



## Prototipo de un dispositivo termoelectrico para la conversión de energía térmica con aplicación en la industria 4.0 del estado de Chihuahua

*Prototype of a Thermoelectric Device for Thermal Energy Conversion with Application in Industry 4.0 in the State of Chihuahua*

Responsable: **Manuel Antonio Ramos Murillo** | Departamento de Física y Matemáticas, División Multidisciplinaria de Ciudad Universitaria, UACJ, Ciudad Juárez, Chihuahua, México | manuel.ramos@uacj.mx

### Eje temático

Impacto Económico

### Subeje

Avances científicos y tecnológicos en las ciencias biomédicas

### Participantes PTC

José Luis Enríquez Carrejo (IIT), José Mireles Jr. García (IIT)

### Participantes externos

Martin Heilmaier, John Nogan, Abel Hurtado Macías, Roberto Carlos Ambrosio Lázaro

### Resumen

Este proyecto tiene el propósito de desarrollar un prototipo de dispositivo termoelectrico para conversión de energía térmica en energía eléctrica contribuyendo en el desarrollo sostenible de la Industria 4.0 en el estado de Chihuahua y mitigar la creciente demanda de combustibles fósiles. El proyecto se centra en el diseño, desarrollo y prueba de un dispositivo de escala micrométrica fabricada a partir de películas delgadas con espesores menores a los 400 nm de materiales semiconductores por técnica de erosión catódica por radiofrecuencia, especialmente disulfuro de molibdeno ( $\text{MoS}_2$ ) y diselenuro de molibdeno ( $\text{MoSe}_2$ ) acoplados en un arreglo multicapa para maximizar la transformación de la radiación solar infrarroja en energía eléctrica a partir del efecto Seebeck con valores de densidad de corriente superiores a los  $10 \mu\text{A cm}^{-2}$ . El enfoque incluye una extensa caracterización del dispositivo tanto en términos de su estructura cristalina como de sus propiedades eléctricas y termoelectricas, con el uso de microscopio electrónico de transmisión, difracción de rayos X, espectroscopía Raman, tiempo de vuelo de masas de iones y el uso un simulador solar, además de la descripción a partir de modelado computacional del arreglo multicapa. El diseño de experimentos encierra la determinación de la relación causal entre el desempeño del dispositivo como generador de energía eléctrica —cuantificado a partir de la densidad de corriente total de conversión— en función de las dimensiones del dispositivo (espesor de las películas delgadas). El enfoque del proyecto es potencializar el acceso a la energía solar en el estado de Chihuahua para coadyuvar en la migración hacia una Industria 4.0 sostenible a partir de un novedoso arreglo de celda termoelectrica de fácil fabricación y larga vida útil, desarrollado específicamente para acoplarse a las condiciones geográficas de la región.

**Palabras clave:** Industria 4.0, energía solar, semiconductores, ciencia de materiales.

### Abstract

This project aims to develop a prototype of a thermoelectric device for the conversion of thermal energy into electrical energy, contributing to the sustainable development of Industry 4.0, in the State of Chihuahua, and mitigating the growing demand for fossil fuels. The project focuses on the design, development, and testing of a micrometer-scale device made from thin films with thicknesses less than 400 nm of semiconductor materials by a cathodic sputtering technique, specifically molybdenum disulfide ( $\text{MoS}_2$ ) and molybdenum diselenide ( $\text{MoSe}_2$ ) arranged in a multilayer setup to maximize the transformation of infrared solar radiation into electrical energy via the Seebeck effect with current density values exceeding  $10 \mu\text{A cm}^{-2}$ . The approach includes extensive characterization of the device in terms of its crystalline structure and its electrical and thermoelectric properties using transmission electron microscopy, X-ray diffraction, Raman spectroscopy, time-of-flight ion mass spectroscopy, and a solar simulator, along with a computational modeling description of the multilayer arrangement. The experimental design determined the causal relationship between the device's performance as an electric power generator,



quantified by the total current density of conversion, and the dimensions of the device (thickness of the thin films). The project's focus is to enhance access to solar energy in the State of Chihuahua to aid in transitioning to a sustainable Industry 4.0, using a novel thermoelectric cell arrangement that is easy to manufacture and has a long lifespan, specifically developed to adapt to the geographical conditions of the region.

**Keywords:** Industry 4.0, solar energy, semiconductors, Materials Science.