

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas

Carrera de Electricidad

**ANÁLISIS DE EFICIENCIA DE UN SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE
ENERGÍA HÍBRIDO CONFORMADO POR NANOGENERADORES Y
CELDA SOLARES RESPECTO A UN SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE
ENERGÍA SOLAR CONVENCIONAL.**

Trabajo de grado presentado ante la Universidad Técnica del norte previo a la
obtención del título de Ingeniero Eléctrico

AUTOR:

FRANCIS ALEJANDRO ENRÍQUEZ CRIOLLO

TUTOR:

MSC. GUERRA MASSON JULIO ESTEBAN

IBARRA – ECUADOR

2023



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100442758-7		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Enríquez Criollo Francis Alejandro		
DIRECCIÓN:	Ibarra		
EMAIL:	faenriquezc@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	062 546 595	TELÉFONO MÓVIL:	0986791514

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Análisis de eficiencia de un sistema de recolección de energía híbrido conformado por nanogeneradores y celdas solares respecto a un sistema de recolección de energía solar convencional.
AUTOR (ES):	Enríquez Criollo Francis Alejandro
FECHA: DD/MM/AAAA	13/09/2022
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero eléctrico
ASESOR /DIRECTOR:'	Ing. Julio Guerra MSc.

CONSTANCIA

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 29 días del mes de marzo del 2023

EL AUTOR:



Enríquez Criollo Francis Alejandro

C.I: 1004427587



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

Yo, Julio Esteban Guerra Masson en calidad de tutor del señor Enríquez Criollo Francis Alejandro, certifico que ha cumplido con las normas establecidas en la elaboración del trabajo de investigación titulado: **"ANÁLISIS DE EFICIENCIA DE UN SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE ENERGÍA HÍBRIDO CONFORMADO POR NANOGENERADORES Y CELDAS SOLARES RESPECTO A UN SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE ENERGÍA SOLAR CONVENCIONAL."**

Para la obtención del título de Ingeniero en Electricidad, aprobado la defensa, impresión y empastado.

A handwritten signature in blue ink, enclosed within a blue oval. The signature is stylized and appears to read 'Julio Esteban Guerra Masson'.

MSc. Guerra Masson Julio Esteban

DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

DEDICATORIA

Le dedico este trabajo con todo mi corazón a mi madre Janneth Alexandra Criollo Cuaspud, pues ella fue el principal cimiento para la construcción de mi vida profesional, sentó en mi los valores de la responsabilidad y deseos de superación, en ella tengo el modelo a seguir pues sus virtudes infinitas y su gran corazón me llevan a admirarla cada día más. Gracias por apoyarme en los momentos malos y menos malos y gracias por enseñarme a afrontar las dificultades sin perder la cabeza. Tu bendición a diario y a lo largo de mi vida me lleva por el camino del bien. Por eso te doy mi trabajo en ofrenda por tu paciencia y amor, te quiero madre mía.

Gracias Dios por concederme a la mejor de las madres.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

AGRADECIMIENTO

En el momento de haber terminado este trabajo, es de mi agrado extender un ferviente agradecimiento a aquellas personas que fueron de apoyo y fuerza durante esta extensa etapa. Deseo realizar una mención especial para mi madre, quien confió día a día en mis sueños y apoyó mis planes e ideas, a Luis Maldonado, por su apoyo en todo momento de mi vida, por ser un ejemplo de responsabilidad, dedicación y comprensión para mí y mi madre. A Santiago Cárdenas, sin su ayuda este trabajo no sería posible.

Le doy gracias a mis amigos, Ricardo, Bryan, Fernando, Javier, Anndy y Alex por siempre saber cómo arrancar una sonrisa mía y escucharme cuando lo necesitaba y brindarme su ayuda de diferentes maneras.

Le agradezco a mis mejores amigos Bolívar y Stalyn, por que siempre me dieron su apoyo y ánimos cuando mas lo necesité, por ayudarme a no dejarme vencer ante las adversidades.

Índice de contenido

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA	2
CONSTANCIA	¡Error! Marcador no definido.
ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR	¡Error! Marcador no definido.
DECLARACIÓN	¡Error! Marcador no definido.
DEDICATORIA.....	5
AGRADECIMIENTO.....	6
INTRODUCCIÓN	9
A1. Antecedentes.....	9
A2. Planteamiento del problema	11
A3. Justificación	11
A4. Pregunta directriz.....	13
A5. Objetivos.....	13
A5.1. Objetivo general.	13
A5.2. Objetivos específicos.....	13
CAPÍTULO 1	16
1.1 Sistemas de generación eléctrica mediante conversión de energía solar	16
1.1.1 Efecto fotovoltaico.....	16
1.1.2 Tipos de celdas fotovoltaicas.....	17
1.2 Nanogeneración eléctrica	21
1.2.1 Energy harvesting	22
1.2.2 Nanogeneración Triboeléctrica	23
1.2.3 Nanogeneración Piezoeléctrica	26
1.2.4 Nanogeneración Piroeléctrica.....	30
1.3 Sistemas híbridos de generación de energía.....	30
1.3.1 Sistemas híbridos entre nanogeneradores y celdas solares.....	31
CAPÍTULO 2	33
2.2 Revisión sistemática	36
2.3 Revisión sistemática de generadores híbridos.....	46
2.4 Generación híbrida entre celdas solares y nanogeneradores	57
CAPÍTULO 3	58
3.1 Capacidad de generación de sistemas conformados por celdas solares	58
3.2 Ventajas y desventajas de la generación híbrida entre celdas solares y nanogeneradores.....	60

3.3 Comparativa entre generación convencional e híbrida	61
Conclusiones.....	67

INTRODUCCIÓN

A1. Antecedentes

Desde la antigüedad el ser humano ha utilizado las diferentes fuentes de energía que ha tenido a su disposición ya sea para realizar diferentes actividades o para generar calor, al inicio usaba su propia fuerza física luego la de los animales domésticos, después la energía proveniente del viento y del agua. Más tarde vendría la explotación de los combustibles fósiles (carbón, gas natural, petróleo y energía nuclear). En el futuro es posible que aparezcan nuevas fuentes de energía, sea como fuere, la presencia y disponibilidad de la energía será siempre algo indispensable para el ser humano (Kaltschmitt et al., 2007; Merino, 2007).

En el mundo existen alrededor de 1600 a 2000 millones de personas que no tienen acceso a la energía eléctrica y las necesidades principales como cocinar, calentarse e iluminar sus hogares lo hacen mediante biomasa tradicional. En la actualidad existen más personas sin acceso a la electricidad que las que existían en la época de Edison. Se ha observado que los niveles de pobreza aumentan mientras más alejadas se encuentren las viviendas, y a su vez mientras más alejado sea el lugar más alto son los costos de electrificación (Zahnd & Kimber, 2019).

En la actualidad el cuidado de la atmosfera terrestre es muy importante ya que sin esta la temperatura ambiente media global sería tan baja como -18°C , los gases particulares como son el dióxido de carbono, metano y vapor de agua generan un efecto invernadero en nuestro planeta, estos gases se producen de forma natural o también pueden ser producto del hombre, estos últimos producen un efecto invernadero adicional a la atmosfera siendo estos resultado del consumo de energías y otras influencias inducidas por el hombre (Quaschnig, 2005; Santamarta, 2010).

El uso de recursos renovables es un importante contribuyente al cuidado de la atmosfera y al crecimiento económico de un país, los países que se encuentran en vías de desarrollo tienen abundante biomasa y recursos agrícolas

que proporcionan el potencial para que estas naciones puedan lograr la autosuficiencia en materiales (Fornasiero & Graziani, 2005).

Por otro lado, la preocupación por una próxima crisis energética y los efectos que produce el calentamiento global han impulsado el interés en las energías renovables y ecológicas, como la energía solar, el calor residual y la vibración mecánica. Aprovechar las energías renovables es de gran importancia para combatir la contaminación ambiental y satisfacer las necesidades energéticas y garantizar el desarrollo sostenible (Khan et al., 2019).

De las energías renovables existentes, la energía solar es una de las opciones más viables para sustituir en gran parte la demanda energética en el mundo, ya que esta no genera contaminación ambiental y su matriz energética es sustentable (Tobajas Vazquez, 2018).

Sin embargo, el uso de la energía solar presenta algunas desventajas, entre ellas se encuentran fenómenos atmosféricos, cambios climáticos y la naturaleza aleatoria de la irradiación, esto conlleva a provocar gran cantidad de fluctuaciones en el voltaje y la corriente de salida de los paneles solares. (Ali et al., 2020). De igual forma, los paneles solares están expuestos la mayoría del tiempo a varios fenómenos naturales, como corrientes de aire, lluvia y ruido que generan una energía mecánica, la cual no es aprovechada en lo absoluto y con la que se podría suplir algunas de las necesidades de los paneles solares (Liu et al., 2020).

Para el aprovechamiento de la energía mecánica que se encuentra presente en la naturaleza es de suma importancia tener herramientas para la investigación de nuevas tecnologías como por ejemplo la nanogeneración el cual es un campo de estudio que se centra en la generación de electricidad mediante nanomateriales y los efectos que son resultado de las interacciones de los mismos (Calixto et al., 2017).

La nanogeneración se basa en estudiar algunos elementos como son los piezoeléctricos, piroeléctricos y triboeléctricos, los cuales son capaces de generar y almacenar energía, además de estas propiedades estos materiales también pueden mejorar el rendimiento de otras fuentes de energía renovable

mejorando la calidad de los materiales empleados para la creación de células solares (Liu et al., 2020).

A2. Planteamiento del problema

En los últimos años, la energía solar se ha presentado como una de las fuentes energéticas con más posibilidades para liderar la revolución energética del futuro. Sin embargo, las desventajas que presenta el uso de energía solar son varias entre estas se encuentra que la energía solar no es constante, es decir, varía a lo largo del día y por la noche no está disponible. Otro factor que afecta la eficiencia de la energía solar es el cambio climático, ya que la efectividad de la energía solar es menor en los meses invernales. Los factores ya mencionados hacen que la eficiencia de la energía solar sea relativamente baja en lo que refiere a energía eléctrica que puede convertir, ya que en la actualidad es posible convertir alrededor de un 25% de la energía solar recolectada.

Así mismo, el rendimiento de los paneles solares puede disminuir en determinadas condiciones atmosféricas, ya que estos al encontrarse a la intemperie se ven expuestos a largos períodos de calor, humedad, niebla, corrientes de aire, lluvia y ruido los cuales generan energía mecánica o térmica la cual no es aprovechada en lo absoluto.

Por otro lado, los nanogeneradores pueden transformar la energía mecánica ambiental ya sea vibraciones, el flujo de fluidos, e incluso el movimiento biológico en una fuente de energía, entonces, si se compara las células solares con los nanogeneradores estos últimos suponen una forma relativamente poco eficaz de captura de energía.

A3. Justificación

La principal forma de recolección de energía solar se realiza mediante paneles solares los cuales se encuentran en una continua exposición a cambios climáticos y diversas condiciones atmosféricas las cuales afectan su eficiencia y

que a su vez generan energía mecánica o térmica la cual no es aprovechada en lo absoluto.

Los sistemas híbridos entre nano generadores y celdas solares buscan aprovechar al máximo la energía que se desperdicia en la exposición de los paneles solares a los diversos cambios climáticos y diversas condiciones atmosféricas tales como el calor que se genera en los largos periodos de exposición al sol el cual puede ser aprovechado por nanogeneradores de efecto piroeléctrico, también se puede aprovechar la energía generada por el rozamiento de las corrientes de aire contra los paneles solares o el golpe de las gotas de agua de lluvia mediante el uso de nano generadores de efecto triboeléctrico.

Por otro lado, si se compara las células solares con los nanogeneradores estos últimos suponen una forma relativamente poco eficaz de captura de energía, pero es posible alinear un amplio número de células solares y nanogeneradores y al integrar estos dos sistemas en uno solo se ocupa menor espacio y en consecuencia se obtiene un aumento en el rendimiento energético. Una de las aplicaciones que se puede dar a los dispositivos híbridos es la fabricación de sensores para aviones militares los cuales aprovecharan la energía solar para auto sustentarse y a su vez en la oscuridad de la noche usará la energía generada por el rozamiento del aire con los sensores, para así lograr una auto sustentación proveniente de dos tipos de energía diferentes.

Por otro lado, un grupo de investigadores de la universidad de Wisconsin-Madison, junto a científicos en China, han conseguido desarrollar un sistema el cual significa un hito que puede convertirse en un arma increíble para que los autos eléctricos sea una realidad. Este proyecto ha logrado desarrollar un nanogenerador que puede recoger energía que se desprender del roce entre el neumático y la carretera. Los investigadores aseguran que la energía que se pierde en el proceso de rozamiento de neumático y carretera junto con la recolección de energía solar realizada mediante paneles solares implementados en los autos podría ser una nueva vía para mejorar la eficiencia energética de los automóviles.

El presente proyecto pretende determinar cuál sistema híbrido conformado por nanogeneradores y celdas solares presenta la mayor eficiencia ya sea con efectos Piezoeléctricos, Piroeléctricos o Triboeléctricos.

A4. Pregunta directriz

¿Qué nivel de mejora en eficiencia energética se obtiene de un sistema de recolección energético híbrido entre nanogeneradores y celdas solares con respecto a un sistema de recolección de energía solar convencional?

A5. Objetivos

A5.1. Objetivo general

Realizar el análisis de eficiencia de un sistema de recolección de energía híbrido conformado por nanogeneradores y celdas solares respecto a un sistema de recolección de energía solar convencional, mediante un análisis comparativo para la generación de energía eléctrica más eficiente.

A5.2. Objetivos específicos

1. Describir las tecnologías y sistemas de generación eléctrica a partir de la conversión de energía solar, nanogeneración por efectos Piezo, Piro y Triboeléctricos y sistemas de generación híbridos entre nanogeneradores y celdas solares.
2. Analizar la eficiencia de los diferentes sistemas híbridos entre nanogeneradores y celdas solares para la generación de energía eléctrica.
3. Realizar un análisis comparativo entre sistemas de recolección de energía híbridos y un sistema de recolección de energía solar convencional.

Resumen

Los sistemas de generación solar ya han sido estudiados de una forma bastante amplia, pero existen pocos trabajos empíricos que documenten su eficiencia cuando a dichos sistemas se les adhiere nanogeneradores eléctricos convirtiendo sistemas convencionales en sistemas híbridos. En el presente trabajo se realizó un estudio sobre la eficiencia de los sistemas híbridos entre nanogeneradores y celdas solares, mediante una revisión sistemática que fue realizada con 295 artículos científicos en materia de sistemas híbridos entre nanogeneradores y celdas solares y en relación con la eficiencia que estos sistemas poseen respecto a sistemas convencionales. Para su elaboración, se ha seguido las directrices de la declaración PRISMA para la correcta realización de revisiones sistemáticas. Las declaraciones PRISMA son un conjunto de recomendaciones para la presentación clara y transparente de las revisiones sistemáticas. Estas recomendaciones incluyen la identificación de los objetivos y la metodología de la revisión, la búsqueda y selección de estudios relevantes, la evaluación de la calidad de la evidencia, la síntesis y presentación de los resultados y la consideración de las limitaciones y fortalezas de la revisión. Se identificaron 15 artículos científicos sobre sistemas híbridos con la mayor eficiencia reportada con los cuales se procedió a realizar un análisis comparativo exponiendo mediante texto y tablas las ventajas más relevantes que poseen los nanogeneradores, cantidad de energía generada, tipo de energías naturales recolectadas para la generación eléctrica todo esto tomando en cuenta los sistemas híbridos con los tipos de nanogeneradores con mayor número de artículos científicos publicados y cribados. Al final se concluyó que los sistemas híbridos entre nanogeneradores triboeléctricos y celdas solares presentan un mayor porcentaje de generación eléctrica frente a los sistemas convencionales conformados por celdas solares, siendo 0,5 voltios la energía generada por una célula solar monocristalina típica y 0,67 voltios la energía generada de las células solares híbridadas con nanogeneradores triboelectricos.

Abstract

Solar generation systems have already been studied extensively, but there are few empirical studies that document their efficiency when electric nanogenerators are attached to these systems, converting conventional systems into hybrid systems. In the present work, a study on the efficiency of hybrid systems between nanogenerators and solar cells was carried out by means of a systematic review of 295 scientific articles on hybrid systems between nanogenerators and solar cells and in relation to the efficiency of these systems with respect to conventional systems. The guidelines of the PRISMA statement for the correct conduct of systematic reviews were followed. PRISMA statements are a set of recommendations for the clear and transparent presentation of systematic reviews. These recommendations include identifying the objectives and methodology of the review, searching for and selecting relevant studies, assessing the quality of the evidence, synthesizing and presenting the results, and considering the limitations and strengths of the review. Fifteen scientific articles on hybrid systems with the highest reported efficiency were identified and a comparative analysis was carried out, exposing through text and tables the most relevant advantages of nanogenerators, amount of energy generated, type of natural energies collected for electricity generation, all this taking into account the hybrid systems with the types of nanogenerators with the highest number of published and screened scientific articles. At the end it was concluded that the hybrid systems between triboelectric nanogenerators and solar cells present a higher percentage of electric generation compared to conventional systems made up of solar cells, being 0.5 volts the energy generated by a typical monocrystalline solar cell and 0.67 volts the energy generated by solar cells hybridized with triboelectric nanogenerators.

CAPÍTULO 1

Tecnologías y sistemas de generación eléctrica a partir de la energía solar, nanogeneradores y sistemas híbridos

De la revisión de la literatura de los sistemas de generación fotovoltaica, nanogeneración y generación híbrida, permitió la descripción de los sistemas de generación eléctrica a partir de la conversión de energía solar, efecto fotovoltaico, tipos de celdas fotovoltaicas, tecnologías existentes en el campo de recolección de energía solar, también se describieron las tecnologías y sistemas de nanogeneración eléctrica por efectos Piezo, Piro, Triboeléctricos y los sistemas híbridos entre nanogeneradores y celdas solares.

1.1 Sistemas de generación eléctrica mediante conversión de energía solar

En la actualidad existen dos tipos de sistemas encargados de la transformación de energía solar a eléctrica, los sistemas fotovoltaicos y sistemas térmicos. Los sistemas térmicos o también llamados termo solares hacen uso de tecnologías que se basan en la transformación de algunos componentes de la radiación solar en energía térmica, posteriormente esta energía térmica es transformada en energía eléctrica o calor ya sea para ser utilizada de inmediato o almacenarla en forma de calor o de forma química (Espejo, 2010).

1.1.1 Efecto fotovoltaico

El efecto fotovoltaico consiste en la conversión directa de radiación electromagnética en corriente eléctrica, mediante un dispositivo llamado celda fotovoltaica. En la Figura 1 se muestra el efecto fotovoltaico, cuando existe la presencia de fotones sobre la celda construida a partir de la unión entre semiconductores tipo p y tipo n, parte de ellos son absorbidos en el material.

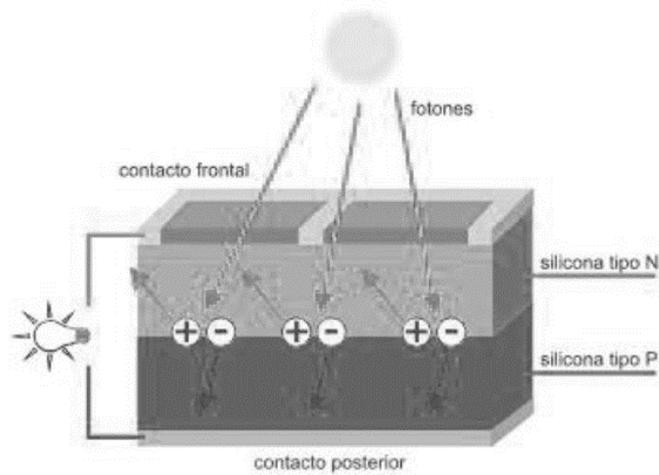


Figura 1 Efecto fotoeléctrico Fuente: (Flores & Domínguez, 2017).

Los fotones que poseen una energía mayor al salto energético entre la banda de conducción y la de valencia pueden ser absorbidos y forzar el salto de un electrón entre estas dos bandas. Como este salto deja un hueco en la banda de valencia, se dice que la absorción de un fotón genera un par electrón – hueco. Si esta generación tiene lugar a una distancia de la unión inferior a la denominada longitud de difusión existe una alta probabilidad de que estos portadores de carga eléctrica sean separados por el elevado campo eléctrico existente en la unión p-n, produciéndose la separación de ambas cargas, el electrón se desplaza hacia la zona n y el hueco hacia la zona p, creándose, con ello, una corriente de electrones desde la zona n a la zona p. Si se conectan ambas regiones mediante un circuito eléctrico exterior, se establece una corriente eléctrica a través de este (Sánchez, 2013; Tarrach, 2001).

1.1.2 Tipos de celdas fotovoltaicas

La base para la creación de celdas solares son los materiales semiconductores. En la actualidad existe una gran cantidad de celdas creadas a partir de diferentes materiales y estructuras, el objetivo perseguido es obtener la mayor eficiencia a un menor costo. Las celdas de silicio cristalino ofrecen una eficiencia de hasta el 18% con una garantida de 20 años, estas comparten el mercado con celdas policristalinas (Menjívar, 2011).

A continuación, en la Tabla 1 se muestran los diferentes tipos de células solares que existen y el voltaje que generan.

Clasificación	V_{oc} (V)
Célula Cristalina	0.738
Célula Multicristalina	0.6742
Mini módulo de película fina	0.492
Película delgada de GaAs	1.1272
Célula de CdTe	0.8759
Amorfa de Si	0.896
Microcristalina	0.550
Dye (célula)	0.744
Célula orgánica	0.8422

Tabla 1 Tipos de celdas solares

Las celdas fotovoltaicas convencionales de silicio son fabricadas a partir de barras de silicio dopadas con boro, las barras de silicio son cortadas en discos de un espesor de 0.3mm, luego de esto uno de los lados del disco es expuesto a un gas rico en fósforo a una temperatura muy alta, mediante procesos de difusión se logra una gran concentración de fósforo en dicha cara del disco de silicio la cual es superior a la concentración inicial de boro. Es proceso mencionado construye una unión p-n, fundamento de la celda solar fotovoltaica. (Eskeda, 2014).

Otra opción más económica, pero con una considerable disminución de eficiencia son las celdas de silicio amorfo. En la actualidad se están empezando a fabricar celdas de capa delgada de diferentes materiales semiconductores como el cadmio y el diseleniuro indio el cual promete un aumento de eficiencia con precios más bajos (Velandia, 2018).

1.1.3 Tecnologías de Recolección de energía solar Fotovoltaica

De todas las fuentes de energía renovable existentes la más prometedora es la energía solar fotovoltaica la cual posee un mayor potencial productivo, se estima el potencial técnico anual de generación eléctrica de la energía solar actual en 613PWh por año (Korfiati et al. 2016). Según IRENA (2019), para mediados del siglo la energía solar fotovoltaica sería capaz de abastecer el 25% de la demanda total de electricidad.

Células solares en tándem

El funcionamiento de las células solares tándem es en cascada, es decir, se colocan una sobre otra para que cada una de estas convierta una banda específica de luz en energía eléctrica, evitando así el desperdicio de energía, pues la energía sobrante pasa a la siguiente célula solar (Peters et al., 2016).

Paneles Fotovoltaicos flotantes

Las plantas fotovoltaicas flotantes son sistemas fotovoltaicos que flotan en depósitos de agua, canales de riego, presas, lagos y balsas de residuos, evitando así la preocupación generada por el consumo de tierra. Estos sistemas están conformados por una estructura flotante la cual permite la instalación de los módulos flotantes (fh), un sistema de amarre el cual es usado para detener el movimiento de la estructura ocasionado por el agua, un sistema FV y cable submarino el cual es usado para transportar la energía generada a la subestación eléctrica (Natalichio, 2019).

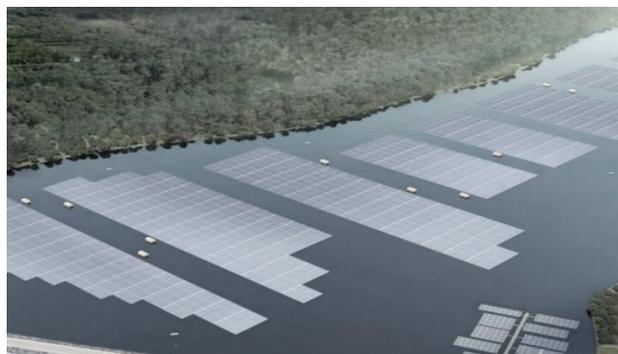


Figura 2 Granja solar Flotante en Singapur Fuente: (Pérez, 2021).

Según el Banco Mundial y el Instituto de Investigación de Energía Solar de Singapur (2019), a finales del año 2018 la capacidad instalada acumulada global de la fotovoltaica flotante era de 1.1GW, es decir, en cuatro años se vio aumentada hasta 100 veces.

Árboles solares

Los árboles solares están inspirados en sus homólogos naturales, poseen paneles solares con forma de hoja que se conectan a través de ramas metálicas las cuales captan la energía solar para generar electricidad. Al ser estructuras que simulan la forma natural de los árboles, son más fáciles de usar que los paneles solares que se ubican de forma horizontal, estos ocupan casi 100 veces menos el espacio de los sistemas convencionales y producen la misma energía (IRENA, 2019).

Además, estos sistemas permiten mitigar el calor en espacios urbanos, estas estructuras pueden ser empleadas para la generación de energía eléctrica para iluminar las calles, facilitar las conexiones wifi o cargar dispositivos móviles (Avdic, Zecevic, Pervan, Tasic, 2013).



Figura 3 Árbol Solar la India Fuente: (Ecoinventos, 2017).

Como se puede observar en la Figura 3 los árboles solares son dispositivos que generan electricidad mediante la recolección de energía solar,

estos dispositivos adoptan la forma de un árbol dejando atrás la estructura fotovoltaica tradicional.

1.2 Nanogeneración eléctrica

Según Brooker (2015), la nanotecnología es el futuro ya que esta se encarga del estudio de partículas, dispositivos y compuestos de tamaño nanométrico para encontrar formas de fabricación de materiales más fuertes, construcción de máquinas extremadamente pequeñas, purificación de agua, generación de luz y energía eléctrica, los cambios que traerá la nanotecnología en las próximas décadas cambiarán la forma en que las personas consumen las cosas puesto que la sociedad actual es una sociedad de consumo las empresas y los inversores están más que ligeramente interesados en las tecnologías que revolucionarán la fabricación de bienes de consumo.

En la actualidad existe una gran variedad de generadores eléctricos basados en efectos piezoeléctricos, piroeléctricos y triboeléctricos, la corriente es conducida por la corriente de desplazamiento dentro del generador este tipo de generadores se denomina nanogeneradores que representan físicamente un campo que utiliza la corriente de desplazamiento como la fuerza impulsora para convertir la energía mecánica en una señal eléctrica. Los nanogeneradores funcionan mejor a baja frecuencia debido a su alto voltaje de salida, pero baja corriente (Lin, 2019).

Según Lin (2019), cuando se habla de condiciones de baja frecuencia es importante mencionar a los nanogeneradores triboeléctricos ya que estos se especializan en convertir energía desperdiciada del entorno en energía eléctrica. Sin embargo, los nanogeneradores piezoeléctricos usados a gran escala y en áreas grandes se vuelven más productivos ya que obtienen un mayor número de efectos físicos para aprovechar como por ejemplo la presión, deformación y movimiento de objetos.

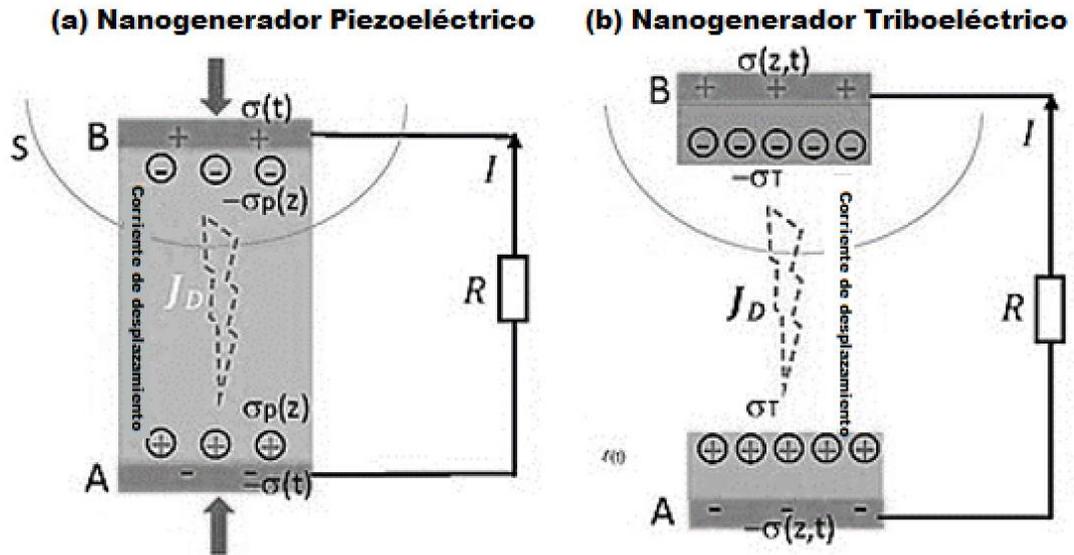


Figura 4 Desplazamiento de corriente en los nanogeneradores Fuente: (Lin, 2019).

En la Figura 4 se puede apreciar la corriente de desplazamiento que se genera en los dos tipos de nanogeneradores, también se observa que en los nanogeneradores triboeléctricos existe una corriente de desplazamiento exterior y una corriente de conducción capacitiva, esto se debe a que los nanogeneradores triboeléctricos están conformados por dos materiales y por esta razón este tipo de nanogeneradores con los dispositivos que más energía aprovechan de su entorno.

1.2.1 Energy harvesting

Energy harvesting es el termino usado para describir a las tecnologías usadas para la recolección de energías renovables. Con dicha tecnología es posible obtener suministros de energía sostenible y lograr así una disminución notable del uso de combustibles fósiles. Estas tecnologías se pueden clasificar en celdas fotovoltaicas, generadores piezoeléctricos, generadores triboeléctricos y dispositivos termoeléctricos. Las celdas fotovoltaicas son ecológicas, aun así, su generación de energía se ve limitada por factores climáticos, tiempo y espacio usado, por otro lado, la recolección de energía mediante generadores piezoeléctricos y triboeléctricos está basada en fuentes de energía residual por lo que no está limitada por el espacio ni el factores atmosféricos. En la Figura 5

se muestra un resumen de la clasificación de las tecnologías de recolección de energía según su fuente (Han, Lee, Lin, & Ho, 2019).



Figura 5 Clasificación de tecnologías de recolección de energía según la fuente de energía Fuente: (Han, Lee, Lin, & Ho, 2019).

En el mundo el uso de energía renovable cada vez es más común por lo que existe una creciente demanda de recolección de energía con una mayor eficiencia enfocada principalmente en la energía solar, energía térmica y energía obtenida por vibraciones mecánicas. Cuando se habla de las celdas solares hay que tener en cuenta que estas se encuentran limitadas cuando existe poca luz a pesar de que estas presenten una densidad de potencia excelente. Por otro lado, la energía térmica es mucho menos eficiente debido al alto consumo de energía. En cambio, las vibraciones mecánicas son una fuente de energía la cual puede ser aprovechada por una gran variedad de dispositivos ya sean electromagnéticos, electrostáticos y piezoeléctricos (Chang & Yang, 2013).

1.2.2 Nanogeneración Triboeléctrica

El efecto triboeléctrico es el fenómeno por el cual un material se carga eléctricamente mediante la fricción producida después de entrar en contacto con otro tipo de material. Al producirse contacto entre dos materiales distintos se forman enlaces químicos entre áreas específicas de las dos superficies donde

las cargas se mueven de un material a otro para igualar su potencial, las cargas transferidas pueden ser electrones o pueden ser iones. Cuando están separados algunos de los átomos tienden a mantener electrones adicionales y algunos tienden a cederlos produciendo cargas triboeléctricas en la superficie que son la fuerza para impulsar los electrones a fin de equilibrar la caída de potencial eléctrico creada, basándose en este principio la Figura 6 muestra cómo se puede aprovechar este efecto de 4 maneras diferentes (Zhang & Wang, 2018).

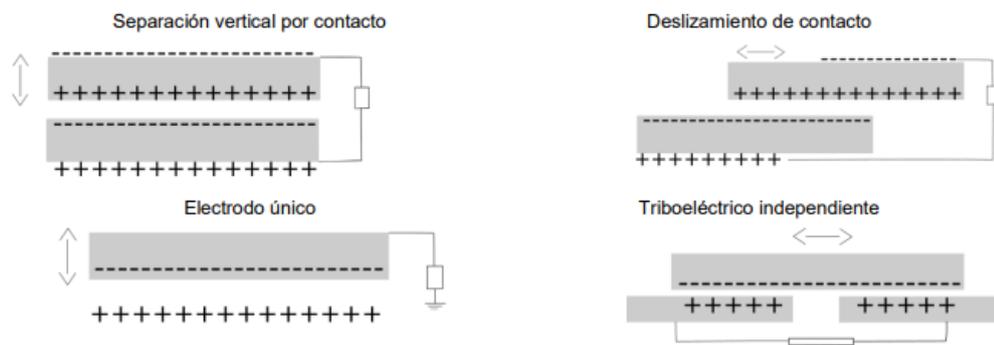


Figura 6 Modos para aprovechar el efecto triboeléctrico Fuente: (Zhang & Wang, 2018).

Este efecto es tan complejo que no es posible determinar que superficie se cargará positivamente y cuál tendrá cargas negativas incluso cuando las dos superficies se pongan en contacto aún es difícil determinar esta incógnita independientemente de los tipos de modos de contacto triboeléctricos utilizados la carga será efectiva hasta una cierta profundidad para formar la capacitancia del dispositivo.

Nanogeneradores Triboeléctricos

Estos nanogeneradores (TENG) convierten la energía mecánica en electricidad mediante la estática. El principio detrás de estos nanogeneradores es el efecto triboeléctrico y se puede definir como la generación de la carga eléctrica al frotar dos materiales triboeléctricos. La fuerza de la carga depende del material, la rugosidad, el área bajo contacto, la temperatura y la tensión. En la Figura 7 se puede apreciar a estos nanogeneradores al juntar dos láminas de materiales; con electrodos en sus espaldas para recoger la carga el 11

funcionamiento de los nanogeneradores triboeléctricos se da cuando los dos materiales del generador a nano escala se unen, los electrodos que están conectados a sus espaldas se acumulan y la carga fluye, por lo tanto, se crea un potencial. Cuando se presionan las dos hojas haciendo que entren en contacto entre sí, se crea una corriente en una dirección se libera presión y cuando las hojas se separan la corriente fluye en dirección opuesta y, por lo tanto, también se denomina "Generadores de corriente alterna" (Natraj, 2019).

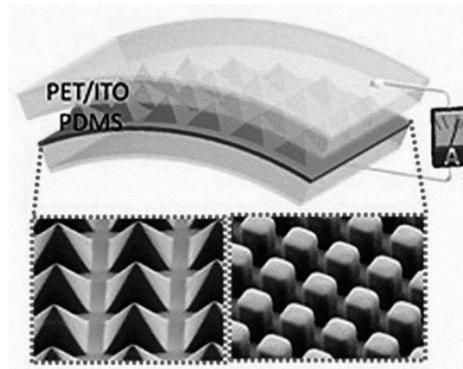


Figura 7 Nanogenerador Triboeléctrico Fuente: (Zhang & Wang, 2018).

Los nanogeneradores triboeléctricos (TENG) proporcionan un enfoque eficaz para convertir la energía mecánica en electricidad en función del efecto de acoplamiento de la electrificación por contacto e inducción electrostática. El principio de funcionamiento de los TENG generalmente se basa en uno de los cuatro modos básicos: el modo de separación por contacto vertical, deslizamiento por contacto, electrodo único (SE) y el modo de capa triboeléctrica independiente (FTL). El modo de separación por contacto vertical utiliza el movimiento relativo perpendicular a dos materiales mientras que el modo de deslizamiento por contacto se basa en el movimiento de deslizamiento entre dos materiales en contacto. Los TENG que trabajan bajo el modo de electrodo único (SE) toman el suelo como referencia y recogen energía de un objeto que se mueve libremente. El modo de capa eléctrica libre (FTL) genera energía debido al efecto de la inducción electrostática entre un par de electrodos simétricos (Xu, Zhao, Shi, & Lu, 2019).

1.2.3 Nanogeneración Piezoeléctrica

El efecto piezoeléctrico es una propiedad única de ciertos cristales que generan un campo eléctrico o corriente si son sometidos a estrés físico o deformación que se basa en la estructura fundamental de una red cristalina. Ciertas estructuras cristalinas tienen un equilibrio de carga con polarización negativa y positiva que se neutraliza a lo largo del eje polar imaginario, cuando este equilibrio de carga se perturba con una tensión externa sobre la malla de cristal la energía se transfiere mediante portadores de carga eléctrica creando una corriente en el cristal la conexión entre la piezoelectricidad y la simetría de los cristales es directamente proporcional (Bera, 2016).

El efecto piezoeléctrico se observa en cristales sin centro de simetría y la relación puede explicarse con estructuras monocristalinas y policristalinas. En un monocristal Figura 8 (a) los ejes polares de todos los portadores de carga exhiben características unidireccionales estos cristales demuestran simetría debido a que los ejes polares a lo largo del cristal los cuales mantendrían su formación unidireccional incluso si se dividiera en pedazos

En la Figura 8 (b) se puede observar la estructura de un policristal la cual se caracteriza por tener diferentes regiones dentro del material con diferentes ejes polares es asimétrico porque no hay un punto en el que se pueda cortar el cristal que dejaría las dos piezas restantes con los mismos ejes polares resultantes. Para lograr el efecto piezoeléctrico el policristal se calienta hasta el punto de Curie junto con un campo eléctrico fuerte. El calor permite que las moléculas se muevan más libremente y el campo eléctrico obliga a los dipolos a reorganizarse de acuerdo con el campo externo (Bera, 2016).

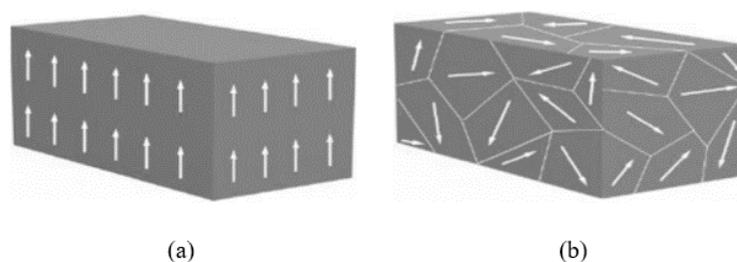


Figura 8 (a) Monocristal. (b) Policristal Fuente: (Bera, 2016).

El efecto piezoeléctrico es lineal la polarización varía directamente con la tensión aplicada y es dependiente de la dirección, las tensiones de compresión y tracción generan campos eléctricos de polaridad opuesta, además el efecto es recíproco, de modo que, si el cristal está expuesto a un campo eléctrico se experimenta una deformación elástica (Rodríguez Mendoza, 2015).

El efecto piezoeléctrico es un fenómeno bidireccional, de igual manera que existe el efecto piezoeléctrico directo también existe el efecto piezoeléctrico inverso. En este caso lo que ocurre es que al aplicar un campo eléctrico sobre un material de este tipo este presenta deformaciones físicas.

En la Figura 9 se puede apreciar el esquema del efecto piezoeléctrico directo e inverso. En el caso del efecto directo (a), al aplicar una fuerza mecánica sobre el material se induce una diferencia de potencial mientras que en el caso del efecto inverso (b), al aplicar una diferencia de potencial sobre el piezoeléctrico este cambia de forma (Malmcrona, 2018).

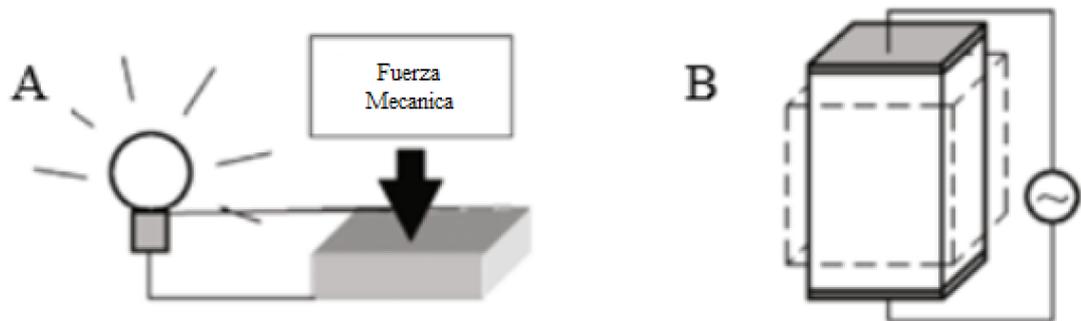


Figura 9 (a) Efecto piezoeléctrico directo. (b) Efecto piezoeléctrico inverso Fuente: (Malmcrona, 2018).

A parte del efecto directo e inverso en la gran mayoría de los casos se trata de un modelo reversible. Esto quiere decir que al dejar de aplicar presión o una diferencia de potencial al material este vuelve a su estado de reposo. Además, la dirección de la polaridad podemos también determinarla en función que se aplique una fuerza de presión o de tracción.

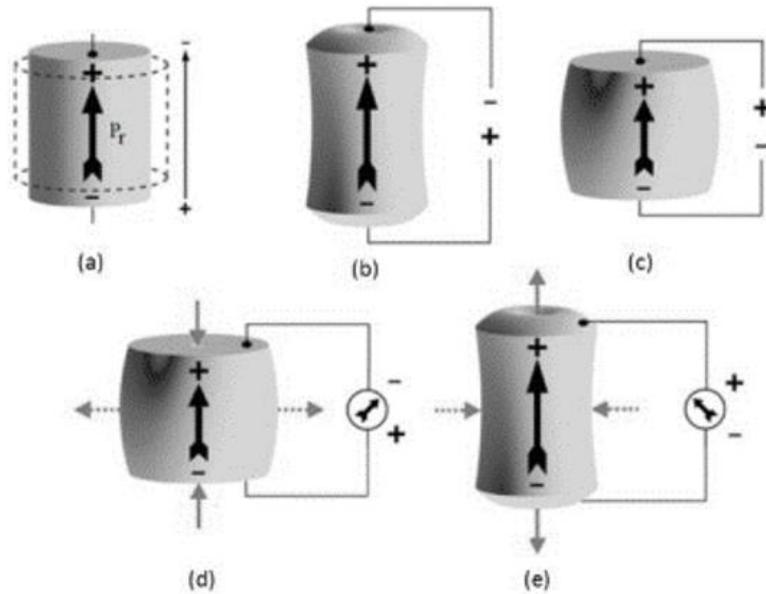


Figura 10 Respuesta en función del tipo de excitación al piezoeléctrico

Fuente: (Malmcrona, 2018).

En la Figura 10 se muestra las cuatro formas en función de la excitación que se aplique al material piezoeléctrico y la respuesta que se obtiene (Malmcrona, 2018).

Nanogeneradores piezoeléctricos

Los (PENG) nanogeneradores piezoeléctricos son dispositivos que utilizan materiales piezoeléctricos para convertir la energía mecánica débil e irregular del ambiente en energía eléctrica. Los materiales piezoeléctricos semiconductores con altos coeficientes piezoeléctricos y altas propiedades de generación son: (ZnO) óxido de zinc, (GaN) nitruro de galio, cerámicas piezoeléctricas nanoestructuradas como (PZT) Titanato zirconato de plomo, también se usa nanopartículas (BaTiO₃) titanato de bario sin plomo que se han utilizado sucesivamente para construir varios tipos de nanogeneradores piezoeléctricos con diferentes funcionalidades (medidores de flujo, acelerómetros, instrumentación médica, equipos ultrasonido, alarmas) como: sensores, actuadores y transductores (Hu, Yao, Fan, & Ma, 2018).

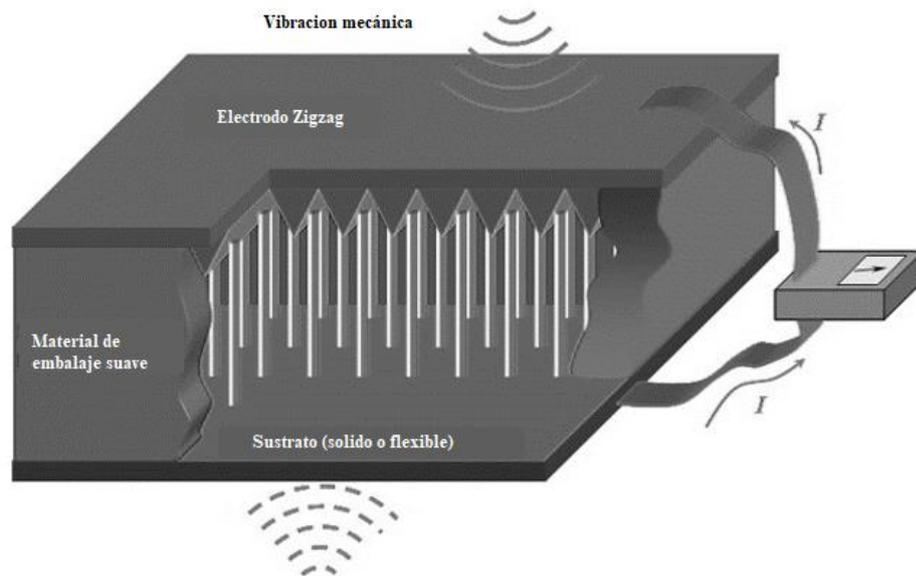


Figura 11 Nanogenerador Piezoeléctrico Fuente: (Murillo, 2017).

Rodríguez Mendoza (2015), demuestra que existen diversos sistemas de generación basados en la piezoelectricidad que se están llevando a cabo y se han implementado en diversas partes del mundo obteniendo excelentes resultados en el aprovechamiento y generación de este tipo de energía se puede detallar los siguientes proyectos:

East Japan Railway Company ha instalado un pavimento piezoeléctrico para la generación de energía eléctrica en el paso de torniquetes y puertas de entrada al metro de Tokio. La superficie total utilizada en el sistema es de aproximadamente 25m² y se estima una generación de energía de 0,4 kWh por día (Rodríguez Mendoza, 2015, pág. 21).

James Graham y Thaddeus Jusczyk colocaron en la suela de un zapato transductores piezoeléctricos: PVDF y PZT. Las conclusiones fueron para el PVDF una generación de 3 mW por el impacto y para el PZT unos 8,4 mW. Siguiendo esta línea J. Paradiso y N. S. Schenk incorporaron un generador piezoeléctrico al talón de un zapato dedicando la carga generada a cargar una batería. El dispositivo implantado en el zapato logró obtener una eficiencia del 11 % (Rodríguez Mendoza, 2015, pág. 23).

1.2.4 Nanogeneración Piroeléctrica

La piroelectricidad es un fenómeno que puede convertir el calor en energía eléctrica, esto se debe a que cuando ciertos materiales se calientan y enfrían la estructura molecular se reconfigura ocasionando un desequilibrio de electrones los cuales generan una corriente eléctrica.

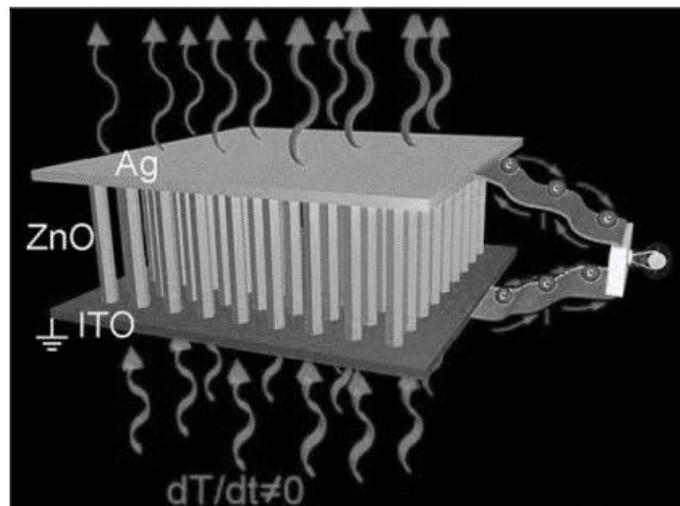


Figura 12 Nanogenerador Piroeléctrico Fuente: (Murillo, 2017).

Según la NCYT (2012), los nanogeneradores piroeléctricos son dispositivos encargados de recolectar energía térmica para posteriormente transformarla en energía eléctrica mediante el uso de materiales piroeléctricos nanoestructurados.

1.3 Sistemas híbridos de generación de energía

Se denomina sistema híbrido a la combinación de dos o más sistemas de generación de energía en una misma instalación destinada a la generación de energía eléctrica. Generalmente los sistemas híbridos suelen estar conformados por fuentes de energía renovables, en algunos casos estos sistemas híbridos son complementados con grupos electrógenos siendo estos usados para funciones de emergencia (Mera, 2007).

Según Carrillo (2015), los sistemas híbridos de energía son sistemas que hacen uso de diferentes fuentes de generación eléctrica ya sean sistemas fotovoltaicos, turbinas eólicas, en algunos casos generadores a base de

combustibles fósiles, para cumplir el objetivo de suministrar energía eléctrica de manera confiable ya sea a una carga o conjunto de cargas.

Los sistemas híbridos basados en energías renovables podrían ser un punto clave para el éxito en ciertos campos como por ejemplo el de las desaladoras, ya que en la actualidad el proceso de abastecimiento de más del 62% de las desaladoras es de ósmosis inversa, dicho sistema requiere que el suministro de energía sea constante para no sufrir degradación en sus membranas (ADIRA, 2018).

1.3.1 Sistemas híbridos entre nanogeneradores y celdas solares

Un concepto de nanogenerador híbrido quiere decir que combina ambos efectos para mejorar la eficiencia de conversión de energía resultante de la integración de diferentes mecanismos de recolección de energía. El nanogenerador triboeléctrico-piezoeléctrico híbrido (TPNG) es capaz de generar tanto triboelectricidad como piezoelectricidad al mismo tiempo (Zhang, Gong, Zhang, & Brugger, 2018).

Según Fan, Tang, & Wang, (2016) se ha desarrollado nanogeneradores híbridos flexibles que pueden cosechar múltiples tipos de energía simultáneamente estos están basados en los principios del efecto piezoeléctrico y triboeléctrico, logrando un efecto acumulativo.

Por otra parte, Leilei Zhao, Jialong Duan, Liqiang Liu, et al, (2021), demuestra una nueva célula solar híbrida triboeléctrico nanogenerador / silicio (TENG / Si) en tándem al apilar la subcálofa superior de plata / polidimetilsiloxano en la parte inferior de la célula solar monocristalina de Si para cosechar simultáneamente energías solares y de lluvia.

También, Saadatnia Z., Esmailzadeh E. y Naguib H.E, (2018), presentaron un recolector de energía híbrido TENG-EMG basado en el absorbente de punto de energía de las olas que se puede utilizar potencialmente para recolectar energía de las olas. El diseño emplea una unidad EMG tubular lineal junto con el modo independiente estructurado de rejilla TENG. El

mecanismo de una boya de pesaje se tiene en cuenta para aplicar la energía de las olas de agua en la cosechadora.

Recientemente, Fan, Tang, & Wang, (2016), diseñaron un nanogenerador híbrido “r-shaped” con película de PVDF, electrodos de nanoestructurados de Al y película de PDMS con micro patrones que se lo puede ver en la Figura 13 combinando el NG piezoeléctrico y el NG 15 triboeléctrico para mejorar el rendimiento de salida.

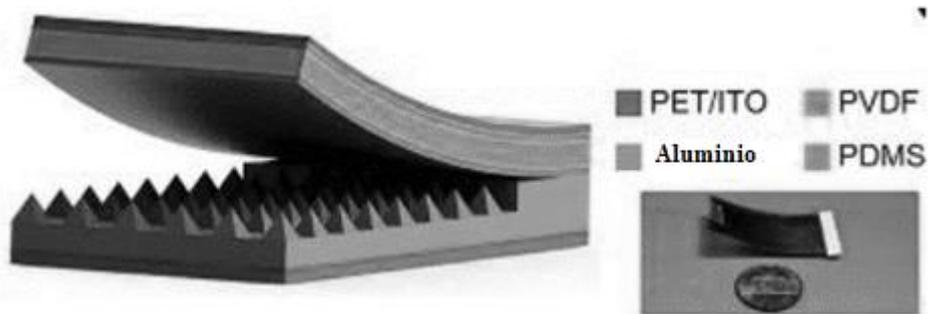


Figura 13 Nanogenerador Híbrido “r-shaped” Fuente: (Zhang, Gong, Zhang, & Brugger, 2018).

Utilizando una película de Fluoruro de polivinilideno (PVDF), electrodos metálicos y una película de Politetrafluoroetileno (PTFE). El dispositivo combina una alta corriente de salida piezoeléctrica y un voltaje de salida triboeléctrico este generador híbrido produce un voltaje de salida pico de 370 V, una densidad de corriente de $12 \mu\text{A cm}^{-2}$ y una densidad de potencia promedio de 4.44 mW cm^{-2} que puede iluminar 600 bombillas LED usando solamente la fuerza de los dedos. ($\approx 0.2 \text{ N}$).

CAPÍTULO 2

Revisión sistemática y análisis de eficiencia de sistemas híbridos

De los artículos científicos obtenidos de las diferentes bases de datos usadas y mediante el uso de las directrices de la declaración PRISMA se logró explicar en detalle el proceso para realizar una revisión sistemática de nanogeneradores de efecto piezoeléctrico, piroeléctrico y triboeléctrico, sistemas híbridos entre nano generadores y celdas solares obteniendo así una síntesis de los sistemas híbridos más usados con tecnologías replicables y eficientes.

2.1. Descripción del campo de estudio

En los últimos años, la energía solar se ha presentado como una de las fuentes energéticas con más posibilidades para liderar la revolución energética del futuro. Sin embargo, las desventajas que presenta el uso de energía solar son varias entre estas se encuentra que la energía solar no es constante, es decir, varía a lo largo del día y por la noche no está disponible. Otro factor que afecta la eficiencia de la energía solar es el cambio climático, ya que la efectividad de la energía solar es menor en los meses invernales, por lo que se realizó el estudio de los sistemas híbridos entre nanogeneradores y celdas solares para minimizar el número de desventajas que presentan los sistemas de recolección de energía solar convencionales. En la actualidad los sistemas fotovoltaicos ofrecen hasta un 25% de eficiencia de transformación de energía solar a energía eléctrica siendo este un porcentaje bastante bajo, el presente estudio propone la aplicación de sistemas híbridos entre nanogeneradores y celdas solares para así aprovechar más de una fuente de energía natural teniendo una eficiencia más alta frente a los sistemas convencionales transformando algunos factores contraproducentes para los sistemas convencionales en otra fuente de energía natural útil.

Diagrama de proceso

En la Figura 14 se detalla el proceso que se realizó para la revisión sistemática de nanogeneradores y sistemas fotovoltaicos híbridos con la finalidad de dar a conocer la metodología usada.

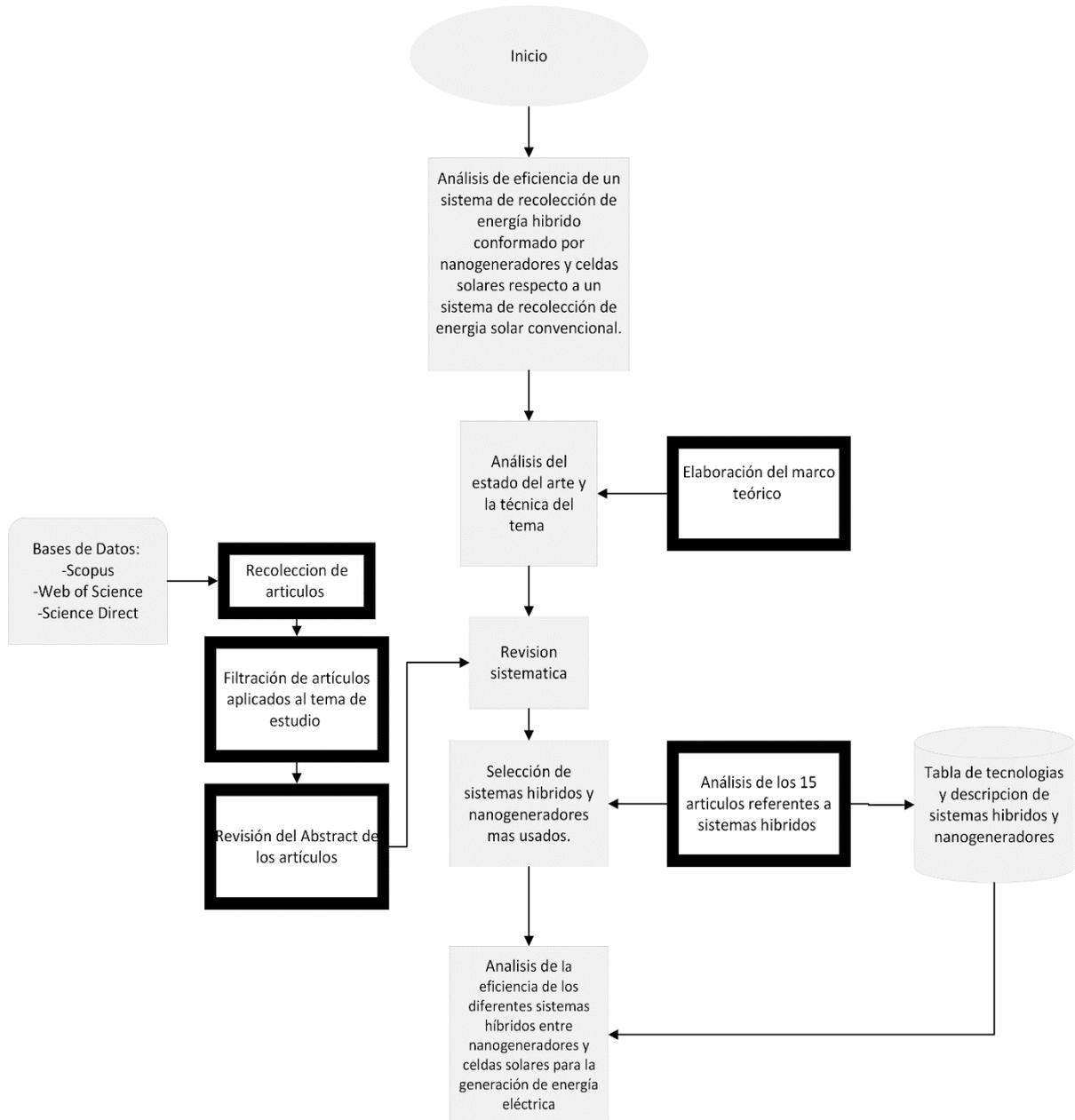


Figura 14 Procedimiento para la realización de la revisión sistemática.

Fuente: Autor

Para realizar el presente trabajo de investigación se usaron diferentes herramientas para facilitar el proceso de investigación, la mayor parte de estas herramientas son un apoyo para el investigador en el ámbito de elaboración de citas, administración de estudios encontrados, búsqueda de artículos científicos, edición de documentos y análisis de datos.

Herramienta	Tipo	Descripción
Mendeley	Gestor Bibliográfico	Usado para la elaboración de citas bibliográficas, cuenta con un control de estudios que se agregan manualmente
Microsoft Excel	Programa de hojas de calculo	Programa de software de hojas de cálculo usado para el análisis y visualización de datos de forma avanzada.
Web of Science	Base de datos bibliográfica	Es una colección de base de datos de referencias bibliográficas y citas de publicaciones periódicas que recogen información desde 1900 hasta la actualidad.
Scopus	Base de datos bibliográfica	Es una base de datos de referencias bibliográficas y citas que cuenta con herramientas para el

seguimiento y análisis de la investigación.

Tabla 2 Herramientas de apoyo en el proceso de investigación. Fuente: Autor.

En la Tabla 2 se detallan las principales características de las herramientas usadas para la investigación en el proceso de realización de la revisión sistemática.

2.2 Revisión sistemática

Las primeras búsquedas se realizaron combinando los términos “hybrid systems” y “solar energy” en las bases de datos PubMed, ScienceDirect, Web of Science y Scopus. Posteriormente se realizó una búsqueda usando los operadores booleanos AND y Or según conviniera de los términos “Solar cells”, “Hybrid cells”, “nanogenerators” y “efficiency”. Esta búsqueda arrojó una cantidad considerable de resultados, muchos de ellos poco útiles para la revisión o repetidos, pero nos dio una visión global de la amplitud de la temática y permitió comprobar que entorno a este tema se ha realizado solo una revisión no sistemática. La búsqueda sistemática se realizó nuevamente en ScienceDirect, Web of Science y Scopus, acotando los resultados a las publicaciones realizadas desde 2016 hasta la actualidad. La combinación de términos que arrojó mejores resultados en los buscadores fue la siguiente: ((((((“hybrid systems”) AND (“solar energy”)) AND (“Solar cells”)) AND (“Hybrid cells”)) AND (“nanogenerators”)) AND (“efficiency”).

Antes de proceder a la selección de artículos, se definió los criterios de inclusión y exclusión.

En este trabajo se llevó a cabo una revisión sistemática de la literatura científica publicada en materia de sistemas híbridos entre nanogeneradores y celdas solares y en relación con la eficiencia que estos sistemas poseen respecto a sistemas convencionales. Para su elaboración, se ha seguido las directrices de la declaración PRISMA para la correcta realización de revisiones sistemáticas (Figura 15). A continuación, se detallará el proceso de la elaboración en sus distintas fases.

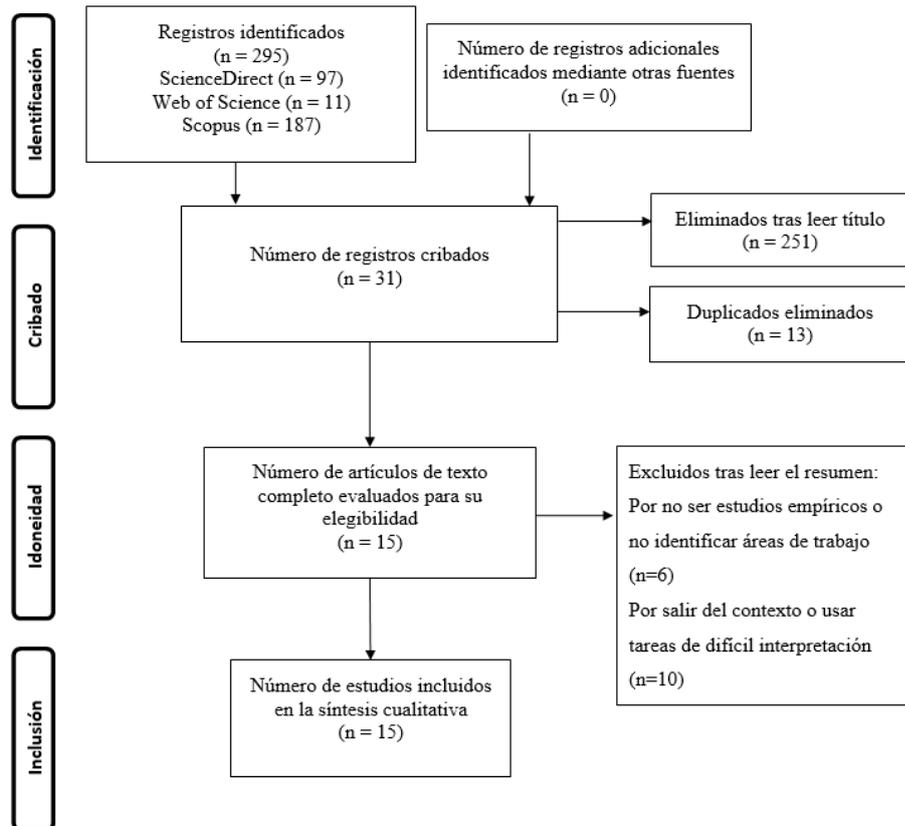


Figura 15 Diagrama de flujo Prisma en cuatro niveles. Fuente: Autor

En la Figura 15 se puede observar como en la búsqueda inicial concretamente se obtuvieron 97 resultados en ScienceDirect, 11 resultados en Web of Science y 187 en Scopus dando un total de 295 artículos identificados.

Criterios de inclusión

Criterios de exclusión

-Debe tratarse de investigaciones empíricas y no de revisiones, estudio de casos únicos, libros o manuales.

-Se excluyen los estudios que se refieren a la eliminación efectiva de energía

-Que utilicen técnicas de recolección de energía natural y detallen su funcionamiento.

-Estudios que se refieren a la recolección de energía natural sin

<p>-Que hablen de los fundamentos y estado actual de la conversión de energía de fuentes naturales a energía eléctrica.</p> <p>-Que detallen materiales, diseño, estructura y aplicaciones de las tecnologías de recolección híbrida.</p> <p>-Que se hayan publicado entre 2016 y 2021.</p>	<p>entrar en materia de transformación de energía natural a eléctrica.</p> <p>-Revisiones de energía renovable y sostenible en general.</p> <p>-Los estudios que se enfoquen en sistemas híbridos en otros contextos o entendidos desde otro enfoque no relacionado con la teoría de transformación de energía natural a eléctrica</p>
---	--

Tabla 3 Criterios de inclusión y exclusión para la revisión sistemática.
Fuente: Autor.

Según los criterios expuestos en la Tabla 3 y solo con la lectura del título, se consideraron adecuados 31 artículos (tras eliminar 13 duplicados entre las bases de datos). Se procedió a leer el resumen y, a partir de esta lectura, se descartaron 16, principalmente por salirse del contexto de la investigación o usar tareas de difícil interpretación (n = 10), y por no ser estudios empíricos o no identificar áreas de trabajo (n = 6). Finalmente, 15 artículos cumplieron los criterios de inclusión y se seleccionaron para llevar a cabo la revisión sistemática.

Tecnología	Autores	Titulo	Descripción
Recolección de energía vibratoria y térmica	Liu H., Fu H., Sun L., Lee C. y Yeatman E.M, (2021).	Hybrid energy harvesting technology: From materials, structural design, system.	Propone sistemas híbridos de recolección de energía para superar el problema de la insuficiencia energética de un solo recolector de energía, también hace hincapié en que la recolección híbrida no solo incluye la recolección de múltiples fuentes sino también la conversión de energía en electricidad mediante múltiples tipos de mecanismos de transducción, también se presentan brevemente los principios de trabajo y las configuraciones típicas para los efectos de transducción piezoeléctrico, electromagnético, triboeléctrico, termoeléctrico y piroeléctrico
Generadores termoeléctricos y piezoeléctricos	Kumar S., Singh H.H., Khare N., Kumar S. y Singh H.H., Khare N, (2019).	Flexible hybrid piezoelectric-thermoelectric generator for harnessing electrical.	Se ha fabricado un dispositivo híbrido flexible mediante la combinación del nanogenerador piezoeléctrico (PVDF-ZnO) y el generador termoeléctrico (n-leg y p-leg hechos de Bi ₂ Te ₃ -RGO (Óxido de Grafeno Reducido) y Sb ₂ Te ₃ -RGO, respectivamente) por el método de solución química simple.

El objetivo de esta investigación es integrar la termoeléctrica y la piezoeléctrica en un pequeño dispositivo flexible para recolectar energía eléctrica de energías térmicas y mecánicas. La potencia de salida del generador termoeléctrico es ~ 1.8 nW a una diferencia de temperatura de 4 K y la potencia de salida del generador piezoeléctrico es ~ 1.2 μ W.

Hibridación de generadores triboeléctricos y electromagnéticos	Saadatnia Z., Esmailzadeh E. y Naguib H.E, (2018). Design, simulation, and experimental characterization of a heaving triboelectric-electromagnetic wave energy harvesterDesign, simulation, and experimental characterization of a heaving triboelectric-	Se presenta un recolector de energía híbrido TENG-EMG basado en el absorbente de punto de energía de las olas que se puede utilizar potencialmente para recolectar energía de las olas. El diseño emplea una unidad EMG tubular lineal junto con el modo independiente estructurado de rejilla TENG. El mecanismo de una boya de pesaje se tiene en cuenta para aplicar la energía de las olas de agua en la cosechadora. El mecanismo EMG adoptado es una configuración relativamente simple y altamente eficiente y la rejilla independiente TENG es muy efectiva debido al uso de múltiples segmentos y electrodos fijos
--	--	---

electromagnetic wave
energy harvester.

Hibridación de generadores triboeléctricos de Yinghong Wu, Jingkui Qu, Paul K., et al, (2021). Hybrid photovoltaic-triboelectric nanogenerators for simultaneously harvesting solar and mechanical energies.

Resume sistemáticamente los avances recientes del sistema híbrido de recolección de energía fotovoltaica-triboeléctrica. En particular, se describe la flexibilidad estructural y la simplificación del dispositivo hibridado, seguido de la discusión detallada desde las perspectivas de las fuentes de energía mecánicas de entrada, la interacción de salida entre los nanogeneradores triboeléctricos y las células solares, así como las funciones y aplicaciones de los HPTNG.

Recolección simultanea de energía solar y eólica de Xue Chunlong y Yuanhao Wang, et al, (2021). Zhao, Li, et al, (2021). Hybridized nanogenerators for effectively scavenging mechanical and solar energies.

Se revisó el desarrollo de nanogeneradores hibridados, incluyendo el mecanismo de trabajo de las energías solar y mecánica. Además, se discutió la clasificación de los nanogeneradores para la recolección de energías mecánicas y solares. Se revisó las posibles aplicaciones de los nanogeneradores hibridados. Finalmente, se discutió el desafío y la perspectiva de los nanogeneradores hibridados y las mejoras futuras exploradas del rendimiento de la

producción, la estabilidad, la preparación, la utilización a gran escala y la eficiencia.

Recolección de energía híbrida para electrónica autorecargable

Huicong Liu, Hailing Fu, Lining Sun, et al, (2021).

Hybrid energy harvesting technology: From materials, structural design, system integration to applications.

Se exponen brevemente los principios de trabajo y las configuraciones típicas para los efectos de transducción piezoeléctrico, electromagnético, triboeléctrico, termoeléctrico y piroeléctrico. Sobre esta base, se elabora una variedad de sistemas híbridos de recolección de energía, incluidos mecanismos, configuraciones, rendimiento de salida y ventajas. Se proporcionan comparaciones y perspectivas sobre la efectividad de las cosechadoras vibratorias y térmicas híbridas. Se discute una variedad de perspectivas de aplicación potenciales de los sistemas híbridos, incluido el monitoreo de la salud de la infraestructura, el monitoreo de la condición de la industria y el transporte inteligente

Nanogeneración triboeléctrica y piezoeléctrica

Tongtong Zhang, Tao Yang, Mei Zhang, et al, (2020).

Recent Progress in Hybridized

Creación de nanogeneradores triboeléctricos (TENG), piezoeléctricos (PENG) y piroeléctricos, generadores electromagnéticos (EMG), células solares y células electroquímicas está atrayendo el interés en un esfuerzo por

Nanogenerators for Energy Scavenging. convertir la energía mecánica, térmica, magnética, solar y química en electricidad. Con el fin de aprovechar las energías ambientales de nuestro entorno circundante, el diseño de unidades generadoras híbridadas que pueden recolectar energía simultáneamente en una variedad de formas continúa desarrollándose

Célula solar híbrida triboeléctrica Leilei Zhao, Jialong Duan, Liqiang Liu, et al, (2021). Boosting power conversion efficiency by hybrid triboelectric nanogenerator/silicon tandem solar cell toward rain energy harvesting. Demuestra una nueva célula solar híbrida triboeléctrico nanogenerador / silicio (TENG / Si) en tándem al apilar la subcálofa superior de plata / polidimetilsiloxano en la parte inferior de la célula solar monocristalina de Si para cosechar simultáneamente energías solares y de lluvia. Al optimizar sistemáticamente la configuración del dispositivo y las propiedades del nanogenerador superior, la célula solar de Si inferior se utiliza como capa de fricción para regular la distribución de carga de TENG, logrando una corriente de cortocircuito de 7.59 μ A, un voltaje máximo de circuito abierto de 37.19 V bajo los estímulos de una sola gota de lluvia y una

mejora de la eficiencia de conversión de energía en un 20% en comparación con la célula solar De prístina

Nanogeneración triboeléctrica complementaria a celdas solares	Donghyeon Yoo, Seung-Chul Park, Seoulmin Lee, et al, (2019).	Biomimetic anti-reflective nanogenerator for concurrent harvesting of solar and raindrop energies.	Se informa que el ojo de una polilla imita TENG (MM-TENG), que puede desempeñar un papel de recolector de energía complementario a una célula solar convencional debido a su transmitancia especular superior (máximo del 91% para la luz visible). Por primera vez, se ha analizado profundamente el efecto óptico del MM-TENG en una célula solar mediante la investigación de la transmitancia ponderada por el sol (SWT). El SWT mejorado un 0,01% en el MM-TENG aumenta el factor de llenado y la eficiencia de conversión de energía de la célula solar en un 0,5% y un 0,17%, respectivamente, en comparación con una placa de vidrio protectora convencional que siempre se aplica en un panel solar. Además de una alta transmitancia tan prominente, la propiedad de autolimpieza del MM-TENG permite el rendimiento a largo plazo del panel solar
---	--	--	--

Energía fotovoltaica termoeléctrica	Priscilla Huen y Walid A. Daoud, (2017).	Advances in hybrid solar photovoltaic and thermoelectric generators.	La luz solar y la energía térmica pueden proporcionar suficiente electricidad necesaria en la vida diaria. En esta búsqueda, la energía fotovoltaica y termoeléctrica se han estado desarrollando para la conversión de energía. Mientras que la energía fotovoltaica convierte principalmente las regiones UV y visibles del espectro solar, la termoeléctrica utiliza la región IR. La combinación de los efectos fotovoltaicos y termoeléctricos puede ampliar el rango de espectro efectivo.
---	--	---	--

Tabla 4 Tecnologías y descripción de sistemas híbridos y nanogeneradores. Fuente: Autor

En la Tabla 4 se presenta la tecnología y descripción de los sistemas híbridos y nanogeneradores de los artículos que cumplieron los criterios de inclusión ya expuestos con anterioridad.

2.3 Revisión sistemática de generadores híbridos

A continuación, se llevará a cabo un análisis de los puntos más importantes de cada artículo científico el cual sigue el orden que se ha considerado más pertinente para facilitar la comprensión e integración de los resultados.

En la Figura 16 se puede visualizar un mapa bibliométrico de las palabras clave de las publicaciones científicas obtenidas con la ecuación de búsqueda en la base de datos Scopus realizado con el software libre Vosviewer.

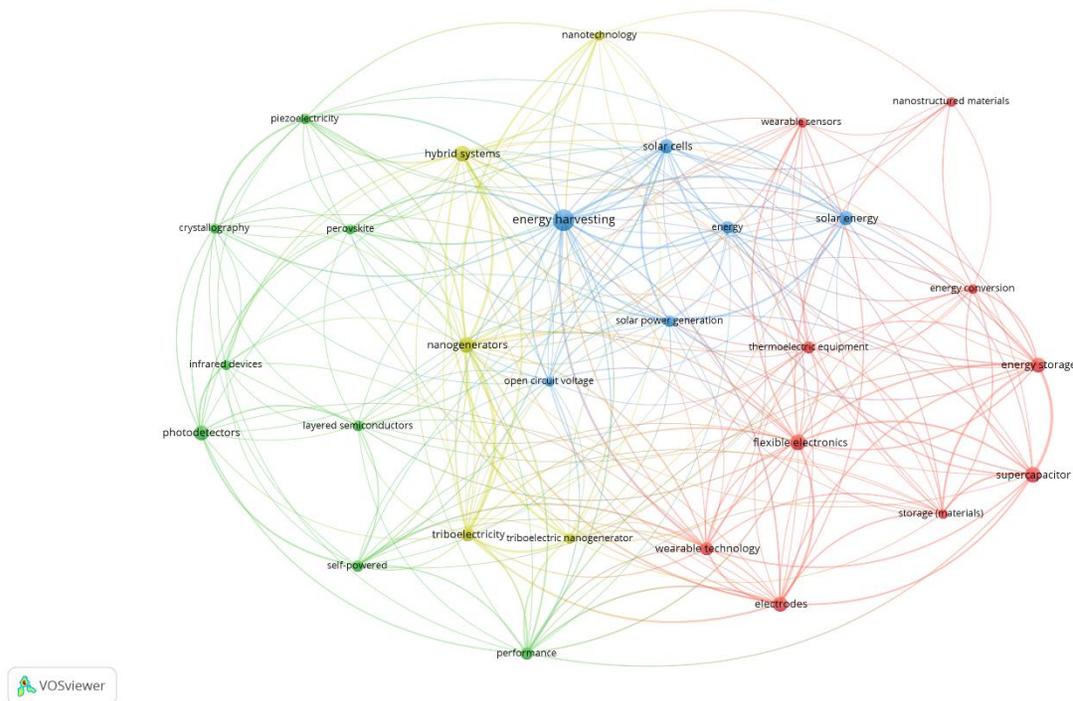


Figura 16 Mapa bibliométrico de palabras clave. Fuente: Autor.

Pace G., Serri M., Castillo A.E.D.R., et al. indagaron sobre los nanogeneradores triboeléctricos a base de grafeno dopado con nitrógeno, los nanogeneradores triboeléctricos en los últimos años han ganado gran notoriedad como por ejemplo un recolector de energía mecánica que ofrece una posible alternativa válida al uso de baterías siendo adecuado para dispositivos portátiles. Los resultados mostraron que el aumento de la capacitancia de un electrodo basado en grafeno de pocas capas se

obtiene mediante la incorporación de grafeno dopado con nitrógeno, lo que permite una mejora de tres veces en la potencia de salida de los nanogeneradores triboeléctricos, también se explica la dependencia del rendimiento de los nano generadores triboeléctricos en las propiedades electrónicas en los diferentes tipos de grafeno los cuales varían la concentración de dopaje. En este artículo queda demostrado que la mejora de potencia en los nanogeneradores triboeléctricos se produce cuando el grafeno dopado con nitrógeno y un semiconductor son interconectados entre el material triboeléctrico positivo y el electrodo, por otro lado, se observa un deterioro notable del rendimiento eléctrico cuando se coloca en la interfaz con el material triboeléctrico negativo. Este comportamiento se explica en términos de la dependencia de la capacitancia cuántica del grafeno en el potencial químico del electrodo que cambia de acuerdo con la polarización opuesta inducida en los dos electrodos tras la triboelectrificación.

Liu H., Fu H., Sun L., Lee C. y Yeatman E.M. consideran que la última década ha sido testigo de avances significativos en la tecnología de recolección de energía para la realización de electrónica auto recargable y nodos de sensores inalámbricos autoalimentados. Para superar el problema de la insuficiencia energética de un solo recolector de energía, en los últimos años se han propuesto sistemas híbridos de recolección de energía. La recolección híbrida incluye no solo la recolección de energía de múltiples fuentes, sino también la conversión de energía en electricidad mediante múltiples tipos de mecanismos de transducción. Una hibridación razonable de múltiples mecanismos de conversión de energía no solo mejora la eficiencia de utilización del espacio, sino que también puede aumentar significativamente la potencia de salida. Dada la tendencia en continuo crecimiento de la tecnología de recolección de energía híbrida en este trabajo se presenta una revisión del progreso reciente y los trabajos representativos, centrándose especialmente en los recolectores de energía vibratoria y térmica que desempeñan el papel dominante en la recolección de energía híbrida. Se presentan brevemente los principios de trabajo y las configuraciones típicas para los efectos de transducción piezoeléctrico, electromagnético, triboeléctrico, termoeléctrico y piroeléctrico. Sobre esta base, se elabora una variedad de sistemas híbridos de recolección de energía, incluidos mecanismos, configuraciones, rendimiento de salida y

ventajas. Se proporcionan comparaciones y perspectivas sobre la efectividad de las cosechadoras vibratorias y térmicas híbridas.

Sivasubramanian R., Aravind Vaithilingam C., Indira S.S., et al, utilizando la misma tarea señalan que la creciente prevalencia y miniaturización de los dispositivos electrónicos han impulsado los esfuerzos mundiales para desarrollar fuentes de energía a pequeña escala, autosostenibles, resistentes y ecológicamente viables. Los nanogeneradores, con la capacidad de extraer energía del medio ambiente, ofrecen una solución elegante a esta necesidad de fuentes de energía a pequeña escala. Este artículo discute una de esas fuentes de energía integradas, a saber, las células híbridas fotovoltaicas y nanogeneradoras. Estas células híbridas han recorrido un largo camino en términos de integridad mecánica, potencia de salida y eficiencia desde que se informaron por primera vez en 2009. Cada instancia publicada de célula híbrida fotovoltaica y nanogeneradora se revisa sistemáticamente y se han discutido los puntos más destacados en cada caso. El artículo ha concluido con una discusión sobre el estado actual de esta tecnología, sus limitaciones y las vías para futuras investigaciones

Por otra parte, Korkmaz S. y Kariper İ.A. indagaron sobre los nanogeneradores piroeléctricos en la conversión de energía térmica en energía eléctrica y señalan que hoy en día, obtener energía de los recursos naturales se ha convertido en un área de interés para los investigadores con la creciente demanda de fuentes de energía renovables. Al igual que los nanogeneradores triboeléctricos (TENG) y piezoeléctricos (PENG), que generan energía eléctrica a partir de energía mecánica, los nanogeneradores piroeléctricos (PyNG (Pyroelectric nanogenerators)) también pueden convertir el calor residual en el medio ambiente en energía eléctrica a través de materiales piroeléctricos. Especialmente con la integración de PyNG en la electrónica portátil, el calor desperdiciado en el medio ambiente se puede preparar fácilmente y sin esfuerzo para su uso. El requerimiento de energía de los dispositivos electrónicos portátiles se puede satisfacer convirtiendo el calor residual en energía eléctrica sin ningún esfuerzo adicional. En este trabajo se presenta la teoría del efecto piroeléctrico, los materiales piroeléctricos y la estructura de los PyNGs (Pyroelectric nanogenerators), y los últimos desarrollos en dispositivos a micro/nano escala.

Complementariamente Kumar S., Singh H.H., Khare N., Kumar S. y Singh H.H., Khare N. llevando a cabo una tarea similar señalan que los generadores termoeléctricos y piezoeléctricos han atraído una atención considerable por generar energía eléctrica a partir del calor y las vibraciones mecánicas para reemplazar las baterías recargables disponibles comercialmente. En este informe, se ha fabricado un dispositivo híbrido flexible mediante la combinación del nanogenerador piezoeléctrico (PVDF-ZnO) y el generador termoeléctrico (n-leg y p-leg hechos de Bi₂Te₃-RGO (Óxido de Grafeno Reducido) y Sb₂Te₃-RGO, respectivamente) por el método de solución química simple. El objetivo de esta investigación es integrar la termoeléctrica y la piezoeléctrica en un pequeño dispositivo flexible para recolectar energía eléctrica de energías térmicas y mecánicas. La potencia de salida del generador termoeléctrico es ~ 1.8 nW a una diferencia de temperatura de 4 K y la potencia de salida del generador piezoeléctrico es ~ 1.2 μ W.

Zabihi F., Tebyetekerwa M., Xu Z., et al señalan que los hallazgos e informes en el campo de las células solares de perovskita (PSC) han sido fenomenales y abarcan diversas perspectivas, como cuestiones técnicas, rendimiento, comercialización y preocupaciones ambientales. Los cuellos de botella en la estructura, fabricación y operación de las PSC se han abordado con frecuencia.

En la Figura 17 se puede visualizar un mapa bibliométrico centrado en la palabra clave piezoeléctrico en la cual se puede observar cómo existe una relación directa con las palabras celdas solares, energía solar, nanogeneradores, nanotecnología y triboelectricidad y como se observa con anterioridad estos temas son los principales abarcados en el análisis de los puntos más importantes de cada artículo científico.

salida del dispositivo fabricado se investiga completamente bajo varios experimentos dinámicos. La capacidad de salida de energía del dispositivo propuesto se demuestra teniendo en cuenta diferentes cargas eléctricas. En consecuencia, la fase 1, la fase 2 y la fase 3 de la pieza EMG obtienen la densidad de potencia media máxima de 170Wm^{-3} , 220Wm^{-3} y 130Wm^{-3} , respectivamente. Además, la unidad TENG alcanza la densidad de potencia media máxima de 120Wm^{-3} . Finalmente, se demuestra la aplicación práctica del sistema híbrido para cargar unidades de almacenamiento, iluminar diodos emisores de luz y alimentar un sensor. De hecho, el dispositivo propuesto ofrece una estructura muy rentable, simple y un sistema efectivo que es potencialmente útil para la extracción de energía azul.

La hibridación de generadores triboeléctricos también fue analizada por Yinghong Wu, Jingkui Qu, Paul K., et al, señalando que, debido a su potencial para maximizar la producción de energía, la tecnología de recolección de energía híbrida ha atraído más interés en la investigación. Impulsando méritos como las fuentes de energía renovables y el alto rendimiento, el nanogenerador híbrido fotovoltaico-triboeléctrico (HPTNG) se considera una de las fuentes de energía prometedoras para la electrónica inteligente de próxima generación. Hasta la fecha, todavía falta una revisión exhaustiva de los últimos desarrollos y desafíos de los HPTNG, este trabajo resume sistemáticamente los avances recientes del sistema híbrido de recolección de energía fotovoltaica-triboeléctrica. En particular, se describe la flexibilidad estructural y la simplificación del dispositivo hibridado, seguido de la discusión detallada desde las perspectivas de las fuentes de energía mecánicas de entrada, la interacción de salida entre los nanogeneradores triboeléctricos y las células solares, así como las funciones y aplicaciones de los HPTNG. Finalmente, se discuten los principales desafíos y perspectivas para el desarrollo futuro de hpTNG.

Por otro lado, Xue Zhao, Chunlong Li, Yuanhao Wang, et al, señalan que la tecnología de recolección de energía solar y eólica es cada vez más una forma de energía económica y eficiente y recibe un excelente apoyo de las políticas gubernamentales en todo el mundo. Varios nanogeneradores funcionales y estructurales basados en múltiples efectos llamados nanogeneradores hibridados se han reportado por separado o simultáneamente para generar efectivamente la energía mecánica y solar

desperdiciada en nuestra vida diaria. Se revisó el desarrollo de nanogeneradores híbridos, incluyendo el mecanismo de trabajo de las energías solar y mecánica. Además, se discutió la clasificación de los nanogeneradores para la recolección de energías mecánicas y solares. Se revisó las posibles aplicaciones de los nanogeneradores híbridos. Finalmente, se discutió el desafío y la perspectiva de los nanogeneradores híbridos y las mejoras futuras exploradas del rendimiento de la producción, la estabilidad, la preparación, la utilización a gran escala y la eficiencia.

Huicong Liu, Hailing Fu, Lining Sun, et al, señalan que la última década ha sido testigo de avances significativos en la tecnología de recolección de energía para la realización de electrónica autorrecargable y nodos de sensores inalámbricos autoalimentados (WSN). Para superar el problema de la insuficiencia energética de un solo recolector de energía, en los últimos años se han propuesto sistemas híbridos de recolección de energía. La recolección híbrida incluye no solo la recolección de energía de múltiples fuentes, sino también la conversión de energía en electricidad mediante múltiples tipos de mecanismos de transducción. Una hibridación razonable de múltiples mecanismos de conversión de energía no solo mejora la eficiencia de utilización del espacio, sino que también puede aumentar significativamente la potencia de salida. Dada la tendencia en continuo crecimiento de la tecnología de recolección de energía híbrida. En este artículo se exponen brevemente los principios de trabajo y las configuraciones típicas para los efectos de transducción piezoeléctrico, electromagnético, triboeléctrico, termoeléctrico y piroeléctrico. Sobre esta base, se elabora una variedad de sistemas híbridos de recolección de energía, incluidos mecanismos, configuraciones, rendimiento de salida y ventajas. Se proporcionan comparaciones y perspectivas sobre la efectividad de las cosechadoras vibratorias y térmicas híbridas. Se discute una variedad de perspectivas de aplicación potenciales de los sistemas híbridos, incluido el monitoreo de la salud de la infraestructura, el monitoreo de la condición de la industria, el transporte inteligente, el monitoreo de la atención médica humana, los sistemas de monitoreo marino y la ingeniería aeroespacial, hacia la futura era de Internet de las cosas (IoT).

Complementariamente, Tongtong Zhang, Tao Yang, Mei Zhang, et al, señalan que a medida que aumenta la demanda mundial de energía alternativa, el desarrollo de cosechadoras de energía verde se vuelve cada vez más importante. Como resultado, la

creación de nanogeneradores triboeléctricos (TENG), piezoeléctricos (PENG) y piroeléctricos, generadores electromagnéticos (EMG), células solares y células electroquímicas está atrayendo el interés en un esfuerzo por convertir la energía mecánica, térmica, magnética, solar y química en electricidad. Con el fin de aprovechar las energías ambientales de nuestro entorno circundante, el diseño de unidades generadoras híbridadas que pueden recolectar energía simultáneamente en una variedad de formas continúa desarrollándose. Estos sistemas se están considerando para satisfacer las necesidades energéticas de una gama de dispositivos electrónicos y adaptarse a una variedad de entornos de trabajo. En este artículo se pone en evidencia los últimos avances en nanogeneradores híbridados de acuerdo con su estructura, principio de funcionamiento y aplicaciones. Estos estudios demuestran nuevos enfoques para desarrollar técnicas híbridadas y ensamblajes novedosos para cosechar eficientemente energía ambiental de varias fuentes.

En la Figura 18 se puede visualizar un mapa bibliométrico centrado en la palabra clave piezoeléctrico en la cual se puede observar cómo existe una relación directa con las palabras celdas solares, energía solar, nanogeneradores, nanotecnología y piezoelectricidad, sistemas híbridos, nanogenerador triboeléctrico, ha comparación con la Figura 17 en este mapa biométrico aparecen mas palabras lo cual nos dice que para los sistemas que usan la triboelectricidad se encuentran mas factores importantes los cuales deben ser tomados en cuenta, también se muestra directamente las palabras nanogenerador triboeléctrico lo cual nos dice que en varios de los artículos científicos se mencionan estos dispositivos específicamente sin ser una derivación de las palabras nanotecnología o nanogenerador.

termoeléctricas / piroeléctricos con TENG se discuten en detalle para unidades de energía autorrecargables, sistemas biomédicos autoalimentados, electrónica portátil, sistemas de monitoreo ambiental e instalaciones de recolección de energía azul.

Leilei Zhao, Jialong Duan, Liqiang Liu, et al, señala que la dependencia del clima y la capacidad de conversión fotoeléctrica intermitente de la energía fotovoltaica tradicional requieren un diseño racional en la arquitectura del dispositivo para realizar una salida de potencia persistente bajo estímulos de fuentes de energía múltiples. En este artículo se demuestra una nueva célula solar híbrida triboeléctrico nanogenerador / silicio (TENG / Si) en tándem al apilar la subcálofa superior de plata / polidimetilsiloxano en la parte inferior de la célula solar monocristalina de Si para cosechar simultáneamente energías solares y de lluvia. Al optimizar sistemáticamente la configuración del dispositivo y las propiedades del nanogenerador superior, la célula solar de Si inferior se utiliza como capa de fricción para regular la distribución de carga de TENG, logrando una corriente de cortocircuito de $7.59 \mu\text{A}$, un voltaje máximo de circuito abierto de 37.19 V bajo los estímulos de una sola gota de lluvia y una mejora de la eficiencia de conversión de energía en un 20% en comparación con la célula solar De prístina. Finalmente, 26 diodos emisores de luz azul pueden ser iluminados por una gota de lluvia. Dadas las ventajas convincentes de la potencia de salida mejorada y la ampliación del tiempo de trabajo, esta célula solar híbrida en tándem TENG / Si de prueba de concepto física ofrece nuevas oportunidades para recolectar múltiples energías de la naturaleza y promover el desarrollo de células solares independientes del clima.

Donghyeon Yoo, Seung-Chul Park, Seoulmin Lee, et al señalan que como una combinación de célula solar y nanogenerador triboeléctrico a base de agua (TENG), se ha propuesto un nuevo concepto de un recolector de energía híbrido basado en células solares. Sin embargo, estudios previos no han considerado completamente la degradación de las características ópticas debido a la TENG a base de agua y la pérdida de energía debido a una conexión eléctrica ineficaz entre la célula solar y la TENG a base de agua. La degradación del 1% en la transmitancia de la luz mediante la aplicación del TENG a base de agua en su parte más externa da como resultado una pérdida de potencia de salida de más de $1 \text{ mW} / \text{cm}^2$ en una célula solar, que no puede recuperarse mediante la salida instantánea de energía eléctrica de TENG a base de agua. En este

artículo se informa que el ojo de una polilla imita TENG (MM-TENG), que puede desempeñar un papel de recolector de energía complementario a una célula solar convencional debido a su transmitancia especular superior (máximo del 91% para la luz visible). Por primera vez, se ha analizado profundamente el efecto óptico del MM-TENG en una célula solar mediante la investigación de la transmitancia ponderada por el sol (SWT). El SWT mejorado un 0,01% en el MM-TENG aumenta el factor de llenado y la eficiencia de conversión de energía de la célula solar en un 0,5% y un 0,17%, respectivamente, en comparación con una placa de vidrio protectora convencional que siempre se aplica en un panel solar. Además de una alta transmitancia tan prominente, la propiedad de autolimpieza del MM-TENG permite el rendimiento a largo plazo del panel solar. Y particularmente, este documento informa de un nuevo circuito eléctrico para una gestión eficaz en un recolector de energía híbrido mediante la transferencia intermitente de la salida de energía eléctrica estabilizada del MM-TENG. Este trabajo, que aborda cuestiones para la utilización práctica del TENG a base de agua como recolector de energía complementario a la célula solar, acercaría al TENG a base de agua un paso más cerca de su utilización práctica al resolver preocupaciones críticas.

Priscilla Huen y Walid A. Daoud señalan que el desarrollo de las energías renovables, en particular la energía solar, es crucial para satisfacer las necesidades energéticas futuras. La luz solar y la energía térmica pueden proporcionar suficiente electricidad necesaria en la vida diaria. En esta búsqueda, la energía fotovoltaica y termoeléctrica se han estado desarrollando para la conversión de energía. Mientras que la energía fotovoltaica convierte principalmente las regiones UV y visibles del espectro solar, la termoeléctrica utiliza la región IR. La combinación de los efectos fotovoltaicos y termoeléctricos puede ampliar el rango de espectro efectivo. En los últimos años, se han realizado estudios sobre sistemas híbridos fotovoltaicos / termoeléctricos para mejorar la eficiencia de conversión. En este artículo se discuten los conceptos subyacentes de la energía fotovoltaica y termoeléctrica y resume los logros de investigación actuales y los diversos enfoques utilizados para optimizar los sistemas híbridos fotovoltaicos / termoeléctricos.

2.4 Generación híbrida entre celdas solares y nanogeneradores

Basándose en la Tabla 4 en la que se presenta la tecnología y descripción de los sistemas híbridos y nanogeneradores de los artículos que cumplieron los criterios de inclusión ya expuestos en la Tabla 5, a continuación, se expone los sistemas híbridos que trabajan con celdas solares.

Híbrido	Generación	Fuente de energía	Característica
Triboeléctrico/célula solar	0.147 (μ W) 37.19 (V) 7.19 (μ A)	Lluvia / Energía solar	Híbrido en tándem TENG/Si célula solar.
Piroeléctrico/célula solar	2567 (kW)	Biomasa / Energía solar	Generación por una turbina y colector solar
Piezoeléctrico/célula solar	2.5 (kWh)	Peso vehicular / célula Solar	Generación por presión de peso de vehículos y celdas solares
Piezoeléctrico/célula solar	22.5 (mW)	Viento/ célula solar	Generación por vibración y presión del viento y celdas solares

Tabla 5 Capacidad de generación de los sistemas Híbridos.

En la Tabla 5 se muestran los sistemas híbridos que trabajan con celdas solares, así como la energía generada, fuentes de energía que usan dichos sistemas híbridos y la principal característica de funcionamiento que los define.

CAPÍTULO 3

Análisis comparativo entre sistemas híbridos respecto a sistemas convencionales

Luego de la revisión sistemática de los sistemas de generación fotovoltaica, nanogeneración y generación híbrida, en el presente capítulo se expuso la capacidad de generación de los sistemas convencionales conformados por celdas solares, las ventajas y desventajas que poseen dichos sistemas, las ventajas y desventajas que poseen los sistemas híbridos entre celdas solares y nanogeneradores y una comparativa entre la generación eléctrica de sistemas híbridos entre celdas solares y nanogeneradores frente a sistemas convencionales de celdas solares.

3.1 Capacidad de generación de sistemas conformados por celdas solares

A continuación, se muestra una tabla con los diferentes tipos de células solares que existen, la eficiencia máxima reportada y el voltaje que generan.

Clasificación	Eficiencia máxima reportada (%)	Área (cm²)	V_{oc} (V)
Célula Cristalina	26.7 ± 0.5	79	0.738
Célula Multicristalina	22.3 ± 0.4	3.923	0.6742
Mini módulo de película fina	10.5 ± 0.3	94	0.492
Película delgada de GaAs	29.1 ± 0.6	0.998	1.1272
Célula de CdTe	21.0 ± 0.4	1.0623	0.8759

Amorfa de Si	10.2 ± 0.3	1.001	0.896
Microcristalina	11.9 ± 0.3	1.044	0.550
Dye (célula)	11.9 ± 0.4	1.005	0.744
Célula orgánica	13.45 ± 0.2	1.023	0.8422

Tabla 6 Tipos de celdas solares y eficiencias máximas reportadas.

En la Tabla 6 se muestra una tabla con los diferentes tipos de células solares que existen, así como su eficiencia máxima reportada, el área de las células y el voltaje de salida que tiene cada uno de estos tipos.

A continuación, se muestran algunas de las ventajas y desventajas principales que tienen los sistemas convencionales de energía solar, eólica, hidráulica y de biomasa.

	Ventajas	Desventajas
Energía solar	<ul style="list-style-type: none"> -Es renovable y sostenible -No genera gases de invernadero ni contaminación durante su uso -Es especialmente útil en zonas de complicada creación de sistemas de cableado 	<ul style="list-style-type: none"> -Tiene un coste inicial muy elevado -Requiere grandes extensiones de terreno para generar la energía que abastezca las necesidades de los usuarios -Su rendimiento se ve afectado negativamente por las condiciones atmosféricas

Tabla 7 Ventajas y desventajas de las energías solar, eólica, hidráulica y biomasa.

Como se observa en la Tabla 7 las ventajas expuestas sobre los sistemas convencionales mayormente están basadas en la poca dependencia de los combustibles

fósiles, costos de inversión inicial no tan altos y utilidad para zonas remotas, por otro lado, las desventajas están centradas en el mantenimiento de las maquinarias, la extensión de terreno que ocupan las instalaciones y el impacto que tienen en los ecosistemas.

3.2 Ventajas y desventajas de la generación híbrida entre celdas solares y nanogeneradores

En los sistemas híbridos el hecho de tener más de un tipo de energía a disposición presenta algunas ventajas y desventajas, a continuación, se muestran algunas de ellas:

<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
-Los sistemas híbridos están diseñados para suministrar energía de forma continua, sin interrupción alguna y poseen métodos de almacenamiento de energía para en casos de algún corte proporcionar respaldo	-El proceso de control es muy complicado ya que al existir diferentes fuentes de energía la coordinación e interacción de el mismo se puede complicar.
-No existe desperdicio de energía y hace uso de energías renovables de la mejor manera posible, almacenando energía cuando existe exceso de generación y utilizando la energía almacenada cuando la energía generada no es suficiente.	-Aunque el manteniendo de los sistemas híbridos sea de coste bajo la inversión inicial es muy elevada en comparación con los sistemas convencionales
-El funcionamiento de los sistemas híbridos frente a los generadores tradicionales es más eficiente ya que estos últimos en algunos casos desperdician combustible ya que no	-En algunos casos como por ejemplo los sistemas híbridos de energía solar el número de aparatos que pueden conectarse es muy limitado y los bancos de baterías conectados al sistema destinados para almacenamiento pueden tener una menor duración, ya que estas generalmente se encuentran

poseen sistemas de almacenamiento expuestas a fenómenos naturales de energía. como el calor, la lluvia, etc.

Tabla 8 Ventajas y desventajas de los sistemas híbridos.

Como se observa en la Tabla 8 las ventajas expuestas sobre los sistemas híbridos mayormente están basadas en el aprovechamiento de dos fuentes de energía renovables y la poca perdida y bajo desperdicio de energía que existe, por otro lado, las desventajas están centradas en factores económicos y procesos de control de dichos sistemas que en algunos casos pueden ser muy complicados.

3.3 Comparativa entre generación convencional e híbrida

En su mayoría la energía solar está pensada, sobre todo, para ser usada en lugares con problemas de acceso a la red eléctrica, una de las aplicaciones más comunes de los sistemas fotovoltaicos esa destinada a las viviendas. Con el sistema fotovoltaico convencional se puede aportar energía eléctrica para uso doméstico siempre y cuando exista luz solar. Por otro lado, los sistemas híbridos pueden ser instalados en viviendas, pero también pueden ser usados en espacios con un alto consumo energético, electrificación rural y aplicaciones industriales.

Los sistemas híbridos formados por células solares y nanogeneradores tienen varias ventajas sobre los sistemas convencionales compuestos únicamente por células solares. Los sistemas híbridos formados por células solares y nanogeneradores tienen varias ventajas sobre los sistemas convencionales compuestos únicamente por células solares. Una de las principales ventajas es que los sistemas híbridos pueden generar energía tanto a partir de la luz como de la energía mecánica, mientras que los sistemas de células solares convencionales solo pueden generar energía a partir de la luz. Esto significa que los sistemas híbridos pueden producir energía incluso en condiciones de poca luz, como en días nublados o encapotados.

Otra ventaja es que los sistemas híbridos se pueden hacer más flexibles y duraderos que los sistemas de células solares convencionales. Debido a que los nanogeneradores pueden generar energía a partir de pequeños movimientos, como los causados por el

viento o las olas, los sistemas híbridos se pueden colocar en lugares donde los sistemas de celdas solares convencionales no serían prácticos, como en las partes móviles de las máquinas o en las alas de los aviones.

Un sistema híbrido conformado por nanogeneradores triboeléctricos y celdas solares es capaz de generar 0.674 voltios por cada celda solar teniendo de fuentes de energía la lluvia y el sol, es decir este sistema podría ser usado en viviendas y al estar conformado por nanogeneradores triboeléctricos generaría energía eléctrica las 24 horas del día ya que este nanogenerador al trabajar con el frotamiento directo de diferentes materiales también sería susceptible a las vibraciones del viento y del entorno, entonces este sistema comparado frente a un sistema convencional es más eficiente ya que el sistema convencional solo puede generar energía eléctrica cuando hay luz solar, es decir, en la noche, días nublados y días de lluvia no existe generación, el sistema híbrido en la noche sigue generando energía eléctrica a partir de las vibraciones del entorno en el que se encuentra, en los días nublados saca provecho de la vibración ejercida por el viento a los paneles en los que se encuentra instalado el sistema híbrido y en los días de lluvia saca provecho de las vibraciones y presión generada por las gotas de lluvia que golpean los paneles.

De igual forma, existen sistemas híbridos destinados a la generación de energía portátil haciendo uso de nanogeneradores triboeléctricos y celdas solares teniendo de fuente movimientos corporales y celdas solares destinados para la carga y alimentación de dispositivos móviles, es decir, los dispositivos que hagan uso de este sistema podrán obtener energía mientras su portador este en movimiento o el dispositivo se encuentre expuesto a la luz solar

Ventaja	Descripción
Alta eficiencia de conversión de energía	Los nanogeneradores triboeléctricos son capaces de convertir de manera eficiente la energía mecánica en energía eléctrica.
Flexibilidad	Estos dispositivos son flexibles, lo que los hace adecuados para aplicaciones en dispositivos portátiles y en entornos con alta movilidad.

Costo bajo	La producción a escala de los nanogeneradores triboeléctricos es relativamente barata, lo que los hace accesibles a una amplia gama de aplicaciones.
No requiere de componentes externos	No requieren de baterías u otros componentes externos para su funcionamiento, lo que los hace ideales para aplicaciones en entornos remotos o difíciles de acceder.
Fácil de integrar en otros dispositivos	Los nanogeneradores triboeléctricos son fáciles de integrar en otros dispositivos, lo que permite una mayor versatilidad en su uso.

Tabla 9 Ventajas de nanogeneradores triboeléctricos.

Es importante tener en cuenta que, aunque los nanogeneradores triboeléctricos tienen muchas ventajas, también existen algunos desafíos técnicos que deben ser abordados para su mejora continua.

Por otro lado, el sistema híbrido conformado por nanogeneradores piroeléctricos y células solares tiene como fuentes de generación la luz solar y el calor, este sistema comparado frente a un sistema convencional saca provecho del calor el cual siempre está presente con la luz solar, en comparación con los sistemas conformados con nanogeneradores triboeléctricos este sistema no es tan eficiente ya que el tiempo de generación de energía es el mismo para las celdas solares como para el nanogenerador piroeléctrico ya que la fuente de energía de este último solo está presente con la luz solar.

También, los sistemas híbridos entre nanogeneradores piezoeléctricos y celdas solares son fuentes de energía sostenibles las cuales no pueden ser dedicadas principalmente a viviendas ya que basándose en los estudios realizados por diferentes entidades a nivel mundial, uno de los factores más esenciales para que este sistema híbrido sea eficiente es que el lugar en el que se encuentra instalado dicho sistema tenga un alto tráfico vehicular o transiten muchas personas para garantizar un paso constante sobre el punto en el que se ha instalado el sistema híbrido y con ello la generación de energía mecánica suficiente para posteriormente ser transformada a energía eléctrica, también se debe tener en cuenta que este sistema debe ser instalado en un lugar al aire libre para que

pueda recibir directamente los rayos del sol y así generar energía eléctrica mediante las celdas solares, aunque el sistema híbrido presente una mejor eficiencia que otros sistemas convencionales, este no es recomendable para su aplicación ya que al existir tráfico constante sobre dicho sistema perjudicaría en gran medida a la generación fotovoltaica ya que la interrupción constante de los rayos solares ya sea por el tráfico o suciedad en los paneles disminuiría en gran medida la generación por parte de este sistema.

Ventaja	Descripción
Mayor estabilidad	Los nanogeneradores piezoeléctricos son más estables y tienen una vida útil más larga que los nanogeneradores triboeléctricos.
Mayor eficiencia en ambientes húmedos	La eficiencia de los nanogeneradores piezoeléctricos no se ve afectada significativamente por la humedad, lo que los hace adecuados para aplicaciones en entornos húmedos.
Mayor sensibilidad a los cambios en la presión	Los nanogeneradores piezoeléctricos son más sensibles a los cambios en la presión que los nanogeneradores triboeléctricos, lo que los hace ideales para aplicaciones que requieren una mayor sensibilidad a la presión.
Capacidad para generar voltajes altos	Los nanogeneradores piezoeléctricos son capaces de generar voltajes altos, lo que los hace adecuados para aplicaciones que requieren una gran cantidad de energía.

Tabla 10 Ventajas de nanogeneradores piezoeléctricos.

En la Tabla 10 se muestra algunas de las ventajas más relevantes de los nanogeneradores piezoeléctricos que difieren de las ventajas de los nanogeneradores triboeléctricos expuestas en la Tabla 9.

Finalmente, los sistemas híbridos pueden ser más rentables que los sistemas de células solares convencionales, ya que pueden utilizar materiales y procesos de fabricación menos costosos.

El precio de un sistema híbrido que combina nanogeneradores piezoeléctricos y celdas solares dependerá de varios factores, como el tamaño del sistema, la calidad de los componentes y el fabricante. En general, los sistemas híbridos que combinan nanogeneradores y celdas solares son considerados como una tecnología emergente y aún no están ampliamente disponibles en el mercado. Sin embargo, algunas empresas y grupos de investigación han desarrollado prototipos y sistemas de demostración que combinan estas tecnologías.

Según algunas investigaciones, los costos de los sistemas híbridos de nanogeneradores y celdas solares se encuentran en un rango similar al de los sistemas solares convencionales, es decir, los precios oscilan entre los 100 y los 200 dólares por vatio de potencia instalada. Sin embargo, también hay algunas desventajas a considerar, como el costo actual de producir nanogeneradores, que todavía es relativamente alto, y su eficiencia de conversión de energía, que es inferior a la de las células solares. Además, la vida útil de los nanogeneradores puede no ser tan larga como la de las células solares.

A continuación, en la Tabla 11 se muestran los valores aproximados de generación de los dos sistemas híbridos con más estudios científicos realizados con algunas características de funcionamiento y el tipo de energía que usan para la generación eléctrica.

Hibrido	Tipo de Energía	Generación
Celdas solares y nanogenerador Triboeléctrico	Sol, lluvia, vibraciones del viento y entorno	Este sistema es capaz de generar hasta 0,674 voltios por cada celda solar, es decir este sistema puede ser usado en viviendas y al estar conformado por celdas solares y nanogeneradores triboelectricos estaría en funcionamiento las 24 horas.

Celdas solares y nanogenerador piezoeléctrico	Sol y energía mecánica: vibraciones ambientales, ondas sonoras o presión o deformación	Para que este sistema sea eficiente debe ser instalado en un lugar al aire libre con un gran tráfico de vehículos y personas, este sistema no es recomendable ya que al existir tráfico constante se perjudica la eficiencia de los paneles solares. Sin embargo, en promedio, una celda solar puede generar entre 10 y 20 vatios por metro cuadrado, mientras que la eficiencia de los nanogeneradores piezoeléctricos todavía está en desarrollo y varía en función del material utilizado y la técnica de fabricación.
--	--	---

Tabla 11 generación de sistemas híbridos entre nanogeneradores y celdas solares.

En resumen, los sistemas híbridos formados por células solares y nanogeneradores tienen el potencial de ser más versátiles, duraderos y rentables que los sistemas de células solares convencionales, pero se necesita más investigación y desarrollo para aprovechar plenamente estos beneficios.

Conclusiones

- En este trabajo se realizó una revisión sistemática de los diferentes tipos de nanogeneradores, sistemas híbridos y células solares y a ciertos materiales que son causantes de los efectos piezoeléctricos siendo estos usados como generadores. Se logró observar una mayor cantidad de energía entregada por un sistema híbrido conformado por celdas solares y nanogeneradores de efecto piezoeléctrico. Sin embargo, en su mayoría las aplicaciones que se le ha dado a los nanogeneradores piezoeléctricos se encuentran basados en estudios realizados en laboratorios con materiales dopados con diferentes elementos para obtener una mayor eficiencia mientras que existen aplicaciones desarrolladas con nanogeneradores piezoeléctricos demostradas a través de sistemas híbridos con celdas solares para el aprovechamiento de la fuerza de empuje del viento y gotas de lluvia.
- Se estableció que los sistemas híbridos son sistemas eficientes y amigables con ambiente y el entorno en el que se encuentran instalados ya que en el momento de su implementación no generan daño en la zona de instalación pero presenta grandes beneficios como por ejemplo la reducción de consumo de energía eléctrica en viviendas y en alumbrado público de dicha zona, garantizando así un servicio constante de energía beneficiando a moradores, peatones y vehículos que transiten la zona, hablando puntualmente del sistema híbrido conformado por nanogeneradores piezoeléctricos y celdas solares, aparte de generar energía eléctrica para su uso doméstico o para alumbrado público, este sistema también se puede usar como un dispositivo para monitorear en tiempo real las vías en las que se encuentra instalado dicho sistema.
- Los sistemas híbridos son viables para la instalación en viviendas demostrando una mayor eficiencia en los sistemas conformados por nanogeneradores triboeléctricos y celdas solares ya que dichos sistemas al estar expuestos a dos

diferentes fuentes de energía no ligadas entre si se tiene una generación constante durante las 24 horas del día, en el periodo en el que existe luz solar el sistema hibrido trabaja generando energía eléctrica mediante la radiación a la que se encuentran expuestos los paneles, por otro lado el nanogenerador triboeléctrico genera electricidad mediante las gotas de lluvia, las vibraciones del viento o del entorno en el que se encuentra instalado el sistema, cuando no existe luz solar el nanogenerador sigue recogiendo energía de su entorno, además este sistema al estar siempre en funcionamiento puede ser complementado con un método de almacenamiento de energía en baterías para que no exista energía desperdiciada.

Recomendaciones

- Se recomienda realizar un estudio mas minucioso en el campo de los nanogeneradores de efecto piroeléctrico enfocado en generación para la alimentación de dispositivos móviles y el tipo de sistemas híbridos en los cuales puede ser usado para que presente una mayor eficiencia y tiempo de generación.
- Debido a la gran cantidad de estudios realizados en el campo de sistemas híbridos con nanogeneradores triboelectricos y piezoeléctricos, se recomienda el desarrollo de una revisión sistemática dedicada exclusivamente a cada uno de estos nanogeneradores, el desarrollo investigativo puede enfocarse en sistemas con nanogeneradores dopados de otros elementos ya que estos presentan una mayor eficiencia a los sistemas híbridos normales.

Referencias

- Ali, A., Almutairi, K., Padmanaban, S., Tirth, V., Algarni, S., Irshad, K., Islam, S., Zahir, M. H., Shafiullah, M., & Malik, M. Z. (2020). Investigation of MPPT Techniques Under Uniform and Non-Uniform Solar Irradiation Condition—A Retrospection. *IEEE Access*, 8, 127368–127392. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3007710>
- Avdic, V.; Zecevic, S.; Pervan, N.; Tasic, P. and M. (2013). Different Design Solutions of Solar Trees in Urban Environment. *Green Design Conference, February*, 3–7.
- Calixto, M., Alvarado, G., & Pineda, C. (2017). *El uso de la nanotecnología en la generación de energía eléctrica*. https://www.revistahypatia.org/~revistah/index.php?option=com_content&view=article&id=789&Itemid=986
- Eskeda, E. (2014). *Construcción de celdas solares fotovoltaicas empleando nanopartículas de Ag, como una aplicación potencial de los recursos mineros de Guanajuato*. May 2011. <https://doi.org/10.13140/2.1.1145.4408>
- Espejo, M. (2010). Los nuevos paisajes de la energía solar: Las centrales termosolares. *Nimbus: Revista de Climatología, Meteorología y Paisaje*, 25, 65–92.
- Flores, N., & Domínguez, M. (2017). “ Medición de la eficiencia energética de los paneles solares de silicio .” *Centro de Investigación En Materiales Avanzados, S.C. Posgrados*, 84.
- Fornasiero, P., & Graziani, M. (2005). *Renewable resources and renewable Energy*.
- IRENA. (2019). Future of solar photovoltaic: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects (A Global Energy Transformation: paper). En *International Renewable Energy Agency: Vol. November*.
- Kaltschmitt, M., Streicher, W., & Wiese, A. (2007). Renewable energy: Technology, and environment economics. En *Renewable Energy: Technology, and Environment Economics*. <https://doi.org/10.1007/3-540-70949-5>
- Khan, A. A., Mahmud, A., & Ban, D. (2019). Evolution from single to hybrid nanogenerator: A contemporary review on multimode energy harvesting for self-powered electronics. *IEEE Transactions on Nanotechnology*, 18(c), 21–36. <https://doi.org/10.1109/TNANO.2018.2876824>
- Korfiati, A., Gkonos, C., Veronesi, F., Gaki, A., Grassi, S., Schenkel, R., Volkwein, S., Raubal, M., & Hurni, L. (2016). Estimation of the global solar energy potential and photovoltaic cost with the use of open data. *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management*, 9(February), 17–29. <https://doi.org/10.5278/ijsepm.2016.9.3>

- Liu, S., Liu, X., Zhou, G., Qin, F., Jing, M., Li, L., Song, W., & Sun, Z. (2020). A high-efficiency bioinspired photoelectric-electromechanical integrated nanogenerator. *Nature Communications*, 11(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19987-0>
- Menjívar, F. H. (2011). *Estudio comparativo de los sistemas fotovoltaicos con inyección a la red monocristalino, policristalino y amorfo instalados en CEL*. 126.
- Merino, L. (2007). *Las energías renovables*.
- Murillo, G. (2017). *Recolección de energía ambiental con nanomáquinas | Investigación y Ciencia | Investigación y Ciencia*. <https://www.investigacionyciencia.es/revistas/investigacion-y-ciencia/el-multiverso-cuntico-711/nanogeneradores-15483>
- Natalichio, R. (2019). *Paneles solares flotantes, el futuro de la energía solar - EcoPortal.net*. <https://www.ecoportaldotnet.com/temas-especiales/energias/paneles-solares/paneles-solares-flotantes/>
- Perez, C. (2021, abril 25). *Singapur construye granjas solares flotantes*. <https://www.muyinteresante.es/tecnologia/articulo/singapur-construye-granjas-solares-flotantes-651619386811>
- Peters, I. M., Sofia, S., Mailoa, J., & Buonassisi, T. (2016). Techno-economic analysis of tandem photovoltaic systems. *RSC Advances*, 6(71), 66911–66923. <https://doi.org/10.1039/c6ra07553c>
- Quaschnig, V. (2005). *Understanding Renewable Energy Systems* (EARTHSCAN).
- Sanchez, T. (2013). *Escuela politécnica politécnica nacional*.
- Santamarta, J. (2010). *Las energías renovables son el futuro*.
- Tarrach, G. (2001). *Los Semiconductores y sus Aplicaciones*.
- Tobajas Vazquez, C. (2018). *Energía solar fotovoltaica*. Cano Pina.
- Velandia, O. (2018). *Estudio y desarrollo de celdas solares basadas en estructuras de silicio cristalino / silicio amorfo*. 102.
- Zahnd, A., & Kimber, H. M. K. (2019). Benefits from a renewable energy village electrification system. *Renewable Energy*, 34(2), 362–368. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.05.011>
- Zhang, C., & Wang, Z. L. (2018). *Triboelectric Nanogenerators*. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5945-2_38

