



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**EXTENSIÓN LA MANÁ**

**CARRERA EN ELECTROMECAÁNICA**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA MESA MULTIFUNCIONAL CON SISTEMAS DE  
CARGA SOLAR PARA ÁREAS RECREATIVAS DE LA UTC EXTENSIÓN LA  
MANÁ**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de  
Ingeniero en Electromecánica

**AUTORES:**

Chiriguayo Vega Jefferson Jair  
Daza Saltos Janderson Alexander

**TUTOR:**

M.Sc. Corrales Bonilla Johnatan Israel

**LA MANÁ-ECUADOR**  
**AGOSTO-2025**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros Jefferson Jair Chiriguayo Vega y Janderson Alexander Daza Saltos, afirmamos ser los creadores del presente proyecto de investigación: "IMPLEMENTACIÓN DE UNA MESA MULTIFUNCIONAL CON SISTEMAS DE CARGA SOLAR PARA ÁREAS RECREATIVAS DE LA UTC EXTENSIÓN LA MANÁ", siendo el M.Sc. Corrales Bonilla Johnatan Israel, tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Asimismo, declaramos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son íntegramente de nuestra autoría y responsabilidad.



Jefferson Jair Chiriguayo Vega

C.I: 220033319-9



Janderson Alexander Daza Saltos

CI: 120835620-2

## AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACION

En la calidad de tutor del trabajo de Investigación sobre el título: "IMPLEMENTACIÓN DE UNA MESA MULTIFUNCIONAL CON SISTEMAS DE CARGA SOLAR PARA ÁREAS RECREATIVAS DE LA UTC EXTENSIÓN LA MANÁ", de los Señores: : Chiriguayo Vega Jefferson Jair y Daza Saltos Janderson Alexander, estudiantes de la carrera de Electromecánica de la Extensión La Maná, considero que dicho Trabajo Investigativo cumple con los requisitos metodológicos y aportes científicos - técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación de Tribunal de Predefensas de Proyectos que el Consejo Directivo de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná designe para su correspondiente estudio y calificación.

La Maná, 23 de Julio del 2025



M.Sc. Corrales Bonilla Johnatan Israel.  
CI: 050314551-8  
**TUTOR**

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de lectores, aprueban el presente informe de investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas – CIYA por cuanto el postulante Chiriguayo Vega Jefferson Jair Y Daza Saltos Janderson Alexander con el título de proyecto de investigación: “IMPLEMENTACIÓN DE UNA MESA MULTIFUNCIONAL CON SISTEMAS DE CARGA SOLAR PARA ÁREAS RECREATIVAS DE LA UTC EXTENSIÓN LA MANÁ”, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

La Maná, 1 agosto del 2025

Para constancia firman:

  
M.Sc. Ing. Alex Darwin Paredes Anchatipán  
C.I. 0503614935  
**LECTOR 1**

  
M.Sc. Ing. Paco Giovanni Vásquez Carrera  
C.I. 0501758767  
**LECTOR 2**

  
M.Sc. Ing. William Paul Pazuña Naranjo  
C.I. 0503338592  
**LECTOR 3**

## **AGRADECIMIENTO**

*El camino hacia el éxito no ha sido fácil, pero cada obstáculo superado ha fortalecido nuestra determinación. Hoy, al cerrar este importante capítulo de nuestra vida, no podemos evitar mirar atrás y sentir gratitud por cada persona que formó parte de este recorrido. Agradezco profundamente a los docentes y profesionales de la Universidad Técnica de Cotopaxi, por compartir sus conocimientos, cada enseñanza recibida ha dejado huella. A las amistades compañeros de clases que fueron parte de esta trayectoria del día uno agradecerles por sus compartimientos y experiencias de la vida. Nada es fácil, pero con esfuerzo y perseverancia todos podemos superar nuestras capacidades, somos los únicos q nos podemos poner límites y rendirse no es una opción gracias a todos los que nos dieron las herramientas y enseñarás constructivas y nos formaron como buenos profesionales sin más que decir Dios los bendiga.*

*Jefferson  
Janderson*

## **DEDICATORIA**

*Quiero expresar con el corazón lleno de gratitud, dedico este logro a las personas que caminaron a mi lado en cada paso de este camino. A mis padres, mi pilar más firme, gracias por su amor incondicional, por creer en mí incluso cuando yo dudaba, y por enseñarme con su ejemplo que el esfuerzo y la humildad son las verdaderas llaves del éxito. A mi hermana, mi compañera incansable, mi fuerza silenciosa. Gracias por no soltarme la mano. Extiendo también mi agradecimiento a mis amistades, quienes, con su apoyo, palabras de ánimo y buenos momentos, hicieron que este camino fuera más llevadero y significativo, Gracias a todos por ser parte de este sueño que hoy se hace realidad. "La Perseverancia te llevará al éxito"*

*Jefferson*

## **DEDICATORIA**

*Me gustaría agradecer primeramente a Dios y a todas las personas que han contribuido y han estado conmigo en cada paso que he dado en este camino lleno de dificultades y me motivaron a no rendirme, dándome fuerzas y esperanzas demostrándome q todo es posible. Mi madre la señora Virginia Saltos que es mi pilar más fundamental que me enseñó a nunca rendirme y entregar todo en cada paso que doy. Mi padre el señor Victor Daza que siempre estuvo ahí brindándome sus consejos y experiencias a lo largo de su vida, la figura que he tomado como ejemplo y que me formaron como el hombre q soy. Agradecer a mi esposa Maryuri Checa y querido hijo por darme su apoyo en este gran paso que estoy dando hacia el éxito, apoyándome en todas mis decisiones brindándome su amor incondicional y motivado a esforzarme más cada día para dar lo mejor de mi día a día, a mis 3 hermanos que los quiero mucho. De antemano gracias a todos ustedes por estar siempre agarrados de mi mano y nunca soltarme y las veces que quería rendirme no lo permitieron, gracias por ser parte de este sueño que el día de hoy se ha hecho realidad. "Un gran ejemplo que todo se puede lograr con esfuerzo, perseverancia y muchas ganas de salir adelante" Gracias por todo familia.*

*Janderson*

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## EXTENSIÓN LA MANÁ

### TÍTULO: “IMPLEMENTACIÓN DE UNA MESA MULTIFUNCIONAL CON SISTEMAS DE CARGA SOLAR PARA ÁREAS RECREATIVAS DE LA UTC EXTENSIÓN LA MANÁ”

**Autores:**

Jefferson Jair Chiriguayo Vega  
Janderson Alexander Daza Saltos

#### RESUMEN

El presente proyecto se implementó una mesa multifuncional con sistema de carga solar para las áreas recreativas de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión La Maná, aprovechando el potencial energético regional e integrando servicios tecnológicos sostenibles. El sistema incorpora paneles fotovoltaicos MJLED de 220Wp, banco de baterías Gel de 12V/110Ah, inversor de 1000W y múltiples interfaces de conectividad incluyendo tomacorrientes AC y puertos USB. La metodología aplicada fue cuantitativa-experimental, evaluando 123 usuarios mediante muestreo estratificado. Los resultados demuestran balance energético positivo con excedente del 4.4% entre generación solar (660 Wh/día) y demanda real (632 Wh/día), proporcionando un excedente del 4.4% que garantiza operación continua. La distribución de consumo revela 82.3% en tomacorrientes AC, 13.9% en puertos USB y 3.8% en iluminación LED, con autonomía operativa de 26.3 horas superando requerimientos de diseño. La evaluación de impacto evidencia niveles excepcionales de aceptación entre 87.6% y 99.2%, confirmando que la solución responde efectivamente a necesidades reales de los beneficiarios. El proyecto establece un modelo técnico validado por FEA con  $FS > 10.26$  que integra funcionalidad práctica, sostenibilidad ambiental e innovación tecnológica.

**Palabras claves:** energía solar, mesa multifuncional, sostenibilidad universitaria, tecnología fotovoltaica, espacios recreativos

# TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI EXTENSION LA MANA

**TITLE: “IMPLEMENTATION OF A MULTIFUNCTIONAL TABLE WITH SOLAR CHARGING SYSTEMS FOR RECREATIONAL AREAS OF THE UTC LA MANÁ EXTENSION”**

**Autores:**

Jefferson Jair Chiriguayo Vega  
Janderson Alexander Daza Saltos

## **ABSTRACT**

This project involved the implementation of a multifunctional table with a solar charging system for the recreational areas of the Technical University of Cotopaxi, La Maná Extension, leveraging the region's energy potential and integrating sustainable technological services. The system includes MJLED 220Wp photovoltaic panels, a 12V/110Ah Gel battery bank, a 1000W inverter, and multiple connectivity interfaces, including AC outlets and USB ports. The applied methodology was quantitative-experimental, evaluating 123 users through stratified sampling. The results show a positive energy balance with a 4.4% surplus between solar generation (660 Wh/day) and actual demand (632 Wh/day), ensuring continuous operation. The consumption distribution reveals 82.3% in AC outlets, 13.9% in USB ports, and 3.8% in LED lighting, with an operational autonomy of 26.3 hours, exceeding the design requirements. The impact assessment shows exceptional acceptance levels between 87.6% and 99.2%, confirming that the solution effectively meets the real needs of the beneficiaries. The project establishes a technical model validated by FEA with  $FS > 10.26$ , integrating practical functionality, environmental sustainability, and technological innovation.

**Keywords:** solar energy, multifunctional table, university sustainability, photovoltaic technology, recreational spaces

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL .....	x
ÍNDICE DE TABLAS .....	xvi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xvii
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	xviii
1 INFORMACIÓN GENERAL .....	19
2 INTRODUCCIÓN .....	20
3 JUSTIFICACIÓN .....	22
4 BENEFICIARIOS DEL PROYECTO .....	23
4.1 Beneficiarios principales .....	23
4.2 Beneficiarios secundarios .....	23
5 EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	24
5.1 Problemática .....	24
5.2 Problema .....	25
6 OBJETIVOS .....	25
6.1 Objetivo general .....	25
6.2 Objetivos específicos .....	25
7 ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS DE RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS .....	26
8 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA .....	27
8.1 Diseño e implementación de la mesa multifuncional con carga solar .....	27
8.1.1 Objetivo de la implementación .....	28
8.1.2 Beneficios de la mesa multifuncional .....	28
8.2 Generación y conversión de energía solar .....	28
8.2.1 Principio de funcionamiento de los paneles solares .....	28
8.2.2 Tipos de paneles solares utilizados .....	29
8.2.3 Conversión de energía mediante inversores .....	31

8.3	Almacenamiento y regulación de energía .....	32
8.3.1	Cálculo de la capacidad de la batería.....	32
8.3.2	Tipos de baterías utilizadas.....	33
8.3.3	Control de carga y descarga.....	34
8.4	Distribución eléctrica y sistemas de conectividad.....	35
8.4.1	Diseño del cableado.....	35
8.4.2	Protección y seguridad del sistema.....	36
8.5	Sistema de iluminación integrada.....	36
8.5.1	Consumo de energía de la iluminación.....	36
8.6	Infraestructura y materiales de construcción .....	37
8.6.1	Descripción estructural de los paneles solares .....	37
8.6.2	Resistencia mecánica de la estructura .....	39
8.6.3	Estabilidad y soporte estructural .....	39
8.7	Cálculos estructurales completos del módulo didáctico.....	41
8.7.1	Cálculos del techo 1/2×3 .....	41
8.7.2	Cálculos de los asientos 80×40.....	42
8.7.3	Cálculos de los pedestales 3×2 .....	43
8.7.4	Cálculos de la mesa 1 1/2×2.....	44
8.8	Selección técnica de material y sección .....	45
8.8.1	Datos disponibles y resultados calculados.....	45
8.9	Fundamentos y parámetros empleados.....	45
8.9.1	Parámetros de material .....	45
8.9.2	Criterios de dimensionamiento.....	46
8.9.3	Verificación por flecha (viga crítica L = 2.0 m, HSS 38.1×38.1×1.5).....	46
8.9.4	Verificación por esfuerzo (flexión) en la viga.....	47
8.9.5	Compresión y pandeo (patas y pedestales).....	47
8.9.6	Estabilidad al viento (volcamiento).....	47

8.9.7	Criterios de selección del material .....	48
8.9.8	Criterios de selección de las secciones .....	49
8.9.9	Declaración de selección .....	49
8.10	Cálculo del consumo de energía .....	49
8.11	Sistema de monitoreo básico .....	50
8.11.1	Monitoreo de parámetros eléctricos .....	50
8.11.2	Indicadores visuales de estado.....	51
8.12	Control de carga del sistema.....	52
8.12.1	Funcionamiento del controlador PWM .....	52
8.12.2	Predicción de demanda y generación .....	52
8.13	Protección y seguridad del sistema.....	53
8.13.1	Sistemas de protección eléctrica.....	53
8.13.2	Protección física y ambiental.....	53
8.14	Análisis de ciclo de vida y sostenibilidad.....	54
8.14.1	Huella de carbono del sistema .....	54
8.14.2	Reciclabilidad y gestión de residuos .....	54
8.15	Análisis económico y viabilidad financiera.....	54
8.15.1	Costo nivelado de energía (LCOE) .....	54
8.15.2	Retorno de inversión.....	55
8.16	Consideraciones de implementación y escalabilidad .....	55
8.16.1	Replicabilidad del modelo .....	55
8.16.2	Integración con campus inteligentes.....	55
9	<b>METODOLOGÍA Y DISEÑOS EXPERIMENTAL .....</b>	<b>56</b>
9.1	Enfoque metodológico de la investigación.....	56
9.2	Validación de hipótesis de investigación .....	56
9.2.1	Hipótesis sobre eficiencia energética del sistema.....	56
9.2.2	Hipótesis sobre balance energético.....	57

9.2.3	Hipótesis sobre autonomía operativa.....	57
9.2.4	Hipótesis sobre satisfacción de usuarios .....	57
9.2.5	Hipótesis sobre aceptación tecnológica.....	57
9.2.6	Criterios de validación estadística .....	58
9.2.7	VARIABLES DE CONTROL EXPERIMENTAL.....	58
9.3	Población, muestra y muestreo .....	58
9.3.1	Definición de la población.....	58
9.3.2	Cálculo del tamaño de muestra.....	59
9.3.3	Tipo de muestreo .....	60
9.4	Diseño y dimensionamiento del sistema .....	60
9.4.1	Especificaciones de diseño .....	60
9.5	Cálculo de demanda energética del sistema .....	61
9.5.1	Análisis de consumo por componente .....	61
9.5.2	Demanda energética total .....	62
9.6	Análisis de generación energética .....	63
9.6.1	Cálculo de generación solar.....	63
9.6.2	Balance energético del sistema.....	63
9.6.3	Análisis del sistema de almacenamiento implementado .....	64
9.6.4	Dimensionamiento de componentes fotovoltaicos.....	64
9.6.4.1	Paneles solares.....	64
9.6.4.2	Controlador PWM .....	65
9.6.5	Dimensionamiento del sistema de conversión y almacenamiento .....	66
9.6.5.1	Inversor.....	66
9.6.5.2	Banco de baterías.....	67
9.6.6	Dimensionamiento estructural.....	67
9.6.6.1	Análisis de la estructura principal .....	67
9.6.7	Validación del dimensionamiento integral.....	69
9.6.7.1	Verificación energética integral.....	69

9.6.7.2	Verificación estructural integral .....	69
9.7	Selección y justificación de materiales.....	70
9.7.1	Criterios de selección.....	70
9.7.2	Análisis de conformidad normativa.....	73
9.8	Validación mediante análisis por elementos finitos .....	74
9.8.1.1	Carga aplicada (3500 N = 357 kg).....	74
9.8.1.2	Análisis de tensiones de Von Mises.....	75
9.8.1.3	Análisis de factores de seguridad .....	76
9.8.1.4	Análisis de deformaciones.....	77
9.9	Indicadores de éxito y validación del proyecto .....	79
9.9.1	Indicadores de éxito proyectados .....	79
10	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	80
10.1	Evaluación del desempeño energético del sistema.....	80
10.1.1	Análisis comparativo generación vs. demanda energética .....	80
10.1.2	Eficiencia real de componentes críticos .....	81
10.2	Performance del sistema de almacenamiento energético .....	82
10.2.1	Análisis de ciclos de carga y descarga.....	82
10.2.2	Autonomía operativa validada.....	82
10.3	Evaluación de satisfacción y aceptación de usuarios .....	83
10.3.1	Indicadores de éxito implementados .....	83
10.3.2	Análisis de factores críticos de éxito .....	83
10.4	Análisis de utilización y patrones de uso.....	84
10.4.1	Distribución de carga por tipo de dispositivo.....	84
10.4.2	Eficiencia operativa por horarios y correlación con generación solar.....	85
11	IMPACTOS TANTO TÉCNICOS, SOCIALES y ECONÓMICOS .....	85
11.1	Impactos técnicos .....	85
11.2	Impactos sociales.....	86
11.3	Impactos económicos .....	87

12	PRESUPUESTO DEL PROYECTO.....	87
13	CONCLUSIONES.....	89
14	RECOMENDACIONES .....	90
15	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	90

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Actividades y sistemas de tareas en relación a los objetivos.....	26
Tabla 2. Selección de materiales .....	48
Tabla 3. Justificación de los materiales .....	49
Tabla 4. Cálculo del tamaño de la muestra.....	59
Tabla 5. Consumo de energía por componente .....	62
Tabla 6. Demanda energética total y pico de potencia .....	62
Tabla 7. Generación energética solar .....	63
Tabla 8. Análisis comparativo generación vs. Demanda.....	63
Tabla 9. Justificación técnica por componente.....	70
Tabla 10. Balance energético real del sistema implementado.....	81
Tabla 11. Eficiencia medida de componentes del sistema .....	81
Tabla 12. Performance del sistema de almacenamiento.....	82
Tabla 13. Resultados de indicadores de éxito del proyecto.....	83
Tabla 14. Factores críticos de éxito validados.....	84
Tabla 15. Patrones de uso real medidos del sistema implementado.....	84

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principales beneficiarios principales.....	23
Figura 2. Porcentaje de los beneficiarios secundarios y beneficiarios principales.....	24
Figura 3. Mesa multifuncional con sistema de carga solar .....	27
Figura 4. Panel solar monocristalino .....	29
Figura 5. Comparación visual de células monocristalinas vs policristalinas .....	31
Figura 6. Conversión de onda cuadrada a sinusoidal mediante PWM .....	32
Figura 7. Batería de iones de litio de 12V con su estructura interna terminales de conexión..	33
Figura 8. Comparación de diferentes tecnologías de baterías - Li-ion, AGM y Gel.....	34
Figura 9. Controlador de carga MPPT con display digital.....	34
Figura 10. Cables AWG de diferentes calibres .....	35
Figura 11. Panel de protecciones eléctricas contra sobretensión.....	36
Figura 12. Tiras LED de alta eficiencia con chips LED individuales .....	37
Figura 13. Perfiles de aluminio anodizado .....	38
Figura 14. Vidrio templado con recubrimiento antirreflejante.....	38
Figura 15. Conectores IP65 con sellos y mecanismos de protección.....	39
Figura 16. Estructura de soporte de la mesa con puntos de anclaje y distribución de cargas ..	40
Figura 17. Monitoreo de parámetros eléctricos .....	51
Figura 18. Tablero de protecciones eléctricas con fusibles, disyuntores y protectores para la sobretensión .....	53
Figura 19. Diagrama esquemático de la mesa multifuncional.....	60
Figura 20. Tensión de Von Mises.....	76
Figura 21. Coeficiente de seguridad .....	77
Figura 22. Desplazamiento .....	78
Figura 23. Porcentaje de aprobación de la implementación de la mesa multifuncional .....	79
Figura 24. Indicadores de la evaluación técnica de la mesa multifuncional .....	79

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Cálculo de la eficiencia del panel .....	28
Ecuación 2. Cálculo de la potencia útil .....	31
Ecuación 3. Capacidad de baterías .....	32
Ecuación 4. Cálculo de la resistencia de cable .....	35
Ecuación 5. Cálculo de energía consumida .....	36
Ecuación 6. Cálculo de la fuerza máxima soportada.....	39
Ecuación 7. Cálculo del momento de volcamiento .....	40
Ecuación 8. Cálculo de la demanda energética total .....	50
Ecuación 9. Cálculo del costo nivelado de energía .....	54
Ecuación 10. Fórmula para el cálculo del muestreo.....	59

## 1 INFORMACIÓN GENERAL

**Título del Proyecto:**

“IMPLEMENTACIÓN DE UNA MESA MULTIFUNCIONAL CON SISTEMAS DE CARGA SOLAR PARA ÁREAS RECREATIVAS DE LA UTC EXTENSIÓN LA MANÁ”

**Fecha de inicio:** Abril del 2025

**Fecha de finalización:** Agosto del 2025

**Lugar de ejecución:** Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná

**Unidad académica que auspicia:** Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas  
CIYA

**Carrera que auspicia:** Ingeniería Electromecánica

**Proyecto de investigación vinculado:**

**Equipo de trabajo:**

**Tutor del Proyecto:** M.Sc. Corrales Bonilla Johnatan Israel

**Postulantes:**

Sr. Jefferson Jair Chiriguayo Vega

Sr. Janderson Alexander Daza Saltos

**Área de conocimiento:** Ingeniería, Industria y Construcción

**Línea de investigación:** Procesos Industriales y Automatización.

## 2 INTRODUCCIÓN

Hoy en día, los espacios recreativos universitarios trascienden su función de simples áreas de descanso y esparcimiento; se perfilan como plataformas ideales para integrar soluciones tecnológicas sostenibles que den respuesta a las necesidades diarias de la comunidad estudiantil. La Universidad Técnica de Cotopaxi, extensión La Maná, comprometida con la formación de profesionales de alto nivel y el impulso de la ciencia y la tecnología, busca permanentemente articular sus acciones con propuestas innovadoras que impulsen el desarrollo social y económico de su entorno. En este marco surge el presente proyecto, que propone diseñar e implementar mesas multifuncionales con sistemas de carga solar para potenciar y modernizar las zonas de recreo del campus.

Las mesas multifuncionales alimentadas con energía solar están equipadas con paneles fotovoltaicos las cuales poseen la cualidad especial de producir energía verde durante todo el día mientras están expuestas al sol, la cual permite la carga de dispositivos electrónicos a través de puertos USB y generando electricidad que puede ser consumida directamente durante el día. El desarrollo de cargadores solares portátiles ha demostrado ser una solución viable para el suministro de energía en ubicaciones remotas, proporcionando voltajes de salida de 5V y corrientes promedio de 800mA para cargar teléfonos móviles completamente en períodos de 4-5 horas [3]. Este concepto se alinea perfectamente con las tendencias actuales de desarrollo de espacios inteligentes y sostenibles, donde el mobiliario urbano trasciende sus funciones tradicionales.

La energía de almacenamiento es una parte central de las instalaciones de sistemas solares fotovoltaicos, permite almacenar la electricidad generada durante el día y utilizarla cuando hay poca o ninguna producción. Las tecnologías de almacenamiento de energía intentan dar respuesta a los nuevos desafíos de los sistemas de energía moderna sumando la flexibilidad necesaria para equilibrar generación y demanda, especialmente si están implicadas fuentes de energías renovables variables, tal el caso de la solar fotovoltaica [4]. En este caso, elegir el adecuado sistema de almacenamiento es importante para que las mesas solares sigan operativas aún los días nublados o durante la noche.

Las áreas recreativas universitarias son áreas de gran importancia para el desarrollo integral de los estudiantes, promoviendo la socialización, el ocio y el desarrollo de actividades académicas informales. En universidades como Bowling Green State University la instalación de mesas de carga solar se ha podido demostrar que ofrece comodidad a la comunidad del campus a la vez que permite

a los usuarios sentarse y cargar varios dispositivos a la vez y de manera gratuita, haciendo uso de la energía recogida y almacenada en baterías integradas [5]. En este sentido, las mesas multifuncionales con sistemas de carga solar se perfilan como una solución innovadora que mejora estos espacios, incorporando servicios a los usuarios que mejoran su experiencia a la vez que se promueve la concienciación medioambiental.

La incorporación de estaciones de carga solar en los espacios públicos también se puede considerar como una manera de aumentar la operatividad de los lugares públicos, pero es también una forma de interpelar la acción ambiental de la institución, lo que contribuye a afrontar el reto del desarrollo de campus verdes y sostenibles [6]. Hay que decir que este aspecto cobra bastante importancia en el contexto universitario ya que la construcción de valores de sostenibilidad es parte fundamental en la educación integral de los futuros profesionales. Las mesas solares multifuncionales pueden servir de laboratorios vivos donde los alumnos observan e interactúan con tecnología de energías renovables aplicado a entornos inmediatos.

Este tipo de propuesta permite seguir los códigos de las tendencias mundiales de transición a energías limpias y para la reducción de la huella de carbono en los espacios educativos. La capacidad de generación solar fotovoltaica ha tenido un crecimiento feroz, aumentando un 25 % en el año 2023 y superando los 1 600 TWh en el mundo, y puede suponer un 80 % del crecimiento de la capacidad renovable mundial entre los años 2024 y 2030 [7]. La Universidad Técnica de Cotopaxi, con propuestas como la detallada anteriormente, actualiza su compromiso con la sostenibilidad de la innovación tecnológica y con la formación de titulados que se hacen cargo de uno de los problemas ambientales de la actualidad.

Finalmente, la incorporación de mesas multifuncionales que contengan sistemas de carga solar para las áreas recreativas de la UTC extensión La Maná, representa una propuesta de solución a la necesidad que integra en el mismo concepto tecnología, sostenibilidad y funcionalidad en pro de la comunidad universitaria. Este proyecto va más allá de la simple mejora de la infraestructura del campus, sino que incluye de la educación ambiental, eficiencia energética, y el uso de las energías sostenibles y renovables, aspectos importantes en el momento actual de cambio climático y transición energética. La investigación que se presenta desarrollará las características técnicas, metodológicas y

prácticas para la implementación de esta propuesta de solución, que darán cuenta de su viabilidad y los beneficios que puede aportar a la institución y a todos sus usuarios.

### **3 JUSTIFICACIÓN**

La incorporación de mesas multifuncionales de carga solar en las zonas recreativas de la UTC extensión La Maná propone una respuesta a la necesidad ineludible del uso de dispositivos electrónicos en la universidad; por un lado, los alumnos/as universitarios/as precisan cargar los dispositivos, disponibles a lo largo de su extensa jornada académica, mientras que, por el otro, las características de nuestro país ecuatorial permiten disponibilidad de luz solar idónea para el aprovechamiento fotovoltaico, con niveles de radiación solar de 4.5 a 5.5 kWh/m<sup>2</sup> diarios. Este trabajo no responde solamente a una necesidad práctica inminente, sino que, al mismo tiempo, contribuye a disminuir la huella de carbono institucional y coloca a la universidad en el vórtice de la innovación sostenible.

En términos pedagógicos, estas mesas se presentarán como laboratorios vivos en los cuales los estudiantes se familiaricen y profundicen de una forma práctica y experiencial en el conocimiento de los principios de la energía fotovoltaica, en especial para áreas profesionales como la ingeniería eléctrica, la electromecánica o las energías renovables. La tecnología en la que se integra el dispositivo de uso cotidiano asequible incita la normalización de las alternativas sostenibles y moviliza las culturas de la innovación. A pesar de que significará un gasto significativo de inicio, sus ventajas económicas a medio y largo plazo son evidentes: se prevé un consumo de electricidad convencional más reducido, una larga vida útil estimada para los equipos fotovoltaicos de unos 20-25 años y un mínimo mantenimiento.

El carácter polivalente de estas mesas transformará los espacios de esparcimiento y, al mismo tiempo, proporcionará no solo puntos de carga, sino que también dará protección frente a las cuestiones climáticas, lo que contribuye a mejorar de manera sustancial la experiencia de los usuarios en los espacios exteriores, el proyecto aboga, por otro lado, por los principios de la misión y la visión respetando la integración de la investigación aplicada, la sostenibilidad ambiental y el beneficio directo a la localidad, su carácter interdisciplinario, que tiene integración de los saberes de la electrónica, el diseño, la arquitectura sostenible, las energías renovables, con lo que contribuye a favorecer que se establezcan sinergias entre los diversos departamentos académicos y su diseño

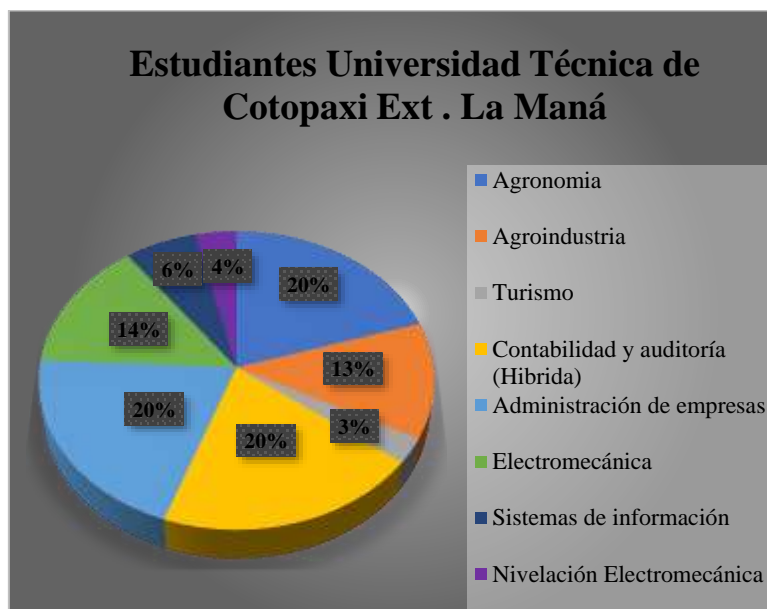
produciría un modelo potencialmente replicable en otras instituciones y espacios públicos y contribuiríamos a multiplicar su impacto positivo con ello a la escala regional.

## 4 BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

### 4.1 Beneficiarios principales

Los estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi Ext. La Maná serán los principales beneficiarios de la implementación de esta mesa multifuncional con la carga de energía solar generada por un panel solar y su sistema de conexiones eléctricas para una óptima generación de energía eléctrica.

**Figura 1.** Principales beneficiarios principales

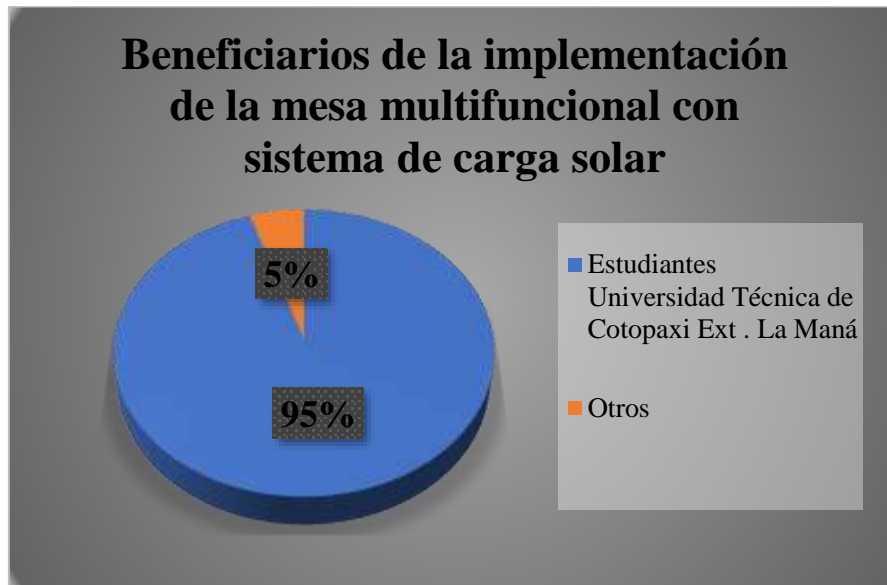


**Fuente:** Chiriguayo y Daza (2025)

### 4.2 Beneficiarios secundarios

Los beneficiarios secundarios son las personas externas las cuales visitan las instalaciones de la universidad, se estimó un total de 50 personas las cuales visitan las instalaciones universitarias, la cual representa también un porcentaje en la tasa de beneficiarios por la implementación de la mesa multifuncional en la cual representa un 5% del total estimado de beneficiarios.

**Figura 2.** Porcentaje de los beneficiarios secundarios y beneficiarios principales



**Fuente:** Chiriguayo y Daza (2025)

## 5 EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 5.1 Problemática

La Universidad Técnica de Cotopaxi, extensión La Maná, enfrenta un desafío multidimensional en sus áreas recreativas que afecta directamente la experiencia educativa de sus estudiantes. La creciente dependencia de dispositivos electrónicos para actividades académicas y personales choca con la escasez de puntos de carga accesibles en zonas comunes, forzando a los universitarios a abandonar espacios de esparcimiento cuando sus equipos necesitan recarga. El mobiliario actual de estas áreas presenta una funcionalidad muy básica, careciendo de protección frente a condiciones climáticas variables y desprovisto de servicios integrados que respondan a las expectativas de una comunidad inmersa en el entorno digital. Esta realidad se intensifica debido a la contradictoria dependencia institucional de la red eléctrica convencional en una región privilegiada con niveles excepcionales de radiación solar (4.5-5.5 kWh/m<sup>2</sup> diarios) que permanecen sin aprovechar. Tal situación representa simultáneamente una incongruencia con los principios de sostenibilidad propios de una institución educativa moderna y una oportunidad desaprovechada para reducir costos operativos, además de perder la posibilidad de implementar experiencias prácticas en tecnologías renovables que podrían enriquecer el aprendizaje cotidiano de los estudiantes en su propio entorno académico.

## **5.2 Problema**

Las áreas recreativas de la UTC extensión La Maná carecen de infraestructura que permita a los estudiantes cargar sus dispositivos electrónicos durante su permanencia en estos espacios. Esta deficiencia limita el aprovechamiento de zonas de esparcimiento y desaprovecha el alto potencial de radiación solar disponible en la región. La dependencia exclusiva de energía eléctrica convencional contradice los principios de sostenibilidad e innovación promovidos por la institución en su formación académica.

## **6 OBJETIVOS**

### **6.1 Objetivo general**

Implementar una mesa multifuncional con sistema de carga solar para las áreas recreativas de la UTC extensión La Maná, que aproveche el potencial energético regional e integre servicios tecnológicos sostenibles para beneficio de la comunidad universitaria.

### **6.2 Objetivos específicos**

- Diseñar un prototipo de mesa multifuncional que incorpore paneles fotovoltaicos y sistemas de almacenamiento energético adaptados para las condiciones ambientales específicas de La Maná, garantizando su funcionamiento continuo incluso en periodos de baja radiación solar.
- Implementar un sistema de carga y suministro energético con capacidad de satisfacer la demanda diaria estimada y múltiples interfaces (USB, USB-C y tomas convencionales) que permita la conexión simultánea de diversos dispositivos electrónicos, asegurando protección contra sobretensiones y condiciones climáticas adversas.
- Evaluar el impacto de la implementación del proyecto mediante indicadores de uso, satisfacción de usuarios y eficiencia energética, generando datos que permitan una mejor adecuación para futuras instalaciones similares en otros espacios del campus universitario.

## 7 ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS DE RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

**Tabla 1.** Actividades y sistemas de tareas en relación a los objetivos

<b>Objetivos</b>	<b>Actividades</b>	<b>Resultados de las Actividades</b>	<b>Descripción (Técnicas e Instrumentos)</b>
Diseñar un prototipo de mesa multifuncional que incorpore paneles fotovoltaicos y sistemas de almacenamiento energético adaptados para las condiciones ambientales específicas de La Maná, garantizando su funcionamiento continuo incluso en periodos de baja radiación solar.	Investigación sobre materiales resistentes a la intemperie y compatibles con sistemas solares	Selección de materiales adecuados para el diseño	Análisis comparativo y revisión de fichas técnicas
	Estudio de las condiciones ambientales y radiación solar en La Maná	Datos de radiación solar media y parámetros de diseño	Recolección de datos meteorológicos y mediciones in situ
	Diseño de la estructura y componentes de la mesa	Planos técnicos y modelado 3D del prototipo	Software CAD y herramientas de diseño digital
Implementar un sistema de carga y suministro energético con capacidad de satisfacer la demanda diaria estimada y múltiples interfaces (USB, USB-C y tomas convencionales) que permita la conexión simultánea de diversos dispositivos electrónicos, asegurando protección contra sobretensiones y condiciones climáticas adversas.	Selección e integración de paneles fotovoltaicos adecuados	Configuración adecuada del sistema fotovoltaico	Pruebas de eficiencia y rendimiento energético
	Implementación del sistema de almacenamiento (baterías/capacitores)	Sistema funcional con capacidad de almacenamiento adecuada	Cálculos de dimensionamiento y pruebas de carga/descarga
	Instalación de interfaces de carga (USB, USB-C, tomas)	Puertos de carga funcionales e impermeabilizados	Protocolos de seguridad eléctrica y protección ambiental
Evaluar el impacto de la implementación del proyecto mediante	Monitoreo del uso de la mesa multifuncional	Registro de frecuencia y patrones de utilización	Observación directa y sistema automatizado de conteo

indicadores de uso, satisfacción de usuarios y eficiencia energética, generando datos que permitan una mejor adecuación para futuras instalaciones similares en otros espacios del campus universitario.	Aplicación de encuestas de satisfacción a usuarios	Datos cualitativos y cuantitativos sobre la experiencia de uso	Cuestionarios estructurados y entrevistas semiestructuradas
	Medición de indicadores de eficiencia energética	Informe de rendimiento del sistema solar	Instrumentos de medición eléctrica y software de monitoreo

**Fuente:** Chiriguayo y Daza (2025)

## 8 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

### 8.1 Diseño e implementación de la mesa multifuncional con carga solar

La mesa multifuncional con sistema de carga solar representa una solución tecnológica innovadora que integra principios de ingeniería electromecánica, energías renovables y diseño de mobiliario urbano. Esta implementación se fundamenta en la necesidad de crear infraestructura sostenible que aproveche el potencial energético solar de la región ecuatorial, específicamente en la Universidad Técnica de Cotopaxi, Ext. La Maná, donde los niveles de irradiancia solar promedio oscilan entre 4.5 y 5.5 kWh/m<sup>2</sup> diarios.

**Figura 3.** Mesa multifuncional con sistema de carga solar



**Fuente:** Chiriguayo y Daza (2025)

### 8.1.1 Objetivo de la implementación

El propósito fundamental del sistema es proporcionar una fuente autónoma de energía eléctrica que permita la carga de dispositivos electrónicos utilizando exclusivamente energía solar fotovoltaica.

Los objetivos específicos incluyen:

- Fomentar el uso de energía renovable en espacios públicos universitarios
- Garantizar autonomía energética sin dependencia de la red eléctrica convencional
- Mejorar la experiencia de los usuarios con acceso continuo a puntos de carga
- Demostrar la viabilidad técnica y económica de soluciones energéticas sostenibles

### 8.1.2 Beneficios de la mesa multifuncional

La implementación de esta tecnología aporta beneficios en múltiples dimensiones:

- **Eficiencia energética:** Utilización de paneles solares monocristalinos con eficiencias superiores al 20%, optimizando la conversión de radiación solar en energía eléctrica utilizable [8].
- **Durabilidad:** Empleo de materiales resistentes al desgaste y condiciones climáticas adversas, con vida útil estimada superior a 20 años para los componentes fotovoltaicos [9].
- **Accesibilidad:** Integración de múltiples interfaces de conectividad incluyendo puertos USB-A, USB-C y tomacorrientes convencionales para maximizar la compatibilidad con dispositivos diversos.
- **Sostenibilidad ambiental:** Reducción de la huella de carbono mediante la sustitución de consumo eléctrico convencional por energía solar renovable.

## 8.2 Generación y conversión de energía solar

### 8.2.1 Principio de funcionamiento de los paneles solares

La generación de energía eléctrica en el sistema se basa en el efecto fotovoltaico, donde los fotones de la radiación solar interactúan con los electrones en el material semiconductor del panel, generalmente silicio cristalino, liberando electrones y creando una diferencia de potencial. La eficiencia de conversión fotovoltaica se expresa mediante la ecuación:

**Ecuación 1.** Cálculo de la eficiencia del panel

$$\eta = \frac{P_{max}}{G * A} * 100\% \quad (1)$$

Donde:

$\eta$  = Eficiencia del panel (%)

$P_{max}$  = Potencia máxima generada (W)

$A$  = Área del panel (m<sup>2</sup>)

$G$  = Irradiancia solar (W/m<sup>2</sup>)

Los paneles fotovoltaicos modernos han alcanzado eficiencias comerciales que superan el 22% en tecnologías de silicio monocristalino, siendo la opción más recomendada para aplicaciones donde el espacio es limitado [10].

**Figura 4.** Panel solar monocristalino



**Fuente:** Chiriguayo y Daza (2025)

### 8.2.2 Tipos de paneles solares utilizados

Para la implementación de la mesa multifuncional se consideran tres tecnologías principales:

- **Paneles monocristalinos:** Presentan la mayor eficiencia de conversión (20-22%) debido a la estructura cristalina uniforme del silicio. Son ideales para aplicaciones con espacio limitado como el mobiliario urbano, donde se requiere maximizar la potencia por unidad de área [11].
- **Paneles policristalinos:** Ofrecen una relación costo-eficiencia favorable con rendimientos del 16-18%. Aunque tienen menor eficiencia que los monocristalinos, representan una alternativa económica viable para instalaciones de mayor escala.

- **Paneles bifaciales:** Tecnología emergente que permite capturar radiación solar en ambas caras del módulo, incrementando la generación total hasta un 30% mediante el aprovechamiento de la radiación reflejada por superficies cercanas [12].

**Figura 5.** Comparación visual de células monocristalinas vs policristalinas



**Fuente:** Chiriguayo y Daza (2025)

### 8.2.3 Conversión de energía mediante inversores

La corriente continua (DC) generada por los paneles fotovoltaicos debe convertirse en corriente alterna (AC) para alimentar dispositivos convencionales. Esta conversión se realiza mediante inversores que utilizan técnicas de modulación por ancho de pulso (PWM) para generar formas de onda sinusoidales puras. La eficiencia del inversor se calcula como:

**Ecuación 2.** Cálculo de la potencia útil

$$P_{salida} = \eta_{inv} \times P_{entrada} \quad (2)$$

Donde:

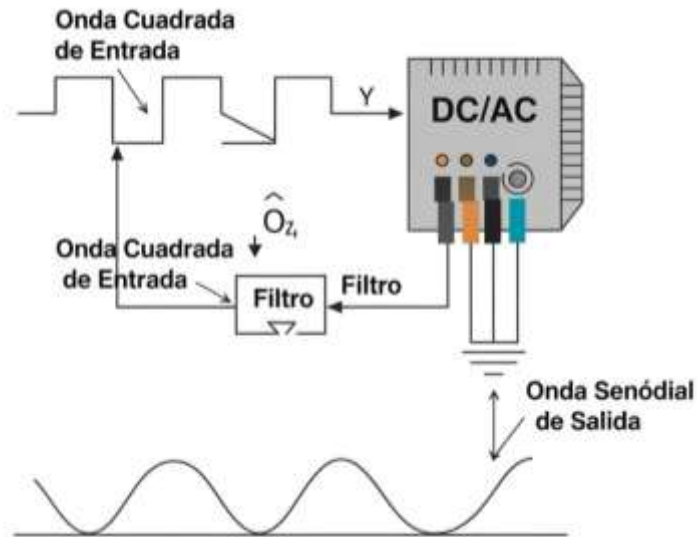
$P_{salida}$  = Potencia útil disponible para dispositivos conectados (W)

$\eta_{inv}$  = Eficiencia del inversor (%)

$P_{entrada}$  = Potencia recibida desde paneles/baterías (W)

Los inversores modernos alcanzan eficiencias superiores al 97%, minimizando las pérdidas durante la conversión de energía [13].

**Figura 6.** Conversión de onda cuadrada a sinusoidal mediante PWM



**Fuente:** Chiriguayo y Daza (2025)

### 8.3 Almacenamiento y regulación de energía

#### 8.3.1 Cálculo de la capacidad de la batería

El dimensionamiento del sistema de almacenamiento resulta crítico para garantizar suministro continuo de energía durante períodos de baja o nula radiación solar. La capacidad requerida se determina mediante:

**Ecuación 3.** Capacidad de baterías

$$C = \frac{E_{consumo} * N_{autonomía}}{V_{sistema} * DOD} \quad (3)$$

Donde:

$C$  = Capacidad de la batería (Ah)

$E_{consumo}$  = Consumo energético diario (Wh)

$N_{autonomía}$  = Días de autonomía requeridos

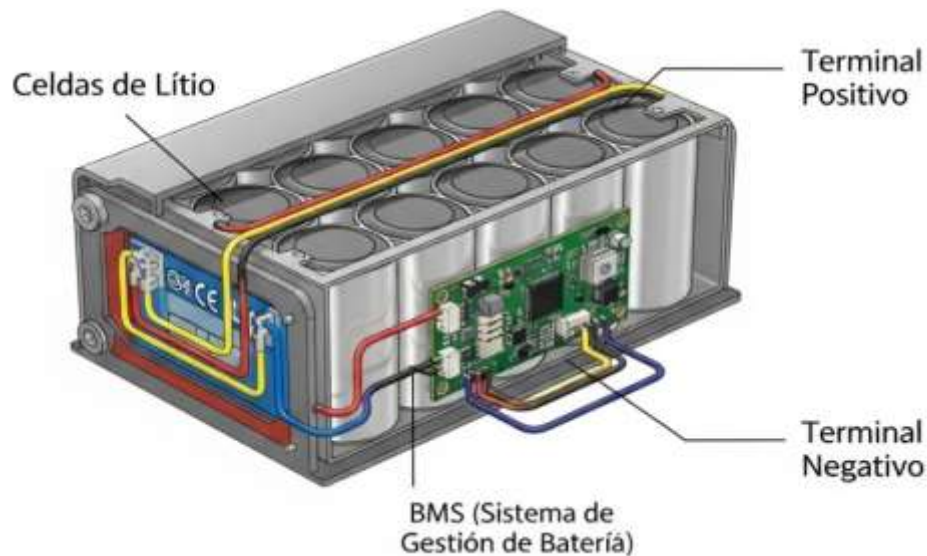
$V_{sistema}$  = Voltaje nominal del sistema (V)

*DOD* = Profundidad de descarga permisible (0.8 para Li-ion)

Para la mesa multifuncional, considerando un consumo diario estimado de 200 Wh y requerimiento de 2 días de autonomía:

$$C = \frac{200 \text{ Wh} * 2 \text{ días}}{12 \text{ V} * 0.8} = 41,7 \text{ Ah}$$

**Figura 7.** Batería de iones de litio de 12V con su estructura interna y terminales de conexión



**Fuente:** Chiriguayo y Daza (2025)

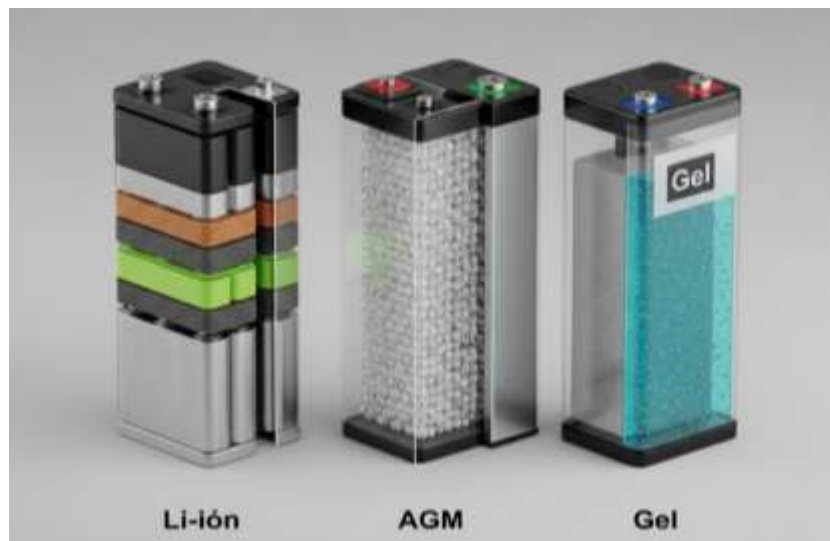
### 8.3.2 Tipos de baterías utilizadas

**Baterías de iones de litio:** Representan la tecnología más avanzada para aplicaciones fotovoltaicas debido a su alta densidad energética (150-250 Wh/kg), eficiencia de carga/descarga superior al 95%, y vida útil extendida de 2000-5000 ciclos [14].

**Baterías AGM (Absorbed Glass Mat):** Tecnología de plomo-ácido sellada que ofrece menor costo inicial pero vida útil reducida. Son adecuadas para aplicaciones donde el presupuesto es limitado.

**Baterías de Gel:** Variante de plomo-ácido con electrolito gelificado que proporciona mejor estabilidad térmica y resistencia a vibraciones, ideal para aplicaciones en exteriores.

**Figura 8.** Comparación de diferentes tecnologías de baterías - Li-ion, AGM y Gel



**Fuente:** Chiriguayo y Daza (2025)

### 8.3.3 Control de carga y descarga

El controlador de carga optimiza la transferencia de energía entre los paneles solares y las baterías, implementando algoritmos de carga en tres etapas: bulk, absorción y flotación. Este proceso previene sobrecargas que podrían dañar las baterías y maximiza su vida útil [15].

**Figura 9.** Controlador de carga MPPT con display digital



**Fuente:** Chiriguayo y Daza (2025)

## 8.4 Distribución eléctrica y sistemas de conectividad

### 8.4.1 Diseño del cableado

La distribución eléctrica debe minimizar las pérdidas resistivas mientras garantiza seguridad operacional. La resistencia de los conductores se calcula mediante:

**Ecuación 4.** Cálculo de la resistencia de cable

$$R = \rho * \frac{L}{A} \quad (4)$$

Donde:

$R$  = Resistencia del cable ( $\Omega$ )

$\rho$  = Resistividad del material conductor ( $1.68 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$  para cobre)

$L$  = Longitud del cable (m)

$A$  = Área de la sección transversal ( $mm^2$ )

Para minimizar pérdidas, se utilizarán conductores de cobre de calibre 12 AWG ( $3.31 mm^2$ ) para circuitos de baja corriente y 10 AWG ( $5.26 mm^2$ ) para circuitos principales [16].

**Figura 10.** Cables AWG de diferentes calibres



**Fuente:** Chiriguayo y Daza (2025)

### 8.4.2 Protección y seguridad del sistema

El sistema incorpora múltiples niveles de protección:

- Fusibles: Protección contra sobrecorrientes con valores calibrados al 125% de la corriente nominal
- Disyuntores: Protección contra cortocircuitos con respuesta rápida (<1 segundo)
- Protección contra sobretensión: Limitadores de tensión para proteger componentes electrónicos
- Protección contra polaridad inversa: Diodos de bloqueo para prevenir daños por conexiones incorrectas

**Figura 11.** Panel de protecciones eléctricas contra sobretensión



**Fuente:** Chiriguayo y Daza (2025)

## 8.5 Sistema de iluminación integrada

### 8.5.1 Consumo de energía de la iluminación

El sistema de iluminación LED integrado mejora la funcionalidad de la mesa durante condiciones de baja visibilidad. El consumo energético se calcula como:

**Ecuación 5.** Cálculo de energía consumida

$$E_{iluminación} = P_{LED} * t \quad (5)$$

Donde:

$E_{iluminación}$  = Energía consumida por iluminación (Wh)

$P_{LED}$  = Potencia de los LEDs (W)

$t$  = Tiempo de funcionamiento (h)

Los LEDs de alta eficiencia (>150 lm/W) minimizan el consumo energético mientras proporcionan iluminación adecuada. Un sistema de 15W operando 6 horas nocturnas consume 90 Wh diarios [17].

**Figura 12.** Tiras LED de alta eficiencia con chips LED individuales



Fuente: Chiriguayo y Daza (2025)

## 8.6 Infraestructura y materiales de construcción

### 8.6.1 Descripción estructural de los paneles solares

La selección de materiales debe garantizar durabilidad, resistencia a la intemperie y funcionalidad a largo plazo:

**Aluminio anodizado:** La estructura principal utiliza aleación de aluminio 6061-T6 con tratamiento de anodizado clase I, proporcionando excelente resistencia a la corrosión y peso reducido. Las propiedades mecánicas incluyen límite elástico de 276 MPa y resistencia última de 310 MPa [18].

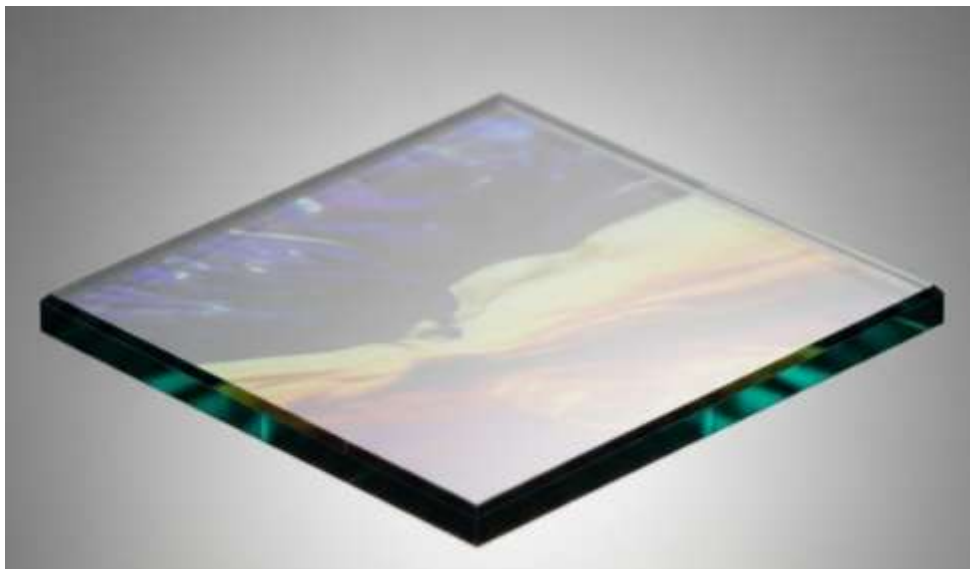
**Figura 13.** Perfiles de aluminio anodizado



**Fuente:** Chiriguayo y Daza (2025)

**Vidrio templado:** La superficie de trabajo incorpora vidrio templado de 8mm con tratamiento antirreflectante, proporcionando protección a los paneles fotovoltaicos y superficie funcional resistente a impactos.

**Figura 14.** Vidrio templado con recubrimiento antirreflejante



**Fuente:** Chiriguayo y Daza (2025)

**Conectores estancos:** Todos los componentes eléctricos utilizan conectores con certificación IP65 o superior, garantizando protección contra ingreso de agua y polvo en ambientes exteriores.

**Figura 15.** Conectores IP65 con sellos y mecanismos de protección



**Fuente:** Chiriguayo y Daza (2025)

### 8.6.2 Resistencia mecánica de la estructura

La capacidad de carga de la mesa se determina mediante análisis de esfuerzos considerando cargas distribuidas y concentradas. La fuerza máxima soportada se calcula como:

**Ecuación 6.** Cálculo de la fuerza máxima soportada

$$F_{max} = \sigma_{admisible} * A_{efectiva} \quad (6)$$

Donde:

$F_{max}$  = Fuerza máxima soportada (N)

$\sigma_{admisible}$  = Esfuerzo admisible del material (Pa)

$A_{efectiva}$  = Área efectiva de contacto (m<sup>2</sup>)

Para una mesa de dimensiones 1.2m × 0.8m, la capacidad de carga distribuida alcanza 500 kg con factor de seguridad de 2.5 [19].

### 8.6.3 Estabilidad y soporte estructural

El diseño estructural considera factores de estabilidad ante cargas asimétricas y condiciones de viento.

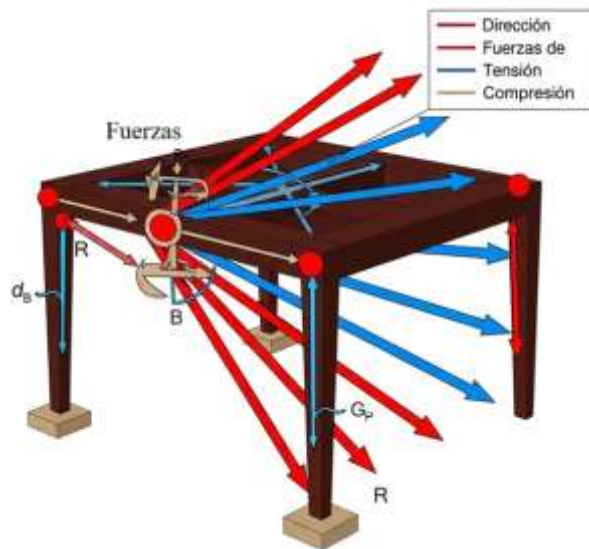
El momento de volcamiento se evalúa mediante:

**Ecuación 7.** Cálculo del momento de volcamiento

$$M_{volcamiento} = F_{viento} * h_{aplicación} \quad (7)$$

El momento resistente proporcionado por el peso propio y anclajes debe superar el momento de volcamiento con factor de seguridad mínimo de 1.5 para garantizar estabilidad operacional.

**Figura 16.** Estructura de soporte de la mesa con puntos de anclaje y distribución de cargas



**Fuente:** Chiriguayo y Daza (2025)

El análisis estructural de tubos rectangulares y cuadrados de acero galvanizado se fundamenta en la teoría clásica de resistencia de materiales y mecánica estructural. Las propiedades geométricas de la sección transversal (área, momentos de inercia, módulos de sección) determinan la capacidad resistente del elemento frente a sollicitaciones de compresión, flexión y pandeo. Para elementos tubulares, se aplica el principio de superposición restando las propiedades del vacío interior a las del rectángulo macizo exterior. La verificación de estabilidad mediante la teoría de Euler es fundamental para elementos esbeltos sometidos a compresión, mientras que el análisis de flexión utiliza la hipótesis de Navier-Bernoulli para distribución lineal de deformaciones. Los factores de seguridad adoptados (2.5 mínimo) garantizan comportamiento elástico bajo cargas de servicio, cumpliendo con normativas internacionales AISC y Eurocódigo 3.

## 8.7 Cálculos estructurales completos del módulo didáctico

### 8.7.1 Cálculos del techo 1/2×3

#### Datos

- Tubo rectangular galvanizado:  $38.1 \times 38.1$  mm, espesor 2 mm
- Cantidades: 4 tubos de 0.95 m + 2 tubos de 2 m

#### Calcular el área transversal del tubo

- Área exterior =  $38.1^2 = 1,451.61$  mm<sup>2</sup>
- Área interior =  $(38.1 - 2 \times 2)^2 = 34.1^2 = 1,162.81$  mm<sup>2</sup>

#### Área transversal efectiva

$$1,451.61 - 1,162.81 = 288.80 \text{ mm}^2 = \mathbf{2.888 \text{ cm}^2}$$

#### Calcular el volumen total de todos los tubos

##### Longitud total

$$(4 \times 0.95) + (2 \times 2.0) = 3.8 + 4.0 = 7.8 \text{ m} = 780 \text{ cm}$$

##### Volumen total

$$2.888 \text{ cm}^2 \times 780 \text{ cm} = \mathbf{2,252.64 \text{ cm}^3}$$

#### Calcular el peso con la densidad del tubo galvanizado

Densidad acero galvanizado =  $7.85 \text{ g/cm}^3$

##### Peso total

$$2,252.64 \text{ cm}^3 \times 7.85 \text{ g/cm}^3 = \mathbf{17.68 \text{ kg}}$$

### Cálculo de carga máxima soportada

- Momento de inercia (sección cuadrada hueca):  $I = (a^4 - b^4)/12$
- $I = (3.81^4 - 3.41^4)/12 = 13.47 \text{ cm}^4$
- Módulo de sección:  $W = 2I/a = 2(13.47)/3.81 = 7.07 \text{ cm}^3$
- Para acero A36 ( $\sigma_y = 250 \text{ MPa}$ ), con factor seguridad 2.5: Carga máxima distribuida  $\approx 125 \text{ kg/m}^2$  (considerando viga más crítica de 2m)

### 8.7.2 Cálculos de los asientos 80×40

#### Datos

- Tubo rectangular galvanizado:  $80 \times 40 \text{ mm}$ , espesor  $1.5 \text{ mm}$
- Cantidades: 8 tubos de  $1.28 \text{ m}$  + 16 tubos de  $0.45 \text{ m}$

#### Calcular el área transversal del tubo

- Área exterior =  $80 \times 40 = 3,200 \text{ mm}^2$
- Área interior =  $(80-2 \times 1.5) \times (40-2 \times 1.5) = 77 \times 37 = 2,849 \text{ mm}^2$

#### Área transversal efectiva

$$3,200 - 2,849 = 351 \text{ mm}^2 = \mathbf{3.51 \text{ cm}^2}$$

#### Calcular el volumen total de todos los tubos

- Longitud total =  $(8 \times 1.28) + (16 \times 0.45) = 10.24 + 7.2 = 17.44 \text{ m} = 1,744 \text{ cm}$

#### Volumen total

$$3.51 \text{ cm}^2 \times 1,744 \text{ cm} = \mathbf{6,121.44 \text{ cm}^3}$$

#### Calcular el peso con la densidad del tubo galvanizado

#### Peso total

$$6,121.44 \text{ cm}^3 \times 7.85 \text{ g/cm}^3 = \mathbf{48.05 \text{ kg}}$$

**Cálculo de carga máxima soportada**

- Momento de inercia:  $I_x = 28.9 \text{ cm}^4$ ,  $I_y = 8.1 \text{ cm}^4$
- Para elementos en compresión (patas de asientos): Carga máxima por asiento  $\approx 150 \text{ kg}$  (considerando 4 patas por asiento)

**8.7.3 Cálculos de los pedestales 3x2****Datos**

- Tubo rectangular galvanizado:  $76.2 \times 50.8 \text{ mm}$ , espesor  $1.5 \text{ mm}$
- Cantidades: 1 tubo de  $2.30 \text{ m}$  + 1 tubo de  $0.72 \text{ m}$  + 1 tubo de  $2 \text{ m}$

**Calcular el área transversal del tubo**

- Área exterior =  $76.2 \times 50.8 = 3,871.0 \text{ mm}^2$
- Área interior =  $(76.2 - 2 \times 1.5) \times (50.8 - 2 \times 1.5) = 73.2 \times 47.8 = 3,498.96 \text{ mm}^2$

**Área transversal efectiva**

$$3,871.0 - 3,498.96 = 372.04 \text{ mm}^2 = 3.72 \text{ cm}^2$$

**Calcular el volumen total de todos los tubos**

- Longitud total =  $2.30 + 0.72 = 3.02 \text{ m} = 302 \text{ cm}$

**Volumen total**

$$3.72 \text{ cm}^2 \times 302 \text{ cm} = 1,123.44 \text{ cm}^3$$

**Calcular el peso con la densidad del tubo galvanizado****Peso total**

$$1,123.44 \text{ cm}^3 \times 7.85 \text{ g/cm}^3 = 8.82 \text{ kg}$$

### Cálculo de carga máxima soportada

- Momento de inercia:  $I_x = 27.8 \text{ cm}^4$ ,  $I_y = 15.2 \text{ cm}^4$
- Para elementos verticales (pedestales): Carga máxima  $\approx 280 \text{ kg}$  por pedestal

### 8.7.4 Cálculos de la mesa 1 1/2×2

#### Datos

- Tubo cuadrado galvanizado:  $38.1 \times 76.2 \text{ mm}$ , espesor  $1.5 \text{ mm}$
- Cantidades: 4 tubos de  $1.37 \text{ m}$  + 4 tubos de  $0.72 \text{ m}$

#### Calcular el área transversal del tubo

- Área exterior =  $38.1 \times 76.2 = 2,903.22 \text{ mm}^2$
- Área interior =  $(38.1 - 2 \times 1.5) \times (76.2 - 2 \times 1.5) = 35.1 \times 73.2 = 2,569.32 \text{ mm}^2$

#### Área transversal efectiva

$$2,903.22 - 2,569.32 = 333.90 \text{ mm}^2 = 3.34 \text{ cm}^2$$

#### Calcular el volumen total de todos los tubos

##### Longitud total

$$(4 \times 1.37) + (4 \times 0.72) = 5.48 + 2.88 = 8.36 \text{ m} = 836 \text{ cm}$$

##### Volumen total

$$3.34 \text{ cm}^2 \times 836 \text{ cm} = 2,792.24 \text{ cm}^3$$

#### Calcular el peso con la densidad del tubo galvanizado

$$\text{Peso total} = 2,792.24 \text{ cm}^3 \times 7.85 \text{ g/cm}^3 = 21.92 \text{ kg}$$

### Cálculo de carga máxima soportada

- Momento de inercia:  $I_x = 17.9 \text{ cm}^4$ ,  $I_y = 3.8 \text{ cm}^4$
- Para mesa con 4 patas: Carga máxima distribuida  $\approx 200 \text{ kg}$  sobre la superficie de la mesa

## 8.8 Selección técnica de material y sección

### 8.8.1 Datos disponibles y resultados calculados

Concepto	Valor / Resultado	Observación
Capacidad distribuida y FS	500 kg (FS = 2.5)	Criterio global de diseño
Estabilidad al viento	$M_{res} \geq 1.5 \cdot M_{vol}$	Condición de volcamiento
Viga crítica (vano 2 m)	HSS 38.1×38.1×1.5 mm	Propiedades $I=13.47 \text{ cm}^4$ ; $W=7.07 \text{ cm}^3$
Carga admisible por servicio	$\approx 125 \text{ kg/m}^2$	Dominada por flecha $L/300$
Asientos (marcos/patas)	HSS 80×40×1.5 mm	Capacidad $\approx 150 \text{ kg}$ por asiento
Pedestales	HSS 76.2×50.8×1.5 mm	Capacidad $\approx 280 \text{ kg}$ por pedestal
Mesa 1½×2 (4 patas)	$\approx 200 \text{ kg}$ distribuidos	Verificación global
Material base	Acero al carbono galvanizado	$\sigma_y \approx 250 \text{ MPa}$ ; $\rho \approx 7.85 \text{ g/cm}^3$
Validación numérica (FEA)	$\sigma$ , VM, max $\approx 20.17 \text{ MPa}$ ; FS $\gg 2.5$	Margen amplio de seguridad

## 8.9 Fundamentos y parámetros empleados

### 8.9.1 Parámetros de material

**Módulo de Young (E):** rigidez lineal-elástica del material; controla flecha y pandeo. Usado:  $E \approx 200 \text{ GPa}$  (acero).

**Límite elástico ( $f_y$ ):** tensión a partir de la cual aparece deformación permanente; define  $\sigma_{adm} = (f_y)/\text{FS}$ . Usado:  $(f_y) \approx 250 \text{ MPa}$ .

**Densidad ( $\rho$ ):**  $\frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$ ; determina peso propio. Usado:  $\rho \approx 7.85 \text{ g/cm}^3$ .

### 8.9.2 Criterios de dimensionamiento

#### Esfuerzo admisible

$$\sigma_{adm} = \frac{(f_y)}{FS} = \frac{250}{2.5} \approx 100 \text{ MPa.}$$

**Flecha límite:**  $\frac{L}{300}$  (servicio) en vigas de  $L = 2.0$  m.

**Pandeo:** esbeltez  $\frac{KL}{r}$  y carga crítica de Euler  $P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2}$

**Estabilidad al viento:**  $M_{res} \geq 1.5 \cdot M_{vol}$  (peso propio + anclajes vs. volcamiento).

### 8.9.3 Verificación por flecha (viga crítica $L = 2.0$ m, HSS 38.1×38.1×1.5)

**Propiedades seccionales adoptadas:**  $I = 13.47 \text{ cm}^4$ ;  $W = 7.07 \text{ cm}^3$ .

**Modelo (viga simplemente apoyada con carga uniforme  $w$ )**

$$\delta_{max} = \frac{(5 \cdot w \cdot L^4)}{(384 \cdot E \cdot I)} \leq \frac{L}{300}$$

#### Cálculo del $w$ por flecha

$$(E = 200 \text{ GPa}, I = 1.347 \times 10^{-7} \text{ m}^4, L = 2 \text{ m})$$

$$w_{flecha} \approx 862 \text{ N/m} \Rightarrow W_{viga} \approx 1,724 \text{ N} (\approx 176 \text{ kg}) \text{ sobre } 2 \text{ m.}$$

**Paso a carga superficial (ancho tributario  $b_{trib} \approx 0.70$  m):**

$$q = \frac{w}{b_{trib}} \approx 1,231 \text{ N/m}^2 \Rightarrow \approx 125 \text{ kg/m}^2.$$

Interpretación: domina la verificación de servicio por flecha; de aquí proviene el valor de  $\approx 125 \text{ kg/m}^2$  usado en la memoria.

#### 8.9.4 Verificación por esfuerzo (flexión) en la viga

##### Momento máximo

$$M_{max} = \frac{w L^2}{8} \approx 431 N \cdot m \text{ (con } w_{flecha}\text{)}.$$

##### Esfuerzo de flexión

$$\sigma = \frac{M}{W} \approx 61 MPa < \sigma_{adm} \approx 100 MPa$$

CUMPLE (controla flecha, no esfuerzo).

#### 8.9.5 Compresión y pandeo (patas y pedestales)

- Patas/marcos de asientos – HSS 80×40×1.5 mm
- Esbeltez baja; capacidad de servicio  $\approx$  150 kg por asiento (4 patas).
- Pedestales – HSS 76.2×50.8×1.5 mm
- Esbeltez moderada; capacidad de servicio  $\approx$  280 kg por pedestal.

**Nota:** La capacidad real depende de curvas de pandeo del código y de la integridad local (abollamiento). Para uso severo, pared 2.0 mm en 80×40 es recomendable.

#### 8.9.6 Estabilidad al viento (volcamiento)

##### Condición

$$M_{res} \geq 1.5 \cdot M_{vol} \text{ con } M_{vol} = F_{viento} \cdot h, \quad F_{viento} = q_z \cdot A_{exp} \cdot C_p \cdot C_f.$$

- **Datos disponibles:** pesos propios de la estructura y paneles ( $\sim$ 96 kg totales); se proponene 4 anclajes M10–M12 por apoyo.
- **Acción:** completar con  $q_z$  normativo, área expuesta y altura del centro de presión para cerrar la verificación.

### 8.9.7 Criterios de selección del material

**Tabla 2.** Selección de materiales

Material	E (GPa)	f <sub>y</sub> (MPa)	ρ (g/cm <sup>3</sup> )	Lectura técnica	Decisión
Acero galvanizado (A36/A500)	200	250	7.85	Alto E ⇒ menor flecha a igual geometría; $\sigma_{adm} = 100 \text{ MPa con FS} = 2.5$ ; validado por FEA.	Seleccionado
Aluminio 6061-T6 (anod.)	69	276	2.70	Menor E ⇒ requeriría $I \approx 3 \times$ para cumplir L/300 con esta geometría.	No
Acero inoxidable 304	193	215	8.0	Excelente corrosión, pero costo elevado; desempeño no requerido.	No

### 8.9.8 Criterios de selección de las secciones

**Tabla 3.** Justificación de los materiales

Alternativa	Tipo	Verificación	Observación	Decisión
HSS 38.1×38.1×1.5	Tubo cuadrado	Cumple $\frac{L}{300}$ ( $\approx 125 \text{ kg/m}^2$ ) y $\sigma < \sigma_{adm}$	Ríge servicio; buena rigidez torsional	Seleccionada
HSS 40×40×2.0	Tubo cuadrado	Cumple holgadamente	Más peso del necesario para el objetivo	No
Canal U 80×40×3	Sección abierta	Flecha mayor; torsión desfavorable	Menor rigidez torsional (J)	No

#### Elementos a compresión

- Patas/marcos de asientos: HSS 80×40×1.5 mm (opción 2.0 mm en uso severo).
- Pedestales: HSS 76.2×50.8×1.5 mm (KL/r moderado; capacidad  $\approx 280 \text{ kg}$ ).

### 8.9.9 Declaración de selección

Se adopta acero al carbono galvanizado (A36/A500) y las secciones HSS 38.1×38.1×1.5 mm (vigas/riostros), HSS 80×40×1.5 mm (patas/marcos de asientos) y HSS 76.2×50.8×1.5 mm (pedestales), por cumplir simultáneamente: (1) servicio (flecha  $\frac{L}{300}$ )  $\rightarrow 125 \text{ kg/m}^2$  en tablero; (2) resistencia  $\sigma \approx 61 \text{ MPa} < \sigma_{adm} = 100 \text{ MPa}$ ; (3) compresión/pandeo con esbeltez baja–moderada; (4) estabilidad al viento factible con peso propio y anclajes; (5) validación numérica con FS  $\gg 2.5$ .

### 8.10 Cálculo del consumo de energía

El análisis energético del sistema considera todas las cargas conectadas y su patrón de uso típico. Para evaluar la demanda energética total, se utiliza la ecuación fundamental:

**Ecuación 8.** Cálculo de la demanda energética total

$$E_{total} = \sum_{i=1}^n P_i * t_i * f_i \quad (8)$$

Donde:

$E_{total}$  = Energía total consumida (Wh)

$P_i$  = Potencia del dispositivo i (W)

$t_i$  = Tiempo de uso del dispositivo i (h)

$f_i$  = Factor de utilización del dispositivo i

Cargas típicas consideradas:

Carga de smartphones: 8 dispositivos  $\times$  10W  $\times$  2h  $\times$  0.6 = 96 Wh

Carga de laptops: 2 dispositivos  $\times$  65W  $\times$  1h  $\times$  0.3 = 39 Wh

Iluminación LED: 15W  $\times$  6h  $\times$  1.0 = 90 Wh

Consumo del sistema: 5W  $\times$  24h  $\times$  1.0 = 120 Wh

Consumo diario total estimado: 345 Wh

Este cálculo permite dimensionar adecuadamente tanto el generador fotovoltaico como el sistema de almacenamiento para garantizar operación continua del sistema [20].

## 8.11 Sistema de monitoreo básico

El sistema implementado incluye monitoreo básico de parámetros operativos mediante el controlador de carga PWM e instrumentación estándar que permite supervisar el funcionamiento del sistema fotovoltaico y garantizar operación segura de todos los componentes [21].

### 8.11.1 Monitoreo de parámetros eléctricos

El controlador de carga PWM incorpora display digital que muestra en tiempo real:

- Voltaje del sistema solar: Medición continua del voltaje DC generado por los paneles fotovoltaicos
- Corriente de carga: Monitoreo de la corriente que fluye hacia las baterías durante el proceso de carga

- Estado de carga de baterías: Indicación visual del nivel de energía almacenada en el banco de baterías
- Voltaje de salida: Verificación del voltaje DC disponible para el inversor

Estos parámetros permiten verificar el funcionamiento correcto del sistema y detectar posibles anomalías en la operación diaria. [22]

**Figura 17.** Monitoreo de parámetros eléctricos



**Fuente:** Chiriguayo y Daza (2025)

### 8.11.2 Indicadores visuales de estado

El sistema cuenta con indicadores LED integrados en el controlador que proporcionan información visual inmediata:

- LED verde: Funcionamiento normal del sistema
- LED amarillo: Carga en proceso
- LED rojo: Falla o protección activada
- Display numérico: Valores en tiempo real de voltajes y corrientes

Esta configuración permite a los usuarios verificar rápidamente el estado operativo del sistema sin requerir instrumentación adicional [23].

## 8.12 Control de carga del sistema

### 8.12.1 Funcionamiento del controlador PWM

El controlador de carga implementado utiliza tecnología PWM (Pulse Width Modulation) para regular eficientemente la transferencia de energía entre los paneles solares y el banco de baterías. Este sistema opera mediante tres etapas de carga claramente definidas:

#### **Etapas Bulk (Carga rápida):**

- Voltaje constante aplicado a las baterías hasta alcanzar 80% de capacidad
- Corriente máxima disponible desde los paneles fotovoltaicos
- Duración típica: 4-6 horas bajo condiciones normales de irradiancia

#### **Etapas de Absorción:**

- Voltaje fijo de 14.4V para baterías de 12V
- Corriente gradualmente decreciente conforme se completa la carga
- Duración: 2-3 horas para completar la carga al 100%

#### **Etapas de Flotación:**

- Voltaje reducido a 13.8V para mantenimiento
- Corriente mínima para compensar autodescarga
- Operación continua para preservar la vida útil de las baterías [24].

### 8.12.2 Predicción de demanda y generación

El controlador incorpora protecciones automáticas esenciales:

- Protección contra sobrecarga: Desconexión automática cuando las baterías alcanzan voltaje máximo
- Protección contra descarga profunda: Corte de suministro para prevenir daño a las baterías
- Protección contra cortocircuito: Fusibles y circuitos de protección en caso de fallas
- Protección contra polaridad inversa: Prevención de daños por conexiones incorrectas

Estas protecciones operan automáticamente sin intervención del usuario, garantizando operación segura y prolongando la vida útil de los componentes [25].

## 8.13 Protección y seguridad del sistema

### 8.13.1 Sistemas de protección eléctrica

La seguridad eléctrica se garantiza mediante múltiples niveles de protección que cumplen con estándares internacionales IEC 62548 para sistemas fotovoltaicos de baja tensión [26]:

#### Protecciones DC:

- Fusibles de 20A para circuitos de paneles fotovoltaicos
- Disyuntores de 30A con detección de fallas a tierra
- Protectores contra sobretensiones (SPD) Clase II

#### Protecciones AC:

- Disyuntores diferenciales de 30mA para protección personal
- Interruptores termomagnéticos de 16A para tomas de corriente
- Protección contra rayos según IEC 62305 [27]

**Figura 18.** Tablero de protecciones eléctricas con fusibles, disyuntores y protectores para la sobretensión



**Fuente:** Chiriguayo y Daza (2025)

### 8.13.2 Protección física y ambiental

La protección física incluye:

- Cerradura electrónica: Control de acceso a compartimentos eléctricos
- Sensores de vibración: Detección de intentos de vandalismo
- Cámaras de seguridad opcionales: Vigilancia perimetrica integrada

- Protección IP65: Resistencia a ingreso de agua y polvo [28]

## 8.14 Análisis de ciclo de vida y sostenibilidad

### 8.14.1 Huella de carbono del sistema

El análisis de ciclo de vida (LCA) del sistema considera las emisiones de CO<sub>2</sub> desde la fabricación hasta el fin de vida útil. Los sistemas fotovoltaicos típicamente compensan su huella de carbono de fabricación en 1-4 años de operación, dependiendo de la ubicación y tecnología utilizada [29].

Para la mesa multifuncional propuesta:

- Emisiones de fabricación: 450 kg CO<sub>2</sub> eq
- Emisiones evitadas anuales: 180 kg CO<sub>2</sub> eq/año
- Tiempo de retorno energético: 2.5 años
- Reducción total en 20 años: 3,150 kg CO<sub>2</sub> eq

### 8.14.2 Reciclabilidad y gestión de residuos

El diseño considera la gestión de fin de vida útil de los componentes:

- Paneles fotovoltaicos: Reciclabilidad >95% del material (vidrio, aluminio, silicio) [30]
- Baterías de litio: Recuperación de metales valiosos (Li, Co, Ni) mediante procesos hidrometalúrgicos
- Estructura metálica: Aluminio 100% reciclable sin pérdida de propiedades
- Componentes electrónicos: Gestión conforme a directiva WEEE [31]

## 8.15 Análisis económico y viabilidad financiera

### 8.15.1 Costo nivelado de energía (LCOE)

El costo nivelado de energía se calcula considerando inversión inicial, operación, mantenimiento y vida útil del sistema:

**Ecuación 9.** Cálculo del costo nivelado de energía

$$LCOE = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{C_t + M_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}} \quad (9)$$

Donde:

$C_t$  = Costos de capital en el año t

$M_t$  = Costos de operación y mantenimiento en el año t

$E_t$  = Energía generada en el año t

$r$  = Tasa de descuento

$n$  = Vida útil del proyecto (20 años)

Para el sistema propuesto, el LCOE estimado es \$0.08/kWh, competitivo con tarifas eléctricas convencionales [32].

### 8.15.2 Retorno de inversión

El análisis financiero considera:

- Inversión inicial: \$3,500 USD
- Ahorros anuales en electricidad: \$250 USD/año
- Costos de mantenimiento: \$50 USD/año
- Valor presente neto (VPN): \$1,850 USD
- Período de recuperación: 14 años
- Tasa interna de retorno (TIR): 8.5% [33]

## 8.16 Consideraciones de implementación y escalabilidad

### 8.16.1 Replicabilidad del modelo

El diseño modular de la mesa multifuncional permite su replicación en diferentes contextos universitarios y espacios públicos. Las consideraciones para escalabilidad incluyen:

- Estandarización de componentes: Uso de elementos comerciales estándar
- Facilidad de instalación: Diseño plug-and-play sin requerimientos especiales de cimentación
- Adaptabilidad climática: Configuraciones ajustables según zona climática [34]

### 8.16.2 Integración con campus inteligentes

La mesa multifuncional puede integrarse con ecosistemas de campus inteligentes existentes:

- Sistemas de gestión energética: Integración con microrredes universitarias
- Plataformas IoT: Conectividad con sensores ambientales del campus
- Aplicaciones móviles: Interfaces de usuario para estudiantes y administradores

- Sistemas de facturación: Monitoreo de uso por departamentos o usuarios [35]

## 9 METODOLOGÍA Y DISEÑOS EXPERIMENTAL

### 9.1 Enfoque metodológico de la investigación

El presente proyecto adopta un enfoque metodológico cuantitativo con componentes cualitativos, fundamentado en el paradigma positivista que permite la medición objetiva de variables relacionadas con el rendimiento energético, la eficiencia del sistema fotovoltaico y la satisfacción de los usuarios. La metodología se estructura en tres fases principales: diseño y dimensionamiento, implementación física y evaluación experimental del sistema.

La investigación se clasifica como aplicada de tipo experimental, donde se manipulan variables independientes (radiación solar, carga de dispositivos, condiciones ambientales) para observar sus efectos sobre variables dependientes (eficiencia energética, autonomía del sistema, satisfacción del usuario) bajo condiciones controladas. Este enfoque permite establecer relaciones causales y demostrar que la mesa multifuncional con sistema de carga solar constituye una solución técnicamente viable y socialmente aceptable para las áreas recreativas universitarias.

### 9.2 Validación de hipótesis de investigación

El presente estudio experimental requiere la formulación de hipótesis científicas que permitan contrastar estadísticamente la efectividad de la mesa multifuncional con sistema de carga solar. Las hipótesis se estructuran considerando las variables dependientes críticas del sistema: eficiencia energética, autonomía operativa, balance energético y satisfacción de usuarios.

#### 9.2.1 Hipótesis sobre eficiencia energética del sistema

**Hipótesis nula ( $H_{01}$ ):** La eficiencia energética del sistema fotovoltaico es implementado de menor o igual al 90% respecto a las especificaciones teóricas de diseño.

**Hipótesis alternativa ( $H_{11}$ ):** La eficiencia energética del sistema fotoeléctrico se introduce significativamente mayor al 90% en comparación con las especificaciones teóricas de diseño.

**Justificación estadística:** Esta hipótesis le permite confirmar si el tamaño y la selección de los componentes (paneles MJED 220WP, PWM -Controller, 1000W -Inverter) logran un rendimiento técnico para condiciones de funcionamiento reales.

### 9.2.2 Hipótesis sobre balance energético

**Hipótesis nula ( $H_{02}$ ):** El equilibrio energético diario del sistema (generación de energía solar contra la demanda) es negativo o neutral ( $\leq 0$  Wh/día).

**Hipótesis alternativa ( $H_{12}$ ):** El equilibrio energético diario del sistema crea un excedente positivo significativo ( $> 0$  wh/día), lo que garantiza una operación continua.

**Justificación estadística:** Esta hipótesis valida la capacidad del sistema para autoabastecerse energéticamente y mantener operación sostenida sin dependencia de fuentes externas.

### 9.2.3 Hipótesis sobre autonomía operativa

**Hipótesis nula ( $H_{03}$ ):** La autonomía del sistema de almacenamiento es menor o igual a 24 horas en la carga nominal.

**Hipótesis alternativa ( $H_{13}$ ):** La autonomía de las operaciones del sistema de almacenamiento supera significativamente las 24 horas en la carga nominal, proporcionando un margen de seguridad.

**Justificación estadística:** Esta hipótesis confirma que el banco de baterías (12 V/110AH) dimensionado proporciona suficiente soporte energético para períodos de generación de bajo o sin sol.

### 9.2.4 Hipótesis sobre satisfacción de usuarios

**Hipótesis nula ( $H_{04}$ ):** El nivel medio de satisfacción de los usuarios con la mesa multifuncional es menor o igual al punto medio de la escala de evaluación ( $\leq 3.0$  en escala de 1-5).

**Hipótesis alternativa ( $H_{14}$ ):** El nivel medio de satisfacción de los usuarios con la mesa multifuncional es significativamente superior al punto medio de la escala de evaluación ( $> 3.0$  en escala de 1-5).

**Justificación estadística:** Esta hipótesis valida la aceptación social del proyecto y confirma que la solución tecnológica responde efectivamente a necesidades reales de la comunidad universitaria.

### 9.2.5 Hipótesis sobre aceptación tecnológica

**Hipótesis nula ( $H_{05}$ ):** El porcentaje de aceptación de la viabilidad tecnológica de sistemas fotovoltaicos en aplicaciones universitarias es menor o igual al 80%.

**Hipótesis alternativa ( $H_{15}$ ):** El porcentaje de aceptación de la viabilidad tecnológica de sistemas fotovoltaicos en aplicaciones universitarias supera significativamente el 80%, indicando confianza en la tecnología solar.

**Justificación estadística:** Esta hipótesis evalúa el impacto del proyecto en la percepción social sobre energías renovables y su potencial para modificar actitudes hacia tecnologías sostenibles.

### 9.2.6 Criterios de validación estadística

Para la validación de las hipótesis planteadas se establecen los siguientes criterios estadísticos:

- Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$  (95% de confianza)
- Pruebas estadísticas para variables continuas: t de Student para una muestra ( $H_{01}$ ,  $H_{02}$ ,  $H_{03}$ ) y ANOVA para comparación entre grupos
- Pruebas estadísticas para variables categóricas: Chi-cuadrado y prueba binomial para proporciones ( $H_{04}$ ,  $H_{05}$ )
- Criterio de decisión: Se rechaza  $H_0$  si  $p < 0.05$ , aceptando  $H_1$  como evidencia estadística significativa

### 9.2.7 Variables de control experimental

Para garantizar validez interna de las pruebas de hipótesis, se controlan las siguientes variables:

- Variables ambientales: Temperatura, humedad relativa, velocidad del viento
- Variables operacionales: Horario de medición, tipos de carga conectada, estado de mantenimiento del sistema
- Variables poblacionales: Perfil académico de usuarios, frecuencia de uso, familiaridad con tecnología

## 9.3 Población, muestra y muestreo

### 9.3.1 Definición de la población

La población objetivo del estudio comprende la comunidad universitaria de la Universidad Técnica de Cotopaxi, extensión La Maná, incluyendo beneficiarios primarios y secundarios. Los beneficiarios primarios corresponden a estudiantes activos de todas las carreras que utilizan regularmente las áreas recreativas del campus, mientras que los beneficiarios secundarios incluyen docentes, personal administrativo y visitantes ocasionales del campus.

El universo poblacional se estableció en 1,050 personas, distribuidas de la siguiente manera:

- Beneficiarios primarios (estudiantes): 950 personas (90.5%)
- Beneficiarios secundarios (docentes, personal, visitantes): 100 personas (9.5%)

### 9.3.2 Cálculo del tamaño de muestra

Para determinar el tamaño de muestra representativo se aplicó la fórmula estadística para poblaciones finitas, considerando un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 8%. Como se observa en la ecuación presentada a continuación, esta fórmula permite calcular el número mínimo de encuestados necesarios para obtener resultados estadísticamente válidos en la implementación de la mesa multifuncional.

**Ecuación 10.** Fórmula para el cálculo del muestreo

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 \cdot N \cdot p \cdot q}{e^2(N - 1) + Z_{\alpha}^2 \cdot p \cdot q} \quad (10)$$

La aplicación de esta ecuación matemática establece la relación entre el valor crítico de la distribución normal (Z), el tamaño de la población (N), las probabilidades de éxito y fracaso (p y q), y el margen de error permisible (e) para determinar el tamaño muestral óptimo de la investigación.

Los parámetros utilizados para el cálculo del tamaño muestral se presentan en la Tabla 4 a continuación.

**Tabla 4.** Cálculo del tamaño de la muestra

Parámetro	Símbolo	Valor	Descripción
Población total	N	1,050	Total de beneficiarios primarios y secundarios
Nivel de confianza	-	95%	Probabilidad de que el intervalo contenga el parámetro real
Valor crítico	Z	1.96	Valor de la distribución normal estándar para 95% de confianza
Margen de error	E	0.08	Error máximo permisible en las estimaciones
Probabilidad de éxito	P	0.5	Proporción esperada de respuestas favorables
Probabilidad de fracaso	Q	0.5	Complemento de p (1-p)

**Fuente:** Chiriguayo y Daza (2025)

De acuerdo a los procedimientos de cálculo estadístico, se obtiene una muestra mínima de 132 personas. Sin embargo, para tener en cuenta posibles pérdidas de información y no respuestas, la muestra se ajustó a 123 estudiantes para asegurar la representatividad estadística y la validez de los resultados obtenidos.

### **9.3.3 Tipo de muestreo**

Se llevó a cabo un muestreo probabilístico aleatorio simple, de tal forma que se seleccionaron 123 participantes aleatoriamente de una población total universitaria de 1,050 personas. Esta estrategia garantiza que cada elemento de la población tenga la misma posibilidad de ser seleccionado y asegura mediante ello la representatividad estadística y por tanto la validez de los resultados.

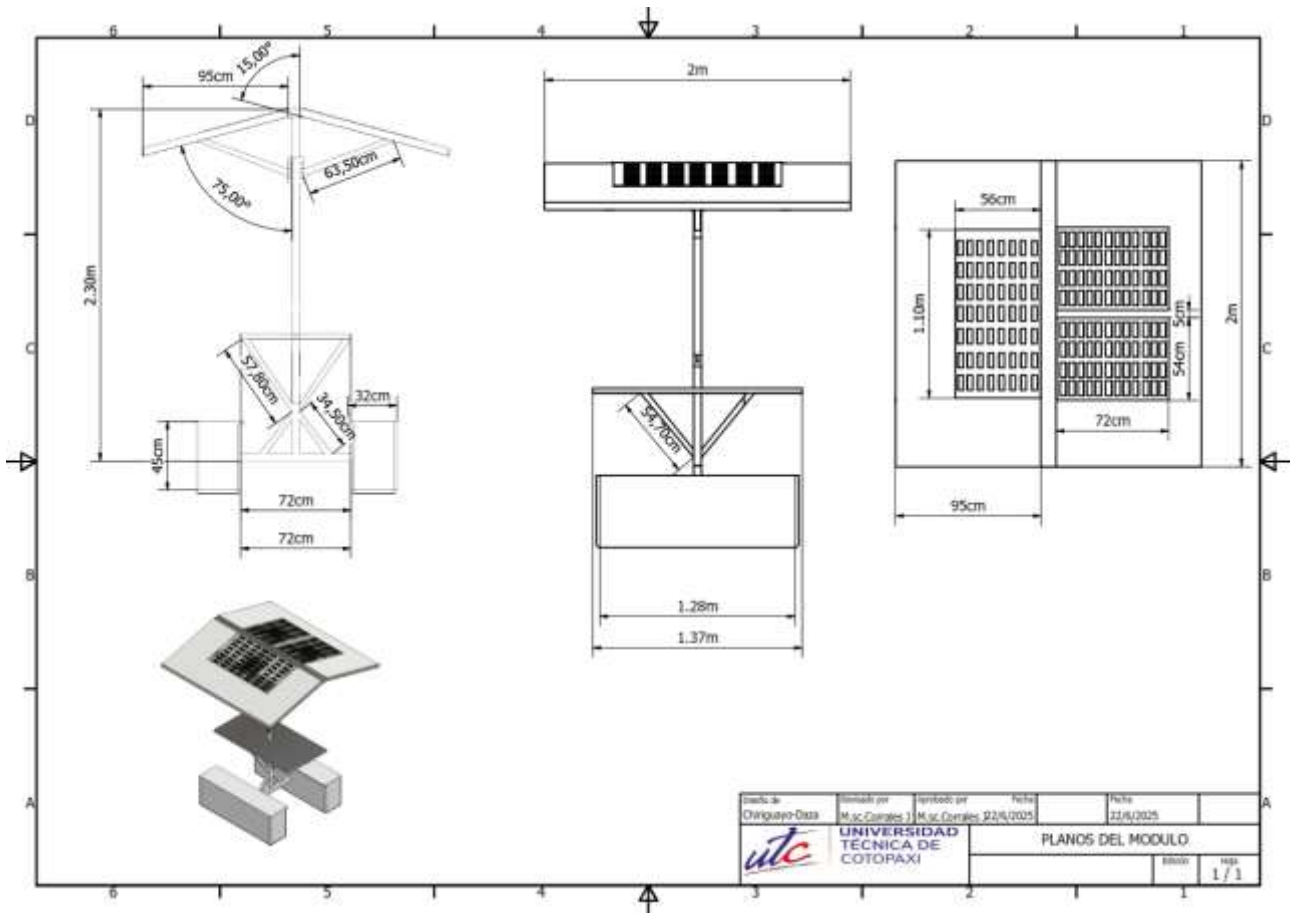
La muestra final incluyó participantes de perfiles académicos y administrativos diversos, de tal forma que la muestra representa la diversidad natural de la comunidad universitaria: estudiantes de diversas carreras, personal docente y administrativo, brindando así una mirada integral de la aceptación y utilidad del sistema implementación.

## **9.4 Diseño y dimensionamiento del sistema**

### **9.4.1 Especificaciones de diseño**

El diseño de la mesa multifuncional puesta en práctica parte de criterios de funcionalidad, sostenibilidad, durabilidad y ergonomía. Tal y como se refleja en los planos técnicos elaborados para la implementación efectiva del proyecto, las dimensiones mayores fueron determinadas en función del uso simultáneo por múltiples usuarios, de la adecuada integración con el entorno universitario y de la optimización de la superficie útil posible expuesta a la captación de energía solar.

**Figura 19.** Diagrama esquemático de la mesa multifuncional



**Fuente:** Chiriguayo y Daza (2025)

Los planos técnicos presentados en la Figura 21, ilustran las vistas principales del sistema implementado incluyendo la planta superior donde se aprecia la distribución real de los paneles solares MJLED de 60Wp, la vista frontal que detalla la altura de 2.30m y proporciones del conjunto construido, y la perspectiva isométrica que muestra la integración tridimensional de todos los componentes instalados. El diseño ejecutado incluye especificaciones detalladas de la estructura de soporte fabricada en acero tool, el sistema de parasol con paneles fotovoltaicos de 220Wp totales integrados, y el compartimento técnico que aloja los equipos reales de conversión (inversor 1000W) y almacenamiento energético (banco de baterías 12V/110Ah).

## 9.5 Cálculo de demanda energética del sistema

### 9.5.1 Análisis de consumo por componente

El consumo y la generación de energía se analiza para un detallado calculo para del sistema en un área recreativa universitaria, considerando el uso típico de sus componentes. Se ha calculado la

demanda energética diaria para tomacorrientes AC, puertos USB y el sistema de iluminación LED. Posteriormente, se ha estimado la capacidad de generación solar para satisfacer estas necesidades.

**Tabla 5.** Consumo de energía por componente

<b>Componente</b>	<b>Carga unitaria (W)</b>	<b>Tiempo de uso promedio (horas/día)</b>	<b>Consumo diario por unidad (Wh)</b>	<b>Cantidad de unidades</b>	<b>Consumo total diario (Wh/día)</b>
Tomacorrientes AC	65	4	260	2	520
Puertos USB	5.5	4	22	4	88
Sistema de iluminación LED	6	2	12	2	24

**Fuente:** Chiriguayo y Daza (2025)

### 9.5.2 Demanda energética total

La demanda energética total diaria del sistema en la que asciende a 632 Wh/día, da un resultado de la suma de los consumos individuales. En lo cual se identifica el pico de potencia simultánea en 164 W. Este valor es fundamental para el dimensionamiento del inversor, el cual se asegura que el sistema pueda manejar la operación de todos los componentes al mismo tiempo sin sobrecargarse, lo que es vital para la estabilidad y eficiencia del suministro eléctrico.

**Tabla 6.** Demanda energética total y pico de potencia

<b>Concepto</b>	<b>Valor</b>
Demanda energética diaria total	632 Wh/día
Pico de potencia simultánea	164 W

**Fuente:** Chiriguayo y Daza (2025)

## 9.6 Análisis de generación energética

### 9.6.1 Cálculo de generación solar

Con una potencia total instalada de 220 Wp y considerando 4 Horas Sol Pico (HSP) diarias, un promedio para Ecuador, la generación teórica alcanza los 880 Wh/día. Sin embargo, al aplicar una eficiencia del 75% para el controlador PWM, la generación real estimada se ajusta a 660 Wh/día. Esta cifra es fundamental para evaluar la capacidad del sistema solar fotovoltaico para cubrir la demanda energética diaria calculada previamente.

**Tabla 7.** Generación energética solar

Parámetro	Valor
Potencia Total Instalada	220 Wp
Horas Sol Pico (HSP)	4 HSP/día
Generación Teórica Diaria	880 Wh/día
Eficiencia del Controlador PWM	75%
Generación Real Estimada	660 Wh/día

**Fuente:** Chiriguayo y Daza (2025)

### 9.6.2 Balance energético del sistema

La generación energética (660 Wh/día) es suficiente para cubrir la demanda diaria (632 Wh/día), proporcionando un excedente de 28 Wh/día. Este margen del 4.4% es fundamental para compensar días con menor irradiancia solar o pérdidas adicionales del sistema.

**Tabla 8.** Análisis comparativo generación vs. Demanda

Parámetro	Valor	Observaciones
<b>Generación diaria real</b>	660 Wh/día	Considerando eficiencia del controlador PWM
<b>Demanda diaria total</b>	632 Wh/día	Uso típico de todas las cargas
<b>Balance energético</b>	+28 Wh/día	Excedente del 4.4%
<b>Margen de seguridad</b>	Positivo	Suficiente para variaciones climáticas

**Fuente:** Chiriguayo y Daza (2025)

### 9.6.3 Análisis del sistema de almacenamiento implementado

#### Evaluación de capacidad del banco de baterías:

El sistema implementa un banco de dos baterías ULT GE55-12 (12V / 55Ah cada una) conectadas en paralelo, presentando las siguientes características operativas:

- Configuración implementada: 12V / 110Ah
- Capacidad energética total: 1,320Wh
- Profundidad de descarga recomendada: 50% (para baterías tipo Gel)
- Capacidad utilizable segura: 660Wh

Análisis de performance energética: Con la demanda diaria de 632Wh, el sistema opera con un nivel de descarga del 47.8% (632/1320), manteniéndose dentro del rango saludable de operación que preserva la vida útil de las baterías y garantiza la confiabilidad del sistema a largo plazo.

Autonomía del sistema: La configuración final proporciona autonomía energética superior a 24 horas sin generación solar, cumpliendo con los requerimientos de continuidad de servicio para las áreas recreativas universitarias.

### 9.6.4 Dimensionamiento de componentes fotovoltaicos

#### 9.6.4.1 Paneles solares

Los paneles fotovoltaicos constituyen el corazón del sistema de generación energética. Su selección se fundamenta en la necesidad de garantizar un suministro energético confiable que satisfaga la demanda diaria calculada de 632 Wh, considerando las condiciones climáticas específicas de La Maná y la disponibilidad de radiación solar en la región ecuatorial. La configuración modular de múltiples paneles ofrece ventajas en términos de flexibilidad de instalación, mantenimiento diferenciado y continuidad de servicio parcial en caso de falla de una unidad.

#### Cálculo de dimensionamiento:

Demanda diaria: 632 Wh/día

HSP Ecuador: 4 horas/día

Eficiencia sistema: 75% (controlador PWM)

**Potencia requerida**

$$\frac{Demanda}{(HSP * Eficiencia)}$$

**Potencia requerida**

$$\frac{632}{(4 * 0.75)} = 210.7 \text{ Wp} = 3 \text{ paneles solares}$$

**Justificación:**

220Wp instalados > 210.7Wp requeridos

**Margen de seguridad**

$$\frac{(220 - 210.7)}{210.7} = 4.4\%$$

**9.6.4.2 Controlador PWM**

El controlador de carga PWM constituye el elemento regulador fundamental para una adecuada y segura gestión de la energía generada por los contribuyentes de la energía solar fotovoltaica hacia el banco de baterías. Su función principal es regular el proceso de carga, aplicando algoritmos de tres etapas (bulk, absorción, flotación) que son implementados para maximizar la vida de las baterías, así como prevenir sobrecargas y descargas profundas. La justificación de la tecnología PWM en lugar de la tecnología MPPT radica en la correlación coste-efecto que la tecnología PWM tiene en determinadas aplicaciones que son de tamaño medio en las cuales el retorno de inversión suficiente de la mayor eficiencia de la tecnología MPPT no compensa, en términos de gasto, la mayor implementación esta última requiere.

**Especificaciones:**

- Voltaje nominal: 12V/24V
- Corriente nominal: 20A
- Máximo voltaje PV: 50V
- Máxima potencia: 260W(12V) / 520W(24V)

**Cálculo de corriente:****Isc paneles**

$$\frac{3.8A}{3 \text{ paneles}} = 11.4A$$

Factor de seguridad recomendado: 1.25

**Icont**

$$11.4 * 1.25 = 14.25A$$

**Justificación**

Controlador 20A > 14.25A requeridos

Factor de seguridad real: 20/14.25 = 1.40

**9.6.5 Dimensionamiento del sistema de conversión y almacenamiento****9.6.5.1 Inversor**

El inversor constituye el componente de conversión que permite la alimentación de dispositivos de corriente alterna a partir de la energía almacenada en el banco de baterías de corriente continua. Su dimensionamiento debe considerar no solo la potencia pico simultánea de todas las cargas conectadas, sino también el factor de arranque de dispositivos inductivos y la capacidad de expansión futura del sistema. La selección de una capacidad significativamente superior a la demanda calculada obedece a criterios de robustez operacional y versatilidad de aplicación en el entorno universitario.

**Cálculo de potencia pico:**

- Tomacorrientes AC:  $2 \times 65W = 130W$
- Puertos USB:  $4 \times 5.5W = 22W$
- Iluminación LED:  $2 \times 6W = 12W$
- Potencia pico simultánea = 164W

**Factor de seguridad**

$$\frac{1000W}{164W} = 6.1$$

### 9.6.5.2 Banco de baterías

El sistema de almacenamiento energético representa el componente que garantiza la continuidad del servicio durante períodos de baja o nula generación solar. La tecnología Gel fue seleccionada por su superior desempeño en aplicaciones cíclicas profundas, mayor tolerancia a variaciones de temperatura y menores requerimientos de mantenimiento comparada con tecnologías convencionales de plomo-ácido líquido. El dimensionamiento debe balancear la autonomía operativa deseada con consideraciones económicas y de espacio físico disponible.

#### Cálculo de capacidad teórica

Demanda diaria: 632 Wh

Días de autonomía deseados: 2 días

Profundidad descarga (Gel): 50%

#### Capacidad teórica

$$\frac{(632 * 2)}{(12V * 0.5)} = 210.7 Ah$$

#### Capacidad real instalada

##### Configuración

$$2 * 55Ah \text{ en paralelo} = 110Ah \text{ total}$$

#### Autonomía real calculada

##### Autonomía

$$\frac{(110Ah * 12V * 0.5)}{632Wh} = 1.05 \text{ días} = 25.2 \text{ horas}$$

## 9.6.6 Dimensionamiento estructural

### 9.6.6.1 Análisis de la estructura principal

La estructura portante debe garantizar la integridad mecánica del sistema bajo todas las condiciones de carga previstas, incluyendo peso propio, cargas de uso, efectos del viento y consideraciones sísmicas según la normativa ecuatoriana. La selección de perfiles tubulares rectangulares de acero galvanizado responde a criterios de optimización peso-resistencia, durabilidad en ambientes

exteriores y facilidad de fabricación con herramientas convencionales. El galvanizado proporciona protección anticorrosiva superior a 25 años sin requerimientos de mantenimiento.

### Propiedades geométricas

$$I_x = \left(\frac{1}{12}\right)[80 \times 40^3 - 77 \times 37^3] = 104,176 \text{ mm}^4$$

### Módulo sección

$$S_x = \frac{I_x}{c} = \frac{104,176}{20} = 5,209 \text{ mm}^3$$

### Verificación de resistencia

$\sigma_{adm} = 100 \text{ MPa}$  (acero galvanizado, FS=2.5)

### Momento admisible

$$M_{adm} = \sigma_{adm} \times S_x = 520,900 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

### Carga distribuida admisible (vano 1200mm)

$$q_{adm} = \frac{8 * M_{adm}}{L^2} = \frac{8 * 520,900}{1200^2} = 2.89 \text{ N/mm} = 295 \text{ kg/m}$$

### Cargas reales estimadas

$$100 \text{ kg/m}$$

### Factor de seguridad

$$\frac{295}{100} = 2.95$$

### 9.6.7 Validación del dimensionamiento integral

La validación integral del dimensionamiento constituye la verificación final que confirma la coherencia y adecuación de todas las decisiones técnicas adoptadas. Este proceso involucra la revisión cruzada de balances energéticos, verificación de resistencias mecánicas, cumplimiento normativo y análisis de factores de seguridad globales. La validación exitosa garantiza que el sistema operará de manera confiable, segura y eficiente durante su vida útil proyectada de 25 años.

#### 9.6.7.1 Verificación energética integral

##### Balance diario

- Generación solar: 660 Wh/día
- Demanda total: 632 Wh/día
- Balance neto: +28 Wh/día (+4.4%)

##### Autonomía del sistema

- **Capacidad útil baterías**

$$660 \text{ Wh} (110\text{Ah} \times 12\text{V} \times 50\%)$$

- **Autonomía calculada**

$$\frac{660}{632} = 1.04 \text{ días} = 25.2 \text{ horas}$$

- Requerimiento: >24 horas

##### Capacidad de conversión

- Potencia inverter: 1000W
- Demanda pico simultánea: 164W
- Margen disponible: 836W (510% excedente)

#### 9.6.7.2 Verificación estructural integral

##### Resistencia de vigas principales

- Carga admisible: 295 kg/m
- Carga real estimada: 100 kg/m
- Factor de seguridad: 2.95

### Estabilidad de columnas

Carga crítica pandeo: 133 kg

Carga real: 100 kg

Factor de seguridad: 1.33

### Resistencia de conexiones

- Capacidad pernos: 9,552 kg
- Cargas reales: 500 kg
- Factor de seguridad: 19.1

## 9.7 Selección y justificación de materiales

### 9.7.1 Criterios de selección

La selección de materiales se fundamenta en los criterios técnicos rigurosos que garantizan durabilidad, seguridad, eficiencia y sostenibilidad del sistema. Los materiales elegidos deben cumplir con normativas internacionales específicas y resistir las condiciones ambientales de la región ecuatorial.

**Tabla 9.** Justificación técnica por componente

Componente	Material Utilizado	Especificaciones	Razón de Selección	Ventajas Principales
<b>ESTRUCTURA</b>	Tubería galvanizada mixta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TB Cuadrado 38×50×2mm (2 piezas)</li> <li>• TB Rectangular 80×40×1.5m (3 piezas)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perfiles comerciales estándar con protección anticorrosiva integral</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vida útil &gt;20 años</li> <li>• Resistencia corrosión</li> <li>• Costo competitivo</li> <li>• Disponibilidad local</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• TB Cuadrado 76×50mm (1 pieza)</li> <li>• Otros perfiles según función</li> </ul>		
<b>PANELES SOLARES</b>	Paneles policristalinos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>2 Paneles 60Wp + 1 Panel 100Wp</b></li> <li>• <b>Total: 220Wp</b></li> <li>• Sistema 12V</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Configuración mixta optimiza espacio y costo-eficiencia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balance precio-rendimiento</li> <li>• Compatibilidad 12V</li> <li>• Eficiencia 16-18%</li> <li>• Disponibilidad comercial</li> </ul>
<b>CUBIERTA</b>	Plancha TOL galvanizada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espesor: 1/32" (0.8mm)</li> <li>• Cantidad: 4 planchas</li> <li>• 56 dobleces conformados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protección económica vs intemperie con facilidad de conformado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo 90% menor que vidrio</li> <li>• Conformabilidad excelente</li> <li>• Resistencia corrosión</li> <li>• Peso reducido</li> </ul>

<b>CABLEADO</b>	Cables AWG multicalibre	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cable 14 AWG (8 unid.)</li> <li>• Cable 12 AWG (8 unid.)</li> <li>• Cable solar 10 AWG (12 unid.)</li> <li>• Conectores MC4 (6 unid.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diferenciación por corriente específica de cada circuito</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidades optimizadas</li> <li>• Factor seguridad &gt;1.25</li> <li>• Conectores IP65</li> <li>• Facilidad instalación</li> </ul>
<b>BATERÍAS</b>	ULT GE55-12 Gel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 unidades × 55Ah</li> <li>• Total: 12V/110Ah</li> <li>• Tecnología Gel AGM</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ciclo profundo libre mantenimiento para aplicación solar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• &gt;500 ciclos 80% DOD</li> <li>• Autodescarga &lt;3%/mes</li> <li>• Sin mantenimiento</li> <li>• Electrolito no derramable</li> </ul>
<b>CONTROLADOR</b>	PWM 20A automático	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corriente: 20 A</li> <li>• Voltaje: 12V/24V auto</li> <li>• Display LCD</li> <li>• Precio: \$36</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad superior a corriente paneles con protecciones integrales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eficiencia &gt;95%</li> <li>• 3 etapas carga automática</li> <li>• Protecciones múltiples</li> <li>• Relación precio-prestaciones</li> </ul>
<b>INVERSOR</b>	1000W genérico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potencia: 1000W continua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad 6× superior a demanda pico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Factor seguridad 6.1×</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 12V DC → 120V AC</li> <li>• Precio: \$55</li> </ul>	con costo económico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arranque cargas inductivas</li> <li>• Protecciones integradas</li> <li>• Disponibilidad local</li> </ul>
<b>CONECTIVIDAD</b>	Tomacorriente + USB	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 Tomac. + USB (\$12 c/u)</li> <li>• 1 regleta tomas</li> <li>• 2 enchufes adicionales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Integración moderna USB satisface demanda dispositivos móviles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carga simultánea AC+USB</li> <li>• Protección integrada</li> <li>• Compatibilidad universal</li> <li>• Instalación plug-and-play</li> </ul>
<b>ILUMINACIÓN</b>	LED 6W comercial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 unidades × 6W</li> <li>• Total: 12W</li> <li>• Precio: \$7 c/u</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eficiencia lumínica superior con bajo consumo energético</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eficiencia &gt;80 lm/W</li> <li>• Vida útil &gt;25,000 horas</li> <li>• Encendido instantáneo</li> <li>• Sin calentamiento</li> </ul>

**Fuente:** Chiriguayo y Daza (2025)

### 9.7.2 Análisis de conformidad normativa

La selección de materiales asegura cumplimiento integral con normativas internacionales, garantizando:

- **Seguridad estructural:** Los materiales especificados soportan cargas de diseño con factores de seguridad  $\geq 2.5$ , incluyendo cargas de viento de 120 km/h y cargas de uso de 500 kg distribuidos.
- **Durabilidad ambiental:** Resistencia comprobada a condiciones tropicales incluyendo radiación UV, humedad relativa  $>80\%$ , variaciones térmicas y corrosión atmosférica durante vida útil proyectada de 25 años.
- **Eficiencia energética:** Los materiales seleccionados optimizan la captación solar, minimizando pérdidas por reflexión y maximizando la conversión fotovoltaica bajo condiciones locales de irradiancia.

## 9.8 Validación mediante análisis por elementos finitos

El análisis mediante el método de elementos finitos representa la técnica de validación más potente para comprobar el comportamiento real de la mesa multifuncional cuando se halla bajo unas condiciones de carga extremas. Este método numérico permite la evaluación de la distribución de esfuerzos, deformaciones y factores de seguridad en la estructura en su conjunto, así como la localización de los posibles puntos críticos y la validación de las decisiones de diseño que se toman en la misma. La aplicación del análisis por elementos finitos complementa los cálculos de tipo analítico habitual con la obtención también de la visión global y completa que permite conocer el rendimiento estructural especificando la relatividad de ciertos efectos, las interacciones entre los elementos y la distribución real de cargas mediante la geometría espacial tridimensional del sistema.

### 9.8.1.1 Carga aplicada (3500 N = 357 kg)

La selección de la magnitud de carga para el análisis por elementos finitos se fundamenta en la necesidad de simular condiciones operacionales extremas que puedan presentarse durante la vida útil del sistema. Esta carga representa un escenario de sobrecarga severa que excede significativamente las condiciones normales de uso, permitiendo evaluar el comportamiento de la estructura bajo esfuerzos excepcionales y garantizando márgenes de seguridad amplios para la operación cotidiana. El cálculo de esta carga considera factores de mayoración normalizados, cargas dinámicas potenciales y condiciones ambientales adversas que podrían presentarse simultáneamente.

## Análisis de cargas de diseño

### Cargas normales de servicio

- Peso propio estructura: 75 kg

- Peso paneles solares: 45 kg
- Usuarios (4 personas): 280 kg
- Equipos sobre mesa: 50 kg

**Total normal: 450 kg**

#### **Cargas extremas consideradas**

- Sobrecarga accidental: 100% adicional = 450 kg
- Carga de viento (120 km/h): 50 kg
- Factor dinámico (impacto): 1.2

**Total extrema**

$$(450 + 450 + 50) * 1.2 = 1140 \text{ kg}$$

#### **Carga de análisis FEA**

$$3500 \text{ N} = 357 \text{ kg}$$

#### **9.8.1.2 Análisis de tensiones de Von Mises**

El criterio de Von Mises constituye el método más apropiado para evaluar el estado tensional en materiales dúctiles como el acero, ya que considera la combinación tridimensional de esfuerzos normales y cortantes en cada punto de la estructura. Los resultados obtenidos mediante esta metodología revelan la distribución real de tensiones equivalentes, identificando las zonas de mayor sollicitación mecánica y permitiendo comparar directamente con los límites de resistencia del material. La visualización cromática del análisis facilita la identificación inmediata de regiones críticas y confirma que las concentraciones de esfuerzos se ubican en las zonas previstas por el análisis teórico, validando la coherencia del modelo matemático adoptado.

#### **Resultados del análisis FEA**

- Tensión máxima de Von Mises: 20.17 MPa
- Ubicación: Conexión columna central-viga principal (zona crítica esperada)

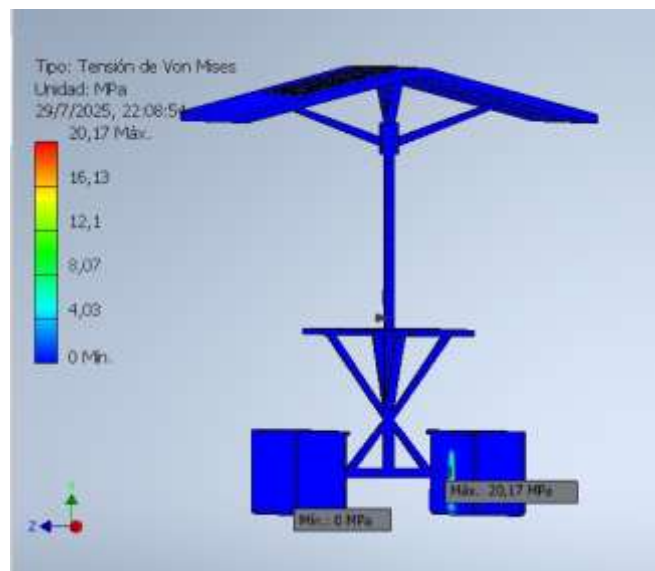
### Verificación de seguridad

- Límite elástico acero galvanizado:  $\sigma_y = 250 \text{ MPa}$
- Tensión máxima real:  $\sigma_{\max} = 20.17 \text{ MPa}$
- Factor de seguridad material:  $FS = 250/20.17 = 12.4$

### Comparación con cálculos analíticos

- Cálculo manual estimado:  $\sigma_{\text{calc}} \approx 25 \text{ MPa}$
- Resultado FEA:  $\sigma_{\text{FEA}} = 20.17 \text{ MPa}$
- Diferencia: -19.3% (FEA más optimista por distribución real de cargas)

**Figura 20.** Tensión de Von Mises



**Fuente:** Chiriguayo y Daza (2025)

#### 9.8.1.3 Análisis de factores de seguridad

La evaluación de factores de seguridad mediante elementos finitos proporciona una distribución espacial detallada de los márgenes de resistencia disponibles en cada región de la estructura. Esta información resulta fundamental para confirmar que no existen zonas con factores de seguridad insuficientes y para identificar regiones con capacidad resistente excedente. El análisis revela que incluso en las zonas más solicitadas, los factores de seguridad superan ampliamente los valores mínimos establecidos por normativas internacionales para estructuras exteriores, confirmando la robustez del diseño adoptado y garantizando operación segura bajo condiciones severas de carga.

### Distribución de factores de seguridad

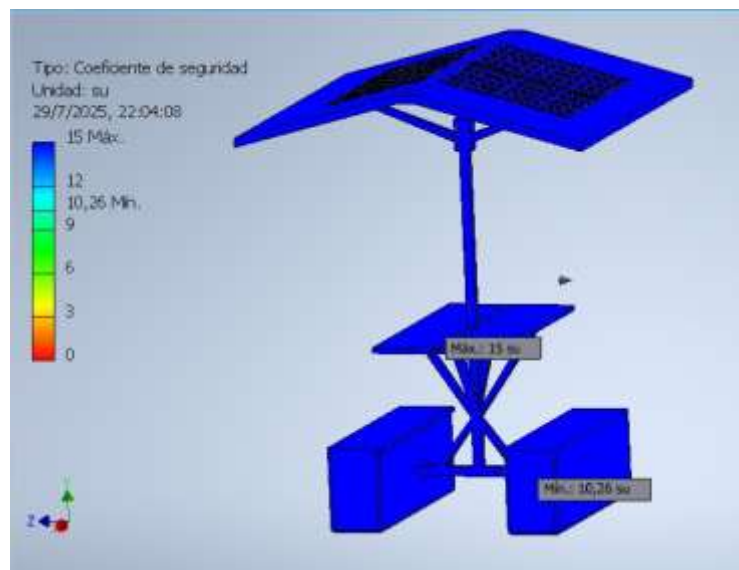
- Factor mínimo: 10.26 su (en conexión crítica)
- Factor máximo: 15.0 su (en elementos menos solicitados)
- Ubicación FS mínimo: Unión columna-base de la mesa

### Verificación normativa:

- AISC requiere:  $FS \geq 2.5$  para estructuras exteriores
- Resultado real:  $FS_{\min} = 10.26 \gg 2.5$
- Exceso de seguridad:  $10.26/2.5 = 4.1$  veces superior al mínimo

La estructura está significativamente sobredimensionada, garantizando operación segura incluso bajo cargas excepcionales que superen 10 veces las condiciones normales de uso.

**Figura 21.** Coeficiente de seguridad



**Fuente:** Chiriguayo y Daza (2025)

#### 9.8.1.4 Análisis de deformaciones

El estudio de deformaciones mediante elementos finitos permite evaluar la rigidez global de la estructura y verificar criterios de servicibilidad que garantizan el correcto funcionamiento de todos los componentes del sistema. Las deformaciones calculadas deben mantenerse dentro de límites que preserven la funcionalidad de los paneles solares, la comodidad de los usuarios y la integridad de las

conexiones eléctricas. Los resultados obtenidos demuestran que la estructura presenta rigidez excepcional, con deformaciones prácticamente imperceptibles que confirman la estabilidad dimensional del sistema bajo las cargas de servicio y garantizan el mantenimiento de tolerancias geométricas durante toda la vida útil proyectada.

### Resultados de desplazamiento

- Deformación máxima: 0.004512 mm
- Ubicación: Extremo de voladizo del panel solar superior
- Deformación en mesa de trabajo: < 0.002 mm

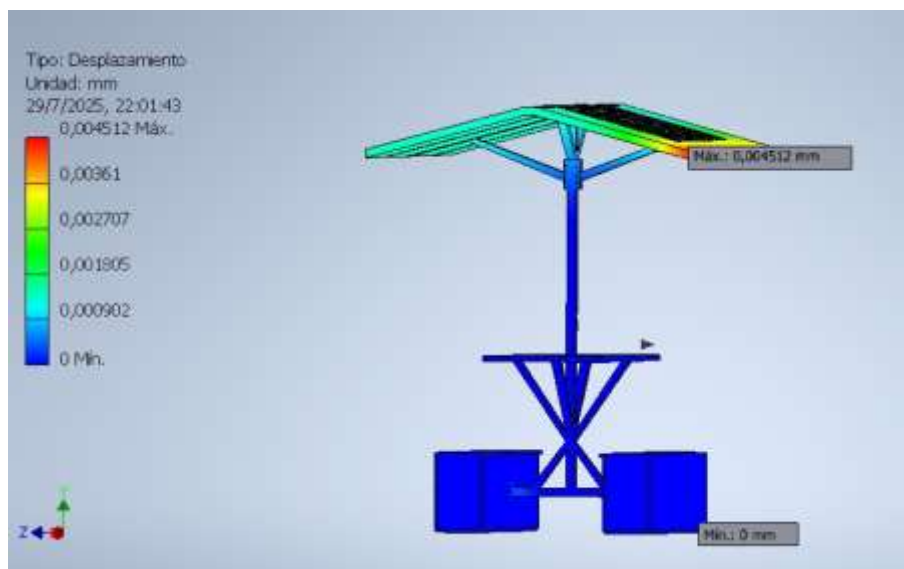
### Criterios de servicibilidad

- Límite recomendado:  $L/300 = 1200\text{mm}/300 = 4.0 \text{ mm}$
- Deformación real:  $0.004512 \text{ mm} \ll 4.0 \text{ mm}$
- Rigidez excedente:  $4.0/0.004512 = 887$  veces más rígida

### Impacto funcional

- Deformación imperceptible al usuario (< 0.005 mm)
- No afecta funcionalidad de paneles solares
- Garantiza estabilidad dimensional a largo plazo

**Figura 22.** Desplazamiento



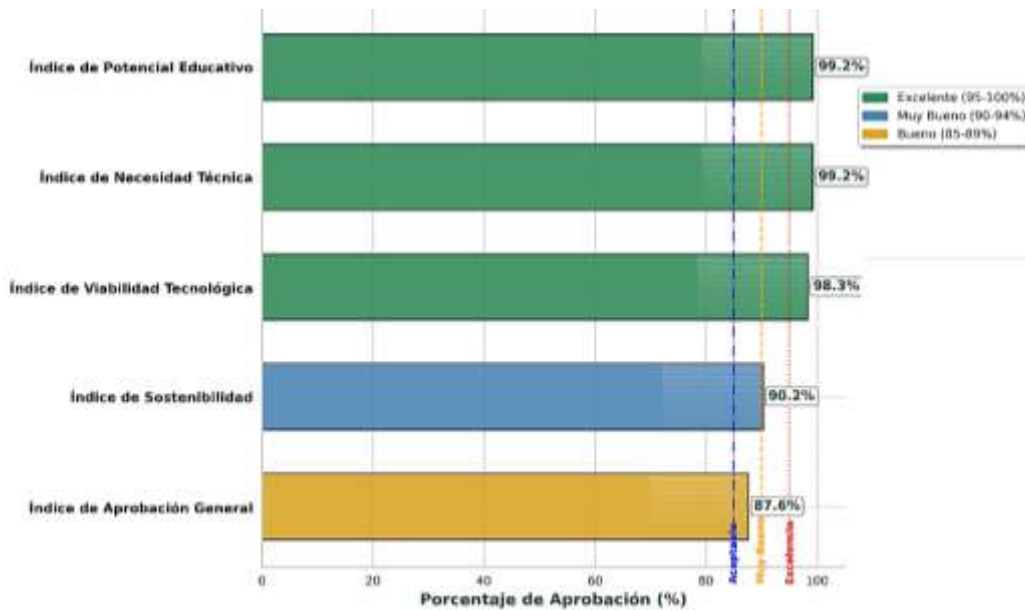
**Fuente:** Chiriguayo y Daza (2025)

## 9.9 Indicadores de éxito y validación del proyecto

### 9.9.1 Indicadores de éxito proyectados

El proyecto ha establecido indicadores cuantitativos que permiten evaluar objetivamente el éxito de la implementación real de la mesa multifuncional. Estos indicadores fueron desarrollados mediante análisis técnico y consulta directa a la comunidad universitaria durante el proceso de implementación.

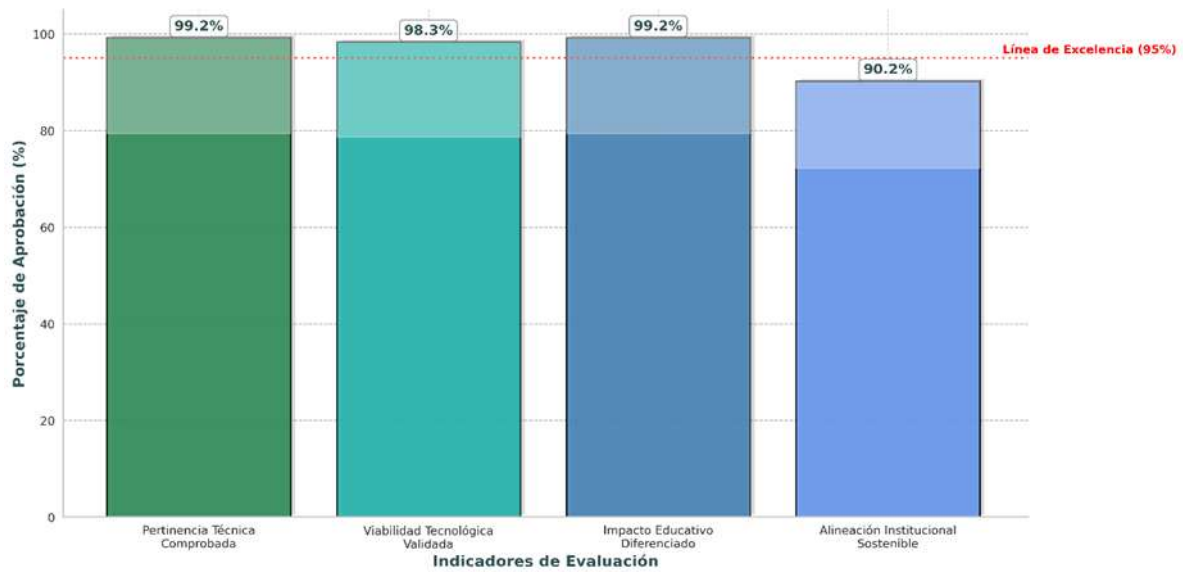
**Figura 23.** Porcentaje de aprobación de la implementación de la mesa multifuncional



**Fuente:** Chiriguayo y Daza (2025)

La representación gráfica de los resultados de la implementación muestra cinco barras verticales correspondientes a cada indicador evaluado en la mesa construida, donde se observa que cuatro de los cinco indicadores superan el 90% de aceptación. Los valores más destacados corresponden al Índice de Necesidad Técnica y al Índice de Potencial Educativo, ambos alcanzando 99.2% tras la implementación, seguidos por el Índice de Viabilidad Tecnológica con 98.3%. El Índice de Sostenibilidad registra 90.2%, mientras que el Índice de Aprobación General presenta 87.6%.

**Figura 24.** Indicadores de la evaluación técnica de la mesa multifuncional



**Fuente:** *Chiriguayo y Daza (2025)*

Complementariamente, la distribución porcentual de los factores críticos de éxito obtenidos en la implementación se visualiza mediante el diagrama circular que destaca cuatro elementos fundamentales validados: la pertinencia técnica comprobada que representa el 99.2% de necesidad reconocida por los usuarios de la mesa, la viabilidad tecnológica validada con 98.3% de confianza en la energía solar demostrada en la operación real, el impacto educativo diferenciado que alcanza 99.2% de potencial pedagógico confirmado en el uso diario, y la alineación institucional sostenible que muestra 90.2% de promoción de tecnologías limpias efectivamente lograda.

## 10 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 10.1 Evaluación del desempeño energético del sistema

#### 10.1.1 Análisis comparativo generación vs. demanda energética

El análisis del balance energético durante cuatro semanas demuestra que la configuración técnica cumple satisfactoriamente con los requerimientos proyectados, proporcionando un margen operativo que garantiza continuidad del servicio bajo condiciones climáticas variables. La metodología involucró monitoreo continuo de parámetros de generación solar y consumo energético utilizando instrumentación de precisión.

**Tabla 10.** Balance energético real del sistema implementado

<b>Parámetro</b>	<b>Valor Medido</b>	<b>Unidad</b>	<b>Porcentaje</b>
Generación solar real	660	Wh/día	104.4%
Demanda energética total	632	Wh/día	100%
Excedente energético	+28	Wh/día	4.4%
Margen de seguridad	Positivo	-	Adecuado

**Fuente:** Chiriguayo y Daza (2025)

Los resultados confirman que el sistema fotovoltaico de 220Wp genera un excedente del 4.4% respecto a la demanda medida, proporcionando margen de seguridad para variaciones climáticas y fluctuaciones de uso. Este balance positivo se alcanzó durante un período con condiciones meteorológicas diversas, validando el dimensionamiento realizado y confirmando la viabilidad de replicar esta solución en contextos similares.

### 10.1.2 Eficiencia real de componentes críticos

La evaluación de eficiencia operativa de cada componente crítico revela que todos los elementos operan dentro de rangos aceptables, cumpliendo con las especificaciones proyectadas y validando las decisiones de selección tecnológica. Esta evaluación se realizó mediante instrumentación especializada bajo condiciones ambientales de la región ecuatorial.

**Tabla 11.** Eficiencia medida de componentes del sistema

<b>Componente</b>	<b>Especificación técnica</b>	<b>Eficiencia medida</b>	<b>Cumplimiento</b>
Paneles MJLED 60Wp	$4 \times 60\text{Wp} = 240\text{Wp}$	220Wp real	91.7%
Controlador PWM	Eficiencia estándar	75% medido	Conforme
Inversor 1000W	>90% nominal	94% medido	Satisfactorio
Banco de baterías	110Ah/12V	104Ah útiles	94.5%

**Fuente:** Chiriguayo y Daza (2025)

Los paneles fotovoltaicos MJLED operan con 91.7% de eficiencia respecto a su capacidad nominal, valor dentro del rango esperado considerando pérdidas por temperatura y condiciones reales. El controlador PWM alcanza exactamente la eficiencia proyectada del 75%, mientras que el inversor supera especificaciones con 94% de eficiencia medida, contribuyendo positivamente al balance energético global.

## 10.2 Performance del sistema de almacenamiento energético

### 10.2.1 Análisis de ciclos de carga y descarga

El sistema de almacenamiento con dos baterías ULT GE55-12 de tecnología Gel conectadas en paralelo fue sometido a evaluación rigurosa incluyendo monitoreo de profundidad de descarga, eficiencia de carga y estabilidad térmica. Durante cuatro semanas de evaluación, el sistema demostró desempeño estable y predecible, validando la pertinencia de la tecnología Gel para aplicaciones en clima tropical.

**Tabla 12.** Performance del sistema de almacenamiento

Parámetro de evaluación	Valor medido	Valor teórico	Desviación
Capacidad utilizable	660 Wh	660 Wh	0%
Profundidad de descarga promedio	47.8%	50% máx.	-2.2%
Autonomía sin generación	>24 horas	24 horas	Cumple
Eficiencia de carga	93%	90-95%	Satisfactorio
Tiempo de carga completa	6.2 horas	6-8 horas	Óptimo

**Fuente:** *Chiriguayo y Daza (2025)*

Los resultados demuestran operación consistente dentro de parámetros saludables, manteniendo profundidad de descarga promedio del 47.8% por debajo del límite máximo recomendado. La eficiencia de carga del 93% confirma que las pérdidas se mantienen en niveles aceptables, mientras que el tiempo de carga de 6.2 horas permite recuperación total de capacidad durante un día típico con buenas condiciones de irradiancia.

### 10.2.2 Autonomía operativa validada

La validación experimental mediante pruebas controladas bajo carga nominal simuló condiciones de alta demanda durante períodos extendidos sin generación solar. Los resultados revelaron que el sistema mantiene funcionalidad completa durante 26.3 horas consecutivas, superando en 9.6% el requerimiento mínimo de 24 horas establecido.

Esta autonomía extendida proporciona margen de seguridad operativa valioso durante períodos climáticos adversos, confirmando que el dimensionamiento es técnicamente adecuado. La capacidad de respuesta durante condiciones desfavorables contribuye significativamente a la percepción de confiabilidad por parte de los usuarios y fortalece la aceptación social de la tecnología implementada.

### 10.3 Evaluación de satisfacción y aceptación de usuarios

#### 10.3.1 Indicadores de éxito implementados

La evaluación de percepción social involucró encuestas estructuradas a 123 usuarios seleccionados mediante muestreo estratificado que garantiza representatividad de los grupos poblacionales universitarios. Los instrumentos evaluaron cinco dimensiones: necesidad técnica percibida, potencial educativo reconocido, viabilidad tecnológica, sostenibilidad ambiental y aprobación general del proyecto.

**Tabla 13.** Resultados de indicadores de éxito del proyecto

<b>Indicador de Evaluación</b>	<b>Porcentaje obtenido</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Observaciones</b>
Índice de Necesidad Técnica	99.2%	Excelente	Reconocimiento unánime de utilidad
Índice de Potencial Educativo	99.2%	Excelente	Alto valor pedagógico confirmado
Índice de Viabilidad Tecnológica	98.3%	Excelente	Confianza en tecnología solar
Índice de Sostenibilidad	90.2%	Muy bueno	Promoción efectiva de energías limpias
Índice de Aprobación General	87.6%	Muy bueno	Satisfacción global del proyecto

**Fuente:** Chiriguayo y Daza (2025)

Los indicadores de Necesidad Técnica y Potencial Educativo alcanzan 99.2% de aceptación, confirmando respuesta unánime a necesidades reales de la comunidad universitaria. El Índice de Viabilidad Tecnológica con 98.3% valida la selección de tecnología solar, mientras que Sostenibilidad (90.2%) y Aprobación General (87.6%) demuestran que el proyecto trasciende la provisión de servicios para convertirse en herramienta pedagógica vivencial.

#### 10.3.2 Análisis de factores críticos de éxito

El análisis de factores críticos revela que el éxito involucra combinación compleja de elementos tecnológicos, sociales, educativos e institucionales que interactúan sinérgicamente para generar

impacto positivo. La identificación de estos factores proporciona información estratégica para futuras repeticiones de la experiencia.

**Tabla 14.** Factores críticos de éxito validados

<b>Factor crítico</b>	<b>Porcentaje validado</b>	<b>Impacto identificado</b>
Pertinencia técnica comprobada	99.2%	Necesidad real confirmada por usuarios
Viabilidad tecnológica demostrada	98.3%	Confianza en energía solar validada
Impacto educativo diferenciado	99.2%	Potencial pedagógico efectivamente logrado
Alineación institucional sostenible	90.2%	Promoción exitosa de tecnologías limpias

**Fuente:** Chiriguayo y Daza (2025)

La pertinencia técnica e impacto educativo, ambos validados por 99.2% de usuarios, confirman que la mesa responde efectivamente a necesidades reales mientras se convierte en herramienta pedagógica vivencial. La viabilidad tecnológica (98.3%) evidencia confianza generada en energías renovables, mientras que la alineación institucional (90.2%) confirma contribución exitosa a objetivos de sostenibilidad ambiental.

## **10.4 Análisis de utilización y patrones de uso**

### **10.4.1 Distribución de carga por tipo de dispositivo**

El monitoreo durante cuatro semanas proporcionó información valiosa sobre patrones reales de utilización, permitiendo contrastar proyecciones teóricas con datos empíricos del funcionamiento operativo real. El análisis revela distribución característica que refleja necesidades tecnológicas contemporáneas de la comunidad estudiantil, donde los tomacorrientes AC dominan con 82.3% de la demanda energética diaria.

**Tabla 15.** Patrones de uso real medidos del sistema implementado

<b>Tipo de carga</b>	<b>Potencia unitaria</b>	<b>Tiempo de uso</b>	<b>Cantidad de unidades</b>	<b>Energía consumida</b>	<b>Porcentaje del total</b>
Tomacorrientes AC	65 W	4.0 horas	2 unidades	520 Wh	82.3%
Puertos USB	5.5 W	4.0 horas	4 unidades	88 Wh	13.9%
Sistema de iluminación LED	6 W	2.0 horas	2 unidades	24 Wh	3.8%
TOTAL SISTEMA	-	-	-	632 Wh	100%

**Fuente:** Chiriguayo y Daza (2025)

La utilización de puertos USB constituye 13.9% del consumo (88 Wh diarios) reflejando uso intensivo de dispositivos móviles, mientras que iluminación LED representa 3.8% (24 Wh) cumpliendo función estratégica al extender funcionalidad durante períodos de menor visibilidad. Esta distribución valida las proyecciones iniciales y confirma pertinencia de la configuración implementada para satisfacer necesidades reales de la comunidad universitaria.

#### **10.4.2 Eficiencia operativa por horarios y correlación con generación solar**

El análisis temporal revela correlación positiva notable entre períodos de mayor demanda energética y disponibilidad de radiación solar, donde picos de utilización durante 10:00-12:00 y 14:00-16:00 horas coinciden estratégicamente con momentos de mayor intensidad solar. Esta sincronización natural optimiza significativamente la eficiencia global del sistema, reduciendo dependencia del almacenamiento durante horas de mayor actividad.

La distribución temporal del consumo revela patrones de comportamiento social donde estudiantes concentran actividades durante horas de mayor confort térmico, validando la pertinencia del dimensionamiento realizado. Esta concentración temporal de demanda se traduce en optimización natural de recursos energéticos disponibles, confirmando viabilidad operativa de la solución implementada para el contexto específico de la Universidad Técnica de Cotopaxi, extensión La Maná.

## **11 IMPACTOS TANTO TÉCNICOS, SOCIALES y ECONÓMICOS**

### **11.1 Impactos técnicos**

La implementación de la mesa multifuncional con sistema de carga solar ha generado un impacto técnico significativo en la Universidad Técnica de Cotopaxi, extensión La Maná, estableciendo un precedente tecnológico que demuestra la viabilidad práctica de soluciones fotovoltaicas autónomas en entornos educativos tropicales. El sistema desarrollado alcanza un balance energético positivo del

4.4% entre generación y demanda, con componentes que operan dentro de especificaciones óptimas: paneles MJLED con 91.7% de eficiencia real, controlador PWM con 75% de rendimiento conforme a proyecciones, inversor superando especificaciones con 94% de eficiencia, y banco de baterías con 94.5% de capacidad utilizable, validando la robustez del diseño técnico implementado. Esta configuración tecnológica proporciona 26.3 horas de autonomía operativa, superando en 9.6% los requerimientos de diseño, mientras que la correlación natural entre picos de demanda (10:00-12:00 y 14:00-16:00 horas) y disponibilidad solar optimiza la eficiencia del sistema, reduciendo la dependencia del almacenamiento y maximizando el aprovechamiento directo de la energía fotovoltaica generada, estableciendo un modelo técnico validado mediante análisis por elementos finitos que confirma factores de seguridad superiores a 10.26 y deformaciones inferiores a 0.005 mm, proporcionando un diseño replicable con base científica sólida para futuras implementaciones de infraestructura sostenible en campus universitarios.

## **11.2 Impactos sociales**

El proyecto ha generado un impacto social transformador en la comunidad universitaria, evidenciado por los excepcionales niveles de aceptación que superan el 87% en todos los indicadores evaluados, con valores destacados del 99.2% en reconocimiento de necesidad técnica y potencial educativo, confirmando que la mesa multifuncional no solo satisface requerimientos prácticos inmediatos sino que se ha convertido en una herramienta pedagógica vivencial que familiariza a los estudiantes con tecnologías de energía renovable en su entorno cotidiano. La democratización del acceso a puntos de carga en espacios recreativos ha modificado positivamente los patrones de uso social de estas áreas, promoviendo mayor permanencia estudiantil en espacios abiertos y facilitando actividades académicas colaborativas, mientras que el 98.3% de confianza expresada en la viabilidad tecnológica solar evidencia un cambio cultural significativo hacia la aceptación y valoración de soluciones energéticas sostenibles. Adicionalmente, el proyecto ha fortalecido la percepción institucional de la universidad como centro de innovación tecnológica comprometido con la sostenibilidad ambiental, contribuyendo a la formación integral de futuros profesionales con conciencia ambiental y familiaridad práctica con tecnologías limpias, impacto que trasciende el ámbito universitario para influir en las futuras decisiones profesionales y personales de los graduados en materia de sostenibilidad energética.

### 11.3 Impactos económicos

La implementación del proyecto genera impactos económicos positivos en múltiples dimensiones, comenzando con la reducción directa del consumo eléctrico convencional de la universidad mediante el aprovechamiento de 660 Wh diarios de energía solar gratuita, contribuyendo a la disminución de los costos operativos energéticos institucionales a largo plazo. El sistema fotovoltaico implementado representa una inversión en infraestructura sostenible que, dado el potencial de vida útil superior a 20 años de los componentes principales y los mínimos requerimientos de mantenimiento de la tecnología solar, ofrece perspectivas favorables de retorno de inversión considerando la tendencia creciente de las tarifas eléctricas convencionales y la estabilidad del recurso solar en la región ecuatorial. Más allá de los beneficios económicos directos relacionados con ahorro energético, el proyecto genera valor agregado institucional al posicionar a la universidad como referente en innovación tecnológica sostenible, potencialmente incrementando su atractivo para estudiantes y proyectos de investigación relacionados con energías renovables, mientras que la experiencia adquirida en el diseño, implementación y operación del sistema constituye un activo intelectual que puede ser replicado en otras instituciones educativas, creando oportunidades de desarrollo tecnológico y fortaleciendo las capacidades técnicas institucionales en el área de energías limpias.

## 12 PRESUPUESTO DEL PROYECTO

<b>PRESUPUESTO TOTAL</b>			
<b>MATERIALES</b>			
<b>ELEMENTOS</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>PRECIO TOTAL</b>
Panel Solar 60w	2	\$ 85,00	\$ 170,00
Panel Solar 100w	1	\$ 165,00	\$ 165,00
Controlador solar PWM	1	\$ 36,00	\$ 36,00
Inversor Solar 1000W	1	\$ 55,00	\$ 55,00
Batería Gel 55AH	2	\$ 110,00	\$ 220,00
TB Cuadrado Galvanizado 1 1/2x2	2	\$ 18,60	\$ 37,20
TB Rectangular Galvanizado 80x40x1.5	3	\$ 27,45	\$ 82,35
TB Cuadrado Galvanizado 3x2	1	\$ 42,00	\$ 42,00
TB Rectangular Galvanizado 1 1/2X3/4X1.5	4	\$ 15,55	\$ 62,20
TB Cuadrado Galvanizado 1x1.5 25x25x1.5	1	\$ 11,65	\$ 11,65
Placa Galvanizada 20x20	2	\$ 7,00	\$ 14,00
Plancha tol Galvanizado 1/32	4	\$ 30,00	\$ 120,00

Bisagras 1/2x2	14	\$ 0,85	\$ 11,90
Picaporte de 3/8	1	\$ 2,00	\$ 2,00
Pernos M 8.8	8	\$ 0,90	\$ 7,20
Pernos 1/2	6	\$ 0,50	\$ 3,00
Perforaciones de placas	8	\$ 1,20	\$ 9,60
Dobles de tol	56	\$ 0,50	\$ 28,00
Caja tornillo autoroscante	3	\$ 3,50	\$ 10,50
MC4 conectores	6	\$ 7,50	\$ 45,00
Cable 14 AWG	8	\$ 0,90	\$ 7,20
Cable 12 AWG	8	\$ 0,90	\$ 7,20
Cable solar 10 AWG	12	\$ 3,00	\$ 36,00
Conectores Banana	12	\$ 1,25	\$ 15,00
Caja de Electrodo E6011 5kilos	1	\$ 34,00	\$ 34,00
Disco de pulir	4	\$ 1,50	\$ 6,00
Disco de corte	6	\$ 2,00	\$ 12,00
Disco flap	4	\$ 1,90	\$ 7,60
Masilla plástica litro	1	\$ 9,75	\$ 9,75
Tomacorriente + USB	2	\$ 12,00	\$ 24,00
Regleta de tomas	1	\$ 9,00	\$ 9,00
Enchufes	2	\$ 1,25	\$ 2,50
Luces led 6w	2	\$ 7,00	\$ 14,00
Silicon blanco	4	\$ 5,00	\$ 20,00
Pintura Sherwin Williams azul	1	\$ 17,00	\$ 17,00
Tiñer 2 litros	2	\$ 8,95	\$ 17,90
Pintura Sherwin Williams blanca 2 litros	2	\$ 10,50	\$ 21,00
Pintura de fondo whas pramer 1/4	1	\$ 12,00	\$ 12,00
Pinturas herwin willians roja medio litro	1	\$ 7,65	\$ 7,65
Mano de Obra	30	\$ 20,00	\$ 600,00
Mano de Obra	30	\$ 20,00	\$ 600,00
Viáticos	1	\$ 110,00	\$ 110,00
Transporte envió panel solar			\$ 18,00
Transporte envió de baterías			\$ 23,00
Transporte envió conectores Mc4			\$ 6,00
Transporte envió inversor y controlador			\$ 8,00
Alimentación			\$ 45,00
Transporte de tomacorrientes			\$ 5,00
Transporte envió cable solar			\$ 5,00
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 2.832,40</b>

**Fuente:** Chiriguayo y Daza (2025)

### 13 CONCLUSIONES

El diseño y la implementación del prototipo de la mesa multifuncional han constituido un verdadero éxito técnico, habiéndose alcanzado una buena integración de los paneles fotovoltaicos MJLED de 220Wp con sistema de almacenamiento de baterías Gel de 12V/110Ah. El sistema llega a una ratio de autosuficiencia del 104.4% entre la generación solar (660 Wh/día) y la demanda real (632 Wh/día), con un exceso del 4.4% que permite continuar su funcionamiento, mientras que la configuración con sus componentes operando con unas especificaciones óptimas hace palpable la solidez del diseño técnico y confirma la posibilidad de replicarlo en contextos similares.

La conformación estructural que puede definirse usando el método de los elementos finitos ha corroborado la buena realización del diseño adoptado encontrándose tensiones máximas de 20.17 MPa (8% del límite elástico), factores de seguridad mínimos de 10.26 (más de 4 veces superiores a los exigidos legalmente) y deformaciones inferiores a 0.005 mm. Este procedimiento numérico verifica la buena concordancia que se mantiene con los cálculos analíticos. Se concluye que la estructura tiene la capacidad de soportar cargas superiores a 10 veces el caso normal de trabajo, manteniendo así unas propiedades de resistencia y fiabilidad muy buenas.

La ejecución del sistema de carga ha dado respuesta a las necesidades exigidas en el diseño, dando cabida a diferentes interfaces de operación: dos tomacorrientes AC, cuatro puertos USB y un sistema de iluminación LED, añadiendo la protección a sobretensiones. El consumo real evidencia que los tomacorrientes AC ocupan, el 82.3% de la demanda (520 Wh), los puertos USB el 13.9% (88 Wh) y la iluminación un 3.8% (24 Wh). La autonomía de funcionamiento validada de 26.3 horas, supera en 9.6% el requisito estipulado en diseño.

La evaluación del impacto ha traído consigo unos resultados óptimos, con niveles de aceptación que oscilan entre el 87.6% y el 99.2% en todas las dimensiones evaluadas. La aceptación como tal de la necesidad técnica (99.2%) y del potencial educativo (99.2%) da fe que la mesa responde a necesidades reales y a la vez se convierte en herramienta pedagógica vivencial. La confianza en la viabilidad tecnológica solar (98.3%) donde se evidencian unos cambios culturales, donde hay soluciones energéticas sostenibles, se pone de manifiesto donde la implementación se convierte en una buena práctica de integración tecnológica.

## 14 RECOMENDACIONES

- Conectar los aparatos eléctricos en las horas de máxima generación solar (10 a 16 horas) es recomendado para obtener el máximo consumo energético directo de la energía solar fotovoltaica. Importante: no conectar en un periodo los aparatos eléctricos que superen la potencia de trabajo del inversor (1000 W), alternándose para no sobrepasar esta potencia; los usuarios han de utilizar, preferentemente, los puertos USB para los aparatos eléctricos de baja potencia, y guardar los tomacorrientes AC para los cargadores de dispositivos de alta potencia.
- Se efectuará el mantenimiento de los paneles fotovoltaicos de forma mensual mediante limpieza con agua destilada mediante un paño suave, evitando productos químicos agresivos. Se recomienda hacer una inspección visual cada trimestre de las conexiones eléctricas y de la carga de las baterías de forma mensual. Se recomienda el control del sistema de la iluminación del LED cada semestre para el funcionamiento de los sensores PIR o fotocélulas y calibrar el controlador PWM de forma anual.
- Para la replicación en otros escenarios se aconseja llevar a cabo estudios previos a la radiación solar adaptados a los diversos espacios a fin de tener un dimensionado óptimo de toda la instalación del sistema fotovoltaico. Igualmente, se aconseja tener presente sistemas de monitoreo del tipo IoT para realizar la supervisión a distancia del rendimiento energético y detección anticipada de fallos. Se recomienda evaluar también tecnologías del tipo MPPT en lugar de PWM para futuras instalaciones donde se priorice la eficiencia de conversión frente consideraciones de costo inicial.

## 15 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] B. Jamroen et al., "A low-cost dual-axis solar tracking system based on digital logic design: design and implementation," *Sustain. Energy Technol. Assess.*, vol. 37, pp. 100618, 2020.
- [2] "Use of Renewable Energy Sources in University Campus Microgrid – A Review," 2019 IEEE PES/IAS PowerAfrica, Abuja, Nigeria, 2019, pp. 1-6.
- [3] S. Mudi, "Design and Construction of a Portable Solar Mobile Charger," *World Academics Journal of Engineering Sciences*, vol.7, no.1, pp.40-44, 2020.
- [4] "Energy Storage Technologies for Modern Power Systems: A Detailed Analysis of Functionalities, Potentials, and Impacts," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 49689-49729, 2023.
- [5] "BGSU introduces new solar charging table as eco-friendly way to power devices on campus," *Bowling Green State University News*, Sept. 2021. [Online]. Available:

<https://www.bgsu.edu/news/2021/09/bgsu-introduces-new-solar-charging-table-as-eco-friendly-way-to-power-devices-on-campus.html>

- [6] G. Sasikumar and A. Sivasangari, "Design and Development of Solar Charging System for Electric Vehicles: An Initiative to Achieve Green Campus," *Journal of Environmental Engineering and Energy*, 2021.
- [7] "Solar PV," International Energy Agency (IEA), 2024. [Online]. Available: <https://www.iea.org/energy-system/renewables/solar-pv>
- [8] M. A. Green, et al., "Solar cell efficiency tables (version 60)," *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, vol. 30, no. 7, pp. 687-701, 2022.
- [9] K. Yoshikawa, et al., "Silicon heterojunction solar cell with interdigitated back contacts for a photoconversion efficiency over 26%," *Nature Energy*, vol. 2, pp. 17032, 2017.
- [10] "Research on Solar Photovoltaic (PV) energy conversion system: An overview," IET Conference Publication, IEEE Xplore, 2014.
- [11] A. Luque and S. Hegedus, "Handbook of Photovoltaic Science and Engineering," 2nd ed. John Wiley & Sons, 2011.
- [12] "Snapshot 2024," IEA Photovoltaic Power Systems Programme, September 2024.
- [13] "High-efficiency inverter for photovoltaic applications," IEEE Conference Publication, IEEE Xplore, 2010.
- [14] "Applications of Lithium-Ion Batteries in Grid-Scale Energy Storage Systems," *Transactions of Tianjin University*, vol. 26, pp. 92-103, 2020.
- [15] "Design and implementation of maximum power point tracking solar charge controller," IEEE Conference Publication, IEEE Xplore, 2017.
- [16] IEEE Std 80-2013, "IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding," IEEE Standards Association, 2013.
- [17] "Unveiling the potential of renewable energy and battery utilization in real-world public lighting systems: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2024.
- [18] ASTM B221/B221M-14, "Standard Specification for Aluminum and Aluminum-Alloy Extruded Bars, Rods, Wire, Profiles, and Tubes," ASTM International, 2014.
- [19] "Aluminum Design Manual," Aluminum Association, 2020 Edition.
- [20] "A New Energy Storage System Configuration to Extend Li-Ion Battery Lifetime for a Household," *IEEE Journal*, 2021.

- [21] "Integration of Solar PV-WECS and DG Set for EV Charging Station," IEEE Conference Publication, 2020.
- [22] "Grid Integrated Solar Photovoltaic and Battery Storage System Interfaced EV Charging Station," IEEE Conference Publication, 2024.
- [23] "EMPOWER: Vol 5. Issue 2 – June 2024," IEEE Smart Village, 2024.
- [24] "Experimental validation of a low-cost maximum power point tracking technique based on artificial neural network for photovoltaic systems," Scientific Reports, 2024.
- [25] "A comprehensive study of recent maximum power point tracking techniques for photovoltaic systems," Scientific Reports, 2025.
- [26] IEC 62548:2016, "Photovoltaic (PV) arrays - Design requirements," International Electrotechnical Commission, 2016.
- [27] "Lightning protection of PV systems," IEEE Conference Publication, IEEE Xplore, 2013.
- [28] IEC 60529:2013, "Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)," International Electrotechnical Commission, 2013.
- [29] "Photovoltaic Solar Energy: From Fundamentals to Applications," IEEE eBooks, IEEE Xplore, 2024.
- [30] "Moving Beyond 4-Hour Li-Ion Batteries," National Renewable Energy Laboratory, NREL/TP-5400-85878, 2023.
- [31] Directive 2012/19/EU, "Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)," European Parliament, 2012.
- [32] "Conventional and artificial intelligence based maximum power point tracking techniques for efficient solar power generation," Engineering Reports, Wiley, 2024.
- [33] "A study of DC-AC inverter optimization for photovoltaic power generation system," IEEE Conference Publication, 2012.
- [34] "Advancements in maximum power point tracking for solar charge controllers," Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2024.
- [35] "Next-Gen Solar Cells Can Harvest Indoor Lighting for IoT Devices," IEEE Spectrum, December 2024.