



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA AISLADA CON ALMACENAMIENTO HÍBRIDO PARA EL LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTROMECAÁNICA**

**AUTOR: MOLINA ANCHATUÑA, ANTHONY DAVID**

**DIRECTOR: JIMÉNEZ LEÓN, MARIO POLIBIO**



# AGENDA

- Planteamiento del problema
- Objetivos
- Fundamentación Teórica
- Análisis de la investigación
- Diseño de la propuesta
- Pruebas de funcionamiento
- Conclusiones
- Recomendaciones



# Planteamiento del problema

## Planteamiento del problema

Objetivos

Fundamentación Teórica

Análisis de la investigación

Diseño de la propuesta

Pruebas de funcionamiento

Conclusiones

Recomendaciones



Los sistemas de almacenamiento de energía por baterías son dispositivos que no pueden capturar picos de alta potencia en la carga ni proporcionarlos durante la descarga lo que repercute negativamente en su vida útil lo cual genera un considerable aumento en los costos del sistema, además que no puede gestionar altas densidades de potencia por lo tanto, los supercondensadores ayudan a homogeneizar y rentabilizar en el caso de cargas que requieren respuestas rápidas de potencia.



# Objetivos

Planteamiento del problema

Objetivos

Fundamentación Teórica

Análisis de la investigación

Diseño de la propuesta

Pruebas de funcionamiento

Conclusiones

Recomendaciones

1 Diseñar e implementar un módulo didáctico de generación fotovoltaica aislada con almacenamiento híbrido para el Laboratorio de Energías Renovables.

2 Diseñar un módulo didáctico de generación fotovoltaica aislada con almacenamiento híbrido pasivo para uso didáctico.

3 Implementar un módulo didáctico de generación fotovoltaica aislada con almacenamiento híbrido pasivo basado en supercondensadores y baterías.

4 Realizar pruebas para verificar el comportamiento de la batería implementando el sistema de almacenamiento híbrido pasivo durante la carga-descarga en sistemas de generación fotovoltaica aislada.

5 Evaluar la implementación del sistema híbrido pasivo para lograr superar el problema cuando la batería suministra una corriente pico frente a una alta demanda.

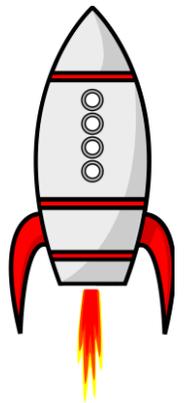


# FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

## Introducción



Supercapacitor	Características	Batería
1 - 10	Energía específica $W.h.kg^{-1}$	10 - 100
500 – 10 000	Potencia específica $W.kg^{-1}$	<1 000
De segundos a minutos	Tiempo de descarga	0.3 – 3 horas
De segundos a minutos	Tiempo de carga	1 – 5 horas
85 - 98	Eficiencia %	70 - 85
500 000	Ciclo de vida	< 1 000



Planteamiento del problema

Objetivos

Fundamentación Teórica

Análisis de la investigación

Diseño de la propuesta

Pruebas de funcionamiento

Conclusiones

Recomendaciones

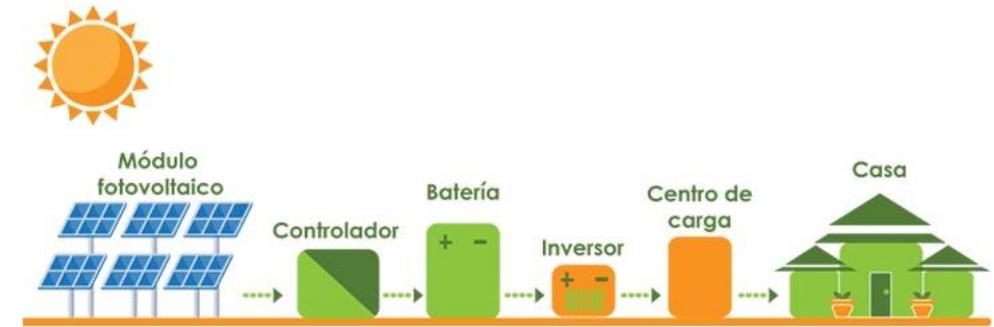


# FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

## Sistema fotovoltaico aislado

Es aceptado cuando:

- No existe una probabilidad técnica o económica para que las empresas distribuidoras puedan llevar la red eléctrica habitual hasta cada uno de los hogares.
- La demanda de energía es moderada



## Componentes del sistema fotovoltaico aislado

- Panel solar: Policristalino - Monocristalino
- Controlador de carga: MPPT - PWM
- Batería
- Inversor

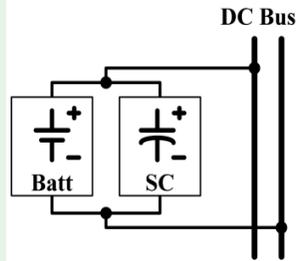


# Sistema fotovoltaico aislado

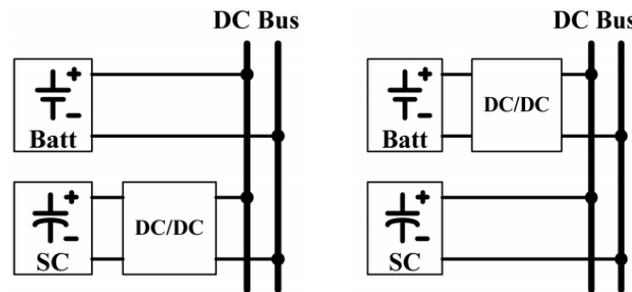
## Sistemas de almacenamiento híbrido de energía - HESS

Los HESS basados en baterías y supercapacitores, estos dos elementos pueden ser acoplados directamente o mediante convertidores bidireccional DC/DC.

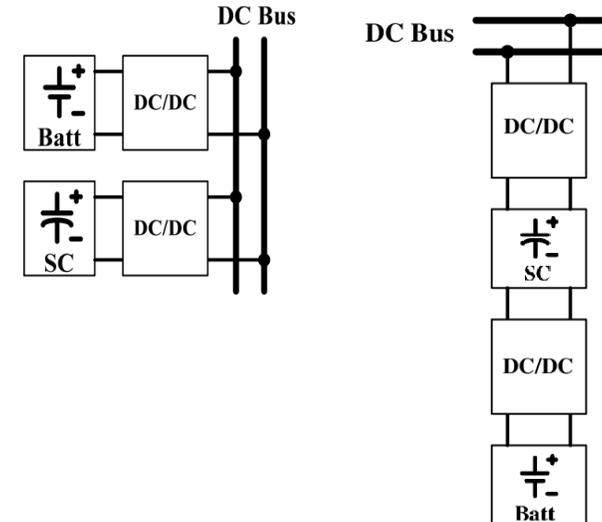
### Topología pasiva



### Topología semi activa



### Topología activa



Planteamiento del problema

Objetivos

Fundamentación Teórica

Análisis de la investigación

Diseño de la propuesta

Pruebas de funcionamiento

Conclusiones

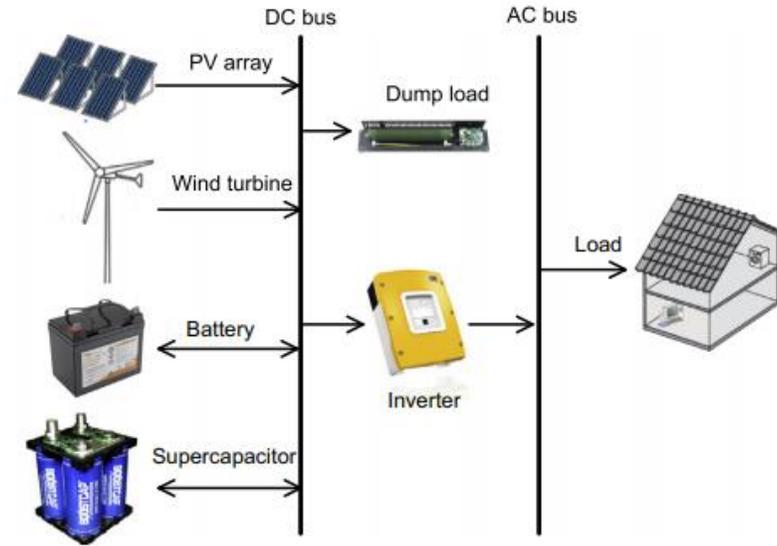
Recomendaciones



ECUADOR

# Esquema de funcionamiento de un sistema de almacenamiento híbrido pasivo en fuentes de energías renovables

- En este sistema las baterías proporcionan la energía de larga duración y los supercapacitores suavizaran las altas demandas durante un tiempo.
- El sistema de almacenamiento deberá cumplir con los requerimientos de carga y los requisitos que demanden las cargas.



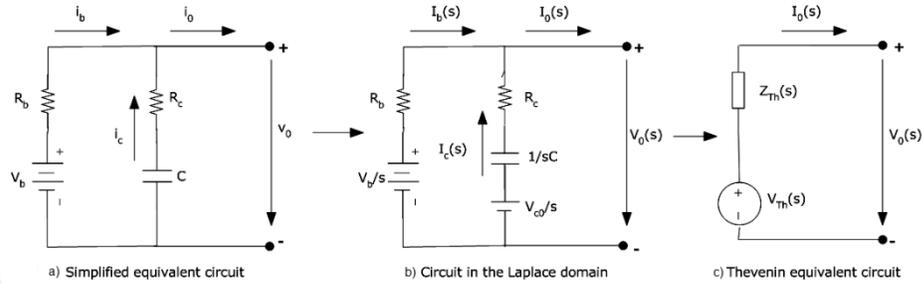
## Sistema de medición



- Planteamiento del problema
- Objetivos
- Fundamentación Teórica
- Análisis de la investigación
- Diseño de la propuesta
- Pruebas de funcionamiento
- Conclusiones
- Recomendaciones



# Corriente durante la descarga en el HESS en un topología pasiva



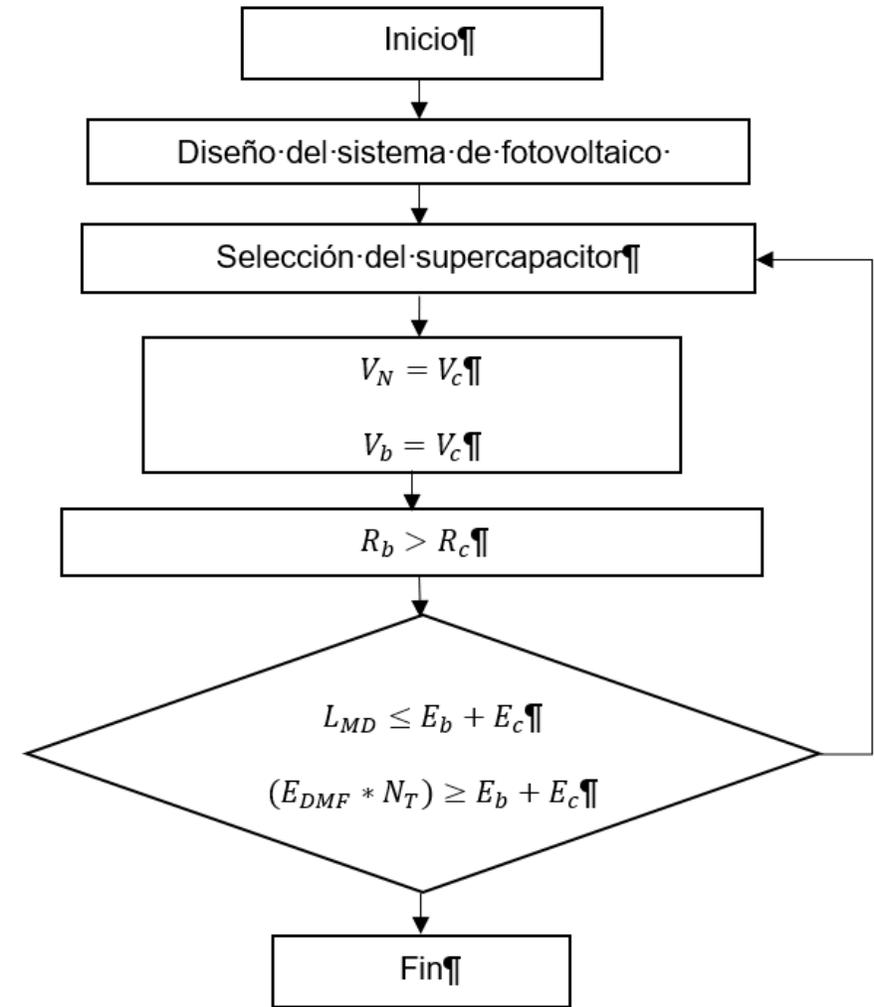
El sistema híbrido alcanza el estado estable cuando el voltaje del supercondensador es igual al voltaje de la batería,  $V_{0c} = V_b$ .

- Corriente de descarga en la batería

$$i_{b,ss}(0) = I_0 - \frac{R_b I_0}{R_b + R_c}$$

- Corriente de descarga en el supercapacitor

$$i_{c,ss}(0) = \frac{R_b I_0}{R_b + R_c}$$



Planteamiento del problema

Objetivos

Fundamentación Teórica

Análisis de la investigación

Diseño de la propuesta

Pruebas de funcionamiento

Conclusiones

Recomendaciones



# ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN

**FV**

$P: 230\text{ W}$

$I_{sc}: 11.99\text{ A}$

$I_{mp}: 11.39\text{ A}$

$V_{mpp}: 18.3\text{ V}$

$V_{oc}: 24.1\text{ V}$

**Batería**

$C_{100}: 55\text{ Ah}$

$V_b: 12\text{ V}$

$R_b: 7.5\text{ m}\Omega$

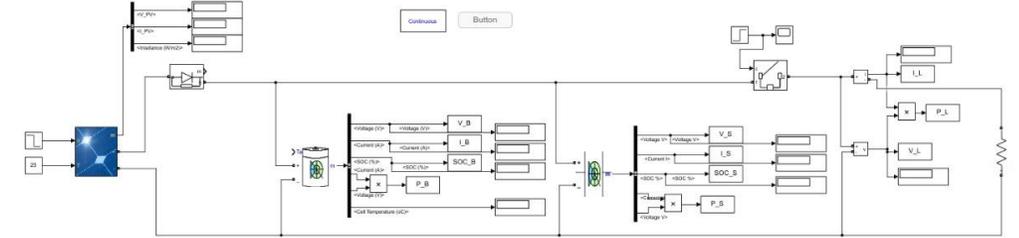
**SC**

$C: 500\text{ F}$

$V_C: 12\text{ V}$

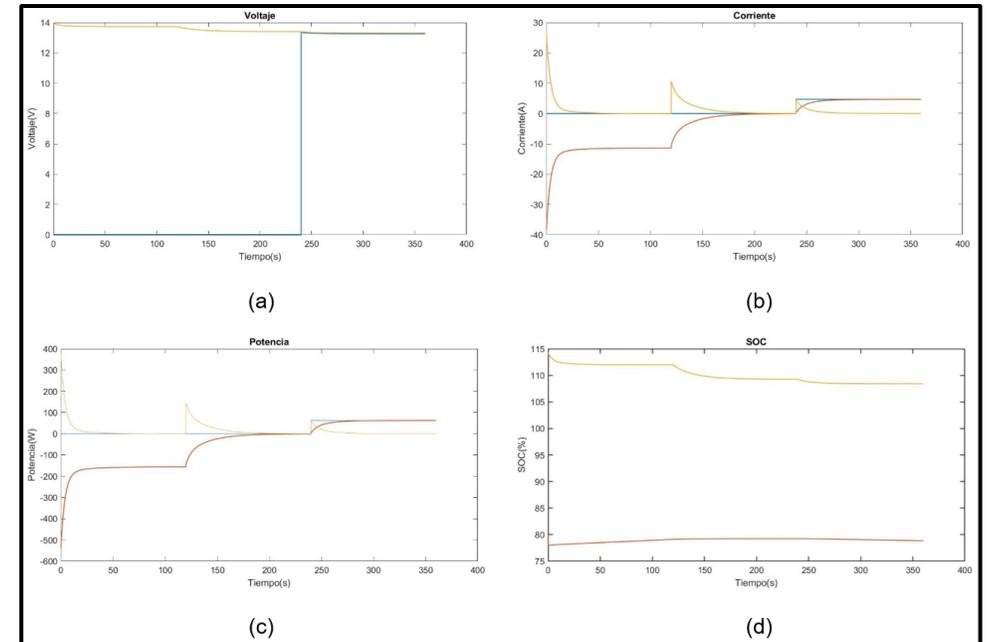
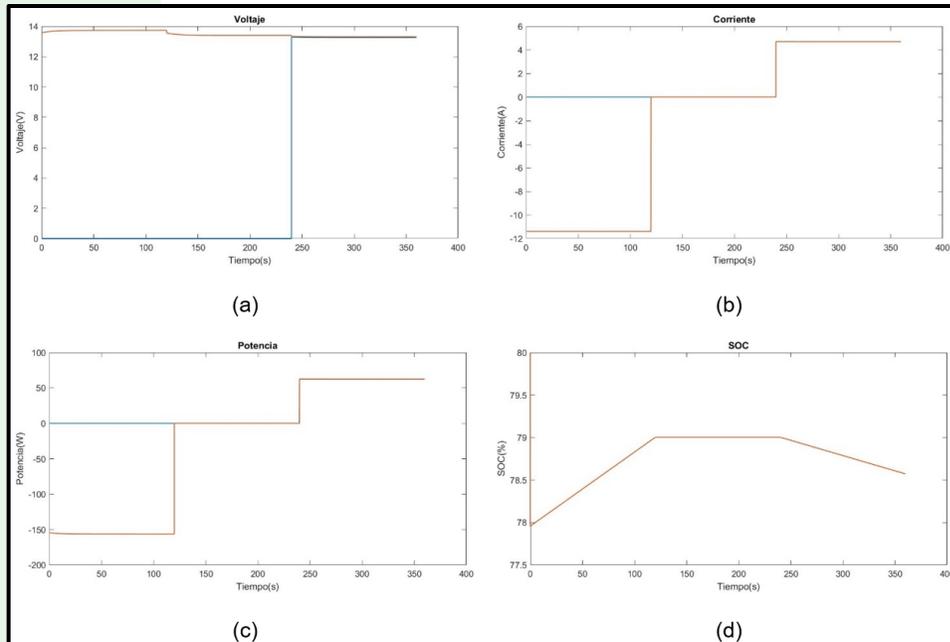
$V_{C\text{ max}}: 16.2\text{ V}$

$R_C: 1.7\text{ m}$



Almacenito con solo baterías (BAS)

HESS en un topología pasiva



\*Batería - \*SC - \*Carga

Planteamiento del problema

Objetivos

Fundamentación Teórica

Análisis de la investigación

Diseño de la propuesta

Pruebas de funcionamiento

Conclusiones

Recomendaciones



# Diseño para la calidad

## Requisitos Funcionales

Permitir un uso didáctico.

Diseño modular.

Conexiones para evitar polarizar de forma errónea.

Seguridad para los equipos del módulo

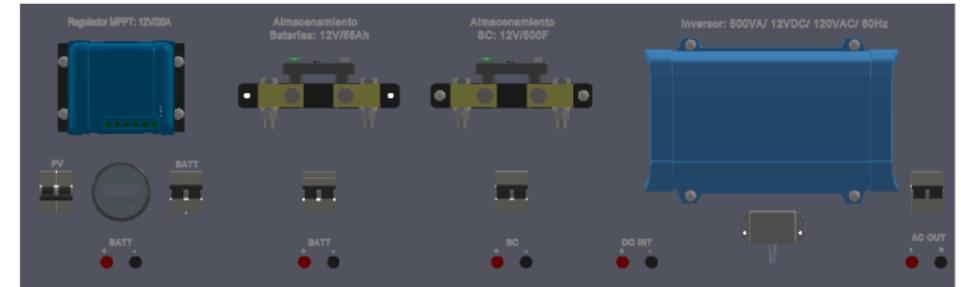
Visualización de datos.

Fácil manejo de los módulos.

Disponibilidad de los equipos.

De fácil mantenimiento para los equipos del módulo.

Confiable y fiable del proceso.



Planteamiento del problema

Objetivos

Fundamentación Teórica

Análisis de la investigación

Diseño de la propuesta

Pruebas de funcionamiento

Conclusiones

Recomendaciones



# DISEÑO DE LA PROPUESTA

## 1. Cargas a utilizar en la practica

Cargas de la práctica						
Tipo de carga	Potencia (W)	FP	Unidad	Voltaje (V)	Corriente (A)	Horas de funcionamiento (h/día)
Resistencia	144	1.00	1	120	1.2	1.0
Motor	150	0.62	1	120	1.9	1.0

## 2. Estimación del consumo ( $L_{MD.AC}$ )

$$L_{MD.AC} = \sum \# Equipos * Horas * P_{Eq}$$

$$= (1 * 1.0 h * 144 W) + (1 * 1.0 h * 150 W) \\ = 294 Wh$$

## 3. Cálculo de la energía diaria media consumida

$$(L_{MD}) \\ L_{MD} = \frac{L_{MD,CC} + \frac{L_{MD,CA}}{n_{INV}}}{n_{BAT} * n_C}$$

$$L_{MD} = \frac{\frac{294 Wh}{0.9}}{0.8 * 0.9} = 453.70 Wh$$

## 4. Determinación de la tensión nominal de la instalación ( $V_N$ )

- 12 V para potencias inferiores a 1.5 kW.
- 24 V o 48 V para potencias superiores a 1.5 kW e inferiores a 5 kW.
- 48 V o 120 V para potencias superiores de 5 kW.

Planteamiento del problema

Objetivos

Fundamentación Teórica

Análisis de la investigación

Diseño de la propuesta

Pruebas de funcionamiento

Conclusiones

Recomendaciones



# Panel fotovoltaico

## 5. Selección del panel solar

RS7E-230M	
Potencia máxima (W)	230
Tensión de trabajo (V)	12
Corriente de potencia máxima – Imp (A)	11.39
Tensión de potencia máxima – Vmpp (V)	20.39
Corriente de cortocircuito – Isc (A)	11.99
Tensión de circuito abierto – Voc (V)	24.10
Tecnología	Monocristalino
Dimensiones (mm)	1 560x700x35



## 6. Energía diaria producida por el módulo ( $E_{DMF}$ )

$$E_{DMF} = P_{MOD.STC} * HSP * PR$$

$$HSP = \frac{H_T}{1000} = \frac{3.82 \frac{kWh}{m^2 día}}{1000W \frac{W}{m^2}} = 3.82 h$$

$$E_{DMF} = 230 W * 3.82 h * 0.8 = 702.88 \frac{Wh}{día}$$

## 7. Número de paneles necesarios ( $N_T$ )

$$N_T = \frac{L_{MD}}{E_{DMF}} = \frac{453.70 Wh}{702.88 Wh} = 0.65 \approx 1$$

## 8. Número de paneles en serie ( $N_S$ )

$$N_S = \frac{V_N}{V_{MOD.MPP} - 3 V} = \frac{12 V}{20.39 V - 3 V} = 0.69 \approx 1$$

## 9. Ramas de paneles conectados en paralelo ( $N_P$ )

$$N_P = \frac{N_T}{N_S} = \frac{1}{1} = 1$$

- Planteamiento del problema
- Objetivos
- Fundamentación Teórica
- Análisis de la investigación
- Diseño de la propuesta
- Pruebas de funcionamiento
- Conclusiones
- Recomendaciones



# Batería

Antecedentes

Objetivos

Metodología

Diseño

Análisis de resultados

Conclusiones

Recomendaciones

## 11. Selección de la batería

6-GFM(G)-55	
Voltaje nominal (V)	12
Capacidad de la batería ( $C_{100}$ Ah)	55
Número de celdas (Celdas)	6
Peso de referencia (kg)	17
Resistencia interna (m ohms)	7.5
Número de ciclos de carga	1 200



## 10. Cálculo del almacenamiento por baterías ( $C_D$ )

$$C_D = \frac{L_{MD}}{PD_D * V_N} = \frac{453.7 Wh}{0.75 * 12 V} = 50.41 Ah$$

## 12. Cantidad de baterías en serie ( $N_{b.S}$ )

$$N_{b.S} = \frac{V_N}{V_b} = \frac{12 V}{12 V} = 1$$

## 13. Cantidad de baterías en paralelo ( $N_{b.P}$ )

$$N_{b.P} = \frac{C_N}{C_b} = \frac{50.41 Ah}{55 Ah} = 0.92 \approx 1$$

## 14. Cantidad de baterías total ( $N_{b.T}$ )

$$N_{b.T} = N_{b.S} * N_{b.P} = 1 * 1 = 1$$



# Supercapacitor

## 15. Selección del supercapacitor

XLR-16R2507-R	
Voltaje nominal (V)	12
Capacitancia (F)	500
ESR (m ohm)	1.7
Peso de referencia (kg)	4.,7
Número de ciclos de carga	100 000



## 16. Número de supercapacitores conectados en serie ( $N_{SC.S}$ )

$$N_{c.S} = \frac{V_N}{V_c} = \frac{12 V}{12 V} = 1$$

## 17. Resistencia del banco de supercapacitores ( $R_c$ )

$$R_b > R_c = \frac{N_{c.S}}{N_{c.P}} * R_{SC} = \frac{1}{1} * 1.7 m ohms = 1.7 m ohms$$

$$7.5 m ohms > 1.7 m ohms$$

## 18. Capacitancia total de los supercapacitores ( $C$ )

$$C = \frac{N_{SC.S}}{N_{SC.P}} * C_{SC} = \frac{1}{1} * 500 F = 500 F$$

## Aporte de corriente en la descarga $I_{b, ss}(0)$ - $I_{c, ss}(0)$

$$I_{b, ss}(0) = I_o - \frac{R_b * I_o}{R_b + R_c} = 6.3 A - \frac{7.5 m ohms * 14 A}{7.5 m ohms + 1.7 m ohms} = 2.58 A$$

$$I_{c, ss}(0) = \frac{R_b * I_o}{R_b + R_c} = \frac{7.5 m ohms * 14 A}{7.5 m ohms + 1.7 m ohms} = 11.4 A$$

Planteamiento del problema

Objetivos

Fundamentación Teórica

Análisis de la investigación

Diseño de la propuesta

Pruebas de funcionamiento

Conclusiones

Recomendaciones



## Requerimientos de energía del módulo

Planteamiento del problema

Objetivos

Fundamentación Teórica

Análisis de la investigación

Diseño de la propuesta

Pruebas de funcionamiento

Conclusiones

Recomendaciones

### 19. Energía del supercapacitor ( $E_c$ )

$$E_c = \frac{0.5 * C * V_{MAX.c}^2}{3600} = \frac{0.5 * 500 F * (16.2 V)^2}{3600} = 18.2 Wh$$

### 20. Energía de la batería ( $E_b$ )

$$E_b = C_b * V_b * PD = 55 Ah * 12 V * 0.75 = 495 Wh$$

### 21. Requerimientos del sistema durante la descarga

$$L_{MD} \leq E_b + E_c$$

$$L_{MD} \leq 495 Wh + 18.2 Wh$$

$$453.7 Wh \leq 513.12 Wh$$

### 22. Requerimientos del sistema para la carga

$$(E_{DMF} * N_T) \geq E_b + E_c$$

$$702.88 Wh * 1 \geq 495 Wh + 18.2 Wh$$

$$644 Wh \geq 513.12 Wh$$



# Regulador de carga MPPT

## 23. Dimensionamiento del regulador de carga

$$(I_{GFV.SC})$$

$$I_{GFV.SC} = 1.25 * I_{MOD.SC} * N_P$$

$$= 1.25 * 11.99 A * 1$$

$$= 14.98 A$$

Tensión de salida del controlador (V)	12/24/48
Potencia FV nominal (W)	290/580/1 160
Tensión máxima en circuito abierto (V)	100
Máxima corriente de cortocircuito (A)	20
Interfaz de comunicación	VictronConnect
Eficiencia máxima (%)	98



## Inversor de carga

Victron 12/500	
Potencia aparente (VA)	500
Potencia máxima (W)	400/350
Eficiencia máxima (%)	91
Tensión de salida (V)	100 – 120
Interfaz de comunicación	VictronConnect
Frecuencia de salida (Hz)	50/60



## 24. Potencia reactiva total ( $Q_{CA}$ )

$$Q_{CA} = \sum P_{Eq} * \tan(\arccos(FP))$$

$$= 150 W * \tan(\arccos(0.62)) = 189.82 VAr$$

## 25. Potencia aparente total ( $S_{CA}$ )

$$S_{CA} = \sqrt{(P_{Eq1} + P_{Eq2})^2 + Q_{CA}^2} =$$

$$\sqrt{(144 W + 150 W)^2 + (182.82 VAr)^2} = 349.95 VA$$

## 26. Potencia aparente del inversor ( $S_{INV}$ )

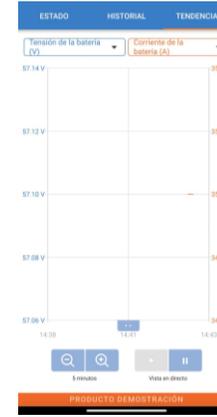
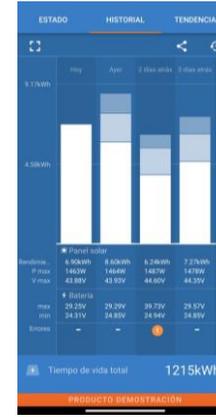
$$S_{INV} \geq 1.20 * \sum S_{CA} \geq 1.20 * 349.95 \geq 437.44$$

- Planteamiento del problema
- Objetivos
- Fundamentación Teórica
- Análisis de la investigación
- Diseño de la propuesta
- Pruebas de funcionamiento
- Conclusiones
- Recomendaciones



## Regulador de carga

- Tensión de carga.
- Corriente de carga.
- Potencia de carga.
- Tensión en los almacenamientos.



## Antecedentes

## Objetivos

## Metodología

## Diseño

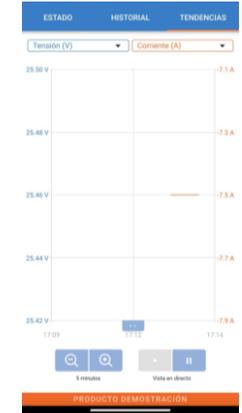
## Análisis de resultados

## Conclusiones

## Recomendaciones

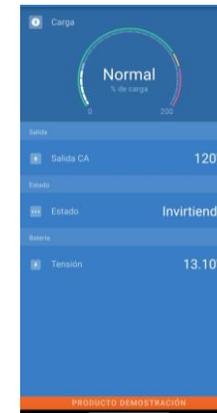
## Smart Shunt

- Tensión en los almacenamientos.
- Corriente en los almacenamientos.
- Potencia de los almacenamientos.
- Amperios horas consumidos.
- Estado de carga.



## Inversor

- Porcentaje de la capacidad de potencia nominal del inversor.
- Tensión de entrada.

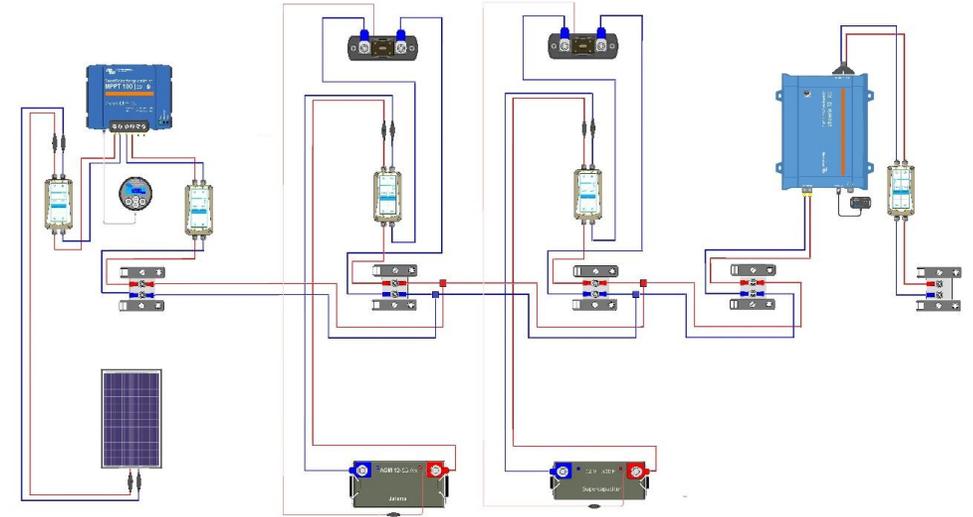




# PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Las pruebas para la carga de los sistemas de almacenamiento fue por medio del panel solar monocristalino de 230 W por un tiempo de dos horas. La descarga se las realizó con un motor de 150 W a 120 V y con una carga resistiva de 144 W a 120 V, la conexión de las cargas fue a través de un inversor el tiempo de descarga es de 15 minutos para cada demanda.

Tanto para el almacenamiento solo por baterías (BAS) como para el HESS.



Planteamiento del problema

Objetivos

Fundamentación Teórica

Análisis de la investigación

Diseño de la propuesta

Pruebas de funcionamiento

Conclusiones

Recomendaciones

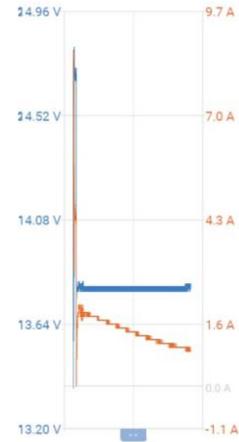
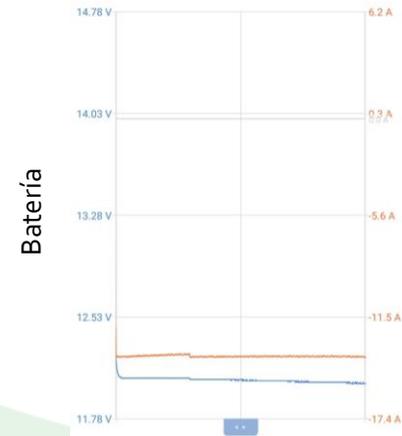
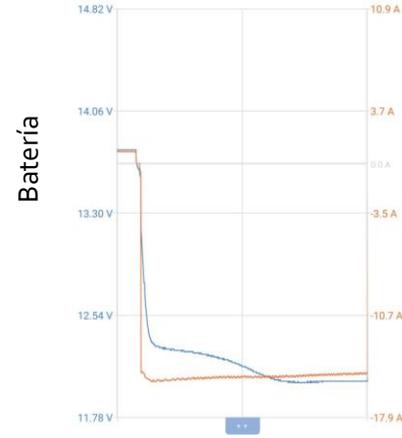
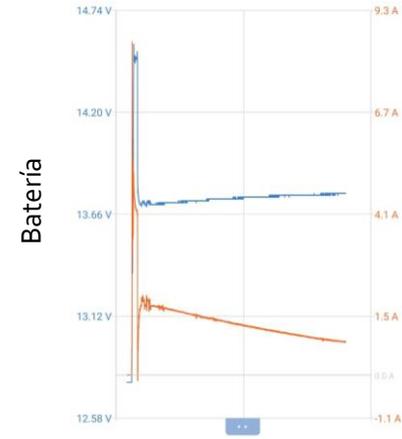


# Prueba de Carga – Descarga BAS

**Carga del BAS:** La corriente máxima durante la carga fue de 8 A en el primer instante de carga como lo muestra la figura, con una corriente de carga promedio de 1.5 A.

**Descargara del BAS – Motor:** La batería cubrió toda la demanda requerida por el motor, la corriente máxima en la descarga fue de 15.4 A (durante el arranque) y en condiciones estables la corriente fue de 14.8 A.

**Descarga del BAS – Resistencia:** Se observó que la batería respondió a la demanda requiriendo una corriente de 14.1 A durante la descarga.



Carga del BAS

Descargara del  
BAS - Motor

Descargara del  
BAS - Resistencia

Planteamiento del problema

Objetivos

Fundamentación Teórica

Análisis de la investigación

Diseño de la propuesta

Pruebas de funcionamiento

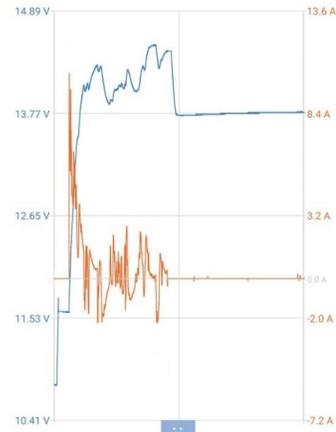
Conclusiones

Recomendaciones

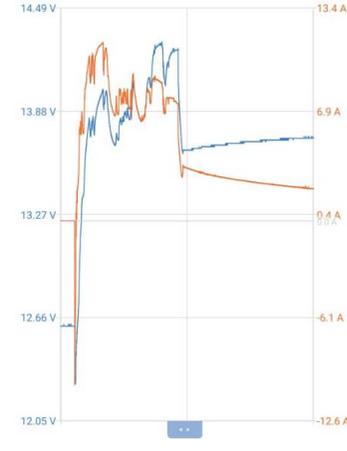


# Prueba de carga del HESS

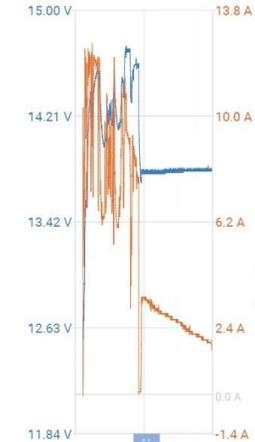
Supercapacitor



Batería



Regulador de carga



\*Corriente  
\*Voltaje

Registro de datos durante la carga del HESS

Tiempo (s)	Supercapacitor				Batería				Regulador de carga MPPT			
	Corriente (A)	Voltaje (V)	Potencia (W)	Energía (J)	Corriente (A)	Voltaje (V)	Potencia (W)	Energía (J)	Corriente (A)	Voltaje (V)	Potencia (W)	Energía (J)
2	0	11.6	0.0	0.0	0	12.6	0.00	0.0	0	0.0	0.0	0.0
6	0	11.6	0.0	0.0	0	12.6	0.00	0.0	0	0.0	0.0	0.0
10	6.2	11.6	71.9	194.1	-7.8	12.4	-96.7	-223.6	0	0.0	0.0	0.0
14	9.5	11.8	111.9	214.7	-9.4	12.3	-115.6	-220.0	0	0.0	0.0	0.0
18	8.1	11.8	95.9	183.7	-7.9	12.3	-96.9	-187.7	0	0.0	0.0	0.0
22	6.9	11.9	82.0	159.5	-6.9	12.3	-84.6	-164.4	0	0.0	0.0	0.0
26	6.2	11.9	74.0	144.5	-6.1	12.3	-74.8	-144.8	0	0.0	0.0	2.4
30	5.6	12.0	67.1	134.3	-5.4	12.3	-66.2	-127.7	0.4	12.1	4.9	13.4
34	5.5	12.0	66.1	132.4	-4.5	12.3	-55.3	-105.7	1.4	12.2	17.1	42.9
38	7.2	12.1	87.1	196.5	-3.2	12.3	-39.4	-41.9	2.1	12.6	26.4	53.1
42	9.6	12.2	117.1	228.3	0.5	12.5	6.2	12.5	9.9	12.7	125.7	237.2
Energía almacenada por el supercapacitor fue de 2429.284 J - Energía cedida por la batería fue de 2609.704 J												
46	7.3	12.2	89.4	170.3	-0.5	12.5	-6.2	-6.2	6.1	12.6	76.7	175.3
50	7.6	12.3	93.5	182.3	0.8	12.5	10.0	18.8	8.4	12.7	106.8	215.0
54	7.2	12.4	89.0	160.7	1.1	12.5	13.7	20.0	7.1	12.7	90.3	163.7
58	6	12.4	74.4	156.5	1.1	12.5	13.7	36.4	8.5	12.8	108.8	216.2
Energía entregada al HESS por parte del panel durante un tiempo aproximado de 30 segundos fue de 1934.112 J												

- Planteamiento del problema
- Objetivos
- Fundamentación Teórica
- Análisis de la investigación
- Diseño de la propuesta
- Pruebas de funcionamiento
- Conclusiones
- Recomendaciones



# Prueba de descarga HESS - Motor

Planteamiento del problema

Objetivos

Fundamentación Teórica

Análisis de la investigación

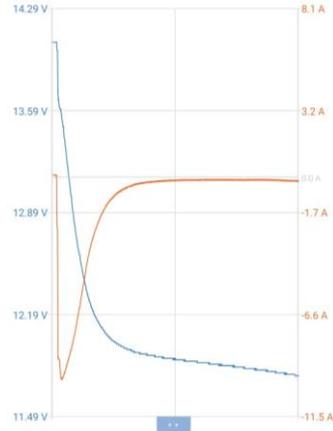
Diseño de la propuesta

Pruebas de funcionamiento

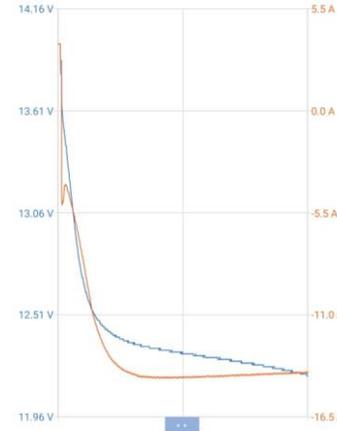
Conclusiones

Recomendaciones

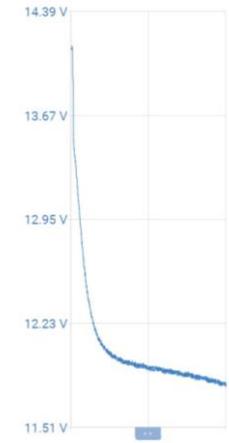
Supercapacitor



Batería



Perfil de voltaje en DC



\*Corriente  
\*Voltaje

Registro de datos durante la descarga del HESS - Motor

Tiempo (s)	Supercapacitor					Batería			
	Corriente (A)	Corriente (A)	Voltaje (V)	Potencia (W)	Energía (J)	Corriente (A)	Voltaje (V)	Potencia (W)	Energía (J)
0	0	0	13.16	0	0	0	13.1	0	0
16	-14.2	-9.6	12.74	-122.30	-241.87	-4.6	12.68	-58.328	-122.07
32	-14.7	-8	12.52	-100.16	-197.66	-6.7	12.6	-84.42	-171.29
48	-14.8	-6.4	12.36	-79.10	-155.67	-8.4	12.52	-105.16	-212.75
64	-14.7	-5.1	12.25	-62.47	-122.45	-9.6	12.47	-119.71	-234.06
80	-14.9	-3.9	12.16	-47.42	-92.416	-11	12.44	-136.84	-276.16
96	-14.7	-3	12.1	-36.3	-70.18	-11.7	12.42	-145.31	-294.35
112	-14.27	-2.4	12.06	-28.94	-55.454	-11.87	12.4	-147.18	-303.42
128	-14.8	-1.9	12.02	-22.83	-44.474	-12.9	12.39	-159.83	-320.90
144	-14.7	-1.4	11.99	-16.78	-32.36	-13.3	12.38	-164.64	-331.78
160	-14.8	-1.1	11.96	-13.15	-25.116	-13.7	12.37	-169.46	-340.17
176	-14.8	-0.8	11.94	-9.55	-19.104	-14	12.36	-173.04	-344.84
192	-14.7	-0.6	11.93	-7.15	-13.123	-14.1	12.36	-174.27	-349.78
208	-14.7	-0.5	11.91	-5.95	-11.91	-14.2	12.36	-175.51	-351.02
224	-14.7	-0.5	11.9	-5.95	-11.9	-14.2	12.35	-175.37	-350.74
240	-14.7	-0.5	11.89	-5.945	-11.885	-14.2	12.35	-175.37	-350.74
Total, de Energía descargada por el supercapacitor: -8274.09 J					Total, de Energía descargada por la batería: -33438.46 J				



# Prueba de descarga - Resistencia

Planteamiento del problema

Objetivos

Fundamentación Teórica

Análisis de la investigación

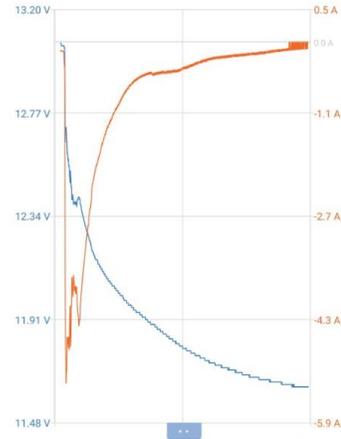
Diseño de la propuesta

Pruebas de funcionamiento

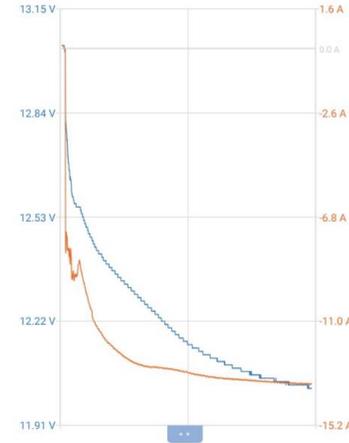
Conclusiones

Recomendaciones

Supercapacitor



Batería



Perfil de voltaje en DC



\*Corriente  
\*Voltaje

Registro de datos durante la descarga del HESS - Resistencia

Tiempo (s)	Supercapacitor					Batería			
	Corriente (A)	Corriente (A)	Voltaje (V)	Potencia (W)	Energía (J)	Corriente (A)	Voltaje (V)	Potencia (W)	Energía (J)
32	-14.2	-5.3	12.6	-66.78	-277.08	-8.9	12.66	-112.67	-440.05
64	-14.2	-5.3	12.45	-65.98	-261.13	-8.9	12.58	-111.96	-460.24
96	-14.2	-4.1	12.29	-50.389	-199.01	-10.1	12.5	-126.25	-507.29
128	-14.1	-2.8	12.19	-34.13	-134.03	-11.3	12.45	-140.68	-565.23
160	-14.3	-1.9	12.12	-23.02	-89.68	-12.4	12.42	-154.00	-618.51
192	-14.1	-1.3	12.06	-15.678	-60.3	-12.8	12.4	-158.72	-639.84
224	-14.1	-0.9	12.03	-10.82	-43.29	-13.2	12.38	-163.41	-656.14
256	-14.2	-0.7	11.98	-8.386	-33.544	-13.5	12.37	-166.99	-667.98
288	-14.1	-0.6	11.94	-7.164	-26.26	-13.5	12.36	-166.86	-672.38
320	-14.2	-0.4	11.9	-4.76	-19.04	-13.8	12.35	-170.43	-681.72
352	-14.2	-0.4	11.86	-4.74	-18.97	-13.8	12.34	-170.29	-678.7
384	-14.1	-0.3	11.84	-3.55	-14.20	-13.8	12.34	-170.29	-681.16
408	-14.1	-0.3	11.82	-3.54	-14.17	-13.8	12.34	-170.29	-681.16
440	-14	-0.3	11.79	-3.53	-14.14	-13.7	12.33	-168.91	-678.15
472	-14.1	-0.3	11.76	-3.52	-14.11	-13.8	12.33	-170.15	-680.61
480	-14.1	-0.3	11.75	-3.525	-14.1	-13.8	12.33	-170.15	-680.61
	Total, de Energía descargada por el supercapacitor: -9073.31 J					Total, de Energía descargada por la batería: -71126.47 J			



ECUADOR

Planteamiento del  
problema

Objetivos

Fundamentación  
Teórica

Análisis de la  
investigación

Diseño de la  
propuesta

Pruebas de  
funcionamiento

Conclusiones

Recomendaciones

# CONCLUSIONES

- En este proyecto se ha realizado el diseño e implementación de un módulo fotovoltaico aislado con almacenamiento híbrido de energía para el laboratorio de Energías Renovables. Estudiar de manera práctica los HESS permitirán a los estudiantes ampliar sus conocimientos en los almacenamientos enfocados en sistemas fotovoltaicos aislados. El almacenamiento por baterías tiene una alta densidad de energía y el supercapacitor dispone una alta densidad de potencia complementándose entre los dos sistemas de almacenamiento.
- El módulo fotovoltaico fue diseñado con un almacenamiento híbrido de energía en una topología pasiva, el mismo que consta de un panel fotovoltaico de 230 W, un regulador de carga MPPT de 12 V-20 A, un inversor de carga 12 V DC/120 AC a 60 Hz el almacenamiento está compuesto por una batería de 12 V DC - 55 Ah y un supercapacitor de 12 V DC - 500 F. El módulo cuenta con equipos auxiliares de medida para supervisar los almacenamientos y el conjunto solar.
- Se implementó un HESS en una topología pasiva para un sistema fotovoltaico aislado para ser utilizado en las prácticas dentro del laboratorio de Energías Renovables. Este módulo ayudará a comprender los beneficios de combinar supercapacitores con baterías. La batería del HESS trabajará como un almacenamiento de energía primaria por tiempos de descarga prolongados y el supercondensador como una fuente de energía auxiliar para atenuar la potencia máxima durante la descarga, aliviando a la batería de las altas descargas.



ECUADOR

Planteamiento del problema

Objetivos

Fundamentación Teórica

Análisis de la investigación

Diseño de la propuesta

Pruebas de funcionamiento

Conclusiones

Recomendaciones

- La potencia extraída del supercapacitor y la batería estará determinada por sus resistencias internas debido a que la impedancia interna del supercapacitor es considerablemente menor que la de la batería, la mayor parte de la energía dinámica demandada será cubierta por el supercapacitor. Por lo tanto, las baterías se descargarán con menos frecuencia lo que aumentará su vida útil. Debido a que el HESS está en una topología pasiva los almacenamientos estarán conectados de forma directa a la misma barra DC. El voltaje del supercapacitor está vinculado al voltaje de la batería ya que no podrá cargarse por encima de la tensión máxima de las baterías ni descargarse por debajo de la tensión mínima de las baterías. A pesar de estas restricciones, el HESS en una topología pasiva demostró durante las pruebas realizadas que puede aplicarse para mejorar la gestión de energía en los sistemas fotovoltaicos aislados.
- El estudio era evaluar si el HESS en una topología pasiva podría superar el problema de la batería al suministrar una corriente pico. El análisis experimental demostró que redujo en un 67.5 % los picos de corriente y potencia durante la descarga del motor y un 36.87 % para la demanda resistiva, en el instante en que se conectaron las cargas. Los resultados experimentales demuestran que el sistema híbrido pasivo mejora la gestión en el almacenamiento de energía para las instalaciones fotovoltaicas aisladas



ECUADOR

Planteamiento del  
problema

Objetivos

Fundamentación  
Teórica

Análisis de la  
investigación

Diseño de la  
propuesta

Pruebas de  
funcionamiento

Conclusiones

Recomendaciones

# RECOMENDACIONES

- Para el caso de futuros proyectos se podría implementar un HESS en una topología semiactiva y activa, realizando una comparación entre las diferentes topologías de los HESS existentes para determinar las ventajas que le corresponden a cada una de las topologías en sistemas fotovoltaicos aislados. Ya que el análisis de los sistemas de almacenamiento de energía en sistemas fotovoltaicos aislados es sumamente amplio y de gran importancia.
- En el proceso de diseño se recomienda primero dimensionar el sistema fotovoltaico aislado, para continuar con el proceso de cálculo para los supercapacitores los aspectos más importantes serán el voltaje nominal y máximo, la resistencia interna y la capacidad. Los supercapacitores son flexibles con respecto a su técnica de carga siempre y cuando no sobrepasen el voltaje máximo del mismo, siendo para este proyecto de 16.2 V como voltaje máximo del supercapacitor.
- El módulo del inversor está dimensionado para tolerar potencias máximas de 350 W – 500 VA y potencias pico de 900 W si fuese necesario si se fuese a conectar cargas mayores a las definidas en el actual proyecto, será necesario adquirir un inversor de mayor potencia.



Planteamiento del  
problema

Objetivos

Fundamentación  
Teórica

Análisis de la  
investigación

Diseño de la  
propuesta

Pruebas de  
funcionamiento

Conclusiones

Recomendaciones

- Para las mediciones será necesario que los módulos se encuentren energizados ya que ninguno de los módulos cuenta con fuentes internas de energía y los dispositivos receptores (smartphone o computadora) se encuentren cerca del módulo para evitar cortes en la comunicación.
- Para llevar a cabo las prácticas en el módulo se debe tomar en cuenta las indicaciones de acuerdo al manual de operación (Anexo B) y las guías de laboratorio (Anexo D). Igualmente será de suma importancia revisar los diagramas para la conexión entre los módulos a fin de evitar errores ya que los módulos no se protegen por conexiones inversas en la polaridad.

