

CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR DE LAS CORRIENTES MARINAS PARA LA DETERMINACIÓN DE SITIOS POTENCIALES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA EN EL ECUADOR

Sharl Noboa T.¹, Othoniel Palacios²

Instituto Oceanográfico de la Armada
¹snoboa@inocar.mil.ec, ²palaciosc@inocar.mil.ec

Fecha de recepción: 18 de julio de 2013 - Fecha de aprobación: 4 de octubre de 2013

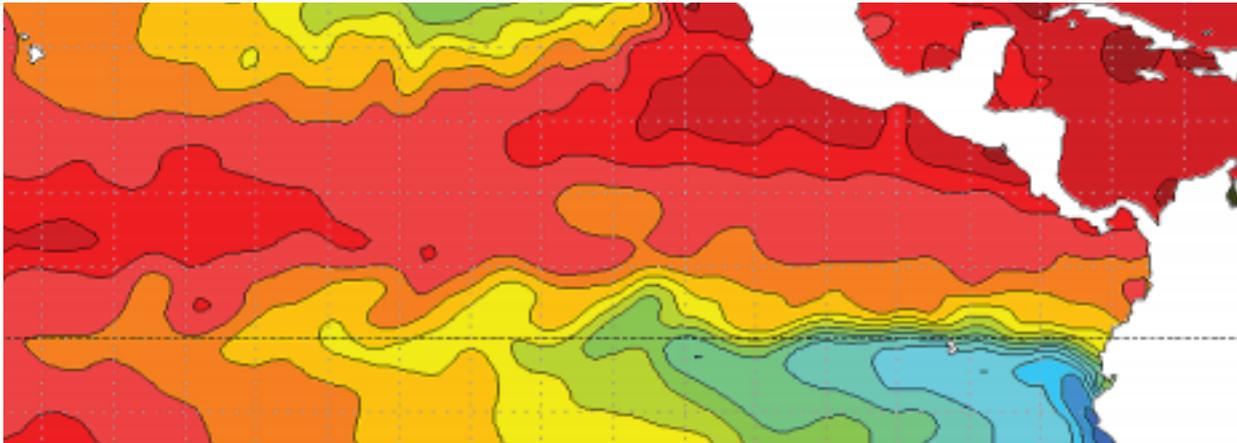


Imagen ilustrativa: Nepac sst open0-Temp-sup-Oc-Pacifico
 Fuente: <http://commons.wikimedia.org>

Resumen

A partir de la recopilación y análisis de la información de corrientes disponible en la base de datos del INOCAR, se determinaron parámetros característicos como velocidades máximas y promedios de las corrientes costeras e insulares a fin de establecer sitios potenciales de generación eléctrica a partir de las corrientes marinas. Se recopiló información sobre el arte actual de las tecnologías disponibles de generación eléctrica a partir de corrientes marinas, y se determinó que las zonas de canales, donde se siente marcadamente la influencia de la marea, presentan las mayores velocidades y por ende son lugares donde debieran incrementarse los monitoreos de corrientes marinas ya que los registros disponibles han evidenciado velocidades con los requerimientos mínimos necesarios requeridos por las tecnologías actuales. En la provincia del Guayas, en los sectores entre Puná, Posorja, Canal de Acceso al Puerto Marítimo, Canal de Jambelí y en el Río Guayas hay registros de velocidades máximas de hasta 4 m/s y velocidades promedios desde 1 m/s correspondientes a mediciones durante 6-12 horas, durante 1 a 3 días. Aunque son una buena referencia es necesario establecer campañas más largas de medición de mínimo un mes hasta un año en los lugares que se presentan más energéticos, para determinar la variabilidad estacional y establecer los tiempos de duración de las velocidades máximas y mínimas con fines de estimar la potencia eléctrica que pueden generar.

Palabras claves: corrientes marinas, potencia eléctrica, velocidades

Abstract

From the collection and analysis of current information available in the database INOCAR, characteristic parameters were determined as average and maximum speeds of coastal and island currents. Information was collected on the available current art technologies for generating electricity from ocean currents. It was determined that the areas of channels, where the influence of the tide results in highest speeds are places where it should increase the monitoring of marine currents, because available records have shown speeds with the necessary minimum requirements useful for current technologies. In the province of Guayas in the areas between Puná, Posorja, Seaport Access Channel, Jambelí Canal and the River Guayas registered speeds of up to 4 m/s and average speeds from 1 m/s for measurements during 6-12 hours, for 1 to 3 days. Although a good reference, it is necessary to establish measurement campaigns of longer than one month to one year in places that are more energy to determine the seasonal variability and establish the running times of maximum and minimum speeds for the purpose of estimating the electrical power that can be generate.

Keywords: sea current, electrical power, speed

1. INTRODUCCIÓN

El presente estudio se centra en la caracterización de las corrientes marinas en la zona costera e insular del Ecuador, a partir de la información disponible de velocidades de corrientes, con la finalidad de establecer sitios potenciales de generación eléctrica a partir de las mismas. Típicamente los sitios con mayor potencial son encontrados en los canales estrechos o pasajes entre dos masas de tierra a través de los cuales un volumen sustancial de agua fluye, debido a que en estos sitios la influencia de la marea se siente marcadamente, lo que resulta en mayores velocidades, por ende mayor potencia eléctrica, ya que ésta, resultante de las turbinas generadoras es proporcional a la velocidad al cubo. Generalmente se considera que los lugares con velocidades máximas a partir de 1.5 - 2.5 m/s pueden ser lugares potenciales de generación de energía eléctrica. Este parámetro se ha tomado como requisito para implementar prototipos de dispositivos para corrientes de marea en algunos países, proyectos impulsados por empresas líderes en tecnologías de generación de energía renovable, entre los más notables: Hammerfest Strom en Kvalsundet en el 2003, Noruega; Marine Current Turbine en Lynmouth, 2003 en Reino Unido; Verdant Power en East River, New York en el 2006) (AQUARET, 2011) (CANMET, 2010)

En proyectos de esta índole se analizan también otros parámetros como la geología del lecho marino para anclaje de los dispositivos; estar situado razonablemente cerca de un punto interconectado a una red existente, que tenga acceso a un centro de apoyo en tierra con un puerto adecuado para inspección, mantenimiento y reparación; que el lugar no sea ecológicamente sensible y que no represente un obstáculo grande para los usuarios del sector, pero en este estudio los indicadores a tomar en cuenta son velocidades promedios y máximas. Asimismo, se estableció el estado de arte actual de las tecnologías disponibles para generación eléctrica y las características de las corrientes necesarias para implementarlas, de lo cual se determinó que de todos los registros de corrientes disponibles, las zonas entre Posorja, Estero Salado y Puná, presentan las mayores velocidades.

2. OBJETIVOS

Objetivos generales

Desarrollar un análisis de las características de las corrientes marinas del perfil costanero e insular y determinar los sitios potenciales de generación eléctrica acorde con la tecnología actual para generación de energía eléctrica a partir de corrientes marinas.

Objetivos específicos

- Examinar las fuentes de datos nacionales e internacionales para extraer las características y limitaciones del flujo de las corrientes marinas en el perfil costanero e Insular.
- Identificar las tecnologías actuales de generación de energía eléctrica a través de corrientes marinas, los requerimientos mínimos necesarios y comparar con las características existentes en el perfil Costanero e Insular y su posible aplicación en el Ecuador.
- Determinar las zonas más prometedoras para el desarrollo de proyectos de energía renovables.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Las actividades del estudio a seguir se establecieron en forma general de la siguiente manera:

- Recopilación de información de corrientes. Para este propósito se examinaron fuentes nacionales e internacionales y visitas técnicas a los sitios en donde no existía información.
- Determinación de las características de corrientes marinas para la evaluación de la franja costanera continental e Insular. Se determinaron los valores máximos y promedios de los registros de velocidades existentes.
- Recopilación de información disponible sobre los dispositivos convertidores de energía eléctrica a partir de corrientes marinas.
- Selección de áreas con potencial energético.

3.1 Área de estudio

El área de estudio corresponde al perfil costanero, incluyendo el mar territorial hasta las islas Galápagos, comprendida entre 1°S y 1°N, y -105°W y -75°W, ver figura 1.

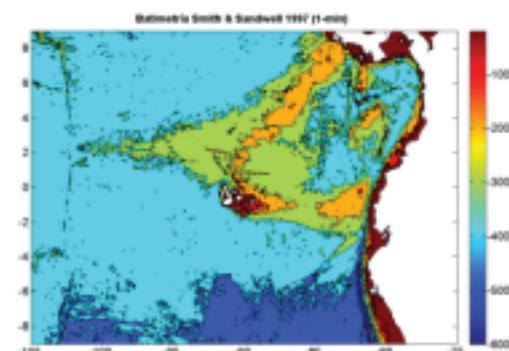


Figura 1. Área de estudio para determinar potencialidad energética.

Fuente: INOCAR, 2011

3.2 Fuente de datos nacionales e internacionales

Se revisó información de corrientes almacenada en archivos digitales de datos originales y procesados del INOCAR, así como informes y publicaciones, productos de las distintas campañas de medición realizadas con los métodos Lagrangeano (veletas) y Eulereano (perfiles de corrientes).

Estudiar la circulación eulereanamente significa tomar volúmenes de control fijos en el espacio, y convenientemente referidos a puntos perfectamente conocidos, se mide lo que ocurre en su interior y con esa información se intenta inferir el campo de velocidades de todo el dominio. Por el contrario desde el punto de vista langrangeano, se sigue a un cierto número de volúmenes control y, en función de su comportamiento se da el campo de velocidades del dominio y la información puntual que se requiera (Alonso, 2005).

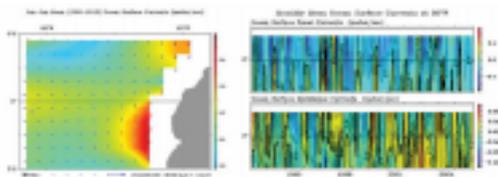
Estudiar la circulación eulereanamente significa tomar volúmenes de control fijos en el espacio, y convenientemente referidos a puntos perfectamente conocidos, se mide lo que ocurre en su interior y con esa información se intenta inferir el campo de velocidades de todo el dominio. Por

el contrario desde el punto de vista langrangeano, se sigue a un cierto número de volúmenes control y, en función de su comportamiento se da el campo de velocidades del dominio y la información puntual que se requiera (Alonso, 2005).



Figuras 2 a y b. Materiales y equipos utilizados en la medición de corrientes. Fuente: INOCAR, 2011

Se revisaron los gráficos de la Base de datos del Proyecto OSCAR (OCEAN SURFACE CURRENT ANALYSES REAL TIME) de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) a fin de obtener una estimación de la magnitudes de las corrientes marinas a nivel regional.



Figuras 3. Gráficos con la climatología de corrientes nivel regional (1993-2010). Fuente: OSCAR, 2011

3.3 Ordenamiento y procesamiento de datos

El entorno de trabajo para el análisis y procesamiento de la información corrientes se desarrolló entre Excel, MATLAB y ArcGis. La información en formato de texto fue convertida a archivos de Excel para de este modo contar con matrices que puedan ser exportadas luego al entorno de MATLAB, donde se diseñaron y aplicaron algoritmos para ordenar y procesar los datos. En MATLAB se generaron gráficos como histogramas de frecuencia para los datos de velocidad y dirección de corrientes; del mismo modo, las matrices generadas en MATLAB se exportaron nuevamente a Excel para procesarlas y generar las tablas de ve-

locidades promedios de corrientes a niveles específicos en flujo y reflujó, con lo que se determinó las zonas con mayores velocidades.

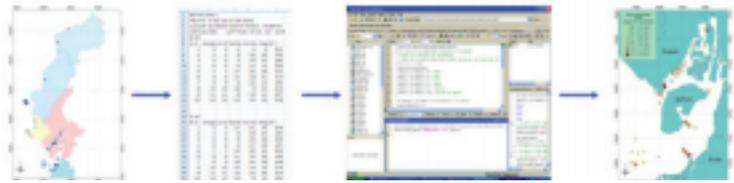


Figura 4. Esquema del ordenamiento y procesamiento de la información Fuente: INOCAR, 2012

3.4 Metodología para la conversión de energía eléctrica a partir de corrientes marinas

Existen varios tipos de dispositivos en etapa comercial y precomercial que han sido diseñados para capturar la energía de las corrientes marinas como son las turbinas de mareas (INOCAR, 2011). Estas tienen un principio similar al de las turbinas eólicas. La conversión de la energía eólica en electricidad es similar a la conversión de energía cinética de las corrientes marinas en energía eléctrica, lo que cambia es el fluido, aire- agua, respectivamente. En la figura 5 se describe en forma general el principio de conversión de la energía cinética de un fluido a energía eléctrica.

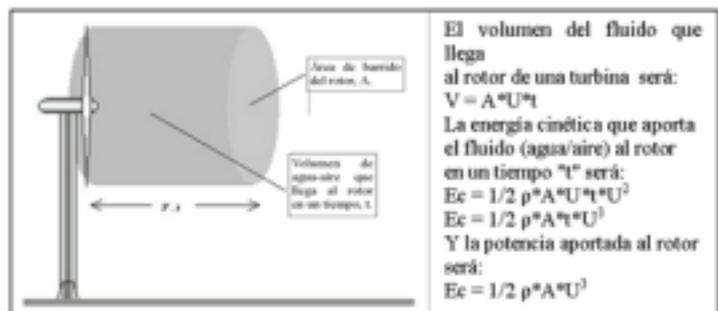


Figura 5. Conversión de la energía cinética a energía eléctrica. Fuente: Univ. De Chile, 2003

La densidad de potencia instantánea de un fluido que entra a una turbina submarina está dada por la ecuación siguiente:

$$\left(\frac{P}{A}\right)_{\text{agua}} = \frac{1}{2} \rho U^3 \text{ (Watt / m}^2\text{)} \quad (1)$$

Donde:

ρ = densidad del agua de mar (kg/m^3), (1000 kg/m^3 para agua dulce, 1025 kg/m^3 para agua de mar)

A = área batida por el rotor de la turbina = πr^2 , (m^2)

r = radio de las palas del generador (m)

U = velocidad de la corriente (m/s)

En la ecuación 1 se puede ver que la densidad de potencia instantánea es proporcional a la velocidad al cubo, por lo tanto uno de los criterios iniciales y determinantes es la magnitud de la corriente (GUERRERO, 2010). Para corrientes de marea, la velocidad U varía con el tiempo de una manera predecible y depende de la profundidad bajo la superficie y de la posición en el canal.

Debido a que la densidad de potencia varía con la velocidad al cubo, ésta se incrementa rápidamente con la velocidad de la corriente como se muestra en la figura 6(a).

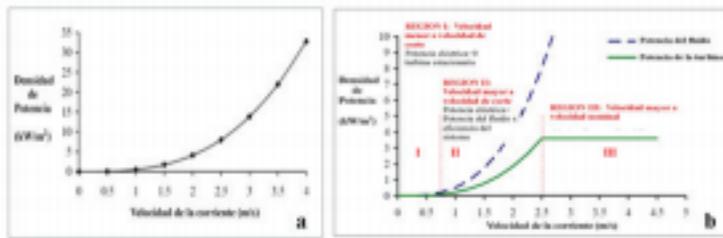


Figura 6. (a). Densidad de potencia en función de la velocidad de la corriente. (b) Gráfico típico de potencia de salida de una turbina vs. velocidad de la corriente. Fuente: EPRI 2006

La eficiencia en la recuperación de la energía y el rendimiento de la turbina pueden ser estimados usando un modelo simplificado de dispositivo genérico y varía con la velocidad del flujo de agua como es descrito en la figura 6(b).

Este gráfico típico de la salida de potencia de una turbina como función de la velocidad de la corriente muestra tres regiones.

- I. Velocidad cero hasta la velocidad de corte.
- II. Velocidad de corte hasta la velocidad nominal.
- III. Velocidades mayores a la velocidad nominal.

En la región I, a velocidades menores a la velocidad de corte, la turbina no rota y no genera potencia.

En la región III, cuando las velocidades exceden la velocidad nominal de la turbina, la salida de potencia será constante independientemente de la velocidad.

En la región II, la salida de potencia depende de algunos coeficientes de conversión como se detallan a continuación.

Multiplicando la potencia incidente por la eficiencia (η) de la turbina y por la eficiencia (η) de toma de potencia se determina la potencia eléctrica suministrada a la red, de acuerdo con la siguiente ecuación 2. El cuadro 1 describe los componentes de eficiencia que se utilizan.

$$P_{\text{eléctrica}} = A_{\text{turbina}} * \bar{P} * \eta_{\text{turbina}} * \eta_{\text{toma de potencia}} \quad (2)$$

$$\eta_{\text{toma de potencia}} = \eta_{\text{transmisión}} * \eta_{\text{generador}} * \eta_{\text{acondicionamiento de potencia}} \quad (2.1)$$

$$P_{\text{eléctrica}} = \text{densidad de potencia del agua pasando a través del área } A \text{ barrida por el rotor de la turbina} \quad (2.2)$$

Cuadro 1. Valores típicos de los componentes de eficiencia, η , cuando la turbina está funcionando.

Componentes de eficiencia, η	Valor	Descripción
η turbina	45%	Es la eficiencia con la cual la turbina extrae la energía cinética del flujo entrante. La máxima eficiencia de extracción ocurre cuando la velocidad del flujo en la cara del rotor es reducida un tercio del valor de la velocidad de la corriente, lo que rinde una eficiencia de extracción óptima de 16/27 (=59%), según el límite de Lanchester-Betz. (MALDONADO, 2005)
η transmisión	96%	Es la eficiencia con la cual la energía extraída del flujo se suministra al generador.
η generador	95%	Es la eficiencia con la cual la entrada de energía mecánica al generador es convertida a electricidad.
η acondicionamiento de potencia	98%	Esta es la eficiencia con la cual la electricidad producida por el generador es condicionada a cumplir con los requerimientos de voltaje y fase de los puntos de interconexión de la red local.

La eficiencia total típica de estos componentes de eficiencia que suele usarse es del 40%, la cual es la proporción de la potencia del flujo incidente convertida en salida de potencia eléctrica debidamente condicionada, EPRI (2006).

Cuadro 2. Tecnologías de generación de electricidad con corrientes marinas.

Compañía	Número del Equipo	Estado Desarrollo	Requerimientos mínimos	Mediciones en Ecuador
Marine Current Turbines	Sea-Gen	Comercial	Velocidades: 2 - 2.5m/s	No se han registrado estas velocidades como valores mínimos en la información disponible de corrientes. En algunos sectores de Puná, Posorja, Canal de Jambell y Sta. Clara, se han encontrado velocidades máximas entre 1 y 4 m/s.
Tocado BV International	Tocado T50 A	Comercial	Vel. mín 3.5m/s. Prof. Mín. 3 m.	No se han registrado estas velocidades como valores mínimos en la información disponible de corrientes en la zona costera e insular del Ecuador.
New Energy Corp.	EnCurent	Comercial	Vel. mín: 3 m/s.	No se han registrado estas velocidades como valores mínimos en la información disponible de corrientes en la zona costera e insular del Ecuador.
Verdant Power Canada ULC	Kinetic Hydro Power Sys	Pre-comercial 3ra. fase	Vel. mín: 1 m/s. Prof.: Mín. 6 m	En algunos sectores de Puná, Posorja y Sta. Clara, se han encontrado velocidades entre 1 y 4 m/s.

3.5 Tecnologías disponibles de generación de energía eléctrica a partir de corrientes marinas

Existen muchos tipos de dispositivos en el mundo entero en distintas etapas de proyecto (comercial, precomercial, pruebas, diseño, entre otros), en el siguiente cuadro se hace un resumen de las tecnologías que están actualmente en fase comercial (INOCAR, 2011).

4. RESULTADOS

4.1 Información internacional

El análisis inicial se lo realizó con información internacional, utilizando, los productos gráficos de la Base de datos del Proyecto OSCAR (OCEAN SURFACE CURRENT ANALYSES REAL TIME) de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). En este dominio espacial, las velocidades no superan 1m/s. Por la resolución de estas imágenes, los datos de velocidad más cercanos a las costas del Ecuador están en la longitud 82°30' al norte y en la longitud 81°30', al norte, posiciones bastante alejadas de la zona costera, por lo que no es posible conocer velocidades entre el borde continental y aproximadamente 200 km mar adentro, zona donde se encuentra la plataforma continental. Por tal razón, los valores de velocidad analizados fueron los correspondientes a las campañas de medición del INOCAR en zonas costeras.

4.2 Información nacional

Se ha realizado la caracterización de las velocidades con la información disponible de la base de datos del INOCAR. Los datos de corrientes han sido obtenidos en campañas de medición limitadas en tiempo y espacio, por lo que los valores son referenciales. Existe información a lo largo del perfil costero, en las provincias de Esmeraldas, Manabí, Santa Elena, Guayas, El Oro y en la región insular en las Islas Baltra y San Cristóbal, principalmente.

Es de recalcar que para tener un dato confiable para poder predecir el comportamiento de las corrientes debería tenerse un registro mínimo de un mes. Los registros más largos corresponden a estaciones situadas en la zona costera de la Provincia de Santa Elena y Manabí, pero las corrientes registradas en esta zona son pequeñas en el rango de 0.2 – 0.5 m/s, valores que no cumplen con las condiciones mínimas para generación, excepto en Isla de La Plata, donde se ha encontrado velocidades máximas de hasta 2 m/s como eventos esporádicos, porque las velocidades promedios no sobrepasan 0.60 m/s y además estos valores corresponden a registros de 3 horas de medición, por lo que no pueden ser resultados definitivos.

En Galápagos también existen registros de un año, pero las velocidades registradas en Isabela y Baltra son muy pequeñas (menores a 0.5 m/s), como para considerarlas potenciales de generación, en San Cristóbal en el registro de 1 año de mediciones, el valor más alto encontrado fue de 0.7 m/s.

En el puerto de Esmeraldas también se han encontrado velocidades máximas de hasta 2.9 m/s con velocidades promedios de hasta 2 m/s en registros de 6 horas de medición.

En la provincia del Guayas, en los sectores entre Puná, y Posorja, Canal de Acceso al Puerto Marítimo, Canal de Jambelí y en el Río Guayas hay registros de velocidades máximas de hasta 4 m/s y velocidades promedios desde 1 m/s correspondientes a mediciones durante 6-12 horas/1-3 días (INOCAR, 2011).

5. ANALISIS DE RESULTADOS

5.1 Evaluación de las corrientes marinas como recurso energético.

Los parámetros velocidad media y velocidad máxima de las corrientes marinas son los indicadores usados en este estudio para evaluar el potencial energético. La información sobre velocidad máxima ayuda a determinar qué dispositivo de conversión de energía es el apropiado ya que estos generadores tienen como requerimiento

mínimo que las velocidades máximas tanto en sicigia como en cuadratura estén en el rango desde 1.5 – 3 m/s (velocidad nominal con la que trabaja la turbina). Los sitios potenciales de generación serían los que cumplen con las velocidades máximas y mínimas requeridas acorde con las velocidades nominales y de corte, respectivamente de los dispositivos. La velocidad media por sí sola es un factor determinante, ya que si ésta es menor que la velocidad de corte de un dispositivo determinado, no sirve el sitio para generar potencia eléctrica.

5.2 Identificación de sitios potenciales para obtención de energía de corrientes marinas.

Se ha determinado que las zonas con mayores velocidades son: el Estero Salado, canales entre Posorja y Puná y el Canal entre Puná y la Puntilla de Jambelí, en las Provincia del Guayas y El Oro; con registros máximos entre 3 y 4 m/s. En Esmeraldas en la zona del Puerto, también a nivel superficial, hay velocidades medias mayores a 1 m/s y velocidades máximas que superan los 2 m/s.

En general, las velocidades mayores se van a encontrar dentro de canales, entre islas o estuarios, véase figura 7.

Se puede decir que los lugares con promedios a partir de 1 m/s debieran ser estudiados más exhaustivamente para corroborar que alcancen las velocidades máximas requeridas por los dispositivos actuales, de 2, 5 a 3 m/s. En los registros cortos que se tiene de Puná y Posorja, considerados sitios de velocidades interesantes si se han alcanzado las velocidades máximas requeridas por los dispositivos actuales en un registro de 3 horas de mediciones y se han calculado los tiempos de duración de velocidades para la información disponible. Estas velocidades máximas entre 1 y 4 m/s duran entre 5, 10 y 20 minutos con eventos esporádicos de hasta 50 minutos consecutivos. Otros rangos de velocidad (0,5 – 1 m/s) duran hasta 3 min consecutivos.

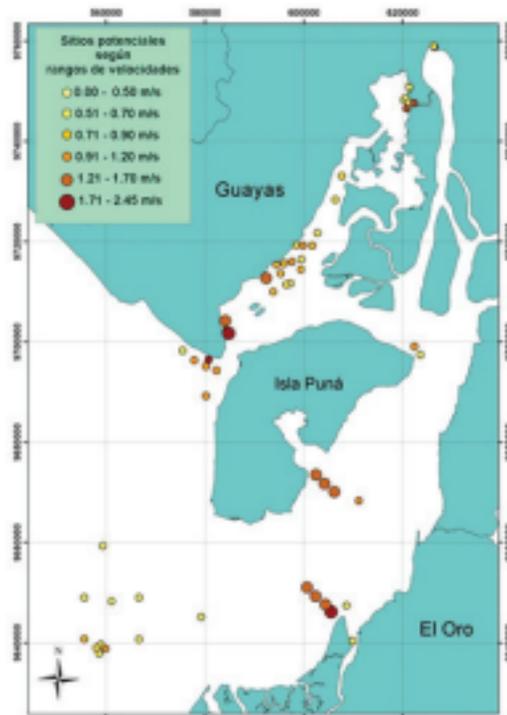


Figura 7. Sitios potenciales de generación de energía eléctrica a partir de corrientes marinas. Fuente: INOCAR, 2011

En la figura 7 se ha escogido una simbología de puntos de colores que nos indica el rango de velocidades encontradas en el sector.

Los puntos de mayor dimensión dentro del gráfico señalan los lugares potenciales para generación de energía eléctrica, donde existen velocidades promedio mayor a 1 m/s y que además registran valores máximos de velocidad en el rango desde 2 m/s - 4 m/s.

Los otros sectores señalados por puntos pequeños no se los refiere debido a que están en zonas de bajas profundidades, además de que son estrechos canales de navegación.

En el Canal del Morro y Canal de Jambelí se podría implementar dispositivos de generación en zonas delimitadas y resguardadas, ya que cumplan con las velocidades y además las profundidades son mayores a 10 metros.

6. CONCLUSIONES

Esta caracterización de corrientes debe tomarse como una buena referencia, pero se insiste que falta más información (a fin de tener representatividad estadística) que revele la variabilidad estacional (se necesita un año de medición para poder predecir la disponibilidad del recurso corrientes en los próximos 20- 30 años), ya que las velocidades suelen aumentar en época húmeda con respecto a la época seca y asimismo, además se necesitan registros de más de 12 horas de medición en los lugares que se presentaron como potenciales durante el ciclo

de marea las velocidades van desde un valor mínimo de cero hasta el valor máximo (2, 5 m/s, 3 m/s, 4 m/s, etc.), para poder calcular los tiempos que duran los diferentes rangos de velocidades y poder determinar el ritmo de producción eléctrica por día. Los mayores valores corresponden a las corrientes de marea de las zonas de estuarios y estrechos, por lo tanto, las zonas más energéticas se encuentran en el estuario del Río Esmeraldas, a la altura del puerto y en el Golfo de Guayaquil, en el Canal del Morro, Canal de Jambelí y Estero Salado. Pero estas condiciones no se ajustan a las tecnologías más desarrolladas en la actualidad, y hay que vigilar el desarrollo de proyectos en etapa precomercial cuyos requerimientos sí se adaptarían a nuestras corrientes marinas. A nivel internacional, se investiga y desarrolla cada vez más al respecto, ya que en comparación con otras fuentes de generación esta tecnología no es episódica. Las empresas eléctricas que empleen esta tecnología serán capaces de programar con exactitud cuánta energía tendrán disponible, al contrario de lo que ocurre con la eólica debido a la variación impredecible de los vientos.

Referencias

- ALONSO DEL ROSARIO, J. J. (2005). Oceanografía Ambiental: Física De La Difusión Turbulenta En El Océano, editorial Tébar, pág. 68.
- GUERRERO, J. (2010). Proyecto Conceptual para un Parque de Aprovechamiento de la Energía de las corrientes en el Canal del Morro del Golfo de Guayaquil (Ecuador), Departamento de Sistemas Oceánicos y Navales, Universidad Politécnica de Madrid.
- MALDONADO QUISPE, F., 2005. Diseño de una turbina de río para la generación de electricidad en el distrito de Mazan-región Loreto, Lima, Perú.
- INOCAR, 2011, Estudio de la energía de olas, corrientes y energía cinética de ríos en el ecuador para la generación eléctrica”
- SHOA 2002. Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile “Glosario de marea y corrientes”, 3ra. Edición.
- <http://www.aquaret.com>, Tidal Streams, case studies. Consulta (Mayo 2011, Junio 2012).
- <http://www.ingenia.org.uk/ingenia/issues/issue46/Fraenkel.pdf>, Underwater Windmills– Harnessing The World’s Marine Currents, Consulta Marzo 2011.
- <http://www.oceanenergy.epri.com>, Guidelines for Preliminary Estimates of Power Production by TISEC Devices, PROYECTO EPRI (ENERGY PROJECT RESEARCH INSTITUTE), 2006, Consulta Agosto 2011, Junio 2012.
- <http://canmetenergy.nrcan.gc.ca>, Marine Renewable Energy-Wave, Tidal and Water Current, Canadian Technology Status Report, Natural Resources Canada- Canmet Energy, Ottawa, 2010. Consulta (Mayo 2011, Junio 2012).