, el sistema pesó 22,33 kg, siendo este lo más ligero posible, tomando en consideración la energía que necesitaba producir. En un futuro se podría reducir esta cantidad, pero depende completamente de la tecnología y su avance, ya que esta se encuentra en desarrollo y se elaboran materiales cada vez más livianos, de todas formas, lo más importante es que el Aerostato se encuentre en la capacidad de levantar dicho peso, aunque mientras más se reduzca este, habrá mayor apertura a integrar otros elementos para así obtener una aeronave más avanzada y con mejores funciones.

- Mediante el esquema eléctrico, se puede apreciar la baja complejidad del circuito, lo que facilitaría el montaje y las conexiones del circuito, convirtiéndose en una instalación factible para cualquier persona, por más que esta no tenga suficientes conocimientos en este campo de la ingeniería. Los modelos 3D presentados en los resultados demuestran lo fácil que sería ubicar los equipos dentro de la góndola del Aerostato, además de una cómoda instalación y acceso, en caso de mantenimiento. Cabe recalcar que estos fueron ilustrados con las medidas reales, por lo cual se puede interpretar con exactitud lo que se muestra.
- Se considera que el proceso de diseño que se siguió en este proyecto es diferente al que se suele utilizar, ya que no se trabajó siempre con las peores condiciones porque se necesitaba aligerar los equipos seleccionados y que se cumpla uno de los objetivos más importantes de contar con una autonomía de vuelo muy alta. Por esto se asumieron condiciones climáticas promedio, las cuales suelen ser las que se presentan con mayor frecuencia en la ciudad de Guayaquil. Esto fue un aspecto positivo del proyecto, ya que igualmente se calculó el tiempo de autonomía para las peores condiciones y, a pesar de esto, resultó ser muy alta (4 horas y 47 minutos), en comparación a una aeronave común y de la misma aplicación (2 horas). El Aerostato no fallaría en caso de que las condiciones climáticas sean las menos favorables, solo reduciría su tiempo de vuelo. Otra ventaja del proceso de diseño que se siguió fue que permitió obtener un peso relativamente ligero.
- El costo de los equipos de la instalación fotovoltaica fue de USD\$4521,1. Este precio tenía la posibilidad de disminuir, pero se tuviera que sacrificar otros aspectos más importantes como el peso y funcionalidad de los equipos. Este no es muy elevado en comparación a otros proyectos, por ejemplo, el anteriormente mencionado *Mothership Aeronautics* tiene un precio de USD\$30000, el cual es mucho más elevado que el de este proyecto considerando también el costo de fabricación del Aerostato, el cual se aproxima a USD\$10000 incluyendo estructura y sistema fotovoltaico.

- Este proyecto podría servir como referencia para futuras instalaciones fotovoltaicas en vehículos que fueran diseñados en Ecuador. Se tuvieron que cambiar varios aspectos según el vehículo donde se desee incorporar el sistema de energía fotovoltaica, pero las bases del proyecto serían muy similares. Esto ayudaría a impulsar los proyectos independientes que funcionan con energía solar, así como a los proyectos sobre aeronaves, lo cual todavía se encuentra en desarrollo a nivel mundial.

## **4.2 Recomendaciones**

- Se recomienda desconectar los paneles del circuito, a través de la perilla del interruptor electromagnético, cada vez que el Aerostato no se encuentre en vuelo, para evitar cualquier tipo de sobrecarga al resto de equipos.
- Se debe cubrir los paneles solares con un material opaco, ligero y suave como una tela para que los paneles no sigan generando energía cuando el Aerostato esté en tierra o cuando se vaya a guardar, y se debe evitar tocar los paneles para no sufrir descargas eléctricas en cualquier momento.
- Se recomienda seguir el mantenimiento para una instalación solar fotovoltaica para instalaciones autónomas recomendado en el pliego de condiciones del IDAE.
- Limpiar los paneles con un material suave para remover polvo, evitar puntos de sombra y maximizar la energía producida. También limpiar el resto de los equipos constantemente para evitar acumulaciones de polvo y tierra.
- Cuidar los equipos al momento de ser transportados y manipulados debido a que pueden ser muy vulnerables a golpes, también fijar los elementos dentro de la góndola para evitar movimientos bruscos, vibraciones y posibles daños.
- También se recomienda cargar las baterías en tierra, cuando el Aerostato no esté en uso, en caso de que no se carguen lo suficiente cuando esté en vuelo.

- Se recomienda desconectar el regulador de carga en el siguiente orden: primero las cargas eléctricas, luego los paneles, y finalmente las baterías.
- En caso de incorporar cargas que funcionen con corriente alterna, se debe usar un inversor con salidas MPPT, tratando de optimizar el peso al máximo posible.
- Se recomienda revisar el Aerostato y cada elemento antes de ponerlo a funcionar.
- Utilizar EPP antes de manipular el sistema eléctrico del aerostato.
- Se recomienda sobrevolar el aerostato a una altura no mayor a 100m, teniendo en cuenta que ciertas construcciones en el centro de guayaquil pueden sobrepasar esta altura crítica.
- Dado que las baterías están destinadas a funcionar 300 ciclos en condiciones óptimas, se recomienda cambiarlas cada 300 días. También es recomendable obtener 2 sets de baterías para facilitar la carga de estas y obtener mayor autonomía de vuelo en días nublados.

# BIBLIOGRAFÍA

Aero Cámaras. (2019). *Dron Híbrido de Aerocamaras.*

<https://dronehibrido.com/es/#:~:text=7%20HORAS%20DE%20AUTONOM%C3%8DA&text=La%20mayor%C3%ADa%20de%20los%20drones,con%201%20hora%20de%20duraci%C3%B3n.&text=Gracias%20al%20Dron%20H%C3%ADbrido%20de,con%20dos%20cargas%20de%20combustible>.

Alibaba. (2020). *Ajustable 36V 10S cargador de batería de litio 42V 30A 25A 20A actual 3 etapas ajustable cargador para 36 de paquete de batería Li-ion.*

<https://spanish.alibaba.com/product-detail/adjustable-36v-10s-lithium-battery-charger-42v-30a-25a-20a-current-3-stages-adjustable-charger-for-36-volt-li-ion-battery-pack-60850176096.html>

Amazon. (s. f.). *Victron SmartSolar Controlador de carga.*

<https://www.amazon.com/Victron-SmartSolar-Charge-Controller-Bluetooth/dp/B073ZHRG9K>

Amphenol. (2012). *H4 PV cable connector.*

[https://www.peigenesis.com/images/content/pei\\_tabs/amphenol/helios/\\_h4\\_helios\\_solar.pdf](https://www.peigenesis.com/images/content/pei_tabs/amphenol/helios/_h4_helios_solar.pdf)

Barriga, A., Delgado, E., Sáenz, J., Peralta, J., Naranjo, M., & Villalta, K. (2014).

*Introducción al Estudio de Fuentes Renovables de Energía* (1a ed.). LATIn.

Benny. (2015). *BB1-63 PV Mini Circuit Breakers.* <https://solar-center.mx/interconexion-accesorios-zj-beny?format=raw&task=download&fid=478>

Bussmann. (2016). *Bussmann series NH photovoltaic fuse links.*

<http://www.cooperindustries.com/content/dam/public/bussmann/iec-electrical/resources/data-sheets/bus-iec-ds-720133-nhpfuselinks.pdf>

Cengel, Y., & Cimbala, J. (2006). *Mecánica de Fluidos* (1era ed.). McGraw-Hill Interamericana.

Díaz Corcobado, T., & Carmona Rubio, G. (2010). *Instalaciones Solares Fotovoltaicas*. McGraw-Hill Interamericana de España S.L., 2010.

<https://books.google.com.ec/books?id=u6WfpwAACAAJ&dq=instalaciones+solar+es+fotovoltaicas+diaz&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwi8IjzG18TqAhXMJt8KHR4IAPsQ6AEwAXoECAEQAg>

Drok. (s. f.). *90W Power Supply Module DC 4.5~60V to 1.25~30V 3A Buck Converter/Adjustable Voltage Regulator Driver Module DC 12V 24V Power Adapter*. <https://www.droking.com/dc-power-supply/dc-buck/90W-Power-Supply-Module-DC-4.5-60V-to-1.25-30V-3A-Buck-Converter-Adjustable-Voltage-Regulator-Driver-Module-DC-12V-24V-Power-Adapter>

Ecuavisa. (2014, junio 27). *Galápagos cuenta con la primera lancha impulsada con energía solar*. <https://www.ecuavisa.com/articulo/noticias/actualidad/69393-galapagos-cuenta-primera-lancha-impulsada-energia-solar>

El Telégrafo. (2018, noviembre 30). *El uso de energía solar se viabiliza en el país*. <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/4/arconel-uso-energia-solar-ecuador>

*Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano* (p. 8). (2018). [Estadística]. ARCONEL.

*Estadística del Sector Eléctrico Ecuatoriano*. (2005). CONELEC.

*Estadística del Sector Eléctrico Ecuatoriano*. (2013). CONELEC.

Google. (s. f.). *Mapa de Guayaquil, Ecuador en Google maps*. <https://www.google.com.ec/maps/place/Guayaquil/@-2.1521517,->

80.1201903,11z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x902d13cbe855805f:0x8015a492f4fca473!8m2!3d-2.1893512!4d-79.8891449

Grupo Idea. (2004). *CÁLCULO DE LA RADIACIÓN MEDIA MENSUAL SOBRE SUPERFICIE ARBITRARIAMENTE ORIENTADAS E INCLINADAS*.  
[http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home\\_main\\_frame/02\\_radiacion/01\\_basico/java/pro\\_rad\\_5.htm](http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/02_radiacion/01_basico/java/pro_rad_5.htm)

*Informe Operativo Anual* (Producción Energética en Borne de Generación 2019, p. 3). (2019). CENACE.

International Electrotechnical Commission. (2012). *IEC/EN 62133*.  
<https://www.batterystandards.info/node/856>

International Electrotechnical Commission. (2019). *UNE-EN IEC 61730-1:2019*.  
<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0061310>

International, Electrotechnical, Commission, & Normativa Española. (2008). *IEC 61646:2008 Withdrawn*. <https://webstore.iec.ch/publication/5697>

LAPPESPAÑA. (s. f.). *Cables solares de copolímero reticulado—Tipo H1Z2Z2-K certificado de acorde a la EN 50618*.  
<https://lappespana.lappgroup.com/productos/catalogo-online/cables-de-alimentacion-y-control/aplicaciones-especiales/fotovoltaica/h1z2z2-k.html>

Mayfield, R. (2010). *Photovoltaic Design & Installation for Dummies*. Wiley Publishing, Inc.

MiaSolé. (2019). *MiaSolé FLEX SERIES—03NL 5.9 METER .35m x 5.9m 270 – 320W Datasheet*. [http://miasole.com/miasole2017/wp-content/uploads/2019/01/flex-03nl\\_5.9m\\_datasheet\\_5.pdf](http://miasole.com/miasole2017/wp-content/uploads/2019/01/flex-03nl_5.9m_datasheet_5.pdf)

NASA. (2020). *POWER Data Access Viewer v1.1.1*. <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

*New revision of Davenport roughness classification.* (JMGD, Trad.). (2001).

<http://www.kcl.ac.uk/ip/suegrimmond/publishedpapers/DavenportRoughness2.pdf>

Normativa Española. (2011). *UNE-EN 62109-1:2011*. [https://www.une.org/encuentra-tu-](https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0047684)

[norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0047684](https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0047684)

Nutzati, J. (2017). *Press Release: Mothership Blimp Disrupts Drone Inspection Industry.*

[mothership.aero. https://www.mothership.aero/post/2017/12/21/press-release-](https://www.mothership.aero/post/2017/12/21/press-release-mothership-blimp-disrupts-drone-inspection-industry)

[mothership-blimp-disrupts-drone-inspection-industry](https://www.mothership.aero/post/2017/12/21/press-release-mothership-blimp-disrupts-drone-inspection-industry)

Panasonic. (s. f.). *Panasonic Cell Type NCR18650B Datasheet.*

<https://www.shoptronica.com/files/Panasonic-NCR18650.pdf>

Prysun. (s. f.). *Cables para Instalaciones Interiores o receptoras.*

[https://www.prysmianclub.es/wp-content/uploads/2019/06/2019-PRYSUN-06-](https://www.prysmianclub.es/wp-content/uploads/2019/06/2019-PRYSUN-06-17.pdf)

[17.pdf](https://www.prysmianclub.es/wp-content/uploads/2019/06/2019-PRYSUN-06-17.pdf)

RENOVAENERGIA S.A. (2020). *RENOVA ENERGIA.* [https://www.renova-](https://www.renova-energia.com/la-empresa/quienes-somos/)

[energia.com/la-empresa/quienes-somos/](https://www.renova-energia.com/la-empresa/quienes-somos/)

Shames, I. H. (1995). *Mecánica de Fluidos* (3era edición). McGraw-Hill.

Solanki, C. (2013). *SOLAR PHOTOVOLTAIC TECHNOLOGY AND SYSTEMS: A Manual*

*for Technicians, Trainers and Engineers.* PHI Learning Private Limited.

[https://books.google.com.ec/books?id=48tNl8L1awkC&pg=PA130&lpg=PA130&](https://books.google.com.ec/books?id=48tNl8L1awkC&pg=PA130&lpg=PA130&dq=lithium+ion+rechargeable+battery+dod+80&source=bl&ots=nGWCHcUupJ&sig=ACfU3U00JxZ-oMnsu52mJU4wxhSY4J14xA&hl=en&sa=X&ved=2ahUKEwiX6MGWpcPqAhWP)

[dq=lithium+ion+rechargeable+battery+dod+80&source=bl&ots=nGWCHcUupJ&s](https://books.google.com.ec/books?id=48tNl8L1awkC&pg=PA130&lpg=PA130&dq=lithium+ion+rechargeable+battery+dod+80&source=bl&ots=nGWCHcUupJ&sig=ACfU3U00JxZ-oMnsu52mJU4wxhSY4J14xA&hl=en&sa=X&ved=2ahUKEwiX6MGWpcPqAhWP)

[ig=ACfU3U00JxZ-](https://books.google.com.ec/books?id=48tNl8L1awkC&pg=PA130&lpg=PA130&dq=lithium+ion+rechargeable+battery+dod+80&source=bl&ots=nGWCHcUupJ&sig=ACfU3U00JxZ-oMnsu52mJU4wxhSY4J14xA&hl=en&sa=X&ved=2ahUKEwiX6MGWpcPqAhWP)

[oMnsu52mJU4wxhSY4J14xA&hl=en&sa=X&ved=2ahUKEwiX6MGWpcPqAhWP](https://books.google.com.ec/books?id=48tNl8L1awkC&pg=PA130&lpg=PA130&dq=lithium+ion+rechargeable+battery+dod+80&source=bl&ots=nGWCHcUupJ&sig=ACfU3U00JxZ-oMnsu52mJU4wxhSY4J14xA&hl=en&sa=X&ved=2ahUKEwiX6MGWpcPqAhWP)

[hOAKHXn9COYQ6AEwGHoECA4QAQ#v=onepage&q=lithium%20ion%20recha](https://books.google.com.ec/books?id=48tNl8L1awkC&pg=PA130&lpg=PA130&dq=lithium+ion+rechargeable+battery+dod+80&source=bl&ots=nGWCHcUupJ&sig=ACfU3U00JxZ-oMnsu52mJU4wxhSY4J14xA&hl=en&sa=X&ved=2ahUKEwiX6MGWpcPqAhWP)

[rgeable%20battery%20dod%2080&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=48tNl8L1awkC&pg=PA130&lpg=PA130&dq=lithium+ion+rechargeable+battery+dod+80&source=bl&ots=nGWCHcUupJ&sig=ACfU3U00JxZ-oMnsu52mJU4wxhSY4J14xA&hl=en&sa=X&ved=2ahUKEwiX6MGWpcPqAhWP)

Tandiono, E. (2020, julio). *Miasole* [Comunicación personal].

T-MOTOR. (2020). *T-MOTOR U10PLUS KV100*. <http://store-en.tmotor.com/goods.php?id=362>

Van Lee, M. (2011). *Design and Fabrication of an Autonomous Solar Powered Airship* [Honors Theses, Union College]. <https://digitalworks.union.edu/theses/1018>

Victron Energy. (s. f.). *Controlador de carga BlueSolar MPPT 150/35 Datasheet*. <https://atersa.shop/app/uploads/2020/04/datasheet-150-35.pdf>

Weather Spark. (2016). *El clima promedio en Aeropuerto Internacional José Joaquín de Olmedo*. <https://es.weatherspark.com/y/146933/Clima-promedio-en-Aeropuerto-Internacional-Jos%C3%A9-Joqu%C3%ADn-de-Olmedo-Ecuador-durante-todo-el-a%C3%B1o>

Weather Spark. (2020). *El clima promedio en Aeropuerto Internacional José Joaquín de Olmedo*. <https://es.weatherspark.com/d/19346/5/17/Tiempo-promedio-el-17-de-mayo-en-Guayaquil-Ecuador>

# **APÉNDICES**

# APÉNDICE A

## DIAGRAMA UNIFILAR Y MODELO 3D DE INSTALACIÓN ELÉCTRICA

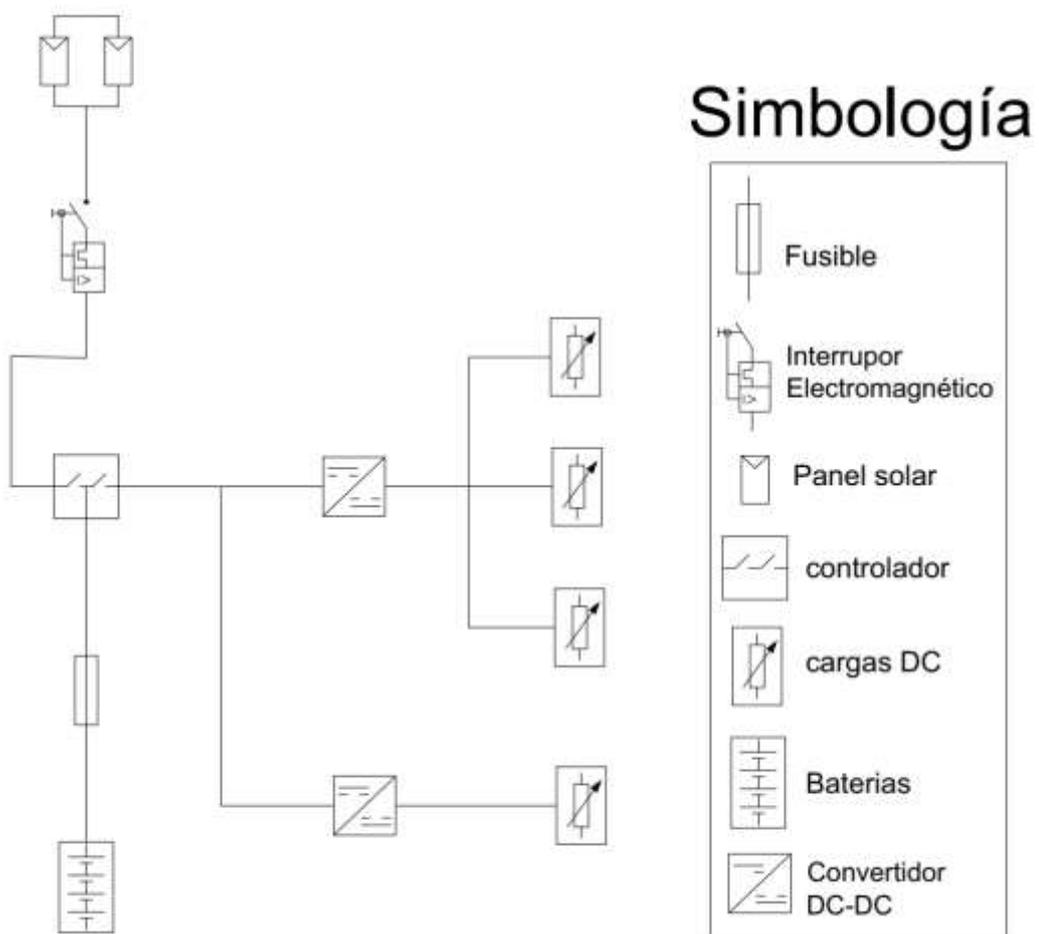
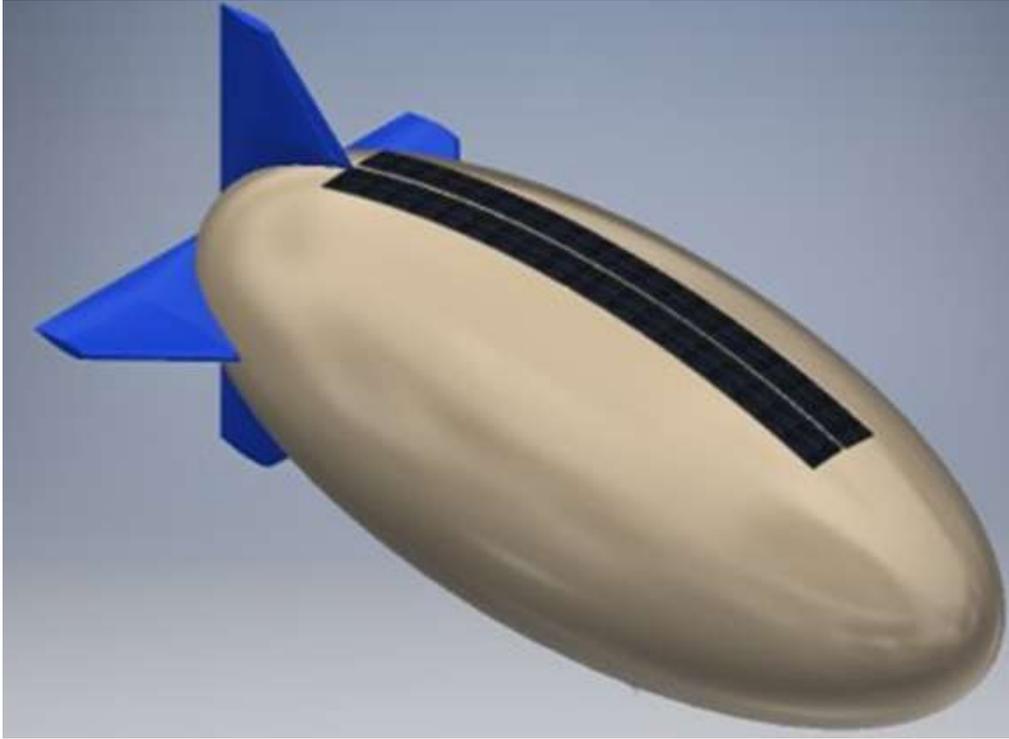
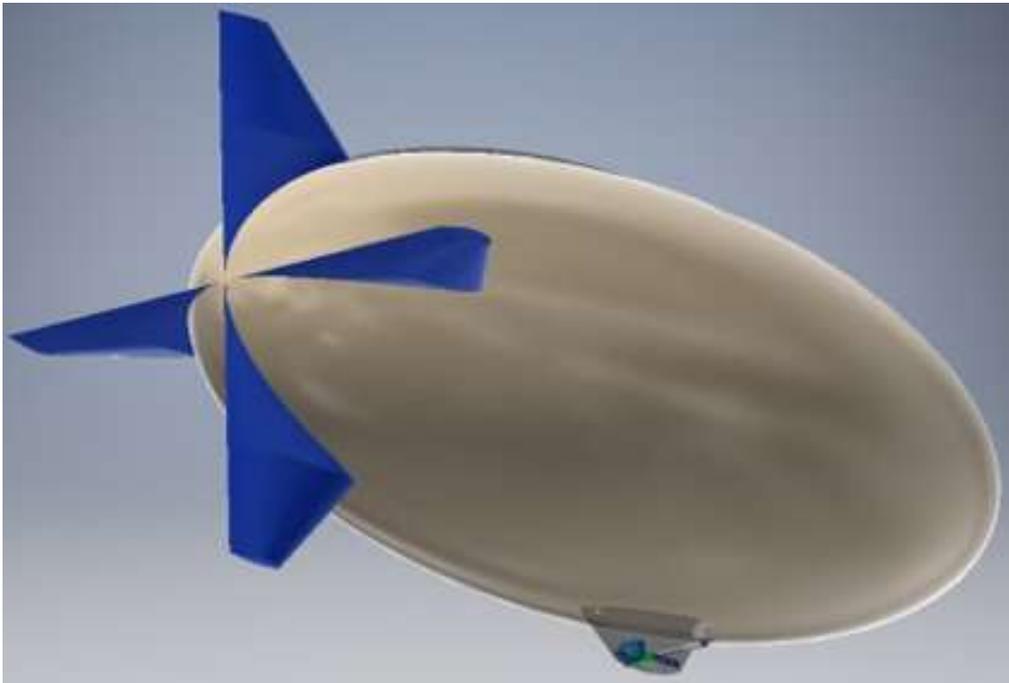


Figura A.1 Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico



**Figura A.2 Disposición de los paneles solares en el Aerostato**



**Figura A.3 Vista trasera del Aerostato**

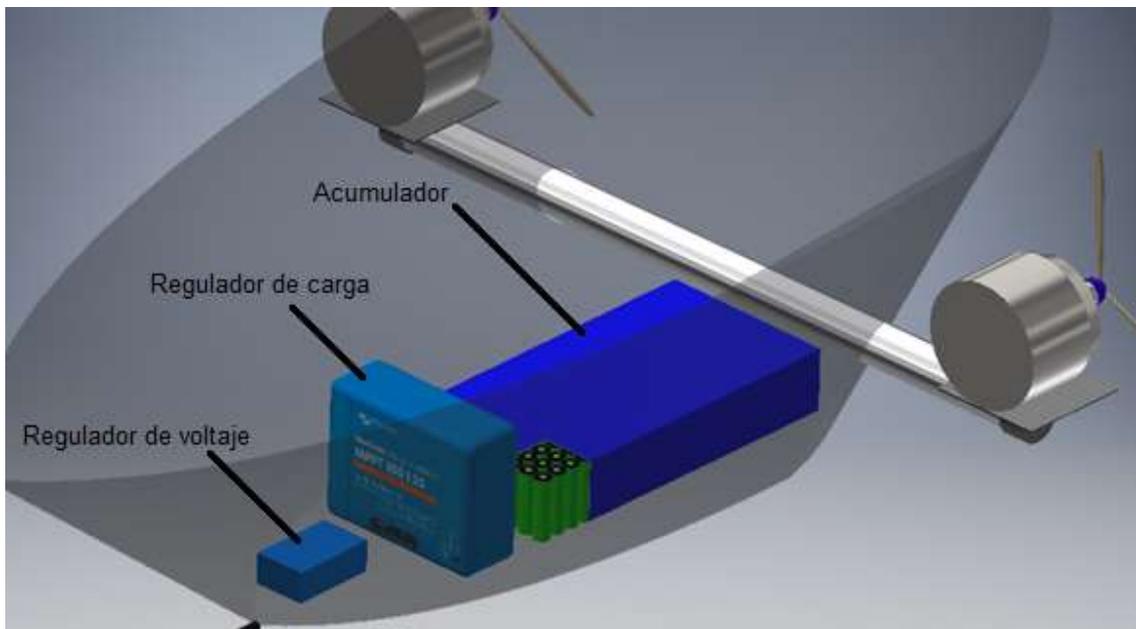


Figura A.4 Interior de la Góndola

# APÉNDICE B

## FICHAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS

### Motores

Test Report										
Test Item		U10 PLUS KV100			Report NO.			U.000015		
Specifications										
Internal Resistance		60mΩ			Configuration			36N40P		
Shaft Diameter		15mm			Motor Dimensions			Ø68.6×40mm		
AWG		16#			Cable Length			90mm		
Weight Including Cables		508g			Weight Excluding Cables			500g		
No. of Cells(Lipo)		6-12S			Idle Current@10v			1.0A		
Max Continuous Power 180S		1700W			Max Continuous Current 180S			36A		
Load Testing Data										
Ambient Temperature		/			Voltage			DC Power Supplier		
Item No.	Voltage (V)	Prop	Throttle	Current (A)	Power (W)	Thrust (G)	RPM	Efficiency (G/W)	Torque (N*m)	Operating Temperature (°C)
32		T-MOTOR 26*8.5CF	50%	2.6	83.2	1251	1570	15.04	0.392	41
			55%	3.1	99.2	1431	1675	14.43	0.445	
			60%	3.8	121.6	1669	1805	13.73	0.518	
			65%	4.7	150.4	1954	1951	12.99	0.603	
			75%	7.1	227.2	2598	2267	11.43	0.808	
			85%	9.9	316.8	3425	2560	10.81	1.038	
			100%	14.8	473.6	4530	2940	9.57	1.378	
		T-MOTOR 27*8.8CF	50%	2.8	89.6	1378	1514	15.38	0.423	44
			55%	3.5	112	1640	1648	14.64	0.504	
			60%	4.2	134.4	1892	1770	14.08	0.58	
			65%	5.2	166.4	2196	1916	13.20	0.678	
			75%	8	256	3025	2237	11.82	0.922	
			85%	11.2	358.4	3816	2514	10.65	1.181	
			100%	17.2	550.4	5160	2893	9.38	1.595	
		T-MOTOR 28*9.2CF	50%	3.1	99.2	1522	1482	15.34	0.502	46
			55%	3.9	124.8	1798	1620	14.41	0.595	
			60%	4.9	156.8	2127	1760	13.57	0.699	
			65%	6	192	2506	1900	13.05	0.823	
			75%	9.2	294.4	3438	2210	11.68	1.112	
			85%	13	416	4358	2472	10.48	1.404	
			100%	19.5	624	5741	2834	9.20	1.843	
			50%	3.4	108.8	1704	1460	15.66	0.568	
			55%	4.4	140.8	2044	1590	14.52	0.676	

Figura B.1 Especificaciones del motor seleccionado [(T-MOTOR 2020)]

### Paneles

			FLEX-03 260NL	FLEX-03 270NL	FLEX-03 280NL	FLEX-03 290NL	FLEX-03 300NL	FLEX-03 310NL	FLEX-03 320NL	FLEX-03 330NL
Nominal Power	$P_{max}$	[W]	260	270	280	290	300	310	320	330
Nominal Efficiency	$\eta$	[%]	14.4%	15.0%	15.5%	16.1%	16.7%	17.2%	17.8%	18.3%
Power Output Tolerance		[W]	+10/-0	+10/-0	+10/-0	+10/-0	+10/-0	+10/-0	+10/-0	+10/-0
Maximum Power Voltage	$V_{mp}$	[V]	67.2	69.0	70.8	72.6	74.5	76.3	78.1	80.0
Maximum Power Current	$I_{mp}$	[A]	3.89	3.93	3.96	4.00	4.03	4.07	4.10	4.14
Open Circuit Voltage	$V_{oc}$	[V]	85.6	87.1	88.7	90.2	91.8	93.3	94.9	96.4
Short Circuit Current	$I_{sc}$	[A]	4.66	4.62	4.59	4.55	4.51	4.48	4.44	4.41
Maximum Series Fuse Rating		[A]	10							
Maximum System Voltage	IEC/UL	[V]	1000/1000							

Figura B.2 Ficha Técnica de los paneles seleccionados (MiaSolé, 2019).



Figura B.3 Paneles MiaSolé FLEX SERIES-03NL 330W (MiaSolé, 2019)

## Acumuladores

### Cell Type NCR18650B

#### Specifications

	Rated Capacity (at 20°C)		Min.3200mAh	
	Nominal Capacity (at 25°C)		Min.3250mAh	
			Min.3350mAh	
	Nominal Voltage		3.6V	
	Charging Method		Constant Current -Constant Voltage	
	Charging Voltage		4.2V	
	Charging Current		Std.1625mA	
	Charging Time		4.0hrs.	
	Ambient Temperature		Charge	+10~+45°C
			Discharge	-20~+60°C
Storage			-20~+50°C	
Weight (Max.)		47.5g		
Dimensions (Max.) Maximum size without tube		(D)	18.25mm	
		(H)	65.10mm	
Volumetric Energy Density		676Wh/l		
Gravimetric Energy Density		243Wh/kg		
Dimensions(Typ.) of Bare Cell		H	64.93mm	
		D	18.2mm	
		d	7.9mm	
Discharged State after Assembling				

Figura B.4 Ficha Técnica del acumulador seleccionado (Panasonic, s. f.).

## Regulador de carga



Figura B.5 Regulador de carga seleccionado

Controlador de carga BlueSolar	MPPT 150/35
Tensión de la batería	Selección Automática 12 / 24 / 36 / 48 V (se necesita una herramienta de software para seleccionar 36 V)
Corriente de carga nominal	35 A
Potencia FV nominal (1a,b)	12V: 500W / 24V: 1000W / 36V: 1500W / 48V: 2000W
Max. corriente de cortocircuito PV (2)	40 A
Tensión máxima del circuito abierto FV	150 V máximo absoluto en las condiciones más frías 145 V en arranque y funcionando al máximo
Eficacia máxima	98 %
Autoconsumo	12V: 20 mA / 24V: 15 mA / 48V: 10mA
Tensión de carga de "absorción"	Valores predeterminados: 14,4 / 28,8 / 43,2 / 57,6 V (ajustable)
Tensión de carga de "flotación"	Valores predeterminados: 13,8 / 27,6 / 41,4 / 55,2 V (ajustable)
Algoritmo de carga	variable multietapas
Compensación de temperatura	-16 mV / -32 mV / -64 mV / °C
Protección	Polaridad Inversa FV Cortocircuito de salida Sobretemperatura
Temperatura de trabajo	-30 a +60°C (potencia nominal completa hasta los 40°C)
Humedad	95 %, sin condensación
Puerto de comunicación de datos	VE.Direct Consulte el libro blanco sobre comunicación de datos en nuestro sitio web
CARCASA	
Color	Azul (RAL 5012)
Terminales de conexión	13 mm <sup>2</sup> / AWG6
Tipo de protección	IP43 (componentes electrónicos), IP22 (área de conexión)
Peso	1,25 kg
Dimensiones (al x an x p)	130 x 186 x 70 mm

Figura B.6 Ficha Técnica del regulador de carga (Victron Energy, s. f.).

## Regulador de voltaje



Figura B.7 Regulador de voltaje seleccionado

ATTRIBUTES	
input voltage	4.5~60V
output current	3A
output power	20W
output voltage	1.25~30V
output ways	1

Figura B.8 Especificaciones del regulador de voltaje seleccionado (Drok, s. f.)

## Cables

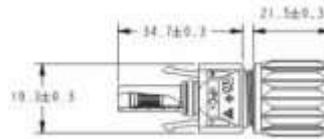
DATOS TÉCNICOS							
NÚMERO DE CONDUCTORES + SECCIÓN mm <sup>2</sup>	DIÁMETRO MÁXIMO DEL CONDUCTOR mm (1)	DIÁMETRO EXTERIOR DEL CABLE (VALOR MÁXIMO) mm	PESO kg/km (1)	RESISTENCIA DEL CONDUCTOR A 20 °C Ω/km	INTENSIDAD ADMISIBLE AL AIRE (2) A	INTENSIDAD ADMISIBLE AL AIRE. T AMBIENTE 60 °C y T CONDUCTOR 120 °C (3)	CAIDA DE TENSIÓN V/(A km) (2)
1x1.5	1,8	4,5	31	13,3	24	30	30,48
1x2.5	2,4	5	43	7,98	34	41	18,31
1x4	3	6,6	61	4,95	46	55	11,45
1x6	3,9	7,4	80	3,30	59	70	7,75
1x10	5,1	8,8	124	1,91	82	98	4,60
1x16	6,3	10,1	186	1,21	110	132	2,89
1x25	7,8	12,5	286	0,780	140	176	1,83
1x35	9,2	11,3	374	0,554	182	218	1,32
1x50	11	12,8	508	0,386	220	276	0,98
1x70	13,1	15,6	709	0,272	282	347	0,68
1x95	15,1	16,4	900	0,206	343	416	0,48
1x120	17	18,6	1153	0,161	397	488	0,39
1x150	19	20,4	1452	0,129	458	566	0,31
1x185	21	22,4	1713	0,106	523	644	0,25
1x240	24	24,0	2245	0,0801	617	775	0,20

Figura B.9 Ficha Técnica de cables seleccionados (Prysun, s. f.)

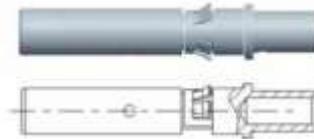
## Conectores

## H4 PV cable connector

H4 Female PV cable connector



H4 Female socket contact



H4 Male PV cable connector



H4 Male pin contact

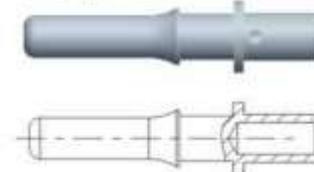


Figura B.10 Conectores seleccionados

Product Family	Product	Gender	Connector type	Cable size	Approvals	Connector packaging	
H4	Helios H4	C Connector	F Female + M Male -	C Cable gland	2 2.5 mm <sup>2</sup> /AWG14 4 4 mm <sup>2</sup> /AWG12 6 6 mm <sup>2</sup> /AWG10 8 10 mm <sup>2</sup> /AWG8	D Dual	I 1 pcs/bag, 800pcs/box C 100pcs/bag, 10bags/box M 500 pcs/ bag, 2bags/box
Technical Data							
Rated current	32A(2.5mm <sup>2</sup> ,14AWG),40A(4.0mm <sup>2</sup> ,12AWG), 44A(6.0mm <sup>2</sup> ,10AWG), 65A(10.0mm <sup>2</sup> , 8AWG)						
Rated voltage	1000V (IEC/TUV/UL)						
Test voltage	6KV for 1 minute, 8KV impulse (1.2/50 μs)(IEC)						
Typical contact resistance	0.30mΩ for S&F contact, 0.25mΩ for machined contact						
Contact material	Copper, tin plated						
Contact system	Cold formed / stamp formed contact with RADSOK® insert						
Insulation material	PC						
Locking mechanism	Snap-lock, special unlocking tool required to un-mate as required by NEC2011						
Cable strain relief	Compression gland with ratcheting gland nut						
Degree of protection	IP68						
Safety class	II						
Pollution degree	2						
Overvoltage category	III						
Flame class	UL94 V-0						
Ambient temperature range	-40°C--- +85°C						

Figura B.11 Datos técnicos de conectores seleccionados (Amphenol, 2012)

## Fusible

## Cartuchos fusible fotovoltaicos NH, de 32 a 400 A, 1000 V CC, serie PV-ANH

### Descripción

Una serie de cartuchos fusibles de tamaño NH diseñada específicamente para proteger y aislar desconexiones y combinadores de matrices fotovoltaicas. Estos cartuchos fusibles pueden interrumpir las sobrecorrientes bajas asociadas con sistemas fotovoltaicos en fallo (corriente inversa, fallo de multimatriz).

### Símbolo del catálogo

PV-(régimen de amperios)  
ANH(tamaño)

### Clase de funcionamiento

gPV

### Tamaño del fusible

Tamaño 1, 2 y 3 NH

### Microinterruptores opcionales

170H0236, 170H023B

### Normas / Aprobaciones

IEC 60269-6, UL 2579

(Número de referencia E335324)

En la lista de CSA

Compatible con RoHS, CCC pendiente

### Envasado

CMP: 3

Embalaje 100% reciclable.

### Datos técnicos

Tensión	1000 V CC
Corriente	32-400 A
Capacidad de corte nominal	50 kA
Constante de tiempo	1-3 ms



Figura B.12 Fusible fotovoltaico seleccionado

Catalogue number	Fuse size	Current rating (amps)	Energy integrals I <sup>2</sup> t (A <sup>2</sup> S)		Watts loss (W)	
			Pre-arcing	Total at 1000 V	0.8I <sub>n</sub>	I <sub>n</sub>
PV-32ANH1	NH1	32	80	720	4	8.5
PV-40ANH1	NH1	40	185	1670	5	9
PV-50ANH1	NH1	50	400	3600	6	11
PV-63ANH1	NH1	63	470	4300	6	12
PV-80ANH1	NH1	80	640	5760	8	15.5
PV-100ANH1	NH1	100	1300	11700	8	16.5

Figura B.13 Datos técnicos del fusible fotovoltaico seleccionado (Bussmann, 2016)

## Interruptor Electromagnético



Figura B.14 Interruptor termomagnético seleccionado

Parameter					
<b>Electrical Characteristics</b>					
Type		BB1-63			
Comply with		IEC60947-2/GB14048.2			
Pole		1P	2P	3P	4P
Rated Working Voltage	Ue	300V DC	600V DC	900V DC	1200V DC
Max Rated Current		63A			
Rated Current	In	3A, 4A, 6A, 10A, 13A, 16A, 20A, 25A, 32A, 40A, 50A, 63A			
Rated Insulated Voltage	Ui	1200V DC			
Rated Impulsed Voltage	Uimp	4KV			
Ultimate Breaking Capacity	Icu	6KA			
Run Breaking Capacity	Ics	100%			
Curve Type		B			
Tripping Type		Thermal Magnetic Type			
<b>Service Life/cycle Operation</b>					
Mechanical	Actual Value	20000			
	Standard Value	8500			
Electrical	Actual Value	4000			
	Standard Value	1500			
<b>Installation Environment</b>					
Ingress Protection		All Sides IP40 ,Connection Terminal IP20			
Terminal Cross Section		2.5-25mm <sup>2</sup>			
Working Temperature		-25℃~+70℃			
Storage Temperature		-40℃~+85℃			
Resistance to Humidity And Heat		II (when Humidity arrived to 55℃,Relative Humidity95%)			
Resistance to Shock		2.6 IEC60068			
Resistance to Impact		2.27 IEC60068			

Figura B.15 Datos técnicos del interruptor termomagnético (Benny, 2015)

**Cargador de baterías**



**Figura B.16 Cargador de baterías de litio seleccionado**

Nombre	Batería de litio ajustable de 36V 30A (batería de litio de 10S)
Modelo	1500D
Tipo de batería	Batería de litio
Entrada de CA	110Vac o 230Vac
Tensión de salida	42V
Corriente de salida	20A 25A 30A
Protección	Por protección de tensión Sobre la protección actual Protección contra cortocircuito Protección contra polaridad inversa
Se aplica a	Para la motocicleta eléctrica 60ah, 90AH,120AH 36v batería de litio

**Figura B.17 Datos técnicos de cargador de baterías (Alibaba, 2020)**

## APÉNDICE C

### IRRADIACIÓN PROMEDIO MENSUAL INCIDENTE SOBRE SUPERFICIE INCLINADA EN AEROSTATO PARA EL AÑO 2019

Tabla C.1 Irradiación promedio mensual incidente sobre superficie inclinada

Ángulo	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic
0,3	3942	3562	3906	4207	3594	3239	3633	4118	4583	3689	3191	4132
-0,3	3932	3557	3905	4213	3604	3249	3645	4126	4585	3685	3186	4119
PROMEDIO	3937	3559,5	3905,5	4210	3599	3244	3639	4122	4584	3687	3188,5	4125,5
1	3954	3567	3906	4199	3583	3227	3620	4107	4579	3693	3197	4147
-1	3920	3551	3904	4221	3615	3260	3658	4136	4588	3681	3180	4103
PROMEDIO	3937	3559	3905	4210	3599	3243,5	3639	4121,5	4583,5	3687	3188,5	4125
2	3970	3573	3905	4186	3565	3209	3599	4090	4574	3697	3204	4168
-2	3901	3542	3902	4230	3630	3276	3676	4150	4590	3673	3171	4080
PROMEDIO	3935,5	3557,5	3903,5	4208	3597,5	3242,5	3637,5	4120	4582	3685	3187,5	4124
3	3984	3579	3904	4173	3547	3191	3578	4073	4567	3701	3210	4187
-3	3882	3533	3899	4239	3644	3291	3693	4162	4591	3666	3161	4056
PROMEDIO	3933	3556	3901,5	4206	3595,5	3241	3635,5	4117,5	4579	3683,5	3185,5	4121,5
4	3998	3584	3901	4158	3528	3171	3555	4055	5448	3704	3219	4206
-4	3863	3522	3895	4246	3657	3305	3709	4174	4592	3657	3151	4032
PROMEDIO	3930,5	3553	3898	4202	3592,5	3238	3632	4114,5	5020	3680,5	3185	4119

Ángulo	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic
5	4011	3588	3898	4143	3508	3151	3532	4035	4549	3707	3221	4223
-5	3842	3511	3891	4253	3669	3318	3725	4184	4591	3648	3140	4007
PROMEDIO	3926,5	3549,5	3894,5	4198	3588,5	3234,5	3628,5	4109,5	4570	3677,5	3180,5	4115
6	4023	3592	3893	4126	3488	3131	3509	4015	4539	3708	3226	4240
-6	3821	3499	3885	4258	3681	3331	3739	4193	4589	3637	3128	3981
PROMEDIO	3922	3545,5	3889	4192	3584,5	3231	3624	4104	4564	3672,5	3177	4110,5
7	4034	3594	3888	4109	3466	3109	3484	3994	4527	3708	3230	4255
-7	3799	3487	3879	4262	3691	3343	3753	4202	4585	3626	3115	3954
PROMEDIO	3916,5	3540,5	3883,5	4185,5	3578,5	3226	3618,5	4098	4556	3667	3172,5	4104,5
8	4045	3596	3882	4090	3444	3087	3458	3972	4515	3708	3233	4270
-8	3776	3473	3871	4266	3701	3354	3765	4209	4581	3614	3102	3927
PROMEDIO	3910,5	3534,5	3876,5	4178	3572,5	3220,5	3611,5	4090,5	4548	3661	3167,5	4098,5
9	4054	3597	3875	4071	3421	3064	3432	3948	4501	3707	3235	4283
-9	3752	3459	3863	4268	3710	3364	3777	4215	4576	3601	3088	3898
PROMEDIO	3903	3528	3869	4169,5	3565,5	3214	3604,5	4081,5	4538,5	3654	3161,5	4090,5
10	4062	3597	3867	4050	3397	3041	3405	3924	4486	3705	3237	4295
-10	3727	3444	3854	4269	3718	3373	3788	4221	4569	3588	3074	3868
PROMEDIO	3894,5	3520,5	3860,5	4159,5	3557,5	3207	3596,5	4072,5	4527,5	3646,5	3155,5	4081,5
11	4069	3597	3859	4029	3372	3017	3377	3899	4471	3702	3238	4307
-11	3702	3429	3843	4270	3725	3382	3798	4225	4561	3574	3059	3838
PROMEDIO	3885,5	3513	3851	4149,5	3548,5	3199,5	3587,5	4062	4516	3638	3148,5	4072,5
11,07	4070	3597	3858	4027	3371	3015	3375	3898	4469	3702	3238	4307
-11,07	3700	3428	3843	4270	3726	3383	3798	4225	4561	3573	3058	3835
PROMEDIO	3885	3512,5	3850,5	4148,5	3548,5	3199	3586,5	4061,5	4515	3637,5	3148	4071
PROM. MENSUAL	3916,65	3540,69	3883,69	4185,88	3579,03	3226,19	3618,5	4098,07	4591,04	3667,46	3172,77	4104,54