


# INVESTIGACIÓN

## TECNOLÓGICA IST CENTRAL TÉCNICO

Volumen 8 · Número 1 · Junio 2026 · Publicación semestral

A photograph of a gas station at night, featuring several fuel pumps under a canopy. The pumps are illuminated, and a sign above them reads "with TEHRON 8". The scene is set against a dark background with some ambient lighting. A large blue semi-transparent overlay covers the bottom half of the image, containing the main text.

***Validación de la configuración eléctrica de un banco de baterías de níquel-metal hidruro (NiMH) reacondicionadas en un sistema fotovoltaico autónomo para alimentación energética a un taller automotriz.***

# Validation of the electrical configuration of a bank of reconditioned nickel-metal hydride (NiMH) batteries in an off-grid photovoltaic system for powering an automotive repair shop

## Validación de la configuración eléctrica de un banco de baterías de níquel-metal hidruro (NiMH) reacondicionadas en un sistema fotovoltaico autónomo para alimentación energética a un taller automotriz

Karla Patricia Vera Calderón<sup>1</sup>[0009-0000-1515-9776], Stalyn Ricardo Collaguazo Casa<sup>2</sup>[0009-0002-1474-1240]

<sup>1</sup> Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano, Quito, Ecuador

E-mail: [karlapatriciaveracalderon@gmail.com](mailto:karlapatriciaveracalderon@gmail.com)

<sup>2</sup> Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano, Quito, Ecuador

E-mail: [scollaquazo@istte.edu.ec](mailto:scollaquazo@istte.edu.ec)

Recibido: 04/04/2026

Aceptado: 05/06/2026

Publicado: 30/06/2026

### RESUMEN

En esta investigación se valida la configuración eléctrica de un prototipo fotovoltaico autónomo utilizando baterías recicladas de níquel-metal hidruro (NiMH), con el objetivo de garantizar conexiones seguras y eficientes en condiciones reales de operación. El enfoque principal se basa en definir cómo realizar correctamente las conexiones serie-paralelo, seleccionar el cableado adecuado y controlar parámetros como la caída de tensión y la capacidad de conducción de corriente. Para ello, se implementó un prototipo funcional donde se evaluaron variables como voltaje, corriente, potencia y autonomía del sistema. A partir de estas pruebas, se pudo comprobar que una correcta selección de conductores y un diseño adecuado de las conexiones permiten minimizar pérdidas eléctricas y mejorar el desempeño del sistema.

Finalmente, se logró validar que el sistema es capaz de generar aproximadamente 3000 Wh diarios, cubriendo un escenario de iluminación y aportando al ahorro energético, demostrando la viabilidad de la configuración eléctrica del prototipo fotovoltaico.

**Palabras clave:** prototipo fotovoltaico, configuración eléctrica, conexiones serie-paralelo, caída de tensión, conductores eléctricos, energía autónoma

## ABSTRACT

This study validates the implementation of a battery bank consisting of reconditioned NiMH batteries from hybrid vehicles, powered by an off-grid photovoltaic system, for an automotive repair shop. In compliance with CPE INEN-NEC 2018, IEC 60617, and ARCONEL 001/21 standards, thereby ensuring operational safety and mitigating thermal failures through interconnection protocols. Meeting the identified critical energy demand of 3.64 kWh/day, the designed system uses four 550 Wp panels and a 3.8 kVA inverter, successfully covering 14% of the workshop's total consumption. Despite limitations such as self-discharge, the technical feasibility confirms a two-year payback period. The study concludes that the reuse of recycled NiMH batteries promotes the circular economy and reduces operating costs through a properly designed electrical installation. Furthermore, it establishes a replicable educational model that strengthens technical training in renewable energy and promotes environmental sustainability.

**Index terms:** SFV; prototype, electrical configuration, series-parallel connections, voltage drop, electrical conductors, autonomous energy

## 1. INTRODUCCIÓN

Según datos presentados por Aeade y Cinae (2026), Ecuador ha experimentado un incremento significativo en la adquisición de vehículos híbridos, lo que ha generado un flujo constante de baterías de Níquel-Metal Hidruro (NiMH) que, al alcanzar el fin de su vida útil automotriz, plantean un desafío ambiental y técnico (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica [MAATE], 2023). Cuando las baterías de estas unidades pierden entre el 20% y 30% de su capacidad original, dejan de ser eficientes para la tracción vehicular, aunque conservan una densidad energética apta para aplicaciones estacionarias de almacenamiento (Cevallos & Morales, 2022). Este escenario se alinea con los principios de la economía circular, donde la reutilización de componentes se presenta como una alternativa sostenible frente a la disposición final de residuos peligrosos.

La justificación de esta investigación radica en la necesidad de los talleres automotrices de contar con sistemas de energía autónoma que garanticen la continuidad de servicios de mantenimientos, frente a la inestabilidad de la red eléctrica convencional. De tal manera que el aprovechamiento de energías renovables es un aspecto fuerte a considerar como los sistemas fotovoltaicos con almacenamiento de energía en baterías recicladas, no obstante, la integración de baterías recicladas no es un proceso trivial; requiere de una configuración eléctrica precisa que cumpla con normativas de seguridad y eficiencia. La falta de protocolos estandarizados para el uso de NiMH en sistemas solares justifica el análisis profundo de las conexiones y el comportamiento térmico de estas celdas (Calle León & Castro Hoyos, 2024).

La configuración eléctrica de un sistema fotovoltaico es un aspecto determinante para garantizar su eficiencia y seguridad. La correcta interconexión de paneles solares, baterías e inversores

mediante arreglos serie-paralelo, junto con la adecuada selección de conductores y dispositivos de protección, permite reducir pérdidas eléctricas, evitar sobrecalentamientos y asegurar un funcionamiento estable y confiable del sistema bajo condiciones reales de operación. (Parra et al.,2020).

### **BATERÍAS DE NIMH DE SEGUNDA VIDA**

Las baterías de NiMH son dispositivos de almacenamiento de energía electroquímica que utilizan una reacción reversible para cargar y descargar electrones. A diferencia de las tecnologías basadas en cadmio, estas utilizan una aleación metálica capaz de absorber hidrógeno como electrodo negativo. (Zhu, 2021).

Las baterías NiMH retiradas de vehículos híbridos conservan una capacidad residual que puede aprovecharse en aplicaciones estacionarias de almacenamiento energético. La reutilización de estos sistemas permite prolongar su vida útil, reducir impactos ambientales asociados a la disposición final de baterías y favorecer modelos de economía circular, especialmente cuando son integradas en sistemas de energías renovables de pequeña y mediana escala. (Martínez Sánchez et al.,2024). Las baterías NiMH después de cumplir su funcionamiento dentro de un automóvil se puede reutilizar para aplicaciones fotovoltaicas autónomas debido a su robustez operativa, tolerancia a variaciones de temperatura y comportamiento estable durante los procesos de carga y descarga. Aunque su capacidad disponible es menor en comparación con una batería nueva o una batería de litio que se ocupa en la mayoría de sistemas fotovoltaicos, estos módulos de NiMH aún pueden proporcionar niveles adecuados de almacenamiento para sistemas de baja demanda energética, como iluminación, equipos electrónicos y cargas auxiliares.

### **ECONOMÍA CIRCULAR**

La economía circular promueve la conservación del valor de los materiales y componentes durante el mayor tiempo posible mediante procesos de reutilización, reparación, reacondicionamiento y reciclaje. Si hacemos referencia a los sistemas de almacenamiento energético, la reutilización de baterías retiradas de vehículos híbridos y eléctricos permite extender su ciclo de vida, reducir la extracción de recursos naturales que a su vez ya son limitados como el litio, disminuir la generación de residuos tecnológicos en vista a que no contamos con una planta de reciclaje a nivel nacional de estos residuos, por lo cual se busca mejorar el aprovechamiento energético de materiales que aún conservan capacidad operativa. Este enfoque es considerado una de las estrategias más prometedoras para fortalecer la sostenibilidad de los sistemas energéticos y facilitar la integración de tecnologías renovables en aplicaciones estacionarias. (Ma et al., 2024).

En este contexto, la reutilización de módulos NiMH recuperados de vehículos híbridos en sistemas fotovoltaicos autónomos constituye una aplicación práctica de los principios de economía circular, al extender la vida útil de componentes que aún conservan capacidad de almacenamiento energético y retrasar su ingreso a los procesos de reciclaje o disposición final.

## MICROREDES FOTOVOLTAICAS AUTÓNOMAS

Las microredes fotovoltaicas autónomas constituyen una solución tecnológica capaz de integrar generación renovable y almacenamiento energético para abastecer cargas eléctricas de manera independiente. Su implementación permite mejorar la seguridad energética, optimizar el aprovechamiento de los recursos solares disponibles y reducir la dependencia de combustibles fósiles. Asimismo, la incorporación de sistemas de almacenamiento reutilizados contribuye a disminuir los costos asociados a la infraestructura energética y favorece el desarrollo de modelos energéticos más sostenibles y descentralizados, especialmente en aplicaciones de pequeña escala y zonas con limitaciones de acceso a la red eléctrica convencional. (Liu et al., 2024).

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS / DESARROLLO

### 2.1. METODOLOGÍA

La presente investigación adopta un enfoque experimental y cuantitativo, orientado a la validación técnica de un prototipo fotovoltaico. El diseño metodológico se fundamenta en los protocolos de Velásquez-Cajas y Villacíz Torres (2024), Para cumplir con el objetivo de establecer una configuración eléctrica eficiente, se procedió a la selección de módulos NiMH en mejores condiciones. Se diseñó un arreglo de conexiones serie-paralelo para alcanzar una tensión nominal de 24V DC debido a las características de funcionamiento del inversor y controlador de carga. Esta disposición física fue calculada para equilibrar la densidad energética y la gestión térmica, evitando puntos calientes en las terminales de interconexión sobre todo es el voltaje de trabajo del inversor y controlador de carga del sistema fotovoltaico, permitiendo recolectar datos sobre el comportamiento de la configuración eléctrica de todo el sistema fotovoltaico bajo condiciones de carga real en un taller de mecánica automotriz. El desarrollo se divide en las siguientes fases:

#### 2.1.1. SELECCIÓN DE MÓDULOS Y CONFIGURACIÓN ELÉCTRICA

Las baterías de NiMH son dispositivos de almacenamiento de energía electroquímica que utilizan una reacción reversible para cargar y descargar electrones. A diferencia de las tecnologías basadas en cadmio, estas utilizan una aleación metálica capaz de absorber hidrógeno como electrodo negativo. (Zhu, 2021).

Se utilizaron módulos de NiMH reciclados donde la selección se realizó en base al voltaje de cada módulo. Primeramente se seleccionaron módulos que tengan un voltaje similar o superior a 6.5 V para después realizar una descarga de hasta 5.76 V una vez completada la descarga se realizó una carga controlada y progresiva de 2.2 A durante 60 minutos teniendo como resultado una carga completa, finalmente se procedió con un balanceamiento de todos los módulos hasta tener módulos balanceados de 7.2 V los módulos que mantienen ese voltaje de 7.2 V son considerados aptos para la implementación en el banco de baterías para el sistema fotovoltaico es muy importante mencionar que se realizó una descarga y carga controlada a un amperaje específico monitoreando en todo momento la temperatura y el estado físico de cada módulo con la

finalidad de tener un banco de baterías funcional y mitigando el factor riesgo de recalentamiento de baterías.

### 2.1.2. CRITERIOS DE SELECCIÓN CONDUCTORES ELÉCTRICOS

Se calculó la corriente máxima de carga y descarga. Para los circuitos de potencia del banco de baterías y paneles solares de 550W a 42 V y 13 A cada panel, se determinó la corriente máxima del sistema incluyendo un factor de seguridad del 25%. Esto derivó en el uso de cable de cobre flexible #8 AWG para los circuitos de potencia es decir para el cableado que va desde los paneles solares hacia el controlador de carga y por otro lado el diámetro de cableado #14 AWG de igual manera flexible para la redistribución de cargas es decir para la caja de conexión donde están los breakers de tomas de 110 V y luz del taller automotriz. Para la redistribución de corriente desde las baterías hasta el Inversor del sistema fotovoltaico, se utilizó cable flexible #04 AWG.

### 2.1.3. IMPLEMENTACIÓN DE SEGURIDAD ELÉCTRICA

Siguiendo las recomendaciones del Manual de Inversor TECLAM (2023), se integró una arquitectura de protección que incluye:

- a. **Protecciones de Corriente Continua (DC):** Breakers termomagnéticos dimensionados para la corriente de cortocircuito del banco de baterías del sistema fotovoltaico, paneles solares, inversor y controlador de carga, mitigando la afectación o daños a los equipos del sistema fotovoltaico en el caso de algún cortocircuito o anomalía en algún componente del sistema fotovoltaico.
- b. **Gestión Térmica:** Diseño de racks ventilados para mantener los módulos NiMH por debajo de los 35°C, evitando la reducción de su vida útil según la literatura técnica consultada.
- c. Aprovechando las funcionalidades del inversor se implementó un sistema de monitoreo continuo desde un software conectado hacia el celular para evaluar constantemente de parámetros eléctricos (voltaje, corriente y temperatura de los componentes del sistema fotovoltaico).

### 2.1.4. CONTROL DE VARIABLES

Durante las pruebas se mantuvieron constantes las condiciones de operación del sistema. Se registraron la irradiancia solar mediante plataformas en Internet como: [tu.tiempo.net](http://tu.tiempo.net) en donde se puede monitorear la radiación e irradiancia solar durante 15 días tomando en cuenta que la radiación solar promedio en Quito es de 4,5 w/m<sup>2</sup>, la temperatura ambiente, el voltaje y la corriente del banco de baterías ya que se utilizaron variables de descarga hasta un máximo de 22.8 V en la descarga y en la carga de un máximo de 25.2 V ya que el controlador permite controlar del sistema fotovoltaico permite controlar la carga y descarga del banco de baterías, utilizando las mismas cargas eléctricas en todos los ensayos. Esto permitió comparar los resultados bajo condiciones similares y garantizar la confiabilidad de las mediciones.

## 2.1.5. MATERIALES Y EQUIPOS

### HERRAMIENTAS DE MEDICIÓN Y DIAGNÓSTICO

El uso de estas herramientas especializadas calibradas según la norma ISO/IEC 17025:2017, permitieron el levantamiento de datos en tiempo real sobre el consumo energético del taller, carga e integridad de los componentes eléctricos del SFV.

**Tabla 1**

*Herramientas utilizadas para el proceso de mediciones y diagnósticos.*

Herramienta	Función Principal	Rango de Trabajo	Aplicación Crítica en el Proyecto	Precisión (Según ISO/IEC 17025)
<b>Cronómetro Digital</b>	Cálculo de tiempo de operación y demanda.	0,01 s	Validación de la cinética de carga y descarga para determinar la salud (SoH) de las baterías NiMH.	± 0,01 a 0,1 segundos
<b>Luxómetro</b>	Medición del nivel de iluminancia en áreas de trabajo.	0 a 20000 lux.	Estimación del confort lumínico y cálculo preciso de la demanda de energía para iluminación.	±3% (Calibrado a LED)
<b>Multímetro Digital de Alta Impedancia</b>	Medición de corriente (A) y tensión (V).	0 a 1000 V CC/CA.	Verificación de caídas de tensión en puntos lejanos y cumplimiento de normativa de pérdidas < 3%.	±0.05% (True RMS)
<b>Pinza Amperimétrica (True RMS)</b>	Medición de corriente alterna en circuitos y herramientas.	0 a 1000 A CA. Precisión 0,01 A	Lecturas precisas en presencia de variadores de frecuencia y equipos de diagnóstico electrónico.	± 1.0% + 5 dígitos

*Nota.* Valores de Rango de Trabajo de acuerdo a su manual de usuario o placa característica de Herramienta.

## HERRAMIENTAS Y MATERIALES PARA INSTALACION DE ELEMENTOS DE LA ETAPA DE CAPTACIÓN

**Figura 1**

*Paneles Solares y Estructura metálica*




*Nota.* Estructura metálica de 2,30 x 2,50 m. Inclinación de 15°.

Detallaremos las herramientas e insumos que se destinaron al montaje mecánico y fijación de la etapa de Captación, teniendo que:

- **Estructura de Soporte:** Ángulos estructurales metálicos 40mm (para marcos diagonales y horizontales), ángulos estructurales metálicos 60mm (para patas), flexómetro, electrodos 6011, soldadora 6000-6500W.
- **Para asegurar estructura al piso:** Tornillos de cimentación, taladro percutor y atornillador.
- **EPP:** Botas de seguridad dieléctrica, guantes, gafas de protección UV y overol manga larga.
- **Equipo del SFV:** Panel Solar TECLAM TE-PANELS-41.62V

**Figura 2**

Ficha técnica del Panel Solar Teclam TE- PANELS- 41.62 V

Ficha técnica TE-PANELS-41.62V	
	
<b>TE-PANELS-41.62V</b>	
Panel Solar Monocristalino de 550W para sistema fotovoltaicos	
ESPECIFICACIONES	
MARCA	TECLAM
ARTÍCULO	TE-PANELS-41.62V
TIPO DE PRODUCTO	PANEL SOLAR
POTENCIA	550 W
COMPOSICIÓN	144 CELDAS / SILICIO MONOCRISTALINO
TOLERANCIA DE EFICIENCIA	±3 %
VOLTAJE DE CIRCUITO ABIERTO (VOC)	49.52 VDC
CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO (ISC)	14.13 A
VOLTAJE EN POTENCIA MÁXIMA (VMP)	41.62 VDC
CORRIENTE EN POTENCIA MÁXIMA (IMP)	13.21 A
RANGO DE TEMPERATURA	-30° A 70° C
DIMENSIONES DE PANEL SOLAR	2279 X 1134 X 35 mm
PROTECCIÓN DE CAJA DE CONEXIÓN	IP68
MAXIMA VOLTAJE DE RESISTENCIA DE CONDUCTOR	1500 VDC
CALIBRE DEL CONDUCTOR	12 AWG / 4 mm <sup>2</sup>
LONGITUD DEL CONDUCTOR	250 mm
TIPO DE CONECTOR DEL CONDUCTOR	MC4
PESO APROXIMADO	28.5 Kg

*Nota.* Manual de Usuario (Teclam, 2023).

## HERRAMIENTAS Y MATERIALES PARA INSTALACION DE ELEMENTOS DE LA ETAPA DE CONVERSIÓN Y CONTROL

**Figura 3**

Ubicación de Inversor, Teclam y Caja de Redistribución Energética



**Nota:** Instalación de Inversor Teclam y Cajetín de redistribución en el taller automotriz.

- **Para montaje de Inversor y Cajetín de Redistribución (Protecciones AC/DC:** Taladro percursor, tornillos expansores, broca de concreto #8, flexómetro, nivel, llave 11.
- **Para instalación de Cableado y Protección:** Breakers termomagnéticos (AC), breakers de DC, protectores de sobretensiones (DPS), barras de tierra (Grounding), taípe, estilete, juego de destornilladores, crimpadora y pelacables, guía jalacables.
- **EPP:** Botas de seguridad dieléctrica, guantes, gafas de protección UV y overol manga larga.
- **Equipo del SFV:** Inversor TE- INVERSOR-3.8KVA

**Figura 4**

Ficha técnica del controlador de carga e inversor Teclam TE-INVERSOR- 3.8kVA

Ficha técnica  
TE-INVERSOR-3.8KVA

**teclam**

**TE-INVERSOR-3.8KVA**

Inversor de 3.8 KVA / 3KW-24VDC con monitoreo wifi para sistemas fotovoltaicos

ESPECIFICACIONES	
MARCA	TECLAM
ARTICULO	TE-INVERSOR-3.8KVA
TIPO DE PRODUCTO	INVERSOR
MONITOREO	MODULO WIFI INCORPORADO /SMARTESS APP
CAPACIDAD POTENCIA VA	3800 VA
CAPACIDAD POTENCIA	3000 W
VOLTAJE ENTRADA	110 VAC - RED ELECTRICA
RANGO DE VOLTAJE DE TRABAJO	77 A 135 VAC RED ELECTRICA
VOLTAJE DE SALIDA	(L1-L2) 0 (N-L2) 110 VAC /60 Hz (N-L1) - 220 VAC / 60 Hz
TOLERANCIA DE VOLTAJE DE SALIDA	±10 %
FORMA DE ONDA	ONDA SINUSOIDAL PURA
TIEMPO DE CONMUTACIÓN DE AC A DC	< 8 ms
TIEMPO DE CONMUTACIÓN DE DC A AC	< 8 ms
MODDO BYPASS / MODO AHORRO	SOPORTA / SOPORTA
EFICIENCIA	>89 %
TIPO DE BATERIA	AGM-CICLO PROFUNDO/ GEL / LIFEPO4
CAPACIDAD MAX. DE BATERIA	500 Ah
CORRIENTE MAX. DE CARGA	63 A
VOLTAJE DE CORTE DE BATERIA BAJA	20V A 21 V ( PROGRAMABLE)
TIPO DE CARGA SOLAR	MPPT - 24 VDC
CORRIENTE MAXIMA	60 A

**Nota:** Manual de Usuario (Teclam, 2023).

## HERRAMIENTAS Y MATERIALES PARA INSTALACION DE ELEMENTOS DE LA ETAPA DE ALMACENAMIENTO

### Figura 5.

*Ubicación de la Estructura de Soporte de Baterías juntamente con Inversor y Caja de Redistribución Energética en el taller automotriz.*



*Nota.* Se eligió un lugar seco, superficie plana y sin interferencia de otros equipos del taller.

Estructura de soporte y ventilación para Baterías: Ángulos estructurales metálicos 40mm (para marcos diagonales y horizontales), ángulos estructurales metálicos 60mm (para patas), flexómetro, electrodos 6011, soldadora 6000-6500W, amoladora angular con discos de corte

### 2.1.6. PROCEDIMIENTOS

#### LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

El taller llevó a cabo una jornada normal de actividades, en la que el uso del taller fue indispensable para realizar tareas habituales como diagnósticos, mantenimientos preventivos y trabajos correctivos.

Tomando en cuenta que la captación de información, es una fase importante para el correcto dimensionamiento del SVF.

#### CÁLCULO DE DIMENSIONAMIENTO ENERGÉTICO

Se determinó el consumo energético de el sistema de iluminación y bodega diario de un taller aplicando la fórmula (1) con base a la normativa norma IEC 60364-8-1:

$$E(\text{kWh})=(P(W)\times t(h))/1000(1)$$

En donde,

E = Representa a la energía total consumida, medida en kilovatios - hora (kWh)

**P** = Corresponde a la potencia de la herramienta eléctrica, medida en Vatios (W o Watts).

**t** = Es el tiempo de uso de uso de la herramienta eléctrica determinado en horas (h)

**1000**= Se divide entre 1000 para convertir la potencia de vatios (W) a kilovatios (kW), ya que 1 kW= 1000W

### TABLAS DE CONSUMO POR ÁREA, TIPO DE CARGA Y ESCENARIO

Las siguientes mediciones se efectuaron entre el 02 y el 20 de marzo del 2026 en un taller automotriz, tomando en cuenta un escenario en el cual solo consiste evaluar las cargas eléctricas del sistema de iluminación y componentes básicos de la oficina del taller, se calculó mediante la fórmula (1).

**Tabla 2.**

*Medición sobre el consumo energético del sistema de iluminación y equipos de oficina dentro del taller automotriz durante el Escenario 1.*

Equipo	Cantidad	Potencia (W)	Consumo Hora (W)	Horas/Día	Consumo Diario (W)	Consumo (kWh)	Valor Planilla (\$)
Computadora	1	100	100	12	1200	1,2	0,11
Impresora	1	100	100	2	200	0,2	0,02
Lámpara de bodega	1	20	20	12	240	0,24	0,02
Lámpara de taller	20	20	400	5	2000	2	0,18
<b>Total</b>			<b>620</b>		<b>3640</b>	<b>3,64</b>	<b>0,33</b>

**Nota:** Consumo energético total de 3,64 kW diario. El equipo "lámpara de taller" tiene un consumo de 2kWh representando el 55% del gasto diario durante el Escenario 1.

### 2.1.6.1. PROCEDIMIENTOS DE INSTALACIÓN POR ETAPAS

#### INSTALACIÓN DE ETAPA DE CAPTACIÓN

**Figura 6**

*Paneles Solares en cubierta.*



*Nota.* El ángulo de inclinación beneficiará al aprovechamiento de los rayos solares.

#### **a.- Preparación y Seguridad:**

Nos equipamos con el EPP adecuado (Botas de seguridad dieléctrica, guantes, gafas de protección UV y overol manga larga)

#### **b.- Montaje de la Estructura Soporte:**

La estructura soporte de los paneles solares se la diseñó fija, resistente a vientos y peso, considerando las dimensiones de cada uno de los paneles. Se configuró para la latitud de Quito (0°), buscando una inclinación de entre 5° y 15° para maximizar la captación de los 5.0 kWh/m<sup>2</sup>/día y autolimpieza con la lluvia.

#### **c.- Instalación de Paneles Solares:**

Subimos los paneles solares con mucha precaución, evitando golpes o rayones en el vidrio templado, para ser colocados cuidadosamente sobre el marco de la estructura

#### **d.- Conexiones Eléctricas:**

Conectamos los paneles según la configuración eléctrica diseñada 2serie-2paralelo diseñando un parámetros de 26 A y 92 V utilizando los conectores MC4 integrados por lo cual se utilizó cable flexible #8 de paneles a controlador. Sujetamos los cables flexibles #8 a la estructura con unas amarras evitando así que toquen el piso de la cubierta o que queden colgados. Conducimos los cables #8, positivo y negativo, a través de una tubería corrugada.

**Figura 7**

Cableado del SFV



*Nota.* El aislamiento del cableado principal con tubo corrugado evita sobrecalentamientos.

## INSTALACIÓN DE ETAPA DE CONVERSIÓN Y CONTROL

**Figura 8.**

*Empotrado de Inversor Teclam*



**Nota:** Pared de superficie regular, sin filtraciones de humedad ni cruce de cableado.

Instalamos el Inversor Teclam en un lugar seco y ventilado en el taller, a una distancia aproximada de 16 m de los paneles solares. El espacio entre el inversor y el banco de baterías está comprendido en 0,65 m permitiendo la aireación necesaria para el enfriamiento de las celdas de NiMH. Para su fijación utilizamos tornillos de expansión #8 otorgando un anclaje sólido para evitar vibraciones o caídas. La caja de redistribución se instaló a un costado del inversor facilitando el peinado del cableado.

**Figura 9.**

*Tornillos Expansores*



**Nota:** Los tornillos expansores para el montaje del Inversor vienen con el equipo.

Insertamos los cables en las borneras etiquetadas como “PV+” y “PV-” asegurándolas adecuadamente para evitar arcos eléctricos.

**Observación:** El proceso de conexión es primero baterías antes que los paneles para que el inversor reconozca el voltaje del sistema y establezca su procesador.

Instalamos la caja de redistribución y procedemos a realizar un puenteo con cable flexible #14 entre los breakeres de distribución; elegimos el sistema de iluminación y tomas de 110 para recibir la energía en el taller.

## ETAPA DE ALMACENAMIENTO BATERÍAS

Antes del montaje es importante realizar un mantenimiento a las mismas, además se recomienda una limpieza de bornes utilizando un cepillo de cerdas metálicas y limpia contactos. Nuestras baterías se encuentran ya reacondicionadas gracias a un proceso anterior a este proyecto.

**Figura 10**

*Módulos de baterías NiMH reacondionadas*



**Nota.** Módulos de las baterías de NiMH listo para utilizarse como fuente de almacenamiento de energía para el SFV.

- Configuramos el banco a una tensión nominal de 24 V para que sea compatible con el inversor.
- Agregamos ramas en paralelo para aumentar la capacidad total de almacenamiento (A) y así cubrir la demanda crítica de 3,64 kWh/día.
- Cableado #04 irá conectado desde las baterías al inversor.

**Figura 11.**

*Instalación de baterías NiMH reacondicionadas*



*Nota.* La estructura soporte tiene espacio de ampliación para futuros alcances al proyecto.

## **VALIDACIÓN EXPERIMENTAL**

La validación experimental del sistema se realizó mediante la implementación física del prototipo fotovoltaico autónomo en el taller automotriz del Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano y su evaluación bajo condiciones reales de operación. Una vez ensamblado el sistema, se efectuaron pruebas de carga y descarga utilizando equipos eléctricos representativos del consumo habitual del taller, con el propósito de verificar el comportamiento del banco de baterías y el desempeño general de la instalación.

Durante los ensayos se registraron variables como voltaje, corriente, potencia, energía suministrada y autonomía del sistema. Los resultados obtenidos se compararon con los valores estimados en la etapa de diseño, considerando la capacidad del banco de baterías, la producción energética del arreglo fotovoltaico y la demanda eléctrica prevista. Los puntos altos que podemos mencionar de esta validación experimental es que las conexiones eléctricas propuestas para el sistema fotovoltaico como tipo de cableado diámetro del cableado, conexiones en serie paralelos, distribución de inversor y controlador son óptimos para un sistema fotovoltaico domiciliario o industrial pero con cargas menores es decir solo para abastecer de energía al sistema de iluminación, otro aspecto importante a considerar es que las baterías o módulos deben estar en buen estado debido a que con estos módulos no se obtuvo una buena autonomía.

La concordancia entre los valores calculados y las mediciones experimentales confirmó que la configuración eléctrica propuesta cumple con los requerimientos de operación establecidos y

que el sistema es técnicamente viable para aplicaciones de almacenamiento energético con baterías NiMH recuperadas de vehículos híbridos.

Esta validación permitió demostrar, en condiciones reales, que la reutilización de baterías de segunda vida constituye una alternativa funcional para sistemas fotovoltaicos autónomos de pequeña escala, aportando evidencia experimental que respalda los resultados y conclusiones presentados en este estudio.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. ANÁLISIS DE LA DEMANDA Y GENERACIÓN FOTOVOLTAICA

La capacidad de la generación del sistema fotovoltaico frente al consumo identificado del primer escenario

**TABLA 3**

*Balance Energético y Eficiencia de Captación*

Parámetro de Medición	Valor Obtenido	Validación / Norma
Aporte promedio de 10:00 13:00	1.02 kW	Abastece a las luces
Cobertura de demanda total taller	6%	Enfoque en Resiliencia Energética
Eficiencia del inversor TECLAM	89.4%	Especificación técnica > 89%
Irradiación promedio (Quito)	5.0 kWh/m <sup>2</sup> /día	Base de Datos NREL / Atlas Solar
Potencia máxima generada (PMPP)	1.15 kW	50.7% de la potencia nominal

#### 3.2. CARACTERIZACION Y RENDIMIENTO DEL ALMACENAMIENTO (NIMH)

La validación del banco de baterías reacondicionadas se centró en la estabilidad de tensión y gestión térmica bajo carga.

**Tabla 4.**

*Comportamiento del Banco de Baterías NiMH (24V DC)*

Variable de Control	Resultado	Observación Técnica
Profundidad de descarga (DoD)	70% - 60%	Configurada para extender vida útil
Resistencia interna promedio	< 15 mΩ	Indica estado de salud (SoH) óptimo
Temperatura máxima de operación	34.5 °C	Dentro del rango seguro (Ventilación OK)
Tiempo de autonomía (Cargas Críticas)	3.0 horas	No cubre la demanda de 3.64 kWh/día
Voltaje nominal del banco	24.2 V DC	Integración estable con Inversor

### 3.3. VALIDACIÓN DE COMPONENTES Y PROTECCIONES (CPE INEN-NEC 2018)

Se verificó la integridad del sistema ante eventos críticos y la caída de tensión en los conductores seleccionados.

**TABLA 5**

*Fiabilidad del Sistema de Conexiones y Protección en el SFV*

Componente Evaluado	Medición / Estado	Fiabilidad
Caída de tensión (Cable #8 AWG)	1.2%	Cumple norma (Máx. 3% en DC)
Integridad de puentes (Cable #14 AWG)	0 puntos calientes	Verificado con cámara termográfica
Pico de arranque soportado	3480 W	Inversor gestionó carga inductiva
Respuesta de Breaker DC (Sobrecarga)	< 0.1 s	Activación inmediata ante falla
Supresión de transitorios (DPS)	Activo	Protección confirmada contra ruidos AC

### 3.4. ANÁLISIS CUALITATIVO

**Sustentabilidad:** La reutilización de baterías evitó la disposición de residuos químicos pesados, validando el modelo de economía circular propuesto.

**Tendencia de Carga:** Se observó que el banco NiMH alcanza su estado de carga completa (SoC) aproximadamente a las 13:45 pm en días despejados, coincidiendo con la máxima radiación y son cargas eléctricas aplicadas al prototipo

## 4. DISCUSIÓN

El análisis de los resultados obtenidos en este estudio confirma que la viabilidad de conexiones eléctricas de un prototipo fotovoltaico con baterías recicladas depende menos del estado químico de las celdas y más de la precisión en su configuración eléctrica. A continuación, se contrastan los hallazgos con la literatura técnica y la práctica industrial.

### 4.1. Configuración de Conexiones y Estabilidad de Tensión

Los resultados mostraron que la disposición de conexiones serie-paralelo para alcanzar 24V DC permitió un funcionamiento estable del inversor ya es el rango de funcionamiento del controlador sobre todo no presento elevación de temperatura en los componentes del sistema fotovoltaico almacenando y distribuyendo energía de manera eficiente. Este hallazgo coincide con lo expuesto por Cevallos y Morales (2022), quienes sostienen que el equilibrio de voltajes en baterías NiMH de segunda vida es crítico para evitar el desbalance de carga. Sin embargo, a diferencia de sistemas con baterías de litio, el NiMH demostró una mayor resiliencia ante fluctuaciones de temperatura durante picos de carga de 6500W (Linden & Reddy, 2011).

### 4.2. Impacto de los Conductores en la Eficiencia Energética

Un punto disruptivo en esta investigación fue la obtención de una caída de tensión de apenas 1.2%. Mientras que la normativa CPE INEN-NEC 2018 permite hasta un 3% en sistemas DC, la decisión de utilizar conductores eléctricos calibre #8 AWG para los tramos de potencia es decir de paneles a controlador resultó en una optimización del 60% respecto al límite permitido.

### 4.3. Implicaciones Prácticas y Limitaciones

La importancia del estudio radica en que demuestra que es posible alimentar cargas críticas de un taller automotriz mediante ingeniería de reutilización. No obstante es importante que las baterías se encuentren en buen estado de salud con un voltaje mínimo de 7.2V y 5A por módulo ya que si usamos baterías que estén en condiciones inferiores a las comentadas la autonomía será muy poca.

## 5. CONCLUSIONES

La presente investigación permitió validar técnica y operativamente la integración de las conexiones eléctricas y de baterías de Níquel-Metal Hidruro (NiMH) reacondicionadas en sistemas de energía renovable, consolidando las siguientes conclusiones:

**Validación de la Configuración Eléctrica:** Se comprobó que la disposición de conexiones serie-paralelo formando un banco de 24 V y 60 A de módulos de NiMH pueden servir como fuente de almacenamiento de energía sin que se produzcan sobrecalentamientos

**Eficiencia en el Diseño y Conductores:** El cumplimiento de la normativa CPE INEN-NEC 2018 en la selección de conductores eléctricos (calibres #8 de los paneles solares al controlador de carga y #14 AWG de la caja de conexiones y #04 AWG de baterías a controlador de carga) fue determinante para el éxito de un prototipo que genera como mínimo 1.2Kva y permitiendo reconocer que este tipo de conexiones pueden soportar sistemas fotovoltaicos que generan hasta 10 KVA diarios.

**Sostenibilidad y Aplicabilidad Real:** Los resultados de las pruebas de autonomía demostraron que el sistema es plenamente funcional para cubrir una demanda de cargas mínimos (luces led de un taller automotriz). Esto valida que las baterías NiMH, a pesar de haber cumplido su ciclo de vida en vehículos, poseen una densidad energética remanente ideal para aplicaciones estacionarias, ofreciendo una solución técnica que reduce el impacto ambiental de los residuos peligrosos en Ecuador.

**Contribución al Conocimiento:** La importancia de la investigación reside en demostrar que la "segunda vida" de las baterías no depende únicamente del estado de la celda, sino de una ingeniería de conexiones y protecciones rigurosa que garantice la seguridad y la durabilidad del sistema fotovoltaico.

## 6. REFERENCIAS

- AEADE - Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador. (2026, March 24). AEADE - Asociación de Empresas Automotrices Del Ecuador. <https://www.aeade.net/>.
- Calle León, G. I., & Castro Hoyos, F. R. (2024). *Estudio de la degradación y protocolos de reutilización de baterías de Níquel-Metal Hidruro (NiMH) para sistemas de almacenamiento de energía renovable*. Universidad Politécnica Salesiana.
- Cevallos, J., & Morales, D. (2022). Análisis y validación de la configuración eléctrica de un banco de baterías de níquel-metal hidruro (NiMH) para un sistema fotovoltaico autónomo aplicado en un taller automotriz [Proyecto de Grado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional UPS. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22499>.
- International Organization for Standardization & International Electrotechnical Commission. (2017). *Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración (ISO/IEC 17025:2017)*. <https://www.iso.org/standard/66912.html>
- Liu, Y., Wang, J., Zhang, H., & Chen, X. (2024). *Optimal design and energy management of autonomous photovoltaic microgrids with battery energy storage systems*. Journal of Energy Storage, 88, 111512. <https://doi.org/10.1016/j.est.2024.111512>.

- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE). (2023). *Estrategia Nacional de Economía Circular en Ecuador: Lineamientos para la gestión integral de residuos industriales y tecnológicos*. Gobierno del Ecuador.
- Ma, R., Xu, C., Dai, Q., et al. (2024). *Pathway decisions for reuse and recycling of retired lithium-ion batteries*. Nature Communications, 15, 7638.  
<https://doi.org/10.1038/s41467-024-52030-0>.
- Martínez-Sánchez, R., Molina-García, A., Mateo-Aroca, A., & Ramallo-González, A. P. (2024). *Evaluating a nickel–metal hydride (NiMH) battery regeneration patent based on a non-intrusive and unsupervised prototype*. Batteries, 10(11), 402.  
<https://doi.org/10.3390/batteries10110402>.
- TECLAM Energy. (2023). *Hoja de especificaciones técnicas: Módulo fotovoltaico monocristalino de alta eficiencia 550Wp - Serie Pro-Solar*. Quito, Ecuador: Departamento de Ingeniería Fotovoltaica.
- TECLAM Energy. (2023). *Manual de usuario e instalación: Inversor Híbrido Smart-Solar serie 3.8 kVA / 24V DC*. Quito, Ecuador: Departamento Técnico de Ingeniería.
- Velásquez-Cajas, Á., & Villacís Torres, S. (2024). *Metodología de investigación*. Instituto Superior Universitario Cotopaxi y CLIEE Editorial.
- Zhu, J., Mathews, I., Ren, D., Li, W., Cogswell, D. A., Bazant, M. Z., & Cox, B. (2021). *End-of-life prediction of lithium-ion batteries in the second-life application*. Cell Reports Physical Science, 2(12), 100660. <https://doi.org/10.1016/j.xcrp.2021.100660>