

ENERGÍAS PROPORCIONADAS POR EL MAR Y SU POSIBLE INTRODUCCION EN LA MATRIZ ENERGETICA DE CUBA, BAHIA DE CIENFUEGOS Y SU COSTA

González Suárez, R. L.

Administración Marítima de Cuba, Puerto de Cienfuegos
e-mail: robertoluisgonzalezsuarez@gmail.com

RESUMEN

El trabajo realiza un breve estudio de los tipos de energías que pueden ser aportadas por los océanos para la generación de electricidad, proponiendo como objetivo, el estudio de sus manifestaciones contenidas en los mares de Cuba, recomendando a través de las técnicas de compilación de información, el equipamiento más eficiente en correspondencia con su geografía, y las características de sus ríos, costas, corrientes, mareas y profundidades. Como resultado se escogió a modo de conclusión, el estudio de la Bahía de Cienfuegos y su costa al centro sur de la isla, por toda la información que se posee y el conocimiento en la práctica de la zona. Se considera muy novedosa esta propuesta por no existir en Cuba experiencias en el aprovechamiento de estas energías en la generación de electricidad, siendo éstas, las fuentes renovables más limpias y estables, que no generan emisiones contaminantes, por lo que se propone su introducción en la matriz energética de Cuba.

Palabras claves: energías renovables, termal, mecánica, osmótica.

1- INTRODUCCIÓN

En la actualidad todos los países desarrollados están enfocados en el empleo y perfeccionamiento de la utilización de las fuentes renovables de energía, lo que podría ser considerado como el inicio de una Revolución en la búsqueda de alternativas energéticas ambientalmente sostenibles. En Cuba también se han trazado objetivos estratégicos para lograr la transición a una baja emisión de dióxido de carbono y así estar incluidos en la lucha contra el cambio climático. Para ello es importante cumplir con el Objetivo de Desarrollo Sostenible No. 7 establecido por la ONU en 2015, de garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos, por lo que este objetivo está recogido en el Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social 2030 cubano,

siendo uno de nuestros principales enemigos el alto consumo de combustibles fósiles en la generación de energía eléctrica.

Este trabajo pretende ilustrar como se pudiera introducir el uso de nuevas fuentes renovables de energías ya estudiadas e implementadas a nivel mundial, pero no introducidas en la matriz energética de Cuba, aspirando a un desarrollo sostenible, más limpio en la generación y consumo de energía en nuestro país.

El 95% de toda la electricidad que se consume en Cuba de 19 631 MW (2018) se genera a partir del consumo de combustibles fósiles, en Plantas Térmicas con 35 años y más de explotación, el resto en los Grupos Electrógenos de Fuel y Diésel con más de 15 años, de ese combustible el 52% es de producción nacional (44% crudo y un 8% con gas acompañante), el otro 48% es importado (42% es Fuel y un 6% de Diésel) con todas las dificultades que pueden generar estas importaciones y sus costos, generándose solo un 5% del consumo eléctrico nacional con energía solar y otras fuentes renovables [1] y [2].

Dentro de esas otras fuentes renovables que hoy están generando al sistema electroenergético nacional se encuentran las Hidroeléctricas, siendo la planta de mayor capacidad de generación La Hanabanilla, con 43 MW de un total de 64 MW que por esa vía se genera en Cuba, aunque el potencial estimado es de 800 MW. En los 72 Parques Solares que existen se generan 215 MW sincronizados al Sistema Electroenergético Nacional, además de otros 12 MW en techos de escuelas y casas rurales. Respecto a la Energía Eólica, el potencial estudiado es de 3500 MW con altos costos a razón de 1400,00 pesos el Kw, pero en estos momentos se encuentra en fase de inicio de estos proyectos. Otra forma de generación en estudio en el país es la utilización de la biomasa, productos orgánicos que debido a su degradación producen energía, pero todas estas fuentes renovables no son constantes porque dependen de factores externos como la lluvia, el sol, el viento y las materias orgánicas, entre otros [3].

2- MATERIALES Y MÉTODOS

En este trabajo se empleó fundamentalmente la técnica de compilación de información, estudiando antecedentes mundiales en la generación de electricidad proveniente del mar, con el objetivo de

abrir la visión hacia una investigación de esta energía renovable constante y predecible que se puede generar desde el mar en nuestro país, aprovechando la característica de la isla. Para ello se hizo un estudio de los diferentes equipos instalados en mundo para la obtención de energías renovables provenientes del mar y su conversión a energía eléctrica, ejemplificando su empleo en correspondencia con las características del caso de estudio.

Cuba está ubicada en el mar Caribe, con una superficie de 109 884,19 Km² y una línea de costa irregular con una longitud en la parte más extensa de 3209 Km en la costa Norte y 2537 Km en la Sur, además posee 8 importantes bahías de bolsa: Cabañas, Mariel, La Habana, Nuevitas, Nipe, Guantánamo, Santiago de Cuba y Cienfuegos, contando con 361 corrientes fluviales de ellas 33 ríos en la costa Norte y 34 ríos en el Sur [4].

3.1 Fundamentación Teórica

Del mar se pueden obtener tres tipos de energías **La Térmica**, **La Mecánica** y **La Osmótica**, que se describen a continuación:

3.1.1 LA ENERGÍA TERMAL: Es el aprovechamiento de la diferencia de temperatura proveniente del calentamiento producido por el Sol en la superficie del mar y las bajas temperaturas en las profundidades (gradiente térmico), permitiendo obtener energía eléctrica a través de tres tecnologías:

- Ciclo Cerrado: Cuando evaporamos un fluido que lo haga fácilmente a bajas temperaturas (amoniac). Haciendo pasar el vapor que se expande por las turbinas acopladas a un generador.
- Ciclo Abierto: Evaporando directamente el agua de mar, operándola a presiones bajas que producen vapor de agua, que mueven las turbinas acopladas a un generador.
- Ciclo Híbrido: En este caso se emplean ambos procedimientos a la vez, la evaporación de un fluido especial y la del agua de mar para alimentar ese circuito de turbinas y generador.

Este tipo de tecnología es aplicable donde existan grandes profundidades y con elevada incidencia solar durante todo el año, donde se logre una diferencia de temperatura entre la superficie y el fondo próximos a los 20°C de diferencia.

Entre los años 1929 al 1930 se realizaron pruebas en la Bahía de Matanzas con una tubería de aspiración de 1,6 m de diámetro y 2 Km de longitud, la cual trabajo por 11 días, hasta que una tormenta la averió de tal manera que se desistió de esa idea [5].

3.1.2 LA ENERGÍA MECÁNICA: es la obtenida del movimiento del mar. La provocada por las corrientes de mareas es denominada (*MAREOMOTRIZ*) y por las olas, la (*UNDIMOTRIZ*).

3.1.2 A) La Energía Mareomotriz: Es la que se genera mediante construcciones en la costa, o por la instalación de equipos en grandes bahías de bolsas y estuarios, donde se puede aprovechar las corrientes inducidas por los desniveles de las mareas de alta a baja y viceversa, que son provocados por la atracción gravitacional de la Luna y el Sol. Generándose electricidad con el clásico sistema de turbina y generador, estas mareas son constantes en el tiempo y predecibles en su magnitud [6].

Existen en el mundo diferentes tipos de Plantas y Equipamientos para obtener energía de las corrientes de mareas, ejemplo de ello:

Planta Mareomotriz de la Rance (Francia), inaugurada en 1966, produce electricidad para 225 000 habitantes, sus instalaciones tienen 720 m de longitud por 33 m de ancho y un embalse de 22 Km², con 24 turbinas de 10 MW, que aprovechan las diferencias de mareas [7].

Estos tipos de instalaciones no subproducen elementos químicos o tóxicos cuya disposición suponga un esfuerzo adicional, como ocurre en otros procesos de generación de energía eléctrica, por ejemplo, el plutonio radioactivo de la generación de energía nuclear o con los gases de efecto invernadero por la combustión de hidrocarburos fósiles, pero su principal Desventaja son las construcciones colosales con un efecto paisajístico y ambiental bastante negativo, con intervención directa en el ecosistema marino.

También existen otros equipos puntuales de fáciles emplazamientos para la generación de electricidad en bahías o estuarios naturales, para el aprovechamiento de las corrientes de mareas,

entre ellos: Las turbinas horizontales invertidas y otros sistemas muy parecidos a los de los parques eólicos.

La Ventaja Principal de este tipo de generación de energía, es que no necesita de materia prima consumible, ya que las mareas son infinitas e inagotables, haciéndola renovables y económicas.

3.1.2 B) Las Corrientes Marinas: Son ocasionadas por la combinación de la acción del viento, la temperatura y otros factores como las mareas y el efecto de Coriolis, debido a la rotación de la tierra. La energía cinética de las corrientes marinas se puede convertir en su mayor parte en energía eléctrica, utilizando rotores de flujo abierto, igual que una turbina eólica. Su potencial es enorme con independencia de que son conocidas y constantes, factores que las hacen muy atractivas en la generación de electricidad en comparación con otras energías renovables.

Esta preferencia está dada por los altos factores de carga debida a las propiedades del fluido, la previsibilidad y su presencia constante, evitando la intermitencia, además de su explotación con escaso impacto ambiental y viabilidad.

Los sistemas de explotación de las corrientes marinas se basan en el empleo de generadores posicionados en el medio del flujo, entre los que se encuentran Rotores de Flujo Axial, Rotores de eje vertical, que reciben el flujo en sentido transversal al eje y los Alerones que basculan alternativamente al ser impulsados por el flujo, en este último sistema se destaca el prototipo Stingray y el biosSTREAM que pueden conseguir 150 Kw con corrientes de 2 m/s, otro ejemplo es Yell Sound (Escocia) que promedió 90 Kw con corrientes de 1 m/s. estos son parecidos a las aletas de tiburón, que con corrientes de 2,5 m/s son capaces de generar 250 Kw [8].

Existen también otros ejemplos de sistemas como el SeaGen, predecesor del SeaFlow pero muy grandes, es un generador de dos hélices bipala de 16 m de diámetro ubicado en el estrecho de Strangford en funcionamiento desde el 2008, logrando generar 1,2 MW, su altura es de 40 m, aunque los últimos 10 m sobresalen por encima del nivel del agua, en ellos se encuentra la cabina de operaciones, a fin de facilitar las operaciones de mantenimiento y las hélices se pueden izar fuera del agua [9].

Otros Proyectos de Generadores son: Sistemas THAWT, Sistema Lanstrom, Sistema Vivace y Sistema GESMEY.

3.1.2 C) La Energía Undimotriz: Es el aprovechamiento energético producido por el movimiento ondulatorio de la superficie de la mar, o sea, la utilización de la energía mecánica que proviene del movimiento de las olas, ocasionadas por la acción del viento sobre la superficie del mar y la acción gravitatoria del sol y la luna [10].

El equipamiento diseñado hasta la fecha para la Generación de Energía Eléctrica Undimotriz se clasifica en:

- **Por su ubicación respecto a la costa:**

- **Costeros (*shoreline*):** Son construcciones que se basan fundamentalmente en el aprovechamiento de la elevación del nivel de agua que producen las olas al llegar a la costa, que generan un represamiento periódico para luego retornar a su nivel, pudiendo generar energía eléctrica por medio de una turbina al bajar el nivel de agua y por la compresión de aire por el oleaje en un recinto, que se puede utilizar para impulsar una turbina y generar también energía eléctrica [11].

- **Cercanos a la costa (*near shore*):** Son los equipos instalados en el mar, cerca de la costa, en profundidades de menos de 20 m, que aprovechan fundamentalmente el acostumbrado oleaje, del cual más del 90% de esa energía de este llega a las zonas costeras [11].

- **Lejanos a la costa (*off shore*):** Se trata de dispositivos flotantes o sumergidos ubicados en aguas profundas de 50 a 100 m. Son capaces de utilizar el mayor potencial energético existente en alta mar. Existen diversos tipos de estos equipos que operan en esta condición, en fase experimental [11].

- **Por el principio de funcionamiento (o captación):**

- Diferencias de presión (Rompeolas).
- Cuerpos boyantes (Efecto Arquímedes, Cuerpo Boyante con referencia fija y Cuerpo Boyante con referencia móvil).
- Impacto (Convertidor Oscilante).
- Rebosamiento (Dispositivo de Sobrepasamiento).

- **Por el tipo de impacto de la ola en el dispositivo, respecto a la dirección del frente de ola se clasifican en:**
 - Absolvedores puntuales.
 - Atenuadores.
 - Terminador o Totalizador.

Las tecnologías **Undimotriz** más desarrolladas son los dispositivos captadores de impacto y movimiento, boyas, absorvedores puntuales y articulados, así como por columna de agua oscilante.

3.1.3 La Energía Osmótica: Esta se obtiene en la desembocadura de los ríos y está asociada con la diferencia del grado de salinidad, donde se puede obtener energía con un proceso denominado Osmosis por Presión Retardada (PRO), donde el agua del río se hace pasar por unas membranas, produciéndose una presión más elevada en el agua de mar, esta presión es capaz de alimentar una turbina que se puede conectar a un generador, también es conocida por generación por gradiente salino.

La primera planta piloto de este tipo de generación de electricidad fue construida en Noruega en 2009, por la empresa Starkraft de 1 MW, estas plantas juegan un papel importante, gracias a ello es posible el tratamiento de agua para el consumo humano, el tratamiento de aguas residuales, el procesamiento de alimentos y la obtención de energía eléctrica, como impacto ambiental positivo asociado a la construcción de estas instalaciones, además de las vías de acceso y conexiones a la red electro energética. (Ejemplo: Una instalación con capacidad de 25 MW de potencia, tendría el tamaño de un campo de fútbol).

Otro proceso por el que se obtiene Energía Osmótica es por Electrodialisis Inversa (RED). En este el agua no pasa a través de las membranas, pasando solo la sal disuelta por canales separados por membranas para crear una especie de pila, de esta forma las membranas no se bloquean y no pierden eficiencia, aprovechando el flujo de agua con diferentes concentraciones donde son colocados electrodos expuestos. El resultado es el de una celda de flujo electroquímico, que puede producir una cantidad de energía continua sin precedente y sin pérdida de eficiencia.

Una combinación de estos dos principios concretamente produce 12,6 volts x m² de membrana contra los 9,2 de generación por PRO y los 2,9 por RED.

Las Ventajas de la Generación de Electricidad por Osmosis son:

- Se puede operar las 24 horas y es continua.
- No se ve afectada por la velocidad del viento, ni de la radiación solar.
- Es considerada renovable sin emisiones de CO₂.

La principal Desventaja de esta es que todavía es un reto económico su generación, en comparación con la generación con los combustibles fósiles, siendo este uno de los principales desafíos en la actualidad para su utilización, junto a la fabricación de nueva generación de membranas más eficientes en cuanto a la permeabilidad, selectividad para el agua y alta resistencia al ensuciamiento.

En correspondencia con la fabricación de las nuevas membranas, para el futuro se considera un coste de entre los 50-100 euros x MW generado, que se corresponde con el resto de las Energías Renovables [12].

3.2 Caso de estudio “Bahía de Cienfuegos y su costa Sur”.

Cienfuegos por su posición geográfica al centro y sur de Cuba, la información que se posee de otros trabajos y el conocimiento práctico por haber desarrollado por muchos años diferentes desempeños en este entorno costero, constituye un gran potencial para la propuesta de generación de energía eléctrica con la utilización de los diferentes tipos de Energías estudiados.

3.2.1 Generación de electricidad por energía termal.

La idea propuesta está enmarcada en el entorno, entre Punta Colorado y la costa Sur de la Central Nuclear de Juraguá, caracterizada por una costa con ausencia de construcciones y sus facilidades de comunicación con el resto del país, además de la cercanía a las isobatas de mayor profundidad en el Sur, que oscilan desde los 100 m hasta los 2000 m.

También es conocido, el decrecimiento de la temperatura con relación a la profundidad, alcanzando en ese lugar una diferencia de temperatura entre la superficie, que oscila entre los 26°C a los 30°C y en la profundidad del mar con 6°C después de los 600 m, alcanzando los 4°C después de los 1200 m de profundidad, ideal para una planta de Energía Termal Eficiente (Gradiente térmico de 20°C o más) [13].

Ejemplo de ello se encuentra reflejado en el estudio publicado por la revista cubana de investigaciones pesqueras 6 (2):1981, sobre la distribución vertical de la temperatura de las aguas oceánicas cubanas en verano e invierno [13].

3.2.2 Generación de electricidad por energía mecánica.

La propuesta para la presentación de estas, es la zona 2 para la generación de electricidad por **Corrientes y Mareas** ver (**Anexo III**), ubicada a la entrada de la Bahía de Cienfuegos, en la zona conocida por El Cañón y para la generación por las **Olas** se ejemplifica por tramos de la costa Sur de Cienfuegos.

- **Mareas y Corrientes:** Las mareas en la Bahía de Cienfuegos no son de grandes diferencias entre Pleamar y Bajamar, oscilando estas entre los 0,35 a 0,40 m, dependiendo mucho del movimiento de la luna y la época del año, pero por sus características tales como: el espejo de agua en la bahía de 88,46 Km², el volumen de agua para el nivel medio del mar que es de 1,84 Km³, su estrecho y sinuoso canal de acceso con solo 278 m de ancho y aproximadamente 3600 m de longitud, y las profundidades del canal que oscilan entre los 30 a 50 m, son las que provocan corrientes importantes en dicho canal y sus inmediaciones durante los llenantes y vaciantes. Este lugar es conocido como El Cañón, donde las corrientes que ahí ocurren durante las mareas, son de aproximadamente de 2,8 a 3 nudos (Documentado por Prácticos del Puerto de Cienfuegos), equivalente a 1,4 a 1,54 m/s promedio, incrementándose en los vaciantes en épocas lluviosas por los vertimientos de los cuatros ríos (Caunao, Arimao, Damuji y Salado) los que tributan a la bahía. Existen otras corrientes provocadas por las mareas en el interior de la bahía, pero con menor importancia para el fin que pretende este trabajo.

En El Cañón existen lugares donde producto de la profundidad y la forma del fondo, se han registrado corrientes superiores a los 3 nudos durante la vaciante, o sea mayores a 1,54 m/s en un lugar conocido por (Los Huecos). Corriente ésta muy eficiente para la generación de energía eléctrica con el equipamiento idóneo, que habría que ajustarlo en dimensiones al lugar de posicionamiento, por la proximidad al canal de acceso a la bahía.

Estas corrientes se pudieran aprovechar más eficientemente, con una inversión de construcción Hidrotécnica, configurando el perfil del canal sin afectar el calado máximo del mismo, pero redireccionando las corrientes de llenante y vaciante, acercándolas a la costa de Rancho Club en Los Huecos, enlazando esta obra con tierra con un puente o muelle de longitud entre los 50 a 60 m y una altura que en temporada ciclónica no entorpezca el oleaje generado en la zona, en esta obra perpendicular a la costa se pueden instalar todo el equipamiento necesario, como por ejemplo turbinas de dimensiones adecuadas, como las de la Planta de Rance, pero más pequeña, para la generación de electricidad, pudiéndose alcanzar la generación necesaria para abastecer la población del Castillo de Jagua, el Perche y otros. Todo lo anterior con la única desventaja del posible efecto paisajístico.

- **La Energía Undimotriz:** Es la proveniente del oleaje, se puede clasificar como ya se ha explicado por su ubicación, principio de funcionamiento y el tipo de impacto respecto a las olas, para el caso de estudio la Costa Sur de Cienfuegos, por el conocimiento y experiencias deberán por su ubicación ser Costeros o cercanos a la costa, pudiéndose aplicar varios de los principios de funcionamiento, al igual que por su tipo de impacto respecto a la ola.

Es por ello que se hace una evaluación y recomendación de los tipos específicos de equipos por su eficiencia para las diferentes zonas costeras de Cienfuegos, en correspondencia con los ejemplos como:

- Los Dispositivos denominados (Boyas que accionan un generador lineal y Plataforma apoyada cerca de la costa con boyas) que necesitan de marejada y pueden ser fijados próximos a la costa, por lo que la Zona de entrada a la Bahía de Cienfuegos a ambos lados de la zona conocida como El Cañón, puede ser investigada con este fin y poder elegir los de mayor eficiencia y efectividad.
- El Dispositivo de Columna Abierta Oscilante se puede instalar frente a la costa del Faro y de la CEN aprovechando el mar de leva originado en esa zona por las corrientes de llenante, vaciante y los vientos, evaluando los de mayor eficiencia.
- Los Dispositivos (Boyas que accionan un generador lineal y Boya que comprime aceite, el cual mueve un generador lineal) se pueden fijar en El Cañón a la entrada de la Bahía,

aprovechando el mar de levass y como artefactos flotantes los cuales pudieran servir también como señalización.

Ejemplo: El Dispositivo Atenuador por Pontones de impacto con movimiento de vaivén, fijados a gatos hidráulicos a una escollera o muelle, donde la presión de sus pistones impulsa un fluido por una tubería hasta la costa, donde hace girar un motor hidráulico acoplado a un generador de electricidad, devolviendo el fluido sin presión a las tuberías de los gatos como un sistema cerrado. Este dispositivo pudiera instalarse en la obra descrita en el anterior apartado de Mareas y Corrientes en el puente o muelle de longitud entre los 50 a 60 m, que enlaza la obra Hidrotécnica que se propone anteriormente para redireccionar las corrientes y la costa de Rancho Club en Los Huecos, algo parecido a un Eco Wave Power (Instalados sobre un muelle en Israel), que puede funcionar en cualquier lugar y con olas de menos medio metro de altura.

3.2.3 Generación de electricidad por la energía osmótica.

En la bahía de Cienfuegos desembocan 4 ríos: el Caunao, el Arimao, el Damuji y el Salado.

La densidad del agua depende de la presión atmosférica y de la temperatura, ejemplo a 15°C el agua y presión normal, el agua de los ríos es aproximada a 1000 Kg/m³, variando en función de ellas. En la bahía es de aproximadamente 1024 Kg/m³, manteniéndose constante en épocas de sequía y disminuyendo en periodos lluviosas hasta 1023 Kg/m³, siendo en las afuera de la bahía mayor, llegando a 1027,34 Kg/m³.

El aprovechamiento de la diferencia del grado de densidad, producto del cambio de la salinidad (gradiente de salinidad), es fundamentalmente de donde se puede obtener energía con un proceso denominado Osmosis por Presión Retardada (PRO). Esta se puede conseguir cerca de la desembocadura de los ríos y está asociada al pasar el agua de los ríos por unas membranas, produciéndose una presión más elevada en el agua de mayor densidad, esta presión es capaz de alimentar una turbina que se puede conectar a un generador.

De los ríos que desembocan a la bahía, y la costa de Cienfuegos, el Rio que más cumple con las características necesarias para ser utilizado para la generación de energía a través de la OSMIOSIS,

es el RIO ARIMAO, específicamente en la zona de la desembocadura próxima a la Playa de Rancho Luna y al Mar Caribe, donde la diferencia de densidad es mayor.

3- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

PRIMERO: Para la generación de electricidad por la **Energía Termal** en la provincia de Cienfuegos, el trabajo propone el emplazamiento de una Planta entre Punta Colorado y la costa Sur de la Central Nuclear de Juraguá, la que brindaría significativas ventajas, tales como:

- El área propuesta no entra en contradicción con otras edificaciones, ni de uso del territorio.
- El gradiente térmico es mayor de 20°C por lo que se puede utilizar el ciclo termodinámico denominado “Ciclo de Rankine” que es muy eficiente y se encuentra muy próximo a la costa, evitando el uso de plataformas flotantes más costosas.
- En comparación con otras fuentes renovables, su funcionamiento se mantendría las 24 horas al día, independiente de las condiciones eólicas o solares.

Notas Importantes para la propuesta: Según estudios de análisis de “Mistrani” (2008, 2014 y 2016), existirá un incremento de la temperatura del mar y de la salinidad en el mar territorial de la República de Cuba.

Un ejemplo es la planta productora de energía térmica más grande del planeta se encuentra en la costa de Kona, en Hawái, Estados Unidos, está conectada a la red eléctrica y de forma continúa generando 100 Kw de energía eléctrica, aunque el objetivo final es que crezca hasta ser capaz de producir 100 MW [14].

SEGUNDO: La zona propuesta para la generación por **mareas y corrientes** será la conocida en este territorio como El Cañón, donde las corrientes provocadas por las mareas son de aproximadamente entre 2,8 a 3 nudos (Documentado por Prácticos del Puerto de Cienfuegos), las cuales son útiles para la generación porque son mayores a 1,54 m/s en el lugar conocido por (Los Huecos) donde se puede incrementar la eficiencia de estas corrientes con una inversión de una construcción Hidrotécnica, configurando el perfil del canal sin afectar el calado máximo del mismo, pero redireccionando las corrientes, acercándolas a la costa de Rancho Club en Los Huecos, donde

con el equipamiento idóneo, pueden ayudar a la generación de electricidad para apoyar el consumo de la población de Rancho Club, Castillo de Jagua, el Perche y la Ciudad Nuclear.

Una de las ventajas de la utilización de esta propuesta es su cercanía a la costa, lo que simplificaría los gastos por transmisión, además con la construcción de un enlace desde tierra con la obra Hidrotécnica propuesta, y un puente o muelle de longitud entre los 50 a 60 m donde se puede instalar todo el equipamiento necesario, como por ejemplo turbinas de dimensiones adecuadas, similares a las de la Planta de Rance, pero más pequeña, propiciando la generación de electricidad en el lugar, facilitando su conexión a la red nacional.

Notas Importantes para la propuesta y otros estudios: Las corrientes de mareas presentan mejores condiciones en Cuba: en las bahías de Nipe, Nuevitas y Cienfuegos, con corrientes en el entorno de 1 a 1,5 m/s y suficiente profundidad para la instalación de equipos sumergidos.

TERCERO: Existen diferentes lugares donde se propone la obtención de generación eléctrica por La **Energía Undimotriz**, aunque se conoce que en la costa sur de Cienfuegos no se generan oleajes importantes a no ser durante las tormentas. Los vientos reinantes durante el día del Sureste (SE) provocan un oleaje marcado desde 0,25 a 0,5 metros de altura en la costa frente al Faro Las Coloradas y la Playa de Rancho Luna, comportándose con alturas mayores en el Cañón durante el mar de fondo (sentido opuesto entre la corriente de marea y la dirección de las olas). En estos lugares la propuesta va en tres direcciones: un equipamiento Costero o cercano a la costa, la utilización de los diferentes principios de funcionamiento de los equipos propuestos en el trabajo, y por último, por su tipo de impacto respecto la ola, recomendando sean utilizados en correspondencia con los ejemplos ya valorados.

Este autor considera que la más efectiva es el empleo del dispositivo de Eco Wave Power, Atenuador por Pontones de impacto con movimiento de vaivén, fijados a gatos hidráulicos sobre construcción del enlace desde tierra hasta la obra Hidrotécnica propuesta, utilizando para ello el puente o muelle propuesto en este trabajo, de longitud entre los 50 a 60 m en la Costa de Rancho Club.

CUARTO: La propuesta para la **planta de generación eléctrica por Osmosis**, estará enclavada en la desembocadura del Río Arimao, con una densidad aproximada a 1000 Kg/m³ Vs 1027,34 Kg/m³ en la costa frente a la desembocadura del río, que ya es parte del Mar Caribe.

La principal ventaja de esta propuesta es que, en todo su cauce y su salida al mar, no existen construcciones, ni impedimentos para el montaje de una Planta de Generación de Electricidad bajo el principio de Osmosis de presión retardada (PRO) o de Electrodialisis Inversa (RED) o combinada.

Otras ventajas de la Generación de Electricidad por Osmosis serian:

- Se puede operar las 24 horas y es continua.
- No se ve afectada por la velocidad del viento, ni de la radiación solar.
- Es considerada renovable sin emisiones de CO₂.

Todo lo anteriormente explicado sugiere un estudio posterior, pues hoy en día este proceso es costoso, su desventaja fundamental está en la dimensión de la planta, que para generar 25 MW debe ser del tamaño aproximado de un campo de Fútbol. En el área recomendada esta construcción no sería un gran problema, por contar con suficiente espacio libre y la ventaja de generar las 24 horas continuamente sin emisiones de CO₂ lo compensa. También hay que tener en consideración el estudio realizado por “Mistrani”, donde proporciona datos muy interesantes sobre el incremento de la salinidad en las costas de Cuba desde el 2030-2040.

QUINTO: Antes de concluir y no menos importante se encuentra la energía proporcionada con el empleo del **Hidrogeno (H₂)** como combustible. La generación de electricidad con H₂ es conocida como la Energía Verde, el hidrogeno es el combustible más abundante y más limpio del universo y es fácil de obtener a partir del agua de mar mediante la electrolisis.

Existen un procedimiento para la obtención del H₂ a partir de la absorción del agua de mar, su filtrado, disociación de las moléculas en celdas de electrolisis, descomponiendo en H₂ y O y por último inyección del H₂ en motores como combustible para la generación eléctrica.

La principal desventaja de la obtención del H₂ es que es un gas muy ligero y de baja densidad, necesitando depósitos muy grandes, o evaporarlo a presión, para su almacenamiento

(Licuefacción) y los materiales para la fabricación de los electrodos para hacerlos más duraderos aún se encuentran en estudio.

Otro Procedimiento es la de convertir el agua de mar de peróxido de hidrogeno (H_2O_2) a través de un método foto catalítico y emplearlo en una pila de combustible, siendo la mayor ventaja al utilizar H_2O_2 liquido en lugar del hidrogeno gaseoso H_2 , siendo en forma líquida más fácil de almacenar a altas densidades y más seguro.

No obstante, su principal ventaja es que el agua del mar es casi inagotable y al utilizar el hidrogeno como combustible los vapores que se emanan a la atmosfera serán vapor de agua, no dañinos para el medio ambiente.

En nuestro caso de estudio, se propone para esto dar utilización al antiguo y abandonado canal de enfriamiento de la Central Nuclear de Jaragua, donde existe suficiente espacio y se pueden aprovechar las obras existentes sin conflicto con otras construcciones, construyéndose en el lugar una planta que abarque todo el proceso de obtención del hidrogeno para su empleo como combustible en la generación de electricidad.

En el mundo existen 228 proyectos de generación de energía con Hidrógeno H_2 , solo 5 son en América Latina (México, Paraguay, Bolivia y 2 en Chile).

4- CONCLUSIONES

Existen muchos tipos de energías que son proporcionadas por el mar, que pueden ser aprovechadas en la generación de electricidad. Con la generalización de los ejemplos abarcados en el caso de estudio, se propone contribuir en un futuro a la modificación de la matriz energética de Cuba, con las fuentes renovables estudiadas.

Como quedo explicado en el trabajo la mayoría de estas fuentes generadoras de energía son constantes en el tiempo, predecibles y abundantes, que, aunque algunos de los métodos se encuentran aún en fases iniciales, merecen un estudio profundo para su aplicación y perfeccionamiento, aprovechando así la gran cantidad de energías limpias que contienen los océanos.

Las inversiones para la obtención de estas energías pueden ser costosa, pero es meritorio profundizar en el estudio de su factibilidad Vs los costes de reparación y mantenimiento de las viejas plantas termoeléctricas y de los grupos electrógenos que se explotan en la actualidad, a las que se adicionan, además, el gasto del combustible con los precios actuales del petróleo, y la carga de emisiones de CO₂ al medio ambiente.

Es el objetivo de este trabajo recomendar que sea considerada por los decisores, el estudio a profundidad de las energías contenidas en los mares de Cuba y su aprovechamiento en la generación de electricidad, a través de temas de tesis de pregrado y post grado, además de su inclusión en los proyectos de desarrollos locales, en aras de mejorar nuestra obsoleta y contaminante generación actual de electricidad.

Recomendamos igualmente la socialización de este estudio profundizando en: La Energía Mareomotriz, La Energía Undimotriz, La Energía Mareotérmica, La Energía de las Corrientes, La Energía Azul o del gradiente de Salinidad (Osmótica) y El Hidrogeno como combustible proveniente del mar.

5- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Redacción Digital / internet@granma.cu 17 de diciembre de 2020
2. CUBADEBATE / Mesa Redonda, Ministerio de Energía y Minas (MINEM), Termoeléctrica, Unión Eléctrica (UNE) 16 de septiembre 2021.
3. <https://www.gem.wiki> > Perfil_energetico: Cuba 29/12/2020
4. Hernández Herrera P. Geografía de Cuba 2012
5. Energías Mareotérmica, es.m.wikipedia.org, historia) y ("Mechanical Engineerig" Volumen 53, No. 12, december 1930).
6. Energía marina: Qué es, tipos, ventajas y desventajas. ovacen.com.
7. <https://blog.structuralia.com>, www.swissinfo.ch, AFP 18 septiembre 2019
8. www.lavanguardia.com 5 marzo 2019 EFE

9. <https://es.m.wikipedia.org>
10. <https://es.m.wikipedia.org>
11. www.solarpedia.info/energia-undimotriz
12. S.E. Skilhagen 2012
13. www.idae.es
14. <https://blog.structuralia.com>

Otras fuentes:

- Mesa Redonda del 29 diciembre 2020, Como es la matriz energética de Cuba, <https://www.minem.gob.cu>
- Ida Mitrani Arenal, Oscar Onoe Díaz Rodríguez, Alejandro Vichot Llamo, Javier Cabrales Infante y Arnoldo Benzanilla Morlot. “Parámetros oceanográficos en aguas cubanas y posible evolución futura” (2016).
- Hernández Herrera P. y Col. “Geografía de Cuba 9no Grado” (2012) www.ecured.cu
- Revista Ovacen energyavm.es, www.minem.gob.cu 29/12/2020
- Debrayan Bravo Hidalgo, “Energía y desarrollo sostenible en Cuba” <http://centroazucar.gf.uclv.cu> (2015)
- <http://centroazucar.gf.uclv.cu> (2015)
- <http://scielo.sld.cu> Diciembre 2015
- <http://www.acn.cu>
- <http://scielo.sld.cu> Ingeniería y Mecánica. La Habana sep-dic 2010
- <http://rcm.ismet.cu> Revista Cubana de Meteorología. Vol. 26, Núm. 3 (2020), “Potencial Energético de corrientes marinas en aguas cubanas” Art. Original <http://opn.to/a/x3S1m>
- <http://es.m.wikipedia.org> “Energías de las corrientes marinas”
- Editorial: Cemie-Oceano, Universidad Aut. de Campeche ISBN 978-607-8444-60-1 “Energía del Oceano. Potencial del Gradiente Salino” junio 2020.
- Rafael Sanchez-Dirzo, Rodolfo Silva-Casarin, Edgar G. Mendoza-Baldwin y Rosa de Gpe. Gonzalez-Huerta, “Hidrogeno del Mar”, TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, vol.15 no 1 Ciudad de México, junio 2012.
- Mario Alberto Arrastia Avila, “Un océano de energía” Boletín-Informativo renovable.cu, ISSN:2219-6919 no. 6 junio 2021.
- David Nuevo, “La mayor planta de hidrogeno verde de España” info@tecpa.es febrero 7, 2022 Energías Renovables.