

Estado del arte del proyecto: “ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE UN SISTEMA ENERGETICO TERMO SOLAR EN LA REGIÓN CARIBE COLOMBIANA”

Autores: VLADIMIR SOUSA SANTOS - CLAUDIA VELASCO CABARCAS - ADALBERTO OSPINO CASTRO.

Resumen:

La investigación nace como una búsqueda para la ampliación de conocimiento en cuanto a las energías renovables en Colombia, tal así, surge el proceso de recolección de datos climatológicos, selección de equipos para la simulación basado en la evaluación técnica previamente realizada según los avances tecnológicos, su factible comercialización y adquisición. Los estudios técnicos se basan en el análisis de los componentes de localización y dimensionamiento del campo solar que se obtuvieron los siguientes lugares relevantes de radiación solar, ubicados en la región caribe de Colombia, según los datos del IDEAM se estima la radiación solar en los últimos cinco años [1] y un modelo solar representado por medio de una ecuación matemática; estos datos alimentaran la data necesaria del Programa de simulación (System Advisory Model o Homer), cuyos resultados nos permiten determinar la evaluación económica para complementar la viabilidad económica para la construcción de la Central Termo Solar en varios sectores del caribe Colombiano; serán seleccionados de acuerdo a sus condiciones óptimas de localización y radiación solar anual, y del resultado se inferirá si viable técnica y económicamente, siendo necesario se regulen los incentivos económicos y tarifarios para hacerla competitiva. El estudio surge como iniciativa de ampliar los conocimientos en cuanto a la generación de energía eléctrica a partir de energía termo solar y se pretende consolidar como una investigación de vanguardia en el sector del caribe en Colombia.

Marco teórico:

El recurso solar La radiación solar es la energía primaria para el beneficio del ser humano, donde el Sol es un gigantesco reactor nuclear en el que la masa se convierte en energía continuamente, de esta solo una parte llega a la tierra, pero es ampliamente suficiente y superior a la utilizada por las personas en todos los ámbitos correspondientes. Se calcula que la estrella utiliza 4,3 millones de toneladas de su masa por segundo por lo que para quemar el 10% de su masa necesitará 6000 millones de años; es por esto que la energía solar en los últimos tiempos ha despertado gran interés, ya que es una fuente primaria de energía para el ser humano así como un recurso renovable.[12] Energía disponible La radiación solar que es la energía que llega desde el Sol a la Tierra es la base energética para la mayoría de las fuentes de energía fósil y renovable en el mundo. Hay un gran potencial en esta energía y además hay diversas formas de extraer sus beneficios. La energía solar proviene de reacciones de fusión nuclear producidas al interior del Sol y la cantidad de energía solar que recibe el planeta en su superficie en un minuto es mayor que la energía utilizada por toda la población del globo en un año [13]. Una pequeña fracción de esta energía es captada en la atmósfera, los océanos y plantas en nuestro planeta. La interacción de la radiación solar con la atmósfera produce las corrientes de viento. Además, parte de la energía solar es ocupada en el ciclo del agua, que básicamente consiste en la evaporación de agua desde los océanos, la cual se precipita en una fracción en las masas de tierra firme. Esto se traduce en energía potencial

gravitatoria de masas hídricas que están en montañas y ríos. Otra forma de conversión de la energía solar es la transformación en energía química mediante el proceso de fotosíntesis llevado a cabo por los organismos vegetales. Todas estas formas antes descritas derivadas directamente de la radiación solar pueden ser aprovechadas para su transformación en energía eléctrica [13]. El remanente energético de los procesos de interacción de la energía solar en la Tierra llega en forma de radiación a la superficie de océanos y tierra firme en el planeta. Existen dos formas de convertir esta energía en electricidad: La primera consiste en el uso de celdas fotovoltaicas. Estas producen un voltaje continuo a partir de la radiación incidente. El funcionamiento de las celdas fotovoltaicas se basa en el efecto fotoeléctrico. La segunda opción se basa en concentrar la radiación directa del Sol, mediante superficies con buenas propiedades de reflexión, calentando algún medio para finalmente aprovechar este calor y así generar electricidad a través de un ciclo térmico. Esto se conoce como tecnología termo solar [14].

Esquema de una central termosolar Las Centrales Solares Termoeléctricas o también llamadas Centrales Termosolares, producen electricidad de forma bastante similar a las centrales convencionales, la diferencia radica en que su fuente primaria de energía se obtiene mediante la concentración de la radiación solar, a partir de la cual se genera vapor o gas a altas temperaturas para accionar turbinas. Así, estos sistemas de energía solar térmica de concentración producen calor o electricidad mediante el uso de cientos de espejos de gran tamaño que concentran la luz solar en una línea o en un punto a unas temperaturas que oscilan entre 400 °C y 1.000 °C, calentando un fluido que al evaporarse hace mover una turbina a vapor o gas.´

Tecnologías termo solares Las centrales termosolares son de cuatro tipos principales Los cuatro tipos de centrales termosolares: Lineales, Espejos de Fresnel; De torre; y Stirling

- Concentradores lineales: su funcionamiento se basa en captar la energía del sol usando espejos rectangulares curvados en forma de U, orientados hacia el sol; recogen la luz de este y la concentran en tubos que corren paralelos a lo largo de los espejos y están situados en la línea focal de estos. La luz solar reflejada calienta un fluido que circula por los tubos. Ese fluido se utiliza posteriormente para hervir agua en un generador de turbina de vapor convencional que produce electricidad.
- Concentradores de espejos de Fresnel: similares a los anteriores, el tubo receptor está situado por encima de varios espejos orientados con diferentes ángulos, de manera que todos redirigen la radiación solar hacia el tubo.
- Concentradores de torre: utilizan un gran campo de espejos planos denominados helióstatos para enfocar y concentrar la luz solar en un receptor situado en la parte superior de una torre. Un fluido se calienta en el receptor y se emplea para obtener vapor que, a su vez, se dirige hacia un generador de turbina convencional para producir electricidad. Algunas torres de energía utilizan agua como fluido, mientras que otros diseños avanzados están experimentando con sales de nitrato fundidas debido a sus superiores capacidades de almacenamiento del calor.
- Concentradores Stirling: hacen uso de un espejo circular similar a los platos que se emplean en las antenas parabólicas de captación de señales de televisión por satélite. La superficie del disco recibe la luz solar y la redirige concentrándola en un receptor térmico, que absorbe y recoge el calor y lo transfiere a un motor de émbolo, similar a los pistones de los motores de combustión interna. Este sistema utiliza el fluido calentado por el receptor para mover los pistones del motor y transformar la energía calorífica en energía mecánica. La energía mecánica posteriormente se utiliza entonces para mover un generador para producir electricidad.

Ciclo térmico de generación El ciclo térmico usado se divide en dos etapas. En primer lugar hay un fluido térmico que circula en el campo de concentradores parabólicos. Este fluido es calentado por los rayos del Sol, almacenando

energía térmica. Luego de aumentar su energía, el fluido pasa por un intercambiador de calor cerrado, donde entrega energía térmica al agua que circula por el intercambiador. Al ser calentada el agua, se produce vapor sobrecalentado. Este vapor circula en una turbina a vapor en un ciclo Rankine tradicional. Al expandirse, transforma la energía térmica en trabajo, el cual se aprovecha para mover un generador eléctrico, produciendo así electricidad. Este esquema es el usado en las plantas que han operado en forma comercial [17]. El fluido orgánico realiza un ciclo de potencia análogo al ciclo Rankine tradicional de vapor de agua. Es calentado hasta el punto de ebullición, generando vapor. Este vapor se expande al interior de una turbina, convirtiendo la energía térmica en trabajo. Los ciclos ORC son usados en plantas pequeñas, y cuando se tienen fuentes de calor de baja temperatura [17]. El segundo tipo de ciclo es un ciclo Rankine tradicional, usando vapor de agua generado directamente en los colectores. Esta opción elimina el uso de aceite térmico en todo el proceso. El uso de la generación directa de vapor presenta algunos inconvenientes. La principal dificultad se produce debido a la estratificación del flujo en los tubos receptores de calor, separándose en agua y vapor de agua. El vapor de agua tiene una baja conductividad térmica, lo que produce que al calentarse el tubo, se tenga una diferencia de temperaturas en la sección transversal del tubo. Esto provoca torsiones mecánicas en la tubería. Una alternativa en estudio actualmente es la operación en forma híbrida de colectores solares en plantas que funcionen con un ciclo Rankine de vapor alimentado por combustibles fósiles. Este esquema es visto como una manera de introducir la tecnología de colectores parabólicos en el mercado de generación eléctrica mundial.

Almacenamiento de energía térmica La potencia eléctrica de salida de una planta termo solar depende directamente de la influencia del clima y de la hora del día. Una alternativa para mitigar las variaciones o para seguir la demanda de punta del sistema es instalar un sistema de almacenamiento de energía térmica. Esta opción permite almacenar energía para poder generar electricidad en forma posterior a su llegada al campo de colectores parabólicos. Los sistemas de almacenamiento térmico que se diseñan con este fin requieren capacidades pequeñas de almacenamiento, máximo 1 hora de funcionamiento de la planta a plena capacidad. El desplazamiento del periodo de generación de electricidad requiere el uso de una capacidad mayor de almacenamiento. Este desplazamiento se hace guardando una parte o toda la energía solar recibida durante el día, y se usa para generar energía eléctrica en períodos con mayor demanda eléctrica, o mayores costos marginales de generación. Con este diseño no se requiere necesariamente aumentar el área de colectores instalados. Los rangos típicos de almacenamiento son entre 3 y 6 horas de operación a plena carga [18]. Este esquema se encuentra siendo implementado en el proyecto Andasol de 50 MWe, en España.

Sistema Interconectado Nacional: Colombia El SIN está conformado por todas las líneas de transmisión de energía y subestaciones que hay en el país, medios a través de los cuales se transporta la energía desde las centrales de generación hasta los pueblos y ciudades en donde es consumida. Al estar integrada toda la cadena productiva de la energía en este sistema (generadores, transmisores, distribuidores y comercializadores) se garantiza que todas las regiones del país reciban el servicio de energía las 24 horas del día, todo el año. Así sucede con el SIN, que siempre está funcionando y en caso de que una central o red llegue a tener un problema, entrará otra que siga suministrando el servicio [19]. Está componen más de 30 compañías de energía entre empresas de generación, transmisión y distribución de energía en Colombia junto con 209 plantas de generación (hidráulicas, térmicas, solares, eólicas, cogeneradores y auto generadores) y 26.333 kilómetros aproximadamente de redes de energía. Estas redes conforman el Sistema de Transmisión Nacional (STN), ver figura 4, que son sistemas de redes que operan a tensiones superiores a

220 kilovatios, y el Sistema de Transmisión Regional, (STR), que son los que operan a tensiones entre 110 kilovatios y 220 kilovatios. Cabe destacar que también hacen parte del SIN algunas interconexiones internacionales (Ecuador y Venezuela) [19]. El SIN tiene una capacidad instalada de 17.326 MW y una demanda máxima anual de 10.700 MW aproximadamente. En 2018, a través del SIN se generaron un total de 68.944 GWh de energía. Operación del sistema eléctrico Colombiano La energía que generan todas las centrales hidroeléctricas, solares y eólicas que hay en Colombia se entrega al Sistema Interconectado Nacional (SIN), entidad que se encarga de distribuir esa energía y atender la demanda de todo el país como se explicó en el párrafo anterior. Donde XM coordina la operación de la cadena productiva del sector eléctrico colombiano: Planeación de los recursos de generación de Colombia, es decir, las plantas hidroeléctricas, térmicas y eólicas, (capacidad instalada de 13.405,7 Mw) y los recursos de transmisión (24.000 km de líneas) de acuerdo con la demanda de energía eléctrica de cerca de 42 millones de habitantes. Esta planeación se realiza a corto, mediano y largo plazo [20]. XM, realiza esta selección con criterios de seguridad y economía para garantizarles a los usuarios el servicio con estándares de calidad, confiabilidad y eficiencia. Actualmente, el sistema eléctrico colombiano cuenta con 16.8 GW de generación instalada al SIN, de los cuales 1.4 GW son pequeñas centrales hidráulicas y filo de agua, 0.02 GW eólicos y 0.01 GW solares. No obstante, considerando los proyectos de generación renovables no convencionales con concepto de conexión de la UPME, se espera que para el año 2023 el sistema eléctrico colombiano presente cambios importantes en su matriz energética, contando con más de 3 GW de estas fuentes. Compromiso ambiental en Colombia y mercado eléctrico en Colombia Colombia se ha comprometido a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 20% para 2030 con respecto a los negocios habituales en la COP21. Una política es la ley de Energía Renovable (RE) lanzada en 2014, cuyo objetivo es promover el desarrollo y uso de fuentes de energía no convencionales con incentivos indirectos, como la reducción de impuestos o exenciones. Los incentivos directos, como los basados en precios, no están incluidos en la ley. Las experiencias en otros países han demostrado que los incentivos directos son más eficientes que los indirectos para promover la ER [20]. Legislación Colombia Uno de los recursos legislativos en Colombia es realizar uso de los incentivos de la Ley 1715 (Impuesto al valor agregado y exclusiones de impuestos aduaneros). Cuyo objeto está en el Artículo 1°: “La presente ley tiene por objeto promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético. Con los mismos propósitos se busca promover la gestión eficiente de la energía, que comprende tanto la eficiencia energética como la respuesta de la demanda” [11]. Esta deducción especial del impuesto sobre la renta: Aplica a las inversiones que se realicen directamente en investigación y desarrollo en el ámbito de la producción y utilización de energía a partir FNCE o gestión eficiente de la energía. Se ha dedicado mucha investigación a evaluar el efecto de la política en la difusión de las energías renovables, pero no se conoce mucho trabajo sobre el mundo en desarrollo, particularmente en aquellas naciones donde los arreglos institucionales no favorecen estas tecnologías. Es importante resaltar la relevancia que es la política y su esencialismo para la sostenibilidad del sistema generador de electricidad [21]. Software de implementación Los software de implementación que usualmente se implementan para este tipo de investigaciones son

HOMER que es el estándar global para optimizar el diseño de microrredes en todos los sectores, desde la energía de las aldeas y los servicios de las islas hasta los campus conectados a la red y las bases militares. Este software fue desarrollado originalmente en el Laboratorio Nacional de Energía Renovable, mejorado y distribuido por HOMER Energy [22], HOMER (Hybrid Optimization Model for Multiple Energy Resources) anida tres herramientas poderosas en un solo producto de software, para que la ingeniería y la economía trabajen de la mano. En esencia HOMER es un modelo de simulación que intentará simular un sistema viable para todas las combinaciones posibles del equipo que se desea considerar. Dependiendo de cómo configure su problema, HOMER puede simular cientos o incluso miles de sistemas. HOMER simula el funcionamiento de una microrred híbrida durante todo un año, en pasos de tiempo de un minuto a una hora [22].

Estado del arte:

Generalmente las plantas de producción de energía eléctrica utilizan combustibles fósiles basan su principio de funcionamiento en la obtención de calor mediante la quema de esos combustibles para hervir agua y generar vapor. Este líquido se dirige hacia la turbina que permite la acción del rotor de generador para producir electricidad. El procedimiento se basa en la ley de Faraday [23], establece que la tensión inducida en un circuito cerrado es directamente proporcional a la rapidez con que cambia el tiempo el flujo magnético que atraviesa la superficie cualquiera con el circuito como borde, donde las consecuencias que tiene la quema de esos combustibles sobre el clima son de interés mundial. En cuanto a este tipo de problemática generada a través de la quema de fósiles, se tienen otras alternativas para obtener electricidad, las energías renovables (hidráulica, eólica y solar) que pueden mover las turbinas de un generador recurriendo a otros procedimientos. En este escrito se describirá una de las tecnologías modernas y con un buen futuro potencial: la energía termosolar. Entre las principales ventajas que se encuentran en la energía termosolar es que proviene de la energía solar y el sol jamás morirá ya que tiene como años de vida 6.500 millones de años, según apunta la NASA. En mucho menos tiempo, la tecnología solar ha evolucionado hasta resultar competitiva con las fuentes convencionales de generación eléctrica en algunos países y en apenas unas décadas más se convertirá en parte sustancial de un sistema energético global [23]. En general, la generación de la energía termosolar utiliza como recurso principal el sol, donde la energía solar incidente en la tierra es abundante, relativamente inagotable y no contaminante, dando aún más lugar a la exploración del campo solar ya sea en forma directa o indirecta. Los centros de generación de este tipo de energía “Termosolar” son cimentados en el uso de espejos que concentran la radiación del sol para obtener vapor de agua, luego, se dirige hacia los álabes de una turbina para moverlos y producir así electricidad. Sus tres unidades principales son: } Captadores solares, esencialmente espejos de diversas geometrías que reflejan la luz del sol y la concentran en un determinado foco, convirtiendo la energía solar en energía térmica } Un medio de almacenamiento del calor mediante vapor de agua o sales fundidas } Un generador de energía eléctrica, que produce electricidad mediante una turbina accionada por el vapor obtenido en la conversión de la radiación solar en calor. Estas centrales termo solares usan cuatro tipos de colectores de concentración o colectores focales, que utilizan el principio óptico de reflexión y refracción para concentrar la radiación solar sobre una superficie receptora antes de transformarla en energía térmica, estos son: concentradores lineales, concentradores con lentes de Fresnel, concentradores de torre y concentradores Stirling. Importancia de energía

renovable y problemas climatológicos La información que se desarrolla es parte importante en el proceso de estudio de factibilidad de un sistema energético termo solar en el Caribe Colombiano, debido a que se necesita analizar los factores relevantes para la posibilidad de la construcción de este sistema en el país. Teniendo en cuenta la destrucción que está provocando las energías convencionales y los problemas climatológicos a nuestro país como los siguientes: Derretimiento de glaciares, Blanqueamiento de corales, Pérdidas de playas y erosión costera, Eventos extremos, Animales en peligro, según el IPCC [24].

Actualidad Internacional En la actualidad varios países se están uniendo cada vez más a hacer parte del cuidado del medio ambiente y darse la oportunidad de experimentar a través de la energía renovables, e implementando mejoras tecnológicas por medio de la energía termosolar, que es interesante debido a su flexible mantenimiento de acuerdo a la afirmación de la empresa española Protermosolar “las actuales instalaciones termosolares, algunas de ellas con más de una década de operación, siguen operando sin dar señales de degradación e incorporando experiencias de funcionamiento que las hacen más eficientes.” Este tipo de red fusiona bien con la energía fotovoltaica, donde contribuye a la integración de energía renovable en el sistema, optimizando las infraestructuras de transmisión, existentes y futuras, y contribuyendo a la estabilidad de la red; otra de las razones de la fusión es debido a que el almacenamiento térmico reduce la necesidad de almacenamiento a través de baterías De acuerdo a las estadísticas mundiales, España cuenta actualmente con 50 centrales termosolares en operación y muestra gran importancia en este tipo de energía que superó los 5 TWh de generación eléctrica en 2019 en España, al sumar 5.166 GWh, lo que representa un incremento del 16,8 % sobre 2018 y un 3,8% respecto a la media de los últimos 5 años. La contribución al sistema eléctrico español fue del 2,1% de media, con aportaciones puntuales del 10%. En cuanto a las plantas que mundialmente emplean la tecnología termosolar, tenemos los países España (2,3 GW) y Estados Unidos (1,8 GW) lideran el grupo de quince países que conforma este mercado, con una capacidad de 4,9 GW, si bien ninguno de ellos ha incrementado su capacidad desde 2013 y 2015, respectivamente. El resto de mercados de energía termosolar, ordenados de mayor a menor capacidad, son Sudáfrica, la India, Marruecos, Emiratos Árabes Unidos, Argelia, Egipto, China, Australia, Israel, Italia, Tailandia, Alemania y Turquía. Por la naturaleza de su tecnología, la energía termosolar incluye el almacenamiento, por lo que permite la paridad de rendimiento con las fuentes de energía convencionales [26]. Los mercados emergentes representan la totalidad de la capacidad termosolar incorporada a lo largo de los dos últimos años; Sudáfrica fue el único país que añadió capacidad termosolar en 2017, mientras que EAU anunció el mayor proyecto del mundo de este tipo de energía, cuya puesta en servicio está prevista en 2020 [26]. Con estas estadísticas es notorio que España lidera la producción mundial de energía solar termoeléctrica y es indiscutible líder mundial, ya que el conjunto de las centrales solares termoeléctricas instaladas en el país suponen el 72,85% de toda la potencia instalada en el planeta, cabe resaltar que es una tecnología en evolución. El pipeline de plantas termosolares en construcción está creciendo y está actualmente centrado en países de Medio Oriente y Maghreb (MENA), seguido por India y China. En adición, permite combinar con otras fuentes renovables- sistemas híbridos (hybrid systems con gas o en áreas con demanda de vapor) que sin duda es lo que impulsa el crecimiento de esta tecnología. Se observa que en el reporte de la situación mundial (Ren 21. Energías Renovables 2016) se menciona lo siguiente: “En 2015, Marruecos (160 MW), Sudáfrica (150 MW) y Estados Unidos (110 MW) construyeron nuevas instalaciones de energía solar térmica de concentración en línea, elevando la capacidad total mundial alrededor de un 10%, cerca de 4.8 GW. Las nuevas

instalaciones representan una combinación de tecnologías parabólicas (véase la alusión a la tecnología cilindro-parabólica en este mismo artículo) y de torre, y todos incorporan almacenamiento de energía térmica (TES por sus siglas en inglés). Al final del año, la capacidad de energía solar de concentración (CSP por sus siglas en inglés) estaba bajo construcción en Marruecos (350 MW), Sudáfrica (200 MW), Israel (121 MW), Chile (110 MW), Arabia Saudita (100 MW), China (50 MW) e India (25 MW), lo que refleja un cambio desde los mercados tradicionales (España y Estados Unidos) hacia regiones con altos niveles de radiación directa normal (DNI por sus siglas en inglés)” [27]. Actualidad en America y America Latina La energía termosolar dejó atrás de ser una tecnología experimental para ser realmente innovadora, de acuerdo a los antecedentes la primera planta de este tipo fue construida en California, Estados Unidos en los años 80. En el 2010, la energía termosolar en los Estados Unidos, se encontró en 17 plantas operativas, con una generación de 507 MW. En el 2011, se inició la construcción de plantas adicionales con una inversión de 3,35 mil millones de USD por parte del Departamento de Energía, lo que constituyó un estímulo para la industria termosolar, a nivel mundial. Sin embargo, si se considera la capacidad instalada, España continúa a la cabeza del mercado de la energía termosolar, generando una potencia total de 1,042 MW en el 2012, comparado con los 509 MW generados en los Estados Unidos, ese mismo año. Actualidad Nacional La energía solar térmica nace como una alternativa para proporcionar calor para procesos de baja entalpías en sectores comerciales y residenciales en comunidades con escasez de fuentes de energía. En la región caribe, específicamente en Barranquilla-Colombia se han realizado simulaciones o experimentos donde se implementa modelos de energía solar térmica. Uno de ellos, utiliza especialmente en la generación de energía, en un ciclo combinado o en una estación de energía solar térmica. Es basado en una potencia instalada de 50 MWe, además considera una generación del 10% de gas natural para evitar problemas. SAM analiza cómo enviar almacenamiento térmico. Esto último se puede hacer de dos maneras: el primero usa el nivel mínimo de respaldo, genera energía cuando hay poca radiación y se usa para iniciar el sistema. El segundo es el modo de suplemento. La operación supone una reserva de seguridad como porcentaje de la capacidad máxima del sistema. Estas características permitidas para programar el despacho determinaron la demanda [9]. El otro de los trabajos presenta un análisis de rendimiento experimental de un colector cilindro parabólico (PTC) diseñado y fabricado para minimizar los costos de construcción mediante el establecimiento del mejor perfil parabólico y ángulo de borde para mejorar la eficiencia térmica a través de la mejora de la reflexión de la luz en su superficie parabólica, compuestos por espejos planos convencionales. El diseño considera un receptor de aleación de cobre descubierto cubierto con el foco de la superficie reflectante apoyada en una estructura metálica ligera. El área de recolección de luz solar se definió 1,2 m² para permitir la instalación de arreglos modulares en serie o paralelos en espacios reducidos como la azotea de un edificio. El dispositivo se diseñó para usar agua como fluido de transferencia de calor (HTF) y para funcionar en condiciones ambientales de Barranquilla [30]. De acuerdo a las investigaciones, estadísticas y revistas internacionales y nacionales es un tema de provecho de carácter mundial sin embargo en Colombia como se presentó en la grafica 10 “Renewable energy employment by technology” no se genera empleos a partir de la energía solar térmica y se encuentran escasa bibliografía formal del tema de estudio o aplicación en Colombia e incluso en América latina como se ilustra en la figura 9, sin embargo, en el ámbito internacional es una de las tecnologías más vanguardistas en este tipo de energía renovables es el colector cilíndrico es el que más desarrollado tecnológicamente [28]. Avances de Energía Renovables en el Caribe Colombianono Los mapas de radiación solar para la costa

norte colombiana construidos en cinco pistas solares, y se seleccionan en los siguientes cinco gráficos, donde la parte norte de los mapas (Guajira) tiene un potencial de salud para la energía solar, de acuerdo como lo ilustra la figura siguiente. Este potencial determina una medida que se mueve de la costa En Barranquilla, elegido lugar para simulación de radiación desde 2377 kWh / m²-año a 2612 kWh / metro²-año[9]. Es evidente que hay un buen potencial tanto para la construcción plantas de producción de energía eléctrica a través de la energía irradiada por el Sol y según los criterios de la UPME [31], y en Barranquilla se tiene planeada la construcción de una empresa de energía renovable que promueva el sector económico causando un impacto económico, social y económico en la zona costera [8]. Debido a los cambios y efectos negativos climatológicos es pertinente realizar una búsqueda hacia el desarrollo de energías renovables, lo que hace que la estudio de factibilidad de un sistema solar térmico sea innovador en Colombia, ya que nos brinda una perspectiva del uso de la energía solar y presenta una propuesta hacia la matriz integrada de la energía en Colombia. Es de conocimiento de acuerdo al apartado anterior que la energía que proviene directamente del Sol, no emite gases contaminantes perjudiciales para la salud, no emite gases efecto invernadero que provocan el cambio climático, no produce ningún tipo de desperdicio o residuo peligroso de difícil eliminación, no produce efectos significativos sobre la flora y la fauna, a no ser que hagamos referencia a las instalaciones de alta temperatura, que suelen ocupar una gran extensión del terreno, su impacto sobre el medio ambiente es mínimo, y de producirse alguno ocurre exclusivamente durante la fase de fabricación de los equipos, este tipo de instalaciones no dejan huella ecológica cuando finaliza el periodo de la explotación, es una energía que no corre peligro de agotarse a medio plazo, puesto que su fuente productora es el sol, no requiere costosos trabajos de extracción, transporte o ni almacenamiento, lo que la hace atractiva al mercado [32].

Bibliografía:

IDEAM, “Atlas de radiación solar, ultravioleta y ozono de Colombia”, link: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>

C. Tautiva Mancera, UPME, Ministerio de Minas, BID, fmam, “Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia”, Convenio ATN/FM-12825-CO

Pedro1,* , serafin p., Manuel2 y centeno s. Raquel3, viggiani p., “Energía termosolar, venezuela y el desarrollo sustentable dentro de los objetivos de desarrollo del milenio”

N. Carrasco Argomedo, L. Vargas Díaz, “Caracterización de una planta termo solar de colectores parabólicos para generación de energía eléctrica”, Santiago de Chile 2009.

M. Nuñez, J. Correa, G. Herrera, P. Gómez, S. Morón, y N. Fonseca, Estudio de percepción sobre energía limpia y auto sostenible, *IJMSOR*, vol. 3, n.º 1, pp. 11-15, dic. 2018. <http://ijmsoridi.com/index.php/ijmsor/article/view/89>

F. Bernardelli, “Energía Solar termodinámica en America Latina: Los casos de Brasil, Chile y Mexico”, Comisión Economica para America Latina y el Caribe, 2010

C. Polo Bravo y E. Sacari Sacari, “Evaluación de un Concentrador Cilíndrico Parabólico”, XVI Simposio Peruano de Energía Solar, 2009

B. Y. H. Liu and R. C. Jordan, “The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation,” *Solar Energy*, vol. 4, pp. 1-19, 7//1960.

Tomado de <https://www.dinero.com/empresas/articulo/cual-capital-de-colombia-tendra-la-primera-empresa-publica-de-energiasrenovables/282296>

A. Sagastume Gutiérrez y J. Cogollos Martínez, Balance de energía y exergía de un horno de cuba vertical para la producción de cal, *IJMSOR*, vol. 4, n.º 1, sep. 2019. <https://doi.org/10.17981/ijmsor.04.01.09>.

L. Guzman, A.Henao, R. Vasquez, “Simulation and Optimization of a Parabolic Trough Solar Power Plant in the City of Barranquilla by Using System Advisor Model (SAM)”, 2014. <https://www.energias-renovables.com/termosolar/almacenar-electricidad-renovable-en-centrales-termosolares-cuesta-20180423>

Ley 1715 2014 Integración de ER al sistema Eléctrico nacional, Colombia

J.Constante, E. Palacios, “El recurso solar para generación de energía”, Universidad Politecnica Salesiana SEN Zekai. “Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques. Atmosphere, Environment, Climate Change and Renewable Energy”, Springer, 1ra edición, 2008

J. Morales Veraz, T. Barceló Sánchez, y H. Hernández Herrera, Alternativas para la revalorización de los efluentes de la de la Empresa Porcina Cienfuegos, *IJMSOR*, vol. 2, n.º 1, pp. 22-29, ene. 2017. <http://ijmsoridi.com/index.php/ijmsor/article/view/83>

MÜLLER-STEINHAGEN FRENG Hans, TRIEB Franz, “Concentrating solar power, A review of the technology”, Institute of Technical Thermodynamics, German Aerospace Center (DLR), Stuttgart, Alemania

Viggiani P., Pedro1, Serafin P., Centeno S., “Energía termosolar, Venezuela y el desarrollo sustentable dentro de los objetivos de desarrollo del milenio” XVI simposio peruano de energía solar, “Evaluación de un concentrador cilindrico parabólico”

V. Martinez, “Estado del arte y Evaluación Técnica de la Generación Termosolar de Electricidad”, Departamento de Ingeniería Química y Biotecnología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, 2007.

V. Sousa Santos y J. Gómez Sarduy, Análisis de Calidad de la Energía y Estado de Carga en un Puesto de Seccionamiento y Transformación de Energía, *IJMSOR*, vol. 4, n.º 1, jul. 2020. <https://doi.org/10.17981/ijmsor.04.01.08>

Pilkington Solar International GmbH , “Survey of Thermal Storage for Parabolic Trough Power Plants”, Colonia, Alemania,

Septiembre 2000.

Tomado de <https://www.celsia.com/Portals/0/Documentos/Documento%20de%20trabajo%20sobre%20el%20Sistema%20Interconectado%20Nacional.pdf>

Tomado de <https://www.xm.com.co/Paginas/Renovables/Renovables-no-convencionales-en-el-SIN.aspx>

M Jimenez, C. franco, I.Dyner, “Diffusion of renewable energu technologies: The need for policies in Colombia”, Universidad Nacional de Colombia, Junio 2016.
Tomado de <https://www.homerenergy.com/products/pro/index.html>

J. Verdezoto, “Study of the Laws of Faraday, Lenz and Fleming”
Tomado de <https://www.semana.com/nacion/articulo/efectos-del-cambio-climatico-en-colombia/512637>
Tomado de <https://www.energias-renovables.com/termosolar/los-buenos-numeros-de-la-termosolar-en-20200121>

Deloitte Insights, “Tendencias globales de las energías renovables”. Tomado de <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/es/Documents/energia/Deloitte-ES-tendencias-globales-energias-renovables.pdf>

Tomado de <https://www.tsolar.com/es/noticias/evolucion-de-la-tecnologia-termosolar.html>
Red REP. (2013, 28 de agosto de 2013).

REN21 - Informe de estado global de energías renovables. Tomado de https://www.ren21.net/wpcontent/uploads/2019/05/REN21_GSR2016_KeyFindings_sp_05.pdf

Agencia Internacional de las Energías Renovables (IRENA), Renewable Capacity Statistics 2018

J. Rodriguez, D. Villegas, M. Vanegas, G. Valencia, “ Experimental study of a parabolic trough collector for low enthalpy processes in the city of Barranquilla”

F. García Reina, A. Méndez García, y L. Martínez Ibáñez, «Determinación de las propiedades dielectricas de los combustibles, sus mezclas y del suelo, así como su impacto en un uso eficiente de los recurso energéticos y en la determinación de la contaminación ambiental», *IJMSOR*, vol. 4, n.º 1, jun. 2019. <https://doi.org/10.17981/ijmsor.04.01.04>

Unidad de Planeación Minero Energética UPME, Colombia y el protocolo de Kyoto, Disponible en: https://unfccc.int/files/adaptation/adverse_effects_and_response_measures_art_48/application/pdf/200310_ed_pa

per_colombia.pdf

A. Ruíz, A. Krumm, L. Schattenhofer, T. Burandt F. Corral, N. Oberländer, P. YuOei, “Solar PV generation in Colombia – A qualitative and quantitative approach to analyze the potential of solar energy market”, 2020.

Jainer Rodríguez¹; Duván Villegas²; Guillermo Valencia Ochoa³; Marley Vanegas Chamorro⁴; Gaudy Prada Botía “Experimental Investigation of the Thermal Performance on a Solar Parabolic trough Collector in the Caribbean Region”
2018.

Sanan T. Mohammada,b, Hussain H. Al-Kayiema, Morteza K. Assadia, Osama. Sabira, Ayad K. Khliefa, «An integrated program of a stand-alone parabolic trough solar thermal power plant: Code description and test”, 2018.

Y. De la Peña, G. Bordeth, H. Campo, and U. Murillo, “Clean Energies: An Opportunity to save the Planet”, *IJMSOR*, vol. 3, no. 1, pp. 21-25, Dec 2018.

<http://ijmsoridi.com/index.php/ijmsor/article/view/91>