



## CELDA SOLAR PARA UN SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA

Realizado por:

Ing. Sander Mejías / Correo: [sanderrmh@gmail.com](mailto:sanderrmh@gmail.com)

Ing. Ariana Polanco / Correo: [polancoaetj@gmail.com](mailto:polancoaetj@gmail.com)

Ing. Daniel Prieto / Correo: [danprietop4@gmail.com](mailto:danprietop4@gmail.com)

Tutor Académico:

Esp. Daniel González / Correo: [daagonzalez@urbe.edu.ve](mailto:daagonzalez@urbe.edu.ve)

Tutor Metodológico:

Dra. Massiell Marcano / Correo: [mvmarcano@urbe.edu.ve](mailto:mvmarcano@urbe.edu.ve)

La presente investigación explora la tecnología de celdas solares como una solución viable para abordar la crisis energética en Venezuela. A nivel global, la demanda de electricidad ha aumentado, planteando desafíos significativos en términos de abastecimiento y sostenibilidad. La energía solar fotovoltaica surge como una alternativa renovable, limpia y de bajo costo, adecuada para satisfacer estas crecientes necesidades energéticas. En Venezuela, la crisis energética se agrava por la falta de inversión en el mantenimiento y actualización de infraestructuras hidroeléctricas y termoeléctricas, resultando en una escasez de energía confiable y constantes fluctuaciones en el suministro.



Esta situación ha impactado negativamente a sectores clave como la industria, la agricultura, la atención médica y la educación, limitando el desarrollo económico y social del país. Las celdas solares, que permiten la conversión directa de la energía solar en electricidad mediante el efecto fotoeléctrico, representan una solución prometedora y de bajo mantenimiento. Venezuela, con su abundancia de recursos solares, tiene un potencial significativo para adoptar esta tecnología, lo que la hace especialmente adecuada para enfrentar la crisis energética actual.

El objetivo de esta investigación es desarrollar celdas solares para un sistema de generación fotovoltaica que pueda contribuir de manera efectiva a la solución de la crisis energética en Venezuela. Se buscará identificar las tecnologías y oportunidades del mercado para la fabricación de celdas solares, definir los requerimientos técnicos, y diseñar y construir un prototipo que será sometido a pruebas para evaluar su rendimiento y costo de fabricación. Este estudio no solo tiene el potencial de impactar directamente la crisis energética en Venezuela al fomentar la producción local de celdas solares, sino que también contribuirá al avance del conocimiento en tecnologías de energía renovable y al desarrollo de soluciones adaptadas a las necesidades específicas del país.

## **RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN**

Se realizaron entrevistas con expertos de la Universidad Privada Dr. Rafael Belloso Chacín para identificar oportunidades y tecnologías en el ámbito de las celdas solares. Los resultados revelaron que las celdas solares son ampliamente reconocidas por su capacidad para convertir energía solar en corriente eléctrica y se utilizan en diversos sectores, incluyendo servicios de internet, bancos, centros comerciales y hogares. Sin embargo, aunque los expertos están familiarizados con sus aplicaciones, pocos conocen detalles específicos sobre tipos, capacidades de paneles y sus complejos procesos de producción.

Las celdas solares, principalmente hechas de silicio policristalino o monocristalino, cumplen eficazmente su función de generación de energía, aunque se señala la necesidad de mejorar los dispositivos de almacenamiento. Además, se destacó la importancia de adoptar energías renovables para mitigar el impacto ambiental, con Maracaibo siendo un lugar propicio para la instalación de paneles solares debido a su alta radiación UV. La mayoría de las celdas solares se adquieren mediante importaciones, subrayando la falta de laboratorios de manufactura local en Venezuela.

Se integró la información recopilada previamente y se realizó un análisis exhaustivo de diversas fuentes bibliográficas para establecer las especificaciones objetivo para el desarrollo de celdas



solares. Se definieron los requisitos y características fundamentales que estas celdas deben tener, considerando estándares de calidad y rendimiento. Se detallaron los procesos y materiales necesarios, incluyendo el uso de silicio monocristalino. Este análisis estableció una base sólida para las fases posteriores de diseño y desarrollo, asegurando que las soluciones técnicas sean efectivas y cumplan con los objetivos establecidos.

La oblea de silicio tipo P adquirida tiene unas dimensiones de 101.6 mm de diámetro y 35.92 x 35.92 mm después del proceso de corte láser. Con una resistividad de  $1-10\Omega$  y un grosor de  $525 \pm 25 \mu\text{m}$ ; la parte delantera pulida y parte trasera con un grabado de  $\text{TTV} < 10\mu\text{m}$ , hecha con la tecnología del método Czochralski (CZ).

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
DATOS DEL FABRICANTE	
Fabricante	Soka Technology
País de Origen	China
DATOS DEL PRODUCTO	
Método	CZ
Tamaño	35.92 mm <sup>2</sup>
Tipo	Tipo P
Dopante	B (Boro)
Orientación	100
Resistividad	$1 - 10\Omega$
Espesor	$525\mu\text{m} \pm 25$
TTV	$< 10\mu\text{m}$
Parte delantera	Pulida
Parte Trasera	Grabado



**Figura 1. Especificaciones técnicas oblea P.**  
**Fuente: Mejías, Polanco, Prieto (2024)**

Por otra parte, la oblea de silicio tipo N conseguida tiene unas dimensiones de 50.8 mm de diámetro, 35.92 x 35.92 mm después del proceso de corte. Con una resistividad  $> 1000\Omega$  y un grosor de  $280 \pm 25 \mu\text{m}$ ; hecha con el método FloatZone (FZ). Se consiguieron a través de la plataforma de comercio electrónico llamada “Amazon” Incorpora una capa de nitruro de silicio para reducir la reflexión de la luz solar.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
DATOS DEL FABRICANTE	
Fabricante	Soka Technology
País de Origen	China
DATOS DEL PRODUCTO	
Método	FZ
Tamaño	35.92 mm <sup>2</sup>
Tipo	Tipo N
Diámetro	$1.976 \text{ in} \pm 0.5$
Dopante	P (Fosforo)
Orientación	100
Resistividad	$> 1000\Omega$
Espesor	$280\mu\text{m} \pm 25$
TTV	$< 10\mu\text{m}$
Parte delantera	Pulida
Parte Trasera	Grabado



**Figura 2. Especificaciones técnicas oblea N**  
**Fuente: Mejías, Polanco, Prieto (2024)**



Los cables están hechos de cobre. El cobre es un buen conductor de la electricidad, lo que lo convierte en un material ideal para los cables eléctricos, con una tensión de 300V. Los cables están cubiertos de una capa aislante de PVC. El PVC es un material plástico que ayuda a proteger los cables de los daños y evita que la corriente eléctrica se escape.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
DATOS DEL PRODUCTO	
Temperatura nominal	105 °C
Tensión nominal	300V
Estándar de referencia	UL758, UL1581, CSA C22.2No.210.2
Tipo	Alambre de aislamiento de PVC
Material	Conductor de cobre, aislamiento de PVC sem

**Figura 3. Especificaciones técnicas de cables de cobre**  
**Fuente: Mejías, Polanco, Prieto (2024)**

El Panel Shine 66 es un limpiador con una densidad de 1.2 g/cm<sup>3</sup>, lo que lo convierte en un producto denso y efectivo. Su pH ácido de 2.0 lo hace ideal para eliminar suciedad y manchas difíciles. Su fórmula está compuesta por una combinación de ingredientes activos: Fluoruro de hidrógeno (HF), Fosfato de hidrógeno (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>), Ácido aquilsulfánico (RC<sub>6</sub>H<sub>5</sub>SO<sub>3</sub>H) y Limón flor P23.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
DATOS DEL FABRICANTE	
Fabricante	Productos 66
Dirección	Calle 98 #33 340 sector 5 de julio. Mcbo Zulia
País de Origen	Venezuela
DATOS DEL PRODUCTO	
Componentes	
Fluoruro de hidrógeno (HF)	
Fosfato de hidrógeno (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )	
Ácido aquilsulfánico (RC <sub>6</sub> H <sub>5</sub> SO <sub>3</sub> H)	
Limón flor P23	

**Figura 4. Especificaciones técnicas del Panel Shine 66**  
**Fuente: Mejías, Polanco, Prieto (2024)**

Este electrodo de ECG está compuesto por un conductor de cloruro de plata, su tamaño compacto de 10 mm lo hace ideal para una colocación cómoda y precisa. Además, cuenta con un gel de cloruro de potasio que mejora el contacto y reduce la impedancia, la cual se mantiene por debajo de 50 ohmios para minimizar la interferencia y garantizar una señal clara.



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
DATOS DEL FABRICANTE	
Fabricante	ARIZI
País de Origen	Venezuela
DATOS DEL PRODUCTO	
Componentes	
Almohadilla	
Espuma de políetileno, paño, cinta clara y microporos	
Sensor y conector	
Ag/ AgCl	

**Figura 5. Especificaciones técnicas de Electrodo de ECG.**  
**Fuente: Mejías, Polanco, Prieto (2024)**

El papel de aluminio está hecho de aluminio laminado, un metal ligero y maleable con excelentes propiedades de barrera y conductividad térmica. La aleación más común utilizada para el papel de aluminio es la AA8011, que contiene un 99,7% de aluminio y pequeñas cantidades de otros elementos como hierro, zinc y silicio. El grosor del papel de aluminio es de 10 micras.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
DATOS DEL FABRICANTE	
Fabricante	ALOA, ALBRAS, KBM, ALLOY Y
DATOS DEL PRODUCTO	
%Si	0,05 - 0,03
%Fe	0,70 - 1,3
%Cu	MAX 0,05
%Mn	0
%Mg	0
%Cr	0
%Ti	0
%Zn	MAX 0,10
%Ni	0
%Otros	0
%Al	0
Espesor (micras)	Mi. 10
Ancho (mm)	300 (+/-3%)
Largo (mm)	40000 (+/-3%)

**Figura 6. Especificaciones técnicas de Papel Aluminio.**  
**Fuente: Mejías, Polanco, Prieto (2024)**

El acrílico cuenta con un espesor de 3 mm. Su fórmula está compuesta por un 0.005% de Ftalatos, 2 mg de cadmio, 2 mg de plomo, 2 mg de mercurio, una suma de bifenilos polibromados de 5mg y una suma de polibromodifenil éteres-PBDE de 5 mg. Esto hace posible una resistencia a la tracción de 70-100 MPa, un módulo de elasticidad de 3-4 GPa, un alargamiento a rotura de 2-5% y una densidad de 1,18 g/cm3.



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
DATOS DEL FABRICANTE	
Fabricante	ALOA, ALBRAS, KBM, ALLOY Y
DATOS DEL PRODUCTO	
Color	0,05 - 0,03
Espesor (mm)	0,70 - 1,3
Tamaño de lámina (cm)	MAX 0,05
Composición química	
Ftalatos	
MDL (%)	0.005
LÍMITE (%)	0.1
Composición química	
Cadmio	
MDL (mg/kg)	2
LÍMITE (mg/kg)	100
Composición química	
Plomo	
MDL (mg/kg)	2
LÍMITE (mg/kg)	100
Composición química	
Mercurio	
MDL (mg/kg)	2
LÍMITE (mg/kg)	100
Composición química	
Suma de bifenilos polibromados	
MDL (mg/kg)	5
LÍMITE (mg/kg)	0
Composición química	
Polibromodifenil Éteres-PBDE	
MDL (mg/kg)	5
LÍMITE (mg/kg)	



Figura 7. Especificaciones técnicas de Acrílico.

Fuente: Mejías, Polanco, Prieto (2024)

A pesar de los cambios en las especificaciones, las características del prototipo no se ven afectadas en gran medida, tomando en cuenta el cambio en la toma de contactos, la celda contaría con una potencia máxima de 2.30 W, una tensión de 0,533 V y la corriente máxima generada en 4.32 A. La eficiencia de la celda es del 8.53%.

Se tomaron en cuenta las especificaciones objetivo y se evaluaron las restricciones técnicas reales para definir los requerimientos técnicos finales. Durante esta etapa, el prototipo experimentó variaciones en sus características, logradas mediante un modelo técnico de producción y considerando la disponibilidad de los materiales. Se generó una lista de verificación crucial para la evaluación y verificación del diseño, asegurando que las alternativas seleccionadas fueran las más apropiadas y compatibles con otros componentes, y se consideraron tanto la disponibilidad como el costo de los materiales. Estos esfuerzos garantizaron que el prototipo cumpliera con las especificaciones finales y estuviera listo para la fase de desarrollo.

Se completó la construcción del prototipo de la celda solar. Este proceso implicó el uso de materiales semiconductores específicos, equipos seleccionados y una meticulosa ejecución de cada paso, desde la preparación de los materiales hasta el ensamblaje final. Se realizaron pruebas de funcionamiento del prototipo utilizando instrumentos adecuados como un multímetro.



**Figura 8. Prototipo final**  
**Fuente: Mejías, Polanco, Prieto (2024)**

Estas pruebas evaluaron la eficiencia de conversión y el desempeño bajo diversas condiciones ambientales, confirmando que el prototipo cumplía con los requisitos de rendimiento establecidos. Finalmente, se verificó el diseño mediante una lista de verificación que aseguraba que todas las especificaciones finales se cumplían. Las pruebas demostraron que la celda solar producía un voltaje medio de 0.514 V en condiciones ideales y podía operar eficientemente bajo las condiciones ambientales específicas de Maracaibo.



**Figura 9. Prueba de curva I-V**  
**Fuente: Mejías, Polanco, Prieto (2024)**

El desarrollo de una celda solar es un proceso complejo, con costos de materiales elevados. Estos son importantes en la construcción, debido a que una celda solar está formada por diferentes materiales, muchos de los cuales deben comprarse a proveedores externos. Por ejemplo, las obleas de silicio tipo N tienen un precio de \$20.90 por unidad y las P cuestan \$12.50, sin incluir el precio de envío internacional por unidad, que en promedio es de \$7.64. Esto lleva a un costo total de \$20.14 para las P y \$28.54 para las N. Otros materiales utilizados incluyen terminales de ojo (\$0.10), aluminio (\$3.00 el metro), cable de calibre 28 (\$3.00 el metro), Panel Shine (\$6.00 el litro) y electrodos (\$0.13 por unidad).



Además, para calcular los costos de mano de obra y los tiempos de producción, fue necesario considerar los salarios de los operadores. Esto permite conocer el costo por minuto de trabajo y asignar un precio a cada actividad realizada en el proceso de construcción, como el corte, el lijado y la construcción del marco en acrílico. Tomando en cuenta todos estos costos, se obtuvo una inversión inicial de \$336.98 para el desarrollo del prototipo solar.

ESTRUCTURA DE COSTO CELDA SOLAR				
	UNIDAD MEDIDA	CANTIDAD	COSTO \$/unidad	COSTO TOTAL
<b>MATERIA PRIMA</b>				
Oblea de Silicio 4inch P Type	Unidad.	1	20.14	20.14
Chasis	Unidad	5	0.07	0.33
Terminales	Unidad	4	1.00	1.00
Eletrodos	Unidad	1	0.03	0.03
Aluminio	Centímetros	3	0.03	0.09
Cable	Centímetros	40	0.01	0.40
Panel Shine	ml	5	0.01	0.03
<b>SUB-TOTAL MATERIA PRIMA</b>				<b>22.02</b>
<b>2. MANO DE OBRA</b>				
Corte	min	4	0.50	2.00
Lijado	min	5	0.02	0.08
Construcción del marco	min	10	0.02	0.17
<b>SUB-TOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>2.25</b>
<b>COSTO UNITARIO DIRECTO</b>				<b>24.28</b>
<b>GASTOS ADMINISTRATIVOS (12%)</b>				<b>29.88</b>
<b>COSTO DE PRODUCCIÓN</b>				<b>54.16</b>

**Figura 10. Tabla de Costo de Fabricación para una celda**  
**Fuente: Mejías, Polanco, Prieto (2024)**

Finalmente, se realizó una estimación del costo de producción que tendría cada celda solar en caso de que se decida fabricar 300 unidades a gran escala. Esta proyección evalúa la viabilidad económica a largo plazo del proyecto y determina si es factible llevar a cabo la producción masiva de las celdas solares.

ESTRUCTURA DE COSTO CELDA SOLAR				
	UNIDAD MEDIDA	CANTIDAD	COSTO \$/unidad	COSTO TOTAL
<b>MATERIA PRIMA</b>				
Oblea de Silicio 4inch P Type	Unidad.	1	20.14	20.14
Chasis	Unidad	5	0.07	0.33
Terminales	Unidad	4	1.00	1.00
Eletrodos	Unidad	1	0.03	0.03
Aluminio	Centímetros	3	0.03	0.09
Cable	Centímetros	40	0.01	0.40
Panel Shine	ml	5	0.01	0.03
<b>SUB-TOTAL MATERIA PRIMA</b>				<b>22.02</b>
<b>2. MANO DE OBRA</b>				
Corte	min	4	0.50	2.00
Lijado	min	5	0.02	0.08
Construcción del marco	min	10	0.02	0.17
<b>SUB-TOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>2.25</b>
<b>COSTO UNITARIO DIRECTO</b>				<b>24.28</b>
<b>GASTOS ADMINISTRATIVOS (12%)</b>				<b>0.83</b>
<b>COSTO DE PRODUCCIÓN</b>				<b>25.11</b>

**Figura 11. Tabla de Costo de Fabricación para 300 unidades**  
**Fuente: Mejías, Polanco, Prieto (2024)**



## CONCLUSIONES

Tras analizar las tecnologías y oportunidades del mercado para la fabricación de celdas solares, se constató que, a pesar del amplio conocimiento sobre su funcionamiento y usos, persiste un significativo desconocimiento en torno al proceso de producción, los materiales y los equipos requeridos. Este vacío de información subraya la necesidad de profundizar en este aspecto crucial para avanzar en la industrialización de esta tecnología emergente. El silicio, ampliamente disponible a nivel mundial y en Venezuela, se determinó como el material más idóneo para iniciar un proceso de industrialización en el contexto estudiado. La elección del silicio policristalino se fundamenta en su menor costo, a pesar de tener una eficiencia ligeramente inferior al monocristalino.

La falta de industrias locales dedicadas a la fabricación y distribución mayorista de tecnologías solares presenta una oportunidad estratégica en el mercado. La dependencia actual de importaciones extranjeras evidencia una brecha en la oferta interna, generando un espacio propicio para satisfacer una demanda creciente y estimular el desarrollo del proyecto. Debido a la baja disponibilidad de equipos y materiales esenciales para la fabricación de celdas solares en la región, se recurrió al mercado extranjero, específicamente China, para obtener los materiales necesarios. Las especificaciones del primer prototipo fueron determinadas por la capacidad y eficiencia de los materiales obtenidos, manteniendo la viabilidad económica del proyecto.

A pesar de las restricciones tecnológicas de la región, se logró desarrollar un prototipo funcional, adaptado a las posibilidades reales de fabricación. La construcción del prototipo, llevada a cabo con precisión y cuidado, permitió materializar el diseño virtual en un prototipo físico, acercándose a las especificaciones técnicas finales. Las pruebas de funcionamiento verificaron el cumplimiento de los requisitos técnicos establecidos, demostrando que el diseño de la celda solar cumple con los estándares de calidad y funcionamiento esperados. Sin embargo, la producción a pequeña escala no resulta económicamente viable debido a los altos costos incurridos. No obstante, se concluye que la fabricación a gran escala, con técnicas de manufactura más eficientes y compras al por mayor, podría ser económicamente factible.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANCEFN. (2016). **Energía Solar**.

Biomass Users Network (BUN-CA), (2002). **Manuales sobre energía renovable: Solar Fotovoltaica** (1.a ed.).



DamiaSolar. (2024, 1 marzo). **¿Cuánta electricidad genera un panel solar y cómo calcularla?**  
Blog Damia Solar. <https://www.damiasolar.com/blog/cuanta-electricidad-genera-un-panel-solar-y-como-calcularla-/>

Martínez Basilio, J. de J., & Antonio Hernández, C. (2021). **Celdas solares y la tecnología del silicio.**

Perpiñán Lamigueiro, O. (2023). **ENERGÍA SOLAR Fotovoltaica.**

Puig, P. (2007). Energías renovables para todos: Solar fotovoltaica.

Rubio, G. C., & Corcobado, T. D. (2010). **Instalaciones solares fotovoltaicas, grado medio.**

Silicio policristalino: características y aplicaciones | AutoSolar Blog. (s. f.).  
<https://autosolar.pe/aspectos-tecnicos/silicio-policristalino-caracteristicas-y-aplicaciones>

Smartbitt. (2022, 27 mayo). **Extensiones y multicontactos - Smartbitt.**  
<https://smartbitt.com/extenciones-y-multicontactos/#>

(2020). Borja Pérez. **TODO LO QUE NECESITAS SABER SOBRE LA ENERGÍA SOLAR: para dummies** (3.a ed.).

Torres, C. A. B. (2010). **Metodología de la investigación: Administración, economía, humanidades y ciencias sociales** (3.a ed.).

Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2013). **Diseño y desarrollo de productos: quinta edición.**