

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE
ENERGÍA SOLAR PARA EL MEJORAMIENTO DE LA AUTONOMÍA DE UN
DRONE**

MIGUEL ÁNGEL CORREA CASTILLO



**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
SANTIAGO DE CALI
2018**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE
ENERGÍA SOLAR PARA EL MEJORAMIENTO DE LA AUTONOMÍA DE UN
DRONE**

MIGUEL ÁNGEL CORREA CASTILLO

Proyecto: Tesis de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Director

JOSÉ TOMAS BUITRAGO MOLINA, M.SC

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
SANTIAGO DE CALI**

2018

AGRADECIMIENTOS

Agradecerle a mi tío Elber Castillo, por su confianza, colaboración y conocimiento. Agradecerles a mis padres por su aporte económico para lograr desarrollar este proyecto de grado.

Agradecerle a mis amigos y compañeros por el apoyo y aporte de sus conocimientos en el campo de la electrónica y sus aplicaciones.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	10
1.OBJETIVOS	11
1.1 OBJETIVO GENERAL	11
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
2.MARCO TÉORICO	13
2.1 CELDA SOLAR	13
2.2 EL EFECTO FOTOVOLTAICO	14
2.3 CLASIFICACIÓN DE LAS CELDAS FOTOVOLTAICAS	15
2.3.1 Clasificación según la estructura del material	16
2.3.2 Clasificación según su configuración	16
2.3.3 Clasificación según su fabricación	17
2.4 ARREGLO DE CELDAS FOTOVOLTAICAS	17
3.DESARROLLO DE LAS CELDAS SOLARES Y AERONAVES QUE USARON ESTOS PARA MEJORAR LA AUTONOMÍA	20
4.DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA SOLAR.	25
4.1 VERIFICACIÓN EXPERIMENTAL MEDIANTE OBSERVACIÓN	25
4.2 SELECCIÓN DE PANELES SOLARES	26
4.3 ANÁLISIS DEL ARREGLO ELECTRÓNICO CON PANELES SOLARES PARA IMPLEMENTAR EN LA BATERÍA DEL DRONE.	29
5.COMPONENTES USADOS PARA EL DESARROLO DEL PROYECTO.	36
5.1 DESCRIPCIÓN DEL DRONE SELECCIONADO PARA EL PROYECTO	36

5.2	CONSTRUCCIÓN DEL ARREGLO ELECTRÓNICO PARA LA MEDICIÓN DEL VOLTAJE Y CORRIENTE.	37
5.3	FUNCIONAMIENTO DETALLADO DEL SISTEMA DE MEDICIÓN	39
5.4	DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DE MEDICIÓN UTILIZADOS EN EL PROYECTO	40
5.5	DESARROLLO DEL PROGRAMA Y MANEJO DE LOS SENSORES DE VOLTAJE Y CORRIENTE.	46
5.6	DATOS OBTENIDOS	49
5.7	RELACIÓN DE COSTO-BENEFICIO DEL PROYECTO.	53
	CONCLUSIONES	54
	RECOMENDACIONES	55
	BIBLIOGRAFÍA	56
	ANEXOS	58

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1	18
Tabla 2	19
Tabla 3	53

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Panel fotovoltaico básico	14
Figura 2. Funcionamiento fotovoltaico y agentes de dopado	15
Figura 3. Arreglo de celdas fotovoltaicas en serie	18
Figura 4. Arreglo de celdas fotovoltaicas en paralelo	19
Figura 5. Ubicación de los paneles solares sobre el drone	26
Figura 6. Eficiencias de celdas solares basadas en silicio cristalino según la universidad de Nueva Gales Australia.	27
Figura 7. Eficiencias de celdas solares basadas en silicio cristalino según Sandia	28
Figura 8. Primer arreglo de paneles solares	30
Figura 9. Voltaje del primer arreglo de paneles solares	30
Figura 10. Segundo arreglo de paneles solares	31
Figura 11. Voltaje del segundo arreglo de paneles solares	32
Figura 12. Tercer arreglo de paneles solares	33
Figura 13. Voltaje del tercer arreglo de celdas solares	34
Figura 14. Drone Syma X8HG	36
Figura 15. Esquema electrónico general del proyecto	37
Figura 16. Esquema electrónico real del proyecto	38
Figura 17. Entorno Arduino	41
Figura 18. Arduino UNO	42
Figura 19. Módulo Xbee	43
Figura 20. Sensor de voltaje LM235	45
Figura 21. Programa para la medición de corriente y del voltaje en el análisis cuantitativo	47
Figura 22. Gráfico de descarga de la batería sin implementación de paneles solares	50

Figura 23. Gráfico de descarga de la batería con la implementación de las celdas solares

51

Figura 24. Gráfico de corriente generada durante la prueba # 2

52

RESUMEN

Esta tesis tuvo como finalidad mejorar la durabilidad de la batería de un dron, por medio de la implementación de un sistema de aprovechamiento de energía solar conformado por paneles solares. Para demostrar la autonomía que da el uso de paneles solares en un drone se procedió a construir un sistema de medición utilizando arduino uno para captar las señales que envía el módulo xbee de los sensores de voltaje y corriente durante la descarga de la batería del drone, y con los datos de corriente y voltaje registrados en el computador, se generan gráficos cuantitativos en función del tiempo, donde se demuestra la eficiencia de usar paneles solares para el mejoramiento de la autonomía.

Palabras claves: Energía, autonomía, corriente, voltaje, módulo xbee, arduino uno, drone, panel solar.

INTRODUCCIÓN

El diseño y construcción de sistemas de aprovechamiento de energía solar ha permitido suavizar el impacto ambiental producido por las energías convencionales, mejorando la autonomía de dispositivos que lo disponen, lo cual es un campo de investigación e innovación en la ingeniería mecánica y carreras afines.

Teniendo en cuenta que el Sol es una fuente renovable de energía y cada día su utilidad aumenta debido a los avances tecnológicos, se decidió disponer de este tipo de energía para mejorar la autonomía de un drone, implementando un sistema de aprovechamiento de energía solar que está conformado por paneles solares seleccionados, que se conectan directamente a la batería de 7,4 voltios y 2000 mAh con la que cuenta el drone, sirviendo como un soporte para aumentar la autonomía de la batería, obteniendo una duración extra de 1 minuto y 40 segundos aproximadamente.

Para la selección de los paneles solares adecuados para el proyecto se tiene en cuenta, los datos consultados sobre la eficiencia calculada mediante pruebas experimentales de universidades y laboratorios. Por otro lado, se verificó mediante observación que los paneles solares ubicados sobre el drone, no generen inestabilidad durante el vuelo. Luego se procedió a realizar pruebas de campo, para poder comparar cuantitativamente la eficiencia de usar un sistema de aprovechamiento de energía solar con respecto a un sistema que se abastece de energía eléctrica. Con la realización de este proyecto de grado se logró demostrar la autonomía y la eficiencia de usar paneles solares como soporte para la batería eléctrica del drone, obteniéndose un 1 min y 40 segundos más de duración comparando cuando se usa únicamente la batería eléctrica con la que dispone el drone del proyecto.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un sistema de aprovechamiento de energía solar con paneles solares como soporte para mejorar la autonomía de un drone, analizando factores como la estabilidad, voltaje, corriente, potencia y eficiencia de los paneles solares.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar experimentalmente mediante observación que el peso y distribución de los paneles solares del sistema de aprovechamiento de energía solar ubicados en el drone, no genere inestabilidad durante el vuelo.
- Seleccionar el tipo de panel solar para el sistema de aprovechamiento de energía solar, con base a la eficiencia récord calculada mediante pruebas experimentales de universidades y laboratorios.
- Definir el arreglo electrónico con paneles solares para el sistema de aprovechamiento de energía solar que se conecta al drone, de tal forma que genere mayor energía eléctrica y pierda menos potencia, aumentando de esta manera la autonomía del drone.
- Realizar pruebas de campo para cuantificar la duración de la batería de un drone con paneles solares y sin estos, implementando un plan de vuelo controlado por el control remoto.
- Socializar resultados de las pruebas de campo por medio de gráficos de voltaje vs tiempo, corriente vs tiempo, con respecto a la batería acumuladora y al sistema de aprovechamiento de energía solar construido en el proyecto.

- Realizar una evaluación económica del proyecto por medio de una relación de costo-beneficio, dependiendo de la inversión total del proyecto y el beneficio brindado por la generación de energía eléctrica del sistema de aprovechamiento de energía solar construido en el proyecto.

2. MARCO TÉORICO

2.1 CELDA SOLAR

Las celdas solares son dispositivos compuestos de semiconductores que transforman la radiación solar directamente en energía eléctrica. Las celdas fotovoltaicas están compuestas por una unión semiconductor positiva-negativa con gran cantidad de silicio y un espesor reducido. [1]

Entre las capas de dopaje positivo y negativo se forma por difusión una capa límite en la que se establece una barrera potencial. Para que se logre obtener un rendimiento energético alto, la capa límite se debe encontrar lo más cerca posible de la superficie que está en contacto a la luz ultravioleta (Sol) como se muestra en la figura 1. [1]

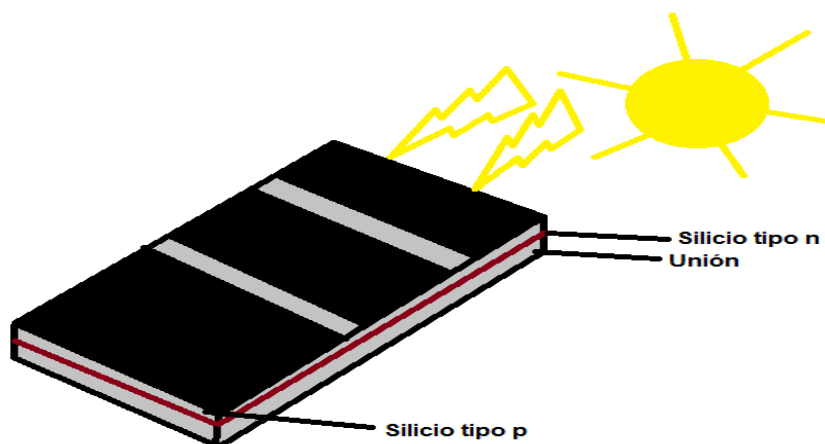
Las celdas solares se colocan en serie, para que los electrones expulsados de cada una de estas sean recolectados generando una diferencia de potencial adecuada entre 6 a 24 volts. [1]

Al incidir la luz sobre la unión, el efecto fotovoltaico produce un desplazamiento de portadores que da lugar a una diferencia de potencial aprovechable de alrededor de 0.5 V entre los electrodos a circuito abierto. [1]

En dado caso que una de las celdas que se encuentra conectada en serie se tape o quede oscurecida, de forma que solamente recibe una pequeña parte de la energía solar comparada a las otras celdas, esta celda generará una corriente limitada. Si la carga impuesta al panel solar es tal que necesita una corriente superior a dicha corriente “limitada” ocurrirá un efecto inverso haciendo así que la corriente se transporte en un sentido indebido generando calentamiento en la celda y con riesgo de quemarla. [1]

Para evitar este problema es importante añadir diodos en paralelo al circuito de las celdas y así evitar el calentamiento y posible daño. En dado caso que se realicen conexiones en paralelo, si alguna de las celdas también queda tapada o sin incidencia de luz solar solamente podrá generar una tensión limitada, la cual será menor que las otras. La celda oscurecida funcionará como receptor si la tensión de funcionamiento se hace superior a la suya cuando se tiene el circuito abierto; lo que también provoca su calentamiento y de la misma manera una gran posibilidad de daño permanente, lo cual es necesario añadir diodos anti retorno, para proteger a las celdas de esta posibilidad de daño. [1]

Figura 1.Panel fotovoltaico básico



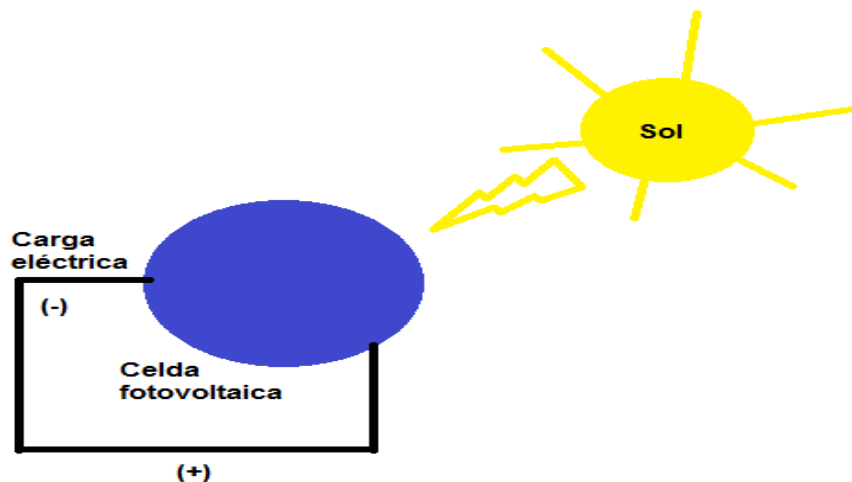
2.2 EL EFECTO FOTOVOLTAICO

Para la generación de este efecto en particular, existen algunos materiales que absorben un determinado tipo de radiación que generan en su interior cargas positivas y negativas. La radiación ultravioleta es emitida por el Sol y el material que

la recibe es un semiconductor denominado silicio. Las cargas emitidas son electrones y unos llamados huecos (h^+), los cuales se mueven a lo largo de toda la superficie del material. Las cargas de signos opuestos se recombinan neutralizándose mutuamente. Para generar energía eléctrica por medio del efecto fotovoltaico se requiere extraer los electrones liberados del material antes que se vuelvan a recombinarse con los huecos (lugares vacíos que dejan los electrones) así como se muestra en la figura 2. [1]

Este efecto es posible lograrlo al introducir en el material semiconductor agentes químicos tales como el fósforo (tipo N) y el boro (tipo P), capaces de generar un exceso tanto de electrones como de huecos. Estos elementos se denominan dopantes y su proceso de su incorporación al semiconductor se llama dopado. [1]

Figura 2.Funcionamiento fotovoltaico y agentes de dopado



2.3 CLASIFICACIÓN DE LAS CELDAS FOTOVOLTAICAS

Las celdas fotovoltaicas se clasifican según la estructura del material, configuración y método de fabricación. [3]

2.3.1 Clasificación según la estructura del material

Silicio mono cristalino: Son el tipo de celdas más comunes en el mercado y las primeras en ser producidas a gran escala. Este tipo de celdas están hechas de un único cristal de silicio de muy alta pureza. Se obtienen a partir de barras cilíndricas de silicio que son producidas en hornos especiales. Las celdas fabricadas a partir de este tipo de silicio tienen eficiencias de conversión de la luz solar en electricidad superior al 12%. [3]

Silicio poli cristalino: Estas celdas están formadas por varios cristales de silicio. Este tipo de celdas se produce a partir de bloques de silicio obtenidos por fusión de trozos de silicio puro en moldes especiales. La tecnología de las celdas poli cristalinas surgió del afán de conseguir una disminución en los costos de la fabricación. Estas celdas tienen eficiencias aproximadamente de 10 a 12 %. [3]

Silicio amorfo: Estas celdas no poseen una estructura determinada, su costo de producción es el más bajo del mercado y su eficiencia es baja con respecto a los otros materiales. [3]

2.3.2 Clasificación según su configuración

Celdas mono faciales: La característica especial de este tipo de celdas es que únicamente reciben radiación por una sola cara. Pueden ser producidas con cualquier estructura del material. [3]

Celdas bifaciales: Reciben este nombre porque absorben la radiación por ambas caras, lo cual es importante a la hora de tener en cuenta la eficiencia de la celda. [3]

Celdas de película delgada: Tipo de celdas de alta tecnología las cuales han sido el foco de estudio en los últimos años debido a su gran área de aplicación, no

poseen grandes espesores, sino una finísima capa de material semiconductor que se deposita sobre un sustrato adecuado, formándose un módulo continuo que no requiere interconexiones interiores. [3]

2.3.3 Clasificación según su fabricación

Método Czichaisky: El método consiste en poner en contacto una semilla con el silicio fundido y luego es retirada lentamente. Con este método se obtienen lingotes cilíndricos de Si-monocristalino de diámetros entre cuatro y seis pulgadas, a una velocidad de 10cm/hora y de longitud del orden de decenas de centímetros. [3]

Método floating zone: El método floating produce silicio mono cristalino más puro que el método anteriormente mencionado debido a que el silicio no se contamina en el crisol. Se coloca la barra de si-policristalino sobre una semilla, una bobina induce un campo eléctrico, calentando la barra y fundiendo la interface entre semilla y material, el silicio se solidifica con la misma estructura que la semilla. [3]

2.4 ARREGLO DE CELDAS FOTOVOLTAICAS

Los arreglos fotovoltaicos pueden estar formados por una cierta cantidad de celdas individuales conectadas en serie o paralelo, esto con el fin de aumentar el voltaje o la corriente que generan y así suplir una necesidad determinada.

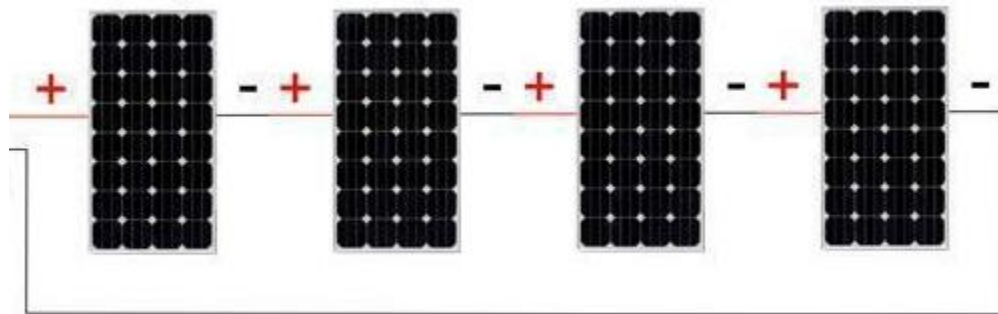
Una celda de forma individual proporcionaría únicamente una tensión muy pequeña y una potencia no muy elevada de alrededor de uno o dos watts. Es por esa razón que se realizan conexiones de celdas en serie, con el fin de producir mayor tensión, aceptadas en la mayoría de aplicaciones. De la misma manera se conectan algunas de las celdas en paralelo para aumentar la corriente del circuito generado y suplir las necesidades de carga. Entonces lo que se obtiene en general es un conjunto de celdas interconectadas eléctricamente en serie o paralelo.

Para incrementar el voltaje las celdas solares se deben conectar en serie como se muestra en la figura 3. El voltaje de salida, V , de celdas conectadas en serie está dado por la suma de los voltajes generados por cada celda mediante la formula de la tabla 1.

Tabla 1

$V=V1+V2+V3...Vn$ (1)
$V1$ =Voltaje celda 1
$V2$ = Voltaje celda 2
$V3$ = Voltaje celda 3
Vn = Voltaje celda n
V =Voltaje de salida

Figura 3.Arreglo de celdas fotovoltaicas en serie

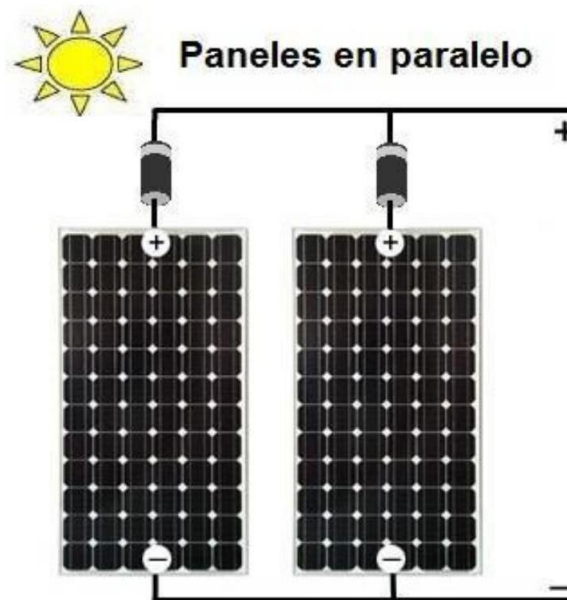


Para incrementar la corriente las celdas solares se conectan en paralelo como se muestra en la figura 4 para obtener corrientes generadas más grandes. El voltaje del conjunto es el mismo que el de un módulo (panel); pero la corriente de salida, I_T es la suma de corriente generada de cada celda conectada en paralelo, como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2

$I_T = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$ (2)
I_1 = corriente celda 1
I_2 = corriente celda 2
I_3 = corriente celda 3
I_n = corriente celda n

Figura 4.Arreglo de celdas fotovoltaicas en paralelo



3. DESARROLLO DE LAS CELDAS SOLARES Y AERONAVES QUE USARON ESTOS PARA MEJORAR LA AUTONOMÍA

Los científicos e investigadores han buscado la forma de que el abastecimiento energético sea más eficaz y que afecte menos el ambiente, desde que se inventó la primera celda solar se ha venido innovando la manera de implementar paneles solares para disponerlos en aplicaciones que lo requieran; entre estas “la aeronáutica”. Dado que cada celda puede generar una cantidad reducida de electricidad, en sus orígenes se destinaron a alimentar consumos pequeños con requerimientos particulares. Con el avance tecnológico este campo se fue ampliando y fortaleciendo. Generalmente se les agrupa en arreglo serie-paralelo, formándose paneles solares para aumentar la potencia generada. Su desarrollo empezó en el año de 1839 cuando Becquerel descubrió que si ilumina uno de dos electrodos sumergidos en un electrolito, aparece una diferencia de potencial. [9]

En 1887, cuando investigaba la descarga eléctrica entre dos electrodos usada como fuente de ondas electromagnéticas, Hertz descubrió el efecto fotoeléctrico externo o fotoemisión, observando que la intensidad de la descarga aumentaba si radiaba el electrodo positivo con luz ultravioleta, lo que sugirió que las superficies iluminadas emitían más electrones. Por su parte, en el año 1900 Planck desarrolló la teoría cuántica, que le permitió a Einstein explicar la fotoemisión en 1905. [10] [9].

La explicación del efecto fotoeléctrico externo permitió también explicar el efecto fotoconductor y efecto fotovoltaico. En 1920 Gdden y Pohl indicaron que en el efecto foto conductor, los electrones excitados permanecen dentro del metal, ocupando las órbitas externas de los átomos y gozando de mayor libertad, provocándose así un aumento en la capacidad de conducción. Por su parte, en el efecto fotovoltaico los electrones son desplazados a través de una barrera en el sólido, produciéndose así un diferencial de potencial. [7]

En el año 1954 Chapin descubrió la primera celda solar que convertía la luz solar en electricidad, llamada CZHRALSKY. El comercio y la producción de las celdas fotovoltaicas inicio con las de silicio mono cristalino, las cuales aún hoy en día continúan ocupando el primer lugar en el mercado. Después debido a la demanda de celdas y su alto costo se comenzaron a producir las compuestas por materiales poli cristalinos, que aunque son más económicas presentan un rendimiento mucho más bajo en comparación con las mono cristalinas, pero con una ventaja adicional y es que las celda de materiales poli cristalinos tienen la posibilidad de ser producidas de forma cuadrada lo cual es una característica importante ya que se puede aprovechar mejor el área disponible para las celdas. [7]

Desde comienzos de los años 90' aparecieron otro tipo de celdas en el mercado, estas son conocidas como celdas de silicio Amorfo (Si-a), con la aparición de este tipo de celdas fue posible extender el uso de la energía solar a sectores con consumos más bajos de potencia pero no menos importantes como relojes, radios, calculadoras etc.; Y así como iban saliendo nuevas configuraciones de celdas con nuevos materiales , la tecnología fue innovando y tornándose más sofisticada, haciendo que la eficiencia de las celdas vaya en aumento al paso del tiempo. [8]

Investigadores del Instituto Fraunhofer para Sistemas de Energía Solar (ISE), obtuvieron 33,3% de eficiencia en una fotocelda multi-unión. Las fotoceldas multi-unión con semiconductor III-V se utilizan en concentradores fotovoltaicos para plantas solares de generación eléctrica. [11]

En los últimos tiempos se desarrollaron aeromodelos implementando paneles solares. El Solar Challenger diseñado por la empresa Aero Vironment y patrocinado por la empresa Dupont Corporation de EE.UU. tenía una envergadura de 14.3 metros y un peso de 90 kg y 16.128 celdas fotovoltaicas que cubrieron las alas, con una potencia total de 2.600 Watts. El Solar Challenger era capaz de alcanzar una altitud de 3.660 m, y en 1981 esta aeronave fue el primer avión solar

en recorrer la distancia 262 km desde París al Reino Unido y cruzar el canal de la Mancha solamente usando energía solar. El éxito del Solar Challenger provocó un interés creciente en el gobierno de EE.UU con respecto del vuelo y la financiación en investigación de aviones teledirigidos y la energía solar para vuelos largos y a gran altitud. [8]

El piloto y campeón de planeadores Eric Raymond, fue invitado a pilotear una aeronave propulsada por la fuerza humana usando pedales. Eric Raymond luego de volar la nave por medio de energía muscular se dio cuenta de que con placas solares sobre las alas, podía tener más de diez veces la potencia que tenía con los pedales. Con el estímulo de Klaus Savier y Gunther Rochelt, Raymond desarrolló su concepto del avión solar. Sus diseños previos tenían alas grandes, para captar grandes cantidades de energía. Pero Raymond quería una aeronave más rápida así que diseñó alas más pequeñas eficientes y ligeras, pero dependía de baterías para suministrar energía en el momento de tomar altura y luego almacenar energía cuando el avión quedaba planeando, las placas solares utilizadas pudieron suministrar la energía suficiente para mantener el vuelo. Entre 1986 y 1990 construyó el avión solar al que llamó SUNSEEKER y durante el mes de agosto de 1990 lo piloteó desde California a Carolina del Norte en 21 días. Donde el tramo más largo recorrido por el avión fue de 400 km. El "Sunseeker" pesa sin el piloto 89 kg y está fabricado con celdas de silicio amorfo. [8]

El avión solar Icaré II es un proyecto del cuerpo docente de la Facultad de tecnología de viajes espaciales de la universidad de Stuttgart en Alemania. El avión es movido por medio de la energía solar y es un avión que está dentro de la categoría de los aviones solares. Con este proyecto, algunos premios fueron ganados y quedó en uso para el futuro. El vuelo de demostración de la capacidad de funcionamiento del avión fue de 350 Km de recorrido. El Icaré II es un planeador de gran rendimiento adaptado a su funcionamiento con energía solar. Esto demostró que el vuelo con motor y energía solar es posible. El motor es un motor eléctrico de 1200 w y está

colocado en el timón del avión para aumentar su rendimiento, para el inicio del vuelo se utiliza una batería cuya capacidad de almacenaje de energía es de 915 Wh que es cargada por los mismos paneles solares del avión cuando éste no está en funcionamiento. Con las baterías que se utilizaron en el primer vuelo del avión solo se llegaba a una altura de 400 m, debido al peso de éstas, pero con la colocación de baterías de Li-polímero se logró alcanzar alturas de 1200 m. Las características más sobresalientes del avión son su bajo peso y el viajar a una velocidad baja que hace recordar a los viejos vuelos. [8]

La empresa constructora AeroVironment prevé diseñó el Helios que es la aeronave solar revolucionaria que puede brindar vuelos prácticamente eternos en la estratosfera. Posee un sistema de almacenamiento de energía para el vuelo continuo en la noche. El avión Helios almacena hasta dos tercios de la energía solar recibida por las celdas solares durante el día por medio de las baterías eléctricas de litio y usa esta energía guardada para mantener vuelo a su altitud durante toda la noche. Su energía se renueva todos los días con el Sol, el Helios tiene un vuelo con un límite práctico de hasta quizás seis meses de duración durante el verano. [8]

El drone Xsol-E1.1 aprovecha la energía solar como una fuente de energía suplementaria para extender el tiempo de vuelo del UAD (dispositivo aéreo no tripulado). El proyecto demuestra cómo la energía solar puede ser acoplada con las pilas de litio tradicionales. En este experimento, el tiempo de vuelo se extiende hasta el 250% de su autonomía original. La configuración utiliza una celda 3C 2200 mAh Litio. Sin panel solar, el tiempo de vuelo es de 12 minutos, y con panel solar, el tiempo de vuelo se extiende a 35 minutos a plena intensidad solar. [12]

El avión solar Puma no tripulado tiene una envergadura de 9,2 pies y cuenta con celdas solares ultra finas de arseniuro de galio (GaAs) en sus alas. Los paneles solares amplían su tiempo de vuelo máximo de 2 horas hasta 9 horas. Este avión

ha sido empleado por los militares de los Estados Unidos para fines de inteligencia, vigilancia y reconocimiento desde 2008. [8]

4. DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA SOLAR.

4.1 VERIFICACIÓN EXPERIMENTAL MEDIANTE OBSERVACIÓN

La distribución del peso de los paneles solares del sistema de aprovechamiento de energía solar es necesaria para la aplicación de este proyecto, ya que de esto depende el comportamiento final de la estabilidad del drone. Si no se distribuye de la manera adecuada, el drone sería imposible de controlar o forzaría los motores provocando un corto circuito.

Para evitar los problemas de inestabilidad se distribuyeron mediante ensayo y error los 6 paneles solares sobre el drone de manera equidistante como se muestra en la figura. 5.

Para comprobar la estabilidad del drone después de distribuir los paneles solares, se realizaron pruebas en un espacio cerrado amplio sin perturbación del viento, desplazando el drone a alturas bajas por medio del control remoto, observando que el drone se mantuviera en un plano horizontal en el aire. Si el drone cae durante la prueba, se vuelven a ubicar los paneles solares hasta mejorar la estabilidad de este.

Figura 5.Ubicación de los paneles solares sobre el drone



4.2 SELECCIÓN DE PANELES SOLARES

La eficiencia en los paneles solares es de gran importancia, es por esto que para una correcta aplicación hay que tener en cuenta el tipo de tecnología y fabricación.

PESC ha sido optimizado con nuevas tecnologías como lo son PERL (Passivated Emitter, Rear Localized and diffused).

De acuerdo con los experimentos sobre la eficiencia de paneles solares, la Universidad de Nueva Gales Australia y los laboratorios Sandia, han establecido que la tecnología PERL ha logrado eficiencias récord en celdas de Si-c (Silicio cristalino) de 24,2% y 24,7% respectivamente, en donde se utiliza la técnica de fabricación de zona flotante. [3]

Los registros actuales para celdas Si-c (Silicio cristalino) se dan en las figuras 6 y 7.

Figura 6. Eficiencias de celdas solares basadas en silicio cristalino según la universidad de Nueva Gales Australia.

TECNICA DE ELABORACIÓN	TIPO DE CELDA	ORGANIZACIÓN	ÁREA <i>cm</i> ²	EFICIENCIA (%)
Zona flotante	PERL	Univ. de Nueva Gales Australia	4	24,2
Zona flotante	BPCC	Stanford	37,5	22,7
Zona flotante	BCC	Stanford	10	21,2
Zona flotante	BCSC	Univ. de Nueva Gales Australia	12	21,3
Czochraiski	BCSC	Univ. de Nueva Gales Australia	47	18,3
Czochraiski	nnpp	Telefunken, Siemens	113	18
	nnpp	Sharp	100	17,3
Czochraiski	Comercial	Varios	100	13
Silicio moldeado	PESC	Univ. de Nueva Gales Australia	4	17,1
Silicio moldeado	BCSC	Univ. de Nueva Gales Australia	10,5	16,2
Silicio moldeado	nnpp	Sharp	100	15,8
Silicio moldeado	nnpp	Telefunken	142	13,5
Silicio moldeado	Comercial	Varios(Solarex, Kyocera)	100	12

Figura 7. Eficiencias de celdas solares basadas en silicio cristalino según Sandia

Clasificación	Eficiencia (%)	Área <i>cm</i> ²	Centro de investigación	Descripción
Si(cristalino)	24,7±0,5	4	Sandia	UNSW PERL
Si(multicristalino)	19,8±0,5	1,09	Sandia	UNSW
Si(película delgada por transferencia)	16,6±0,4	4,017	FhG-ISE	U. Stuttgart
Si(película delgada submodular)	7,25±0,2	4,78	Sandia	Pacific solar

De acuerdo con los resultados de eficiencia de las figuras 6 y 7, se decidió utilizar paneles solares de material silicio mono cristalino (Si-c) de tecnología PERL que fueron fabricados mediante la técnica de zona flotante.

Estos paneles solares son muy livianos y se les pueden soldar cables en la parte de atrás para extender la conexión.

La eficiencia de estos paneles solares es sobresaliente de acuerdo con las figuras 6 y 7, ya que tienen una eficiencia récord promedio de 24,45% en un área pequeña, y por otro lado tienen a su favor un peso realmente bajo de aproximadamente 17 gramos con facilidad en la instalación ya que su espesor es de 0,5 mm.

Estos paneles solares se producen sobre una lámina de base transparente de 50um que se aplica en un proceso especial de plasma y se le agrega una capa extremadamente fina de silicio mono cristalino (Si-c). En un procedimiento de laminado de gran formato, esta capa revestida de soporte se ubica entre dos capas de fluorpolimero. Los fluorpolimeros han sido probados mundialmente en el área de construcción durante décadas y presentan características importantes como su alta durabilidad y resistencia. La alta transparencia de las capas de fluorpolimero

asegura la mayor cantidad posible de energía solar para los paneles solares; por cuestiones económicas para el proyecto solo se usaron 6 paneles solares de este tipo. [3]

En cuanto a los requerimientos energéticos del drone, este posee una batería de 7,4 v de 2000 mAh que se carga con el sistema de aprovechamiento de energía solar, donde se requiere generar un voltaje mayor que el de la batería y un promedio de corriente adecuado, por esta razón se usaron 6 paneles solares de 6 voltios, 100 mAh, peso de 17 g, espesor de 0,2 mm, dimensiones de 9cmx6cm, en la cual se realizó un arreglo electrónico para generar la corriente y el voltaje requeridos para abastecer la batería del drone de manera eficiente.

4.3 ANÁLISIS DEL ARREGLO ELECTRÓNICO CON PANELES SOLARES PARA IMPLEMENTAR EN LA BATERÍA DEL DRONE.

Para escoger el arreglo electrónico conveniente para diseñar un sistema de aprovechamiento de energía solar con paneles solares para mejorar la autonomía de un drone, se ensayaron 3 arreglos que pueden ser en paralelo o combinados, y disponiendo de un multímetro se midió cuanto voltaje y corriente genera el arreglo electrónico a analizar; aquí se escoge el arreglo que sobrepase el voltaje de la batería del drone que es de aproximadamente 7,4 v, y que genere la mayor cantidad de corriente posible, ya que cuanto esta produzca más, la carga es más eficiente y rápida. A continuación, se describen los arreglos de paneles solares ensayados con el multímetro, y se especifica cuál de estos se seleccionó.

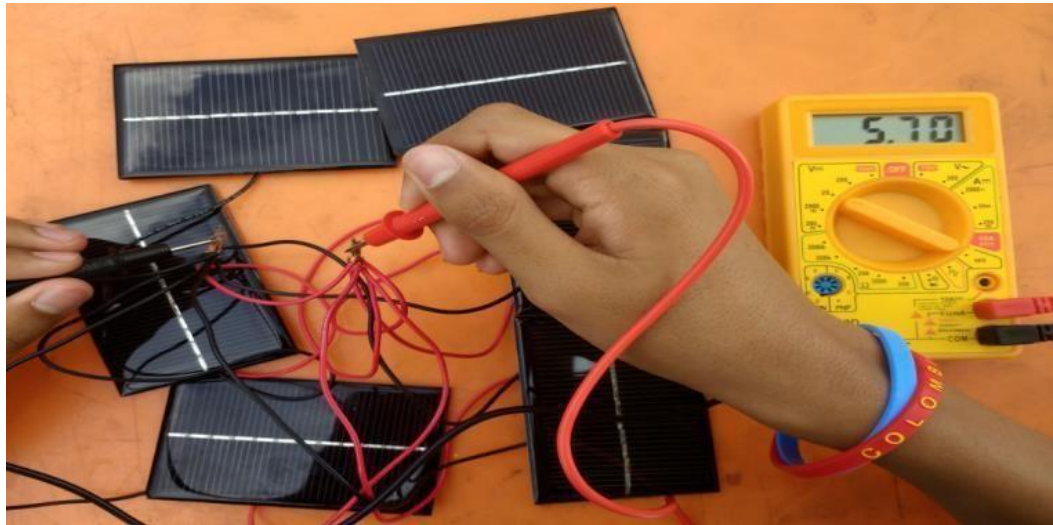
Arreglo 1

El primer arreglo que se realizó fue el de ubicar los seis paneles solares en un arreglo de 1-1-1-1-1-1 en paralelo.

Figura 8. Primer arreglo de paneles solares



Figura 9. Voltaje del primer arreglo de paneles solares



Después de realizada la prueba midiendo con el multímetro el voltaje y la corriente con una irradiación de $820 \frac{W}{m^2}$ medida con el piranómetro, se obtuvo como resultado que el voltaje generado en el circuito entre los bornes fue de 5,70 V la cual no

excedía los 7,4 V, la corriente generada por el arreglo fotovoltaico estaba en el orden de 550 mA.

De esta prueba se puede deducir que por el lado de la corriente que genera el arreglo sería adecuado debido a que la velocidad de carga en la batería sería elevada, y por el lado del voltaje no es adecuado porque no supera los 7,4 v de la batería. Por lo tanto, este arreglo se descarta.

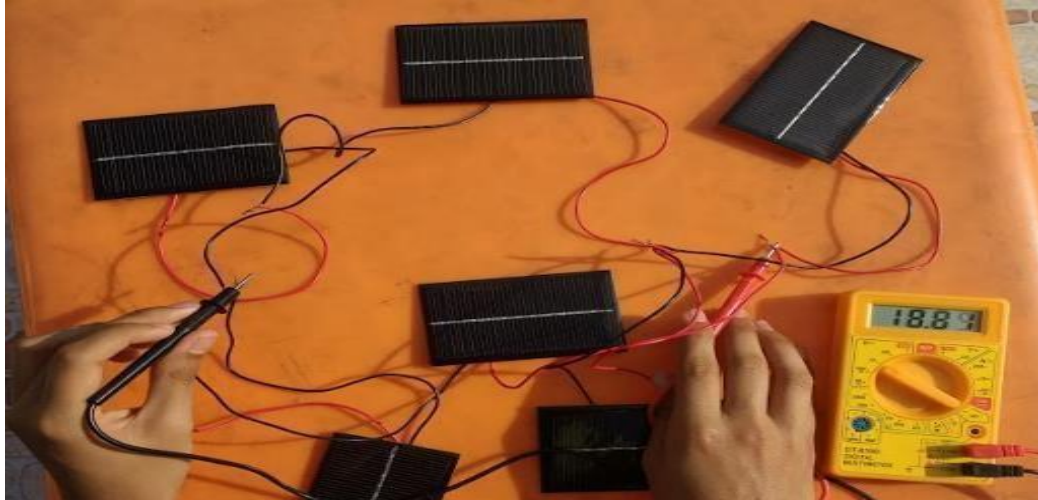
Arreglo 2

El segundo arreglo que se realizó fue el de ubicar los 6 paneles solares en un arreglo de 3-3 en paralelo.

Figura 10. Segundo arreglo de paneles solares



Figura 11. Voltaje del segundo arreglo de paneles solares



Con la realización de esta prueba para este arreglo se obtuvo una irradiación media de $820 \frac{W}{m^2}$ medida con el piranómetro, un voltaje generado en los bornes de 18,81 V y una corriente de 180 mA, con estos datos se podría decir que se cumplen los requerimientos básicos de la carga de la batería, ya que se generan más de 7,4V y la corriente puede que no sea tan elevada pero igual esto no es impedimento para que se cargue la batería.

El problema con este arreglo es que se desperdicia potencia al momento de conectarlo con la batería de 7,4 v, lo que da a entender es que es la batería y no los paneles solares lo que pone el límite al voltaje generado, es decir que por más que los paneles solares generen 18,81 voltios en vacío, al momento de conectarlos a la batería que está en el orden de 7,4 voltios, el voltaje de este caerá provocando la pérdida de potencia como lo indicia la fórmula **$P=(V_{\text{paneles}}-V_{\text{batería}})*I_{\text{corriente}}=(18,81-7,4)*0,18=2,053 \text{ Watts}$** , siendo que la máxima potencia generada para todos

los arreglos posibles de seis paneles solares en vacío es de 6 Watts según las tablas del fabricante. Es por esto que se prueban otros arreglos para observar que ocurre con la pérdida de potencia y ver las ventajas de cada uno de ellos.

Arreglo 3

El tercer arreglo que se realizó fue el de ubicar los 6 paneles solares de la siguiente forma en un arreglo de 2-2-2 en paralelo.

Figura 12.Tercer arreglo de paneles solares

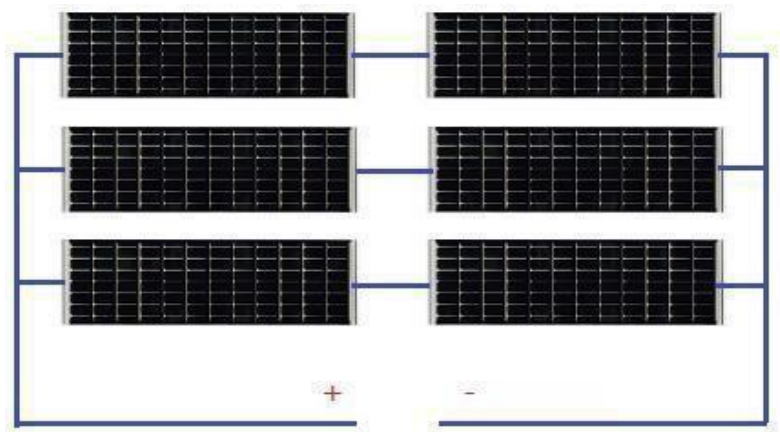
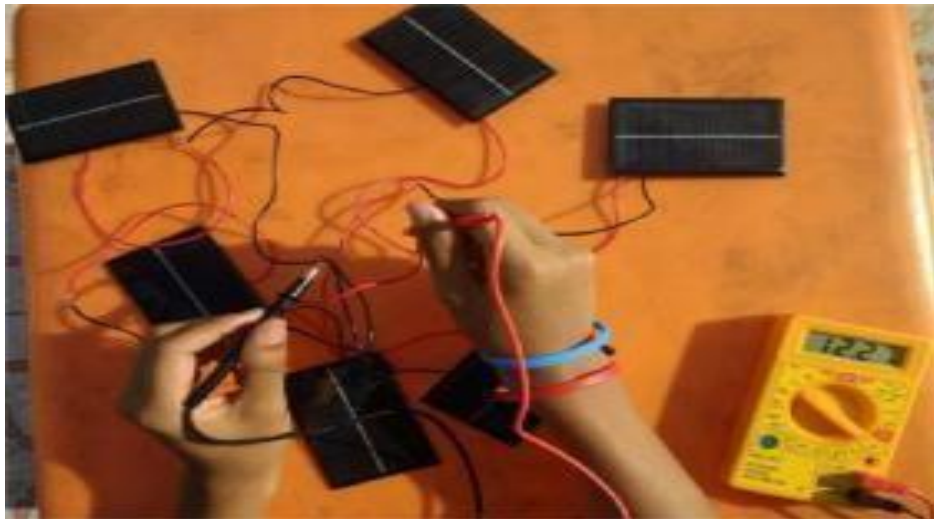


Figura 13. Voltaje del tercer arreglo de celdas solares



Después de la realización de la prueba con este tercer arreglo en búsqueda del mejor posible, los datos que se obtuvieron de voltaje y corriente respectivamente para una irradiación promedio medida con el piranómetro de $815 \frac{W}{m^2}$, fue de 12,27 V y 290 mA.

En este caso ocurre lo mismo que la prueba anterior, produciendo una pérdida de potencia la cual es de, **$P = (V_{\text{paneles}} - V_{\text{bateria)}) * I_{\text{corriente}} = (12,27 - 7,4) * 0,290 = 1,4123 \text{ Watts}$** .

Lo ideal sería que no se perdiera nada de la energía generada por los paneles solares, este arreglo es el más beneficioso, ya que se cumple con los requerimientos de voltaje mayores a 7,4 voltios, y tiene una corriente un poco mayor que el segundo arreglo aumentando de esta manera la velocidad de carga en la batería.

Es por esto que se decidió realizar un montaje de 2-2-2 en paralelo donde se obtiene el mejor beneficio tanto para voltaje, como para la corriente, produciendo una menor pérdida de potencia cuando se conecta con la batería.

5. COMPONENTES USADOS PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO.

5.1 DESCRIPCIÓN DEL DRONE SELECCIONADO PARA EL PROYECTO

El Drone Syma X8HG viene con un giroscopio de 6 ejes, el cual garantiza un vuelo más estable, su función de headless mode permite que se pueda volar el drone sin tener en cuenta cuál es su orientación o qué lado este mirando. Su barómetro interno ayuda que el controlador de vuelo mantenga una altitud y de esta manera se pueda sacar fotos y videos con mayor facilidad desde un punto deseado en la altura. Se puede usar su cámara de 8 mega pixeles o usar una cámara de acción de mejor calidad que el drone pueda levantar.

Figura 14. Drone Syma X8HG

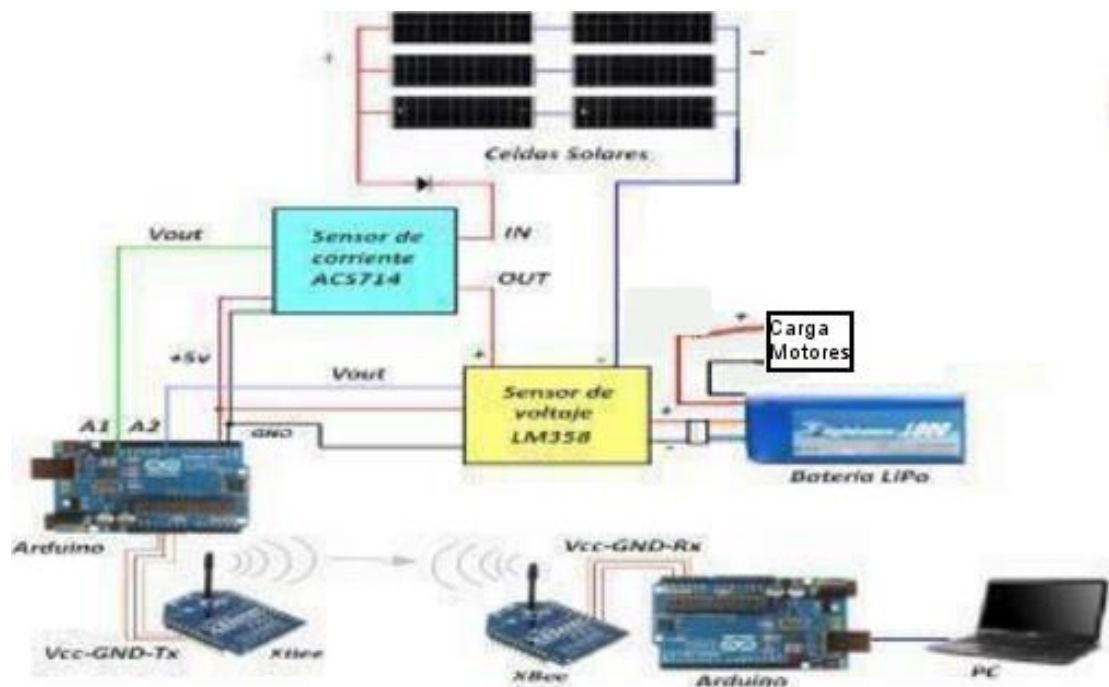


El Syma X8HG es un drone de 350mm de tamaño, potente y bien equipado, viene con sus protectores de hélices, y además cuenta con una función de giros en 360 grados o de evasión. Posee luces LED brillantes en la parte inferior, una batería de gran capacidad de 7,4 Voltios y 2000mAh. Cuenta con barómetro, el tener este hace que el drone sea fácil de maniobrarlo. La capacidad de carga para levantar es de aproximadamente 220 gramos, y la distancia con respecto al mando al drone puede llegar a 70 metros, la batería tiene una duración de aproximadamente 7 minutos.

5.2 CONSTRUCCIÓN DEL ARREGLO ELECTRÓNICO PARA LA MEDICIÓN DEL VOLTAJE Y CORRIENTE.

En la figura.15, se muestra el esquema del montaje electrónico para la medición de los parámetros de corriente y voltaje el cual incluye el sensor de corriente, sensor de voltaje, módulo XBee, arduino uno, diodo y los paneles solares del sistema de aprovechamiento de energía solar construido. Todo se mostrará en el orden que va y con sus respectivas conexiones.

Figura 15.Esquema electrónico general del proyecto



En la figura.16 se observan los componentes y conexiones principales del sistema de aprovechamiento de energía solar real. Los paneles solares generan la electricidad que pasa por el sensor de corriente con la ayuda de un diodo, este

sensor envía pulsos que van a la tarjeta arduino, la cual recibe la señal y la envía de forma instantánea al computador por medio de un módulo XBee. Por otro lado, la energía eléctrica que pasa por el sensor de corriente, es acumulada en la batería que suministra lo acumulado dependiendo del consumo exigido por parte del drone, y a través del sensor de voltaje se mide el voltaje de la batería acumuladora en función del tiempo durante el proceso de descarga, enviando la señal al computador y de esta manera proceder a realizar un análisis cuantitativo de los datos de corriente, voltaje, en función del tiempo, estos datos se procesan en una hoja de cálculo realizando gráficos para corroborar la autonomía del drone cuando se usa el sistema de aprovechamiento de energía solar y cuando no lo dispone.

Figura 16. Esquema electrónico real del proyecto



5.3 FUNCIONAMIENTO DETALLADO DEL SISTEMA DE MEDICIÓN

Los parametros a los cuales se les van a realizar las mediciones son la corriente producida por los paneles solares y el voltaje de la batería cuando el drone se descarga, esta medición se realizará de dos formas, la primera cuando el drone funciona sin el uso de paneles solares y la segunda funcionando con estos, de esta forma se podrán obtener datos de voltaje, corriente, en ambos casos lo cual es importante para dar conclusiones del proyecto.

La organización del sistema será de la siguiente forma. La energía producida por el sistema aprovechamiento de energía solar pasa por un diodo, posteriormente se realiza la medición de corriente por parte del sensor de corriente ACS 714, de ahí hay una salida que va a un PIN del arduino dedicado a realizar esta medición. Luego de la medición de corriente, se continúa con el sensor de voltaje LM 235 el cual al igual que el sensor de corriente tiene una salida que va hacia un PIN del Arduino dedicado únicamente a esta función.

Una vez la tarjeta arduino uno reciba las señales procedentes de los sensores, llevará a cabo el funcionamiento del programa que se le fue asignado y transmitirá los datos vía módulos XBee de manera instantánea hacia un computador ubicado en tierra, así se podrá tener idea de los datos y comportamiento instantáneo del drone en términos energéticos. Cabe aclarar que tanto la tarjeta arduino como los sensores de corriente y voltaje, necesitan una alimentación de 5 V para su funcionamiento, la cual será proporcionada por una batería de 15 gramos de peso que será parte de los componentes eléctricos insertados sobre el drone.

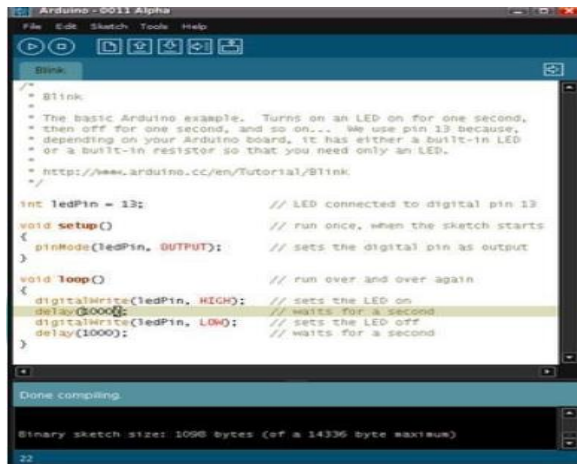
Los elementos utilizados para todo el sistema de adquisición de datos de la batería y los paneles solares son los siguientes:

1. Tarjetas Arduino UNO
2. Módulos Xbee Pro XBP 24-AWI-001
3. Sensor de corriente ACS 714
4. Sensor de voltaje LM 235
5. Bateria de 5 voltios

5.4 DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DE MEDICIÓN UTILIZADOS EN EL PROYECTO

Tarjeta arduino uno: Arduino es una plataforma de hardware libre basada en una sencilla placa de entradas y salidas simple y un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje de programación Processing/Wiring. Arduino se puede utilizar para desarrollar objetos interactivos autónomos o puede ser conectado a software del ordenador (por ejemplo: Macromedia Flash, Max/MSP, Pure Data). Las placas se pueden montar a mano o adquirirse. El entorno de desarrollo integrado libre se puede descargar gratuitamente. [4]

Figura 17.Entorno Arduino



El arduino "Uno" es una placa electrónica basada en el ATmega328. Cuenta con 14 entradas / salidas digitales pines (de los cuales se pueden utilizar hasta seis salidas PWM), 6 entradas analógicas, un oscilador de cristal de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, una cabecera de ICSP, y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para el soporte del micro controlador; Basta con conectarlo a un ordenador con un cable USB o la batería externa como alimentación. [4]

Figura 18.Arduino UNO



La tarjeta arduino será utilizada específicamente como tarjeta de adquisición de datos y no controladora ya que su función principal será la de recibir los datos que envíen el sensor de corriente y el sensor de voltaje respectivamente, lo cual imprimirá en el computador los datos requeridos para posteriormente procesarlos en una hoja de cálculo y realizar las respectivas graficas de voltaje, corriente en función del tiempo y así observar el beneficio del uso de los paneles solares. [4]

Módulos Xbee Pro XBP 24-AWI-001: Los módulos XBee son dispositivos que integran un receptor- transmisor de ZigBee y un procesador en un mismo módulo, lo que le permite desarrollar aplicaciones de manera rápida y sencilla. [5]

Zigbee es un protocolo de comunicaciones inalámbrico basado en el estándar de comunicaciones para redes inalámbricas IEEE_802.15.4. Zigbee permite que dispositivos electrónicos de bajo consumo puedan realizar sus comunicaciones inalámbricas. Es especialmente útil para redes de sensores en entornos industriales, médicos y domóticos. [5]

Las comunicaciones Zigbee son realizadas en una banda libre de 2.4GHz. Este sistema realiza las comunicaciones a través de una única frecuencia, es decir, de

un solo canal. Normalmente puede escogerse un canal de entre 16 posibles. El alcance depende de la potencia de emisión del dispositivo, así como el tipo de antenas utilizadas. [5]

Figura 19. Módulo Xbee



Los módulos Xbee Pro XBP 24-AWI-001 son económicos, poderosos y fáciles de utilizar. Algunas de sus principales características son:

1. Buen alcance: hasta 300ft (100 mts) en línea vista y hasta 1 milla (1.6 Km) para los módulos Xbee Pro.
2. Entradas/salidas con analógicas y digitales.
3. Bajo consumo de corriente, inferior a 50mA cuando están en funcionamiento y menor que 10uA cuando están en modo sleep.
4. Interfaz serial.

5.65, 000 direcciones para cada uno de los 16 canales disponibles. Se pueden tener muchos de estos dispositivos en una misma red.

6. Fáciles de integrar.

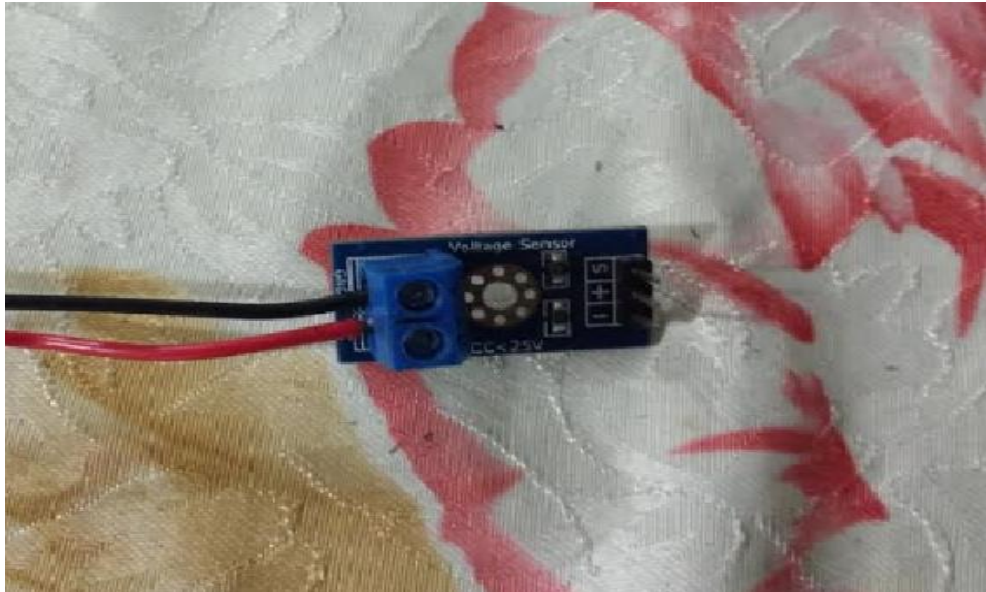
La función principal de los módulos Xbee es la de recibir los datos generados por el programa de la tarjeta Arduino y transmitirlos, para posteriormente ser recibidos por el computador. [5]

Sensor de corriente ACS 712: Para la medición de la corriente producida por las celdas fotovoltaicas se utilizó un chip sensor de corriente ACS 712 de 5A de rango. El chip ACS712, es un sensor de corriente capaz de medir de forma lineal corrientes de hasta 5 Amperios en ambos sentidos (+5A y -5A). Produce en su salida una tensión lineal proporcional a la corriente que atraviesa sus pines de medición, lo cual es extremadamente útil para medir consumos o excesos de consumo en diversos proyectos como en robótica cuando se utilizan grandes motores DC, o cuando se necesite saber la corriente consumida por algún dispositivo. [6]

La salida produce una ventana de sensibilidad de $\frac{185\text{mV}}{\text{A}}$ y está centrado en 2,5 V, con un margen de error de 1,5%. La resistencia interna del sensor es de 1,2 mΩ por lo que el consumo generado por la medición es muy bajo. Puede funcionar desde -40°C a 150°C. [6]

Sensor de voltaje LM 235: Una vez terminada la parte de medir corriente se procede a realizar la medición del voltaje o diferencia de potencial durante la descarga de la batería. Esta medición de voltaje es relativamente sencilla, pero hay que tener en cuenta ciertas incidencias al momento de realizar el montaje. El componente más importante que se va a utilizar es el sensor de voltaje LM 235 que sirve para medir el voltaje de la batería durante la descarga.

Figura 20. Sensor de voltaje LM235

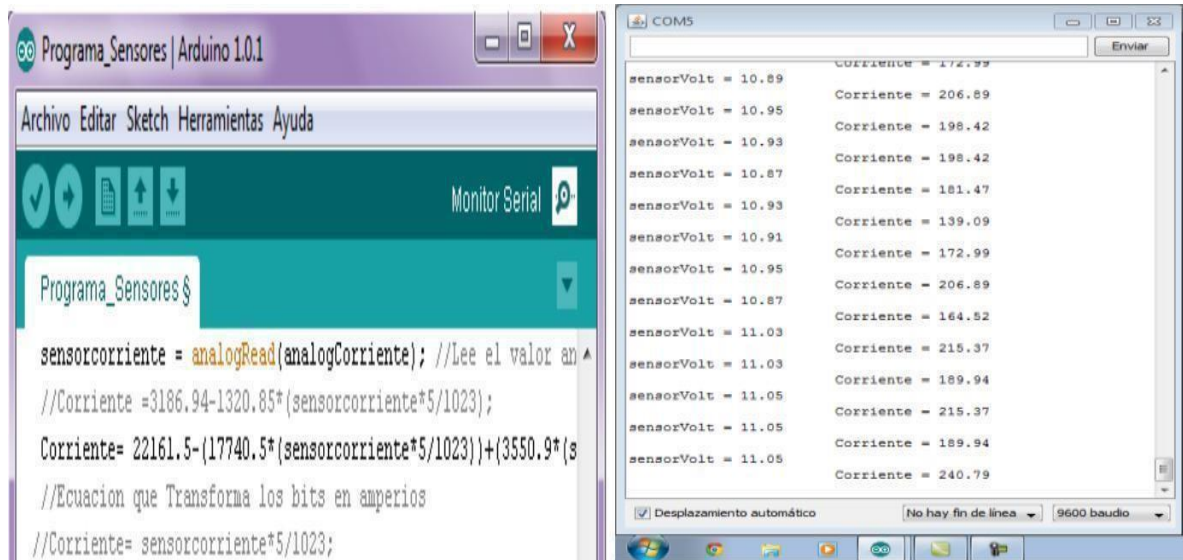


5.5 DESARROLLO DEL PROGRAMA Y MANEJO DE LOS SENSORES DE VOLTAJE Y CORRIENTE.

Básicamente lo que se realizó fue el desarrollo del programa que se va a utilizar para cargarlo a la tarjeta arduino uno y que esta se encargue de recibir las señales por parte del sensor de corriente, voltaje y posteriormente ser enviadas al computador por parte de los modulos Xbee. Se trabajó con el software arduino projects, un software capaz de hacer variedades de acciones, pero en este caso específico fue utilizado únicamente para registrar los datos de la corriente producida por los paneles solares y el voltaje de descarga de la batería en función del tiempo durante las pruebas de campo, y con estos datos poder realizar gráficas en Excel que muestre el comportamiento y el consumo de energía del drone controlado en con el control remoto.

Para realizar esto se procedió abrir el programa arduino projects, en donde para poder observar los datos de voltaje y corriente obtenidos del módulo xBee, se debe dirigir a la esquina superior derecha en la parte que muestra el “Monitor Serial” de la interfaz arduino projects como se muestra en la figura.21, luego se le da click e inmediatamente muestra una pantalla en la cual cada 5 segundos se estará imprimiendo los valores de corriente y voltaje y así poder monitorear el comportamiento de la autonomía del drone por medio de variables tales como el voltaje y la corriente en función del tiempo.

Figura 21. Programa para la medición de corriente y del voltaje en el análisis cuantitativo



CÓDIGO DEL PROGRAMA A IMPLEMENTAR.

```
Const de Voltaje = A1; // Pin análogo lectura de Voltaje const int analogCorriente =
A2; // Pin de lectura de corriente float sensorVoltaje = 0; // Lectura en el Pin de Volta
float sensorcorriente = 0; // Lectura Sensor de Corriente
float Volt; //Voltaje entregado por las celdas (mismo de la batería) float Corriente; //
Corriente entregada por el arreglo fotovoltaico void setup() {
// Inicializa comunicación serial a 9600 Baudios: Serial.begin(9600);
}
void loop() {
sensorVoltaje = analogRead(analogVoltaje); //Lee el valor analogo en pin A1.
Volt= 4.1104*(sensorVoltaje*5/1023) +0.156-0.5; // Ecuacion que Transforma los
bits a Voltios.
sensorcorriente = analogRead(analogCorriente); //Lee el valor analogo en el pin A2
Corriente =4314.23-1733.99*(sensorcorriente*5/1023);
//Ecuacion que Transforma los bits en amperios //Corriente=
sensorcorriente*5/1023;
// Imprime los resultados al monitor serial: Serial.print("sensorVolt en voltios = " );
Serial.println(Volt);
Serial.print(" Corriente en miliamperio= " ); Serial.println(Corriente);
int analogVoltaje = A1; // Pin análogo lectura
Para medir delay(5000);
// Hace esperar 5 segundos antes de cada pulso
delay(5000);
}
```


5.6 DATOS OBTENIDOS

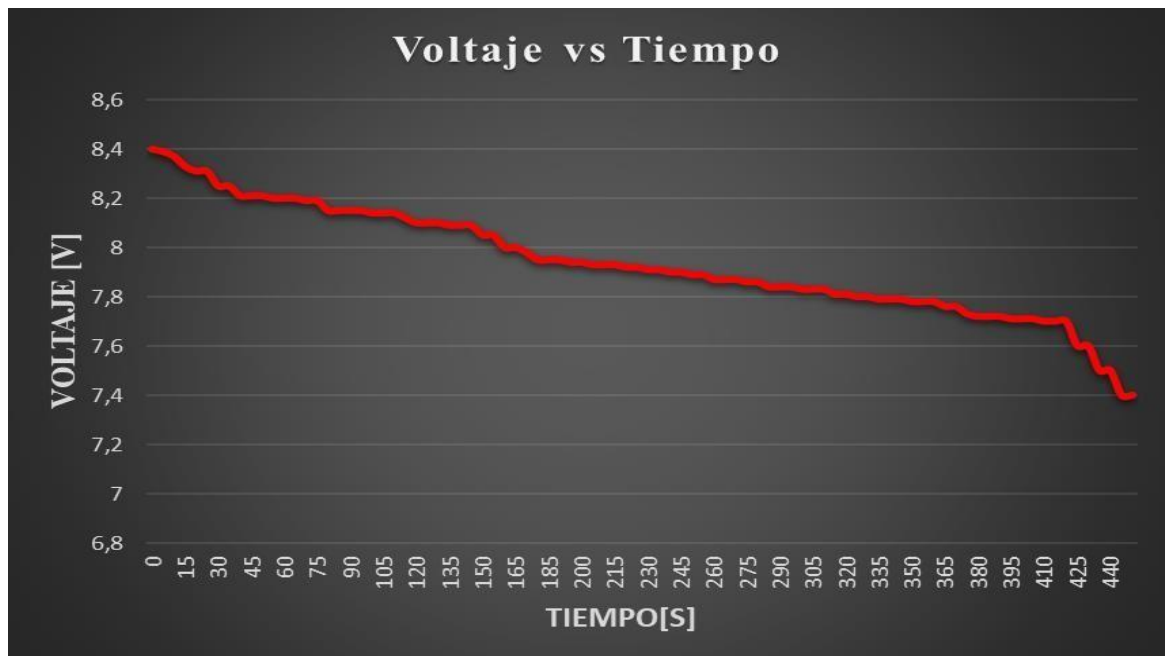
En esta sección se describen las pruebas que se le realizaron con el sistema de aprovechamiento de energía de solar y ver cómo se comporta en comparación con el sistema de energía convencional, es decir, sin el uso del sistema de aprovechamiento de energía solar.

Las dos pruebas se realizaron con el drone con condiciones óptimas de luz solar para obtener los mejores resultados posibles de autonomía sin tener que realizar varias pruebas. Se aceleró el drone a cierta velocidad elevándolo a una altura de aproximadamente 1 metro, pero sujetándolo para evitar accidentes.

Prueba # 1. Descarga del drone sin implementación de los paneles solares.

Esta prueba se realizó en un día soleado y consistió en descargar la batería del drone acelerándolo a una velocidad constante, el drone pesaba 550 gramos sin los paneles solares pero con el sistema de medición. La prueba comenzó elevando el drone con la batería cargada a 8,4 Voltios hasta cuando los motores paren con un voltaje de 7,4 Voltios, es decir se descargó desde su máxima carga hasta su máxima descarga. Se obtuvo un tiempo de descarga de 7 minutos y 30 segundos, en donde cada 5 segundos se monitoreaba en el computador por medio del software arduino projects, el voltaje de descarga de la batería del drone. Después se generó el gráfico de la figura.22 utilizando una hoja de cálculo con los datos de voltaje de descarga obtenidos en función del tiempo.

Figura 22.Gráfico de descarga de la batería sin implementación de paneles solares



De la gráfica se puede tomar un punto de partida para la comparación del rendimiento y beneficio usando el sistema de aprovechamiento de energía solar implementado en el drone.

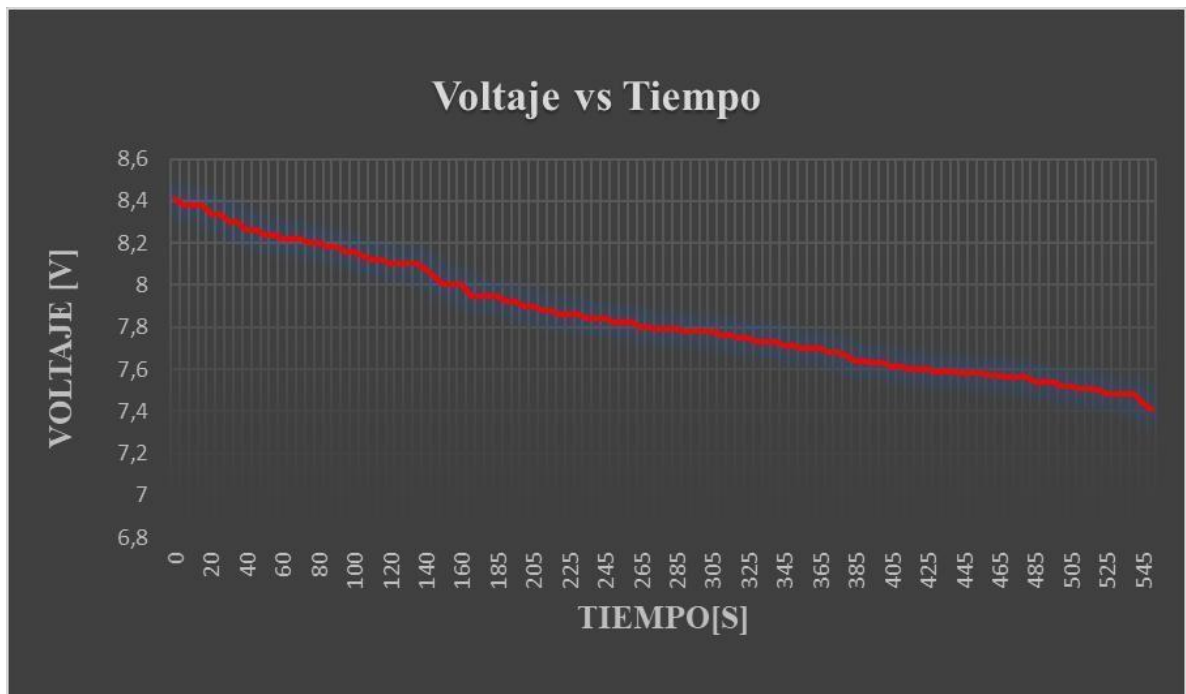
Prueba # 2. Descarga del drone con implementación de los paneles solares.

La prueba 2 se realizó de la misma forma que la anterior, pero en este caso el drone pesaba con los paneles solares y el sistema de medición 652 gramos. Se aceleró el motor del drone a velocidad constante y se descargó la batería elevando el drone, pero ahora utilizando el sistema de aprovechamiento de energía solar; lo importante de esta prueba es que fue hecha en un día soleado para obtener los mejores

resultados posibles donde el promedio de la irradiación solar medida por el piranómetro fue de $820 \frac{W}{m^2}$.

La gráfica que se obtuvo de los datos obtenidos por el software arduino projects durante la descarga de la batería en función del tiempo se muestra en la figura.23, cabe resaltar que la batería también se descargó desde 8,4 Voltios hasta 7,4 Voltios.

Figura 23. Gráfico de descarga de la batería con la implementación de las celdas solares



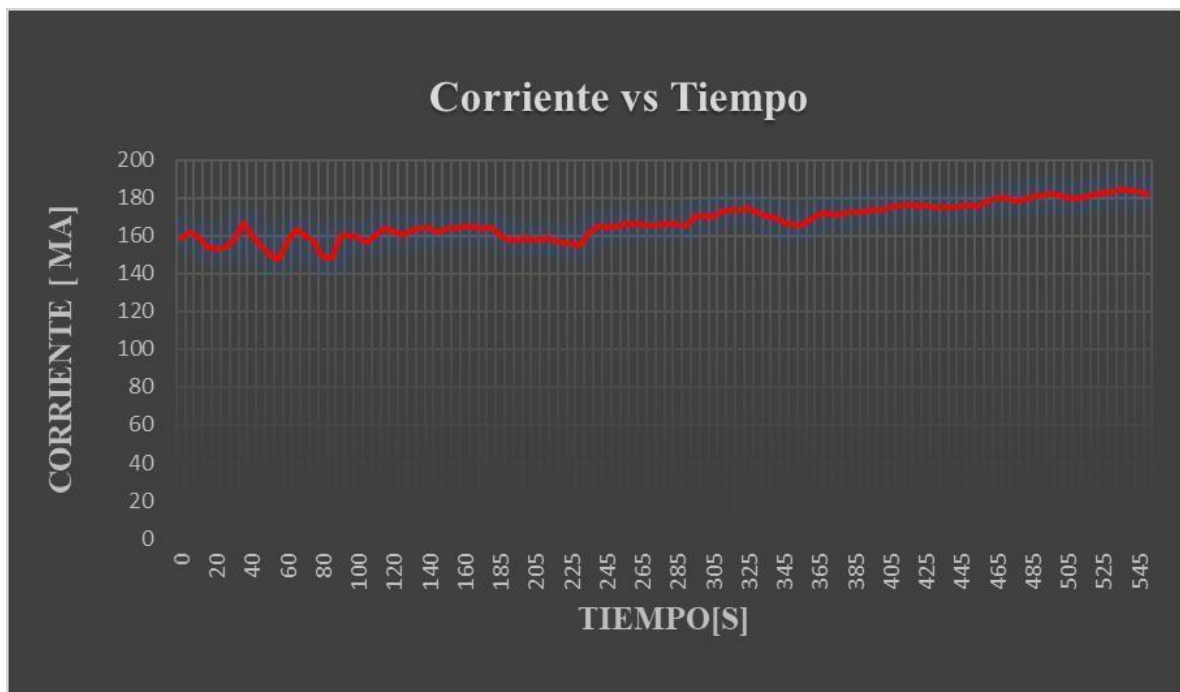
Observando la gráfica y los datos de la prueba, se obtiene que el tiempo total de descarga fue de 9 minutos y 10 segundos.

Si se realiza la comparación del rendimiento del sistema con y sin el uso del sistema de aprovechamiento de energía solar respectivamente, se puede observar que por un lado se obtienen 9 minutos y 10 segundos de descarga y mientras que

en el otro 7 minutos y 30 segundos de descarga, lo cual indica un aumento de la autonomía gracias al uso del sistema aprovechamiento de energía solar.

El comportamiento de la corriente generada por los paneles solares que registra el software Arduino projects en función del tiempo se muestra en la figura.24.

Figura 24. Gráfico de corriente generada durante la prueba # 2



En el gráfico se puede observar que en un inicio la corriente no era tan alta como se esperaba que fuera, esto debido a que la carga de la batería estaba casi completa, cuanto más carga tenga la batería, más se restringe el paso de corriente. Con el uso del sistema de aprovechamiento de energía solar en las pruebas de campo se logró corroborar que si existe un beneficio con el uso de la energía solar.

5.7 RELACIÓN DE COSTO-BENEFICIO DEL PROYECTO.

Relación costo beneficio.

Para la realización de la relación costo beneficio se debe tener en cuenta cual fue el costo inicial o la inversión necesaria para llevar a cabo la construcción del sistema de aprovechamiento de energía solar compuesto por paneles solares, ya que lo que importa en este análisis son los dispositivos que producen energía eléctrica como beneficio, por lo tanto, no se tendrá en cuenta en el análisis los costos de los dispositivos que se emplearon para la medición de la corriente y voltaje.

Tabla 3

Valor panel solar: \$ 12.000 COP	
Fecha de cotización: 14 de octubre de 2017	
Fecha de compra: 14 de octubre de 2017	
Cantidad: 6 paneles solares	
Valor Total: \$72.000 COP	
Promedio de potencia generada del arreglo escogido: 1,4123 watts	
Área total Utilizada: 324 cm² - 0,0324 m²	
$\frac{\text{Costo}}{\text{Beneficio}} = \text{valor del sistema/energía producida}$	
$\frac{\text{Costo}}{\text{Beneficio}} = \frac{\\$72.000}{1.4123 \text{ watts}} = 50.980 \frac{\\$}{\text{m}^2}$ relación alta por lo tanto el proyecto es viable	

Relación de potencia generada por área utilizada de paneles solares sobre el drone.

$$\frac{\text{Potencia}}{\text{Área}} = \frac{\text{Potencia promedio del arreglo}}{\text{Área utilizada por el arreglo}}$$
$$\frac{\text{Potencia}}{\text{Área}} = \frac{1,4123 \text{ watts}}{0,0324 \text{ m}^2} = 43,58 \frac{\text{watts}}{\text{m}^2}$$

De esta relación se observa que la potencia generada por unidad de área es bastante alta y podría llegar a obtenerse un vuelo eficiente con esta cantidad de paneles solares y el área utilizada por estos en el proyecto.

CONCLUSIONES

1. Se contribuyó con el avance e investigación de tecnologías basadas en energías renovables, por medio del desarrollo y construcción de un sistema de aprovechamiento de energía solar basado en paneles solares de alta eficiencia, esto aplicado a los drones con el fin de ver el beneficio del uso de los paneles solares en términos de autonomía.
2. Se implementó un sistema de adquisición de datos para medir variables como el voltaje de descarga de la batería del drone y la corriente generada por el sistema de aprovechamiento energía solar mediante el software arduino projects, permitiendo evaluar en tiempo real cual es la incidencia del uso o no de los paneles solares en el drone.
3. Los sistemas fotovoltaicos presentan un reducido impacto ambiental con respecto a las tecnologías que emplean combustibles fósiles. Uno de los principales beneficios de esta tecnología es la reducción de emisiones asociadas con la producción de la electricidad.
4. Los tiempos de duración de las pruebas 1 y 2 (tiempos de descarga) fueron de 7 minutos 30 segundos y 9 minutos 10 segundos respectivamente, en la cual en la prueba # 1 no se usó el sistema de aprovechamiento de energía solar, mientras que la prueba # 2 si hace uso de éste.
5. Por último, mediante la presente investigación se logró demostrar el beneficio que puede llegar a brindar el uso de energías renovables en el campo del aeromodelismo, logrando así un mayor aprovechamiento de la energía y la conservación de los recursos naturales.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar un correcto uso del peso y balance de los componentes del sistema de aprovechamiento de energía solar para proyectos futuros con drones evitando la inestabilidad de estos.
2. Seguir con la continua investigación en el campo de las energías renovables, con el fin de mejorar esta tecnología día a día.
3. Realizar mejoras de la autonomía de la batería de los drones con respecto a este experimento en proyectos futuros
4. Para proyectos futuros se recomienda disponer de drones de alta gama que tengan mayor potencia en los motores, con lo cual puedan levantar con mayor facilidad los paneles solares así obteniendo mejores resultados en cuanto a la autonomía y la altura de vuelo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Cuervo García, Rafael.Mendez Muñiz, Javier. Energía solar fotovoltaica. 7ªEdicion. Madrid: Fundación confemetal, 2011. 320 p. ISBN: 9788492735778.
- [2] Cantos Serrano, Julián. Configuración de instalaciones solares fotovoltaicas. Madrid: Paraninfo, 2016. 360 p. ISBN: 9788428337564.
- [3]. Balenzategui Manzanares, José. “Tecnología de células solares de silicio cristalino”. {En línea}. {10 mayo de 2018} disponible en: (www.eoi.es/file/18329/download?token=GvP0Oy0u).
- [4] Diaz, Javier. “Placa arduino uno”. {En línea}. {10 mayo de 2018} disponible en: (<http://www.iescamp.es/miarduino/2016/01/21/placa-arduino-uno/>).
- [5] Jimenez, Sebastian. “¿Que es xbee?”{En línea}. {02 marzo de 2018} disponible en: (<http://tecnologicobj12.blogspot.com/2011/09/que-es-xbee.html>).
- [6] García. Victor. “Sensor de corriente ACS712”. {En línea}. {09 Enero de 2018} disponible en: (<https://www.hispavila.com/sensor-de-corriente-asc712/>).
- [7] Lorenzo, Eduardo. Ingeniería fotovoltaica. 1ªEdicion. Madrid: Progensa, 2014. 304 p. ISBN: 9788495693327.
- [8] Lugán Corro, Mariano. “Aviones solares”. {En línea}. {19 Marzo de 2017} disponible en: (controlyautomatizacionindustrial.blogspot.com/2012/04/aviones-solares.html).

[9] Angel fire. “Celdas fotovoltaicas”. {En línea}. {18 Marzo de 2017} disponible en: (<http://www.angelfire.com/electronic2/electronicaanalogica/celda.html>).

[10] Astromía. “Max planck y la teoría cuántica”. {En línea}. {23 Marzo de 2017} disponible en: (<https://www.astromia.com/biografias/planck.htm>).

[11] pv magazine. “Fraunhofer ISE anuncia una eficiencia del 33% para la célula solar multiunión”. {En línea}. {24 Marzo de 2017} disponible en: (<https://www.pv-magazine-latam.com/2018/04/04/fraunhofer-ise-anuncia-una-eficiencia-del-33-para-la-celula-solar-multiunion/>).

[12] Xsol-E1.1. “Solar power quadcopter”. {En línea}. {25 Marzo de 2017} disponible en: (smart-grid-energy.com/2017/01/21/solar-powered-quadcopter-xsol-e1-1/).

ANEXOS

Datos Prueba # 1 Sin paneles solares en Tierra

Tiempo [s]	Voltaje [V]
0	8,4 0
5	8,3 9
10	8,3 7
15	8,3 3
20	8,3 1
25	8,3 1
30	8,2 5
35	8,2 5
40	8,2 1
45	8,2 1
50	8,2 1
55	8,2 0
60	8,2 0
65	8,2 0
70	8,1 9
75	8,1 9
80	8,1 5
85	8,1 5
90	8,1 5
95	8,1 5
100	8,1 4
105	8,1 4
110	8,1 4
115	8,1 2
120	8,1 0
125	8,1 0
130	8,1 0
135	8,0 9
140	8,0 9
145	8,0 9
150	8,0 5
155	8,0 5
160	8,0
165	8,0
170	7,9 8
175	7,9 8

180	7,95
185	7,95
190	7,95
195	7,94
200	7,94
205	7,93
210	7,93
215	7,93
220	7,2
225	7,92
230	7,91
235	7,91
240	7,90
245	7,90
250	7,89
255	7,89
260	7,87
265	7,87
270	7,87
275	7,86
280	7,86
285	7,84
290	7,84
295	7,84
300	7,83
305	7,83
310	7,83
315	7,81
320	7,81
325	7,80
330	7,80
335	7,79
340	7,79
345	7,79
350	7,78
355	7,78

360	7,74
365	7,74
370	7,73
375	7,73
380	7,72
385	7,72
390	7,72
395	7,71
400	7,71
405	7,71
410	7,70
415	7,70
420	7,70
425	7,60
430	7,60
435	7,50
440	7,50
445	7,40
450	7,40

Datos Prueba # 2
Con paneles
solares en Tierra

Corriente [mA]	Voltaje [V]	Tiempo [seg]
158,4	8,4 1	0
162,2	8,3 8	5
159,3	8,3 8	10
153,7	8,3 8	15
152,9	8,3 4	20
153,8	8,3 4	25
157,4	8,3 0	30
166,7	8,3 0	35
160,1	8,2 6	40
154,1	8,2 6	45
149,9	8,2 4	50
147,2	8,2 4	55
157	8,2 2	60
162,9	8,2 2	65
159,8	8,22	70
157,2	8,2 0	75
148,6	8,2 0	80
147,8	8,1 8	85
159,6	8,1 8	90
160,2	8,1 6	95
158,1	8,1 6	100
156,6	8,1 4	105
160,8	8,1 2	110
163,6	8,1 2	115
161,9	8,1 0	120
160,3	8,1 0	125
162,5	8,1 0	130
164,2	8,1 0	135
163,7	8,0 8	140
162,1	8,0 4	145
163,6	8,0	150
164,1	8,0	155
164,3	8,0	160
164,5	7,9 5	165
164,1	7,9 5	170

163,8	7,95	175
160	7,95	180
157,8	7,92	185
157,9	7,92	190
158,3	7,90	195
157,8	7,90	200
158,1	7,88	205
157,6	7,88	210
156,2	7,86	215
155,9	7,86	220
155,3	7,86	225
162,2	7,84	230
164,8	7,84	235
164,6	7,84	240
164,5	7,82	245
165,9	7,82	250
166,2	7,82	255
165,9	7,80	260
165,6	7,80	265
166,1	7,79	270
166,1	7,79	275
165,8	7,79	280
165,2	7,78	285
170,1	7,78	290
170,1	7,78	295
170,3	7,78	300
172,8	7,76	305
173,5	7,76	310
173,8	7,75	315
174	7,75	320
172,3	7,73	325
170,3	7,73	330
169,4	7,73	335
166,6	7,71	340
165,8	7,71	345
165,4	7,70	350
168,7	7,70	355
171,4	7,70	360
171,2	7,68	365
171,1	7,68	370

171,9	7,66	375
172,5	7,66	380
173,1	7,64	385
173,3	7,64	390
173,8	7,63	395
174,9	7,63	400
175,6	7,61	405
176	7,61	410
175,7	7,60	415
175,4	7,60	420
175	7,60	425
174,6	7,59	430
175,2	7,59	435
175,7	7,59	440
175,7	7,58	445
175,9	7,58	450
178,3	7,58	455
180	7,57	460
179,5	7,57	465
178,3	7,56	470
179,2	7,56	475
180,6	7,56	480
180,9	7,54	485
182,2	7,54	490
181,3	7,54	495
180,1	7,52	500
180,1	7,52	505
180,3	7,51	510
181,8	7,51	515
182,5	7,50	520
183,4	7,48	525
184,3	7,48	530
183,8	7,48	535
183,4	7,48	540
181,9	7,44	545
180,7	7,41	550

