

El Desarrollo del Mar Colombiano "Potencial Económico"

CNES. JAIME SANCHEZ CORTES

1. INTRODUCCION

El mar en la época actual despierta grandes inquietudes en relación con su capacidad para apoyar el desarrollo económico y el bienestar de las naciones en los próximos años. Y esa inquietud es apenas injustificada en razón a la tremenda presión a la que se ha visto y se está viendo sometida la tierra firme y sus recursos naturales para satisfacer las necesidades crecientes de la humanidad que parece multiplicarse en forma peligrosa para la estabilidad de los sistemas ecológicos.

Sin embargo, a pesar de que el mar y sus recursos parecen haberse convertido en tema obligado cada vez que se discute el futuro de las naciones, podemos decir que en gran parte se está recurriendo a frases un poco rimbombantes que se repiten hasta el cansancio pero que poca o ninguna relación tienen con la situación y capacidad de las áreas marítimas a las que en cada caso se hace referencia.

Como primera medida, el mar no es una fuente inagotable de recursos naturales renovables y no renovables, ni éstos se encuentran uniformemente distribuidos en sus aguas o en el fondo. Por tal razón, al enfocar el tema del potencial económico del mar y específicamente de las áreas marítimas colombianas, debemos ser muy cuidadosos al calificar sus recursos en base a informaciones fragmentarias, muchas veces inconexas y generalmente con demasiados vacíos. A pesar de todas estas limitaciones creo indispensable explorar este tema con el propósito de despertar algunas inquietudes en relación con la calidad de la información básica disponible y con res-

pecto a la aplicación selectiva de algunas técnicas que, en base a los estudios hasta ahora realizados en las áreas marítimas nacionales, permita identificar sectores de un elevado potencial económico y en esta forma quizás estimular el deseo de intensificar la investigación básica y aplicada, a fin de que sea posible pasar a corto plazo a la etapa de desarrollo de los recursos del mar y salgamos definitivamente del círculo vicioso de los cálculos subjetivos y de las frases sonoras sin adecuado respaldo científico.

El mar para el país tiene significado en la forma de 3 áreas claramente definidas:

El Mar Territorial con una anchura de 12 millas a partir de las líneas de bases rectas, áreas sobre la cual el país ejerce soberanía absoluta, con las mismas atribuciones que tiene sobre el resto de su territorio. Una segunda zona que se extiende desde el límite del mar territorial hasta 200 millas medidas desde las líneas de base recta o hasta el límite en donde en casos específicos haya acuerdo y tratados con los países vecinos, en la cual el país tiene derecho sobre todos los recursos naturales renovables y no renovables y la responsabilidad de la aplicación de medidas de conservación de estos recursos y de control de la contaminación marina. Finalmente, una tercera zona de alta mar y fondos marinos definidos como patrimonio común de la humanidad y en el que, por consiguiente, el país tiene derechos proporcionales dentro de mecanismos que se están tratando de acordar en el marco de la Tercera Conferencia del *"Derecho del Mar"* en deliberaciones que llevan ya seis años.

Sobre estas tres zonas en las que el país tiene derechos de características diferentes también tiene obligaciones, por cuanto siendo el mar la última reserva con que cuenta la humanidad para sobrevivir, es apenas lógico que la explotación de sus recursos deba hacerse en forma racional y con un elevado sentido de la eficiencia y por tal razón la mayoría de los países ya están dedicados de lleno al desarrollo de la tecnología para lograr esto, a nivel del desarrollo de los recursos que han podido identificar en el mar mediante una exploración más o menos sistemática, dependiendo de los recursos y capacidades de cada uno de ellos.

Con el propósito de entrar en materia ya habiendo dejado claramente definidas las áreas de interés para el país, pasaremos a hacer un rápido recuento de los recursos que en éstas encontraremos y su posible distribución, haciendo más énfasis en las zonas costeras; en donde por mayor comodidad es más fácil iniciar el desarrollo de los recursos y extendiendo el análisis hacia alta mar cuando la información disponible lo permita.

2. EL POTENCIAL DEL MAR COLOMBIANO COMO MEDIO DE TRANSPORTE Y PUENTE PARA EL COMERCIO

El primer uso en gran escala que el hombre dió al mar fue posiblemente como medio de comunicación y gracias a él las naciones que lo emplearon con mayor eficiencia llegaron a alcanzar poder y riqueza durante siglos. Colombia cuenta con costas sobre los dos océanos más importantes desde el punto de vista cultural y económico, pero no podríamos decir que esté haciendo uso de este recurso en una forma eficiente, quizás porque en el inmediato pasado no tuvo gran necesidad de este medio de desarrollo. Sin embargo, en el momento actual podemos observar hechos que demuestran la necesidad de hacer uso del potencial que el mar nos ofrece en el aspecto del transporte y las comunicaciones.

A pesar de que de los acuerdos internacionales para el transporte marítimo establecen la distribución de carga en las proporciones ya clásicas de 40-40-20 y algunos países siguen aplicando porcentajes 50-50, es decir que el 40% en el primer caso y el 50% en el segundo caso de la carga que quiera un país debe transportarse en buques de bandera de ese mismo país. En Colombia en la práctica el movimiento de la carga generada en el país en buques de bandera colombiana es inferior al 19% y con tendencia a disminuir, los puertos con frecuencia presentan congestión y los recargos impuestos por las conferencias marítimas por ineficiencia portuaria se han convertido en permanentes y no es extraño que sobrepasen los 12 dólares por tonelada. Frente a este problema debemos analizar el recurso potencial, es decir cuantos nuevos puertos podrían constituirse y como mejorar la eficiencia de los actuales.

Para no salirnos del tema fijado consideramos únicamente el aspecto del potencial portuario que nos ofrecen las costas

colombianas. Encontraremos desde la Alta Guajira hasta Cabo Manglares, lugares que con gran facilidad podrían habilitarse como puertos eficientes dentro de una política de desarrollo regional descentralizado.

En primer término tenemos Bahía Solano con profundidades y condiciones de protección adecuadas para un transporte equivalente al que en la actualidad mueve Cartagena o Santa Marta. A continuación tendríamos Bahía del Portete que previa algunas operaciones de dragado en la Boca podría albergar un puerto con la misma capacidad que tiene Cartagena.

Estos dos puertos podrían operar como uno solo unidos por adecuadas vías de comunicación terrestre a la carretera transversal del Caribe y servirían de apoyo al desarrollo de la Guajira y a su industrialización con base en sus recursos carboníferos de Cerrejón y a sus reservas de gas natural.

Siguiendo hacia el oriente encontramos los ancones, en las estribaciones de la Sierra Nevada, puertos naturales que podrían dedicarse al turismo en razón a la vecindad con el parque nacional Tayrona.

El puerto de Santa Marta podría recibir apoyo de puertos secundarios a lo largo de la costa entre Punta Betin y Ciénaga en razón a la protección natural que la costa y la Sierra Nevada en este sector ofrecen.

Al sur de Cartagena tenemos a Barú, puerto natural que permitiría acceso muy rápido a buques de gran calado en condiciones extraordinariamente ventajosas. Prácticamente la inversión más voluminosa sería la construcción de las vías de comunicación hacia los centros de consumo, es decir, la conexión con la transversal del Caribe. Desde el punto de vista portuario sería superior a Cartagena y a Coveñas.

El Golfo de Morrosquillo ofrece protección especial a las embarcaciones y podría convertirse en un gran puerto que agilizaría el movimiento de carga y daría más flexibilidad al sistema portuario colombiano.

El Golfo de Urabá, en especial Bahía Colombia, permite también un importante desarrollo portuario que parece se iniciará muy pronto.

Siguiendo hacia el Pacífico encontramos Bahía Solano, puerto natural de grandes proporciones que permitiría un desarrollo portuario importante, Bahía Utría, Cupica, Bahía Málaga como puerto alterno para Buenaventura, etc. De todo lo anterior, podemos concluir que el país en el momento solamente está utilizando un 5% de su potencial portuario, pero es indispensable reconocer que ese potencial portuario remanente del 95% aproximadamente sólo podría empezar a desarrollarse mediante la construcción de vías de comunicación con los grandes centros de consumo de bienes y servicios y que la sola existencia de recursos naturales, en este caso los puertos naturales o fácilmente habilitables, no pueden garantizar su propio desarrollo.

3. RECURSOS NO RENOVABLES

a. *Sales disueltas*

El agua es un solvente casi perfecto y por tal razón el mar contiene en solución posiblemente todos los elementos o muchísimos de sus compuestos para constituir lo que se ha denominado la salinidad del agua de mar. Sin embargo, la concentración relativa, o la proporción en la que cada uno de estos elementos se encuentran en el agua de mar varía, a excepción de los componentes mayores cuya relación se acepta como constante para cualquier salinidad. Por consiguiente, los componentes mayores de la salinidad en el agua de mar son las únicas sustancias que se pueden considerar como inagotables, su valor económico es muy discutible y si bien es cierto ocupan puesto muy importante a nivel de potencial, la producción económica de algunos de sus compuestos se mueve dentro de márgenes muy estrechos que obligan a un cuidadoso empleo de la tecnología para que sea rentable su explotación. Sin embargo, el consumo de minerales ha ido creciendo en forma exponencial con el desarrollo industrial de las naciones, lo cual hace que en un futuro muy próximo muchos minerales que actualmente no dan rendimiento económico al extraerlos directamente del mar posiblemente logren mejorar su rendimiento al crecer la demanda.

Por otra parte, el agua potable se está convirtiendo en un recurso escaso en muchas regiones del país como es el caso de la Guajira y las áreas insulares con elevada población tal

como la Isla de San Andrés y esto hace que, desde el punto de vista económico, pueda hacerse rentable un mecanismo combinado de producción de minerales por desalinización y agua potable como el sub-producto para uso local y aún se llegaría en algunos casos a un nivel mucho más alto de eficiencia económica mediante la producción combinada de Electricidad y agua usando una turbina cuyo vapor de exosto se emplea para evaporar agua salada usando el combustible más barato posible.

Los métodos generalmente empleados para extraer minerales del agua de mar son los siguientes:

- a. Precipitación
- b. Electrolisis
- c. Electrodiálisis
- d. Absorción
- e. Intercambio de iones
- f. Oxidación
- g. Extracción del solvente
- h. Evaporación solar
- i. Clorinación
- j. Osmosis inversa.

Normalmente los halógenos y sales de halógenos son las sustancias extraídas de las sales marinas y si consideramos que existe un promedio de 66 millones de toneladas de sal en una milla cúbica de agua de mar podemos imaginar la disponibilidad de estos minerales en el Océano. Dentro de los aspectos técnicos en la obtención de sales se debe tener presente el efecto de los carbonatos, hidróxidos y sulfatos de magnesio que se precipitan al aumentar el calentamiento y la concentración y por consiguiente producen incrustaciones y reducción de la eficiencia, siendo esta la razón por la cual es preferible un flujo muy grande de agua de mar en el proceso de extracción de sales a fin de mantener un alto grado de eficiencia. Con el fin de analizar el potencial económico del agua de mar, es necesario determinar el valor de los minerales disueltos pero no se considera apropiado multiplicar la producción de cada elemento en la fábrica por el precio del elemento en el mercado libre, debido a que este precio se afecta radical-

mente por un exceso de oferta frente a la capacidad de consumo y por las elevaciones en el costo al no poder hacer uso de la economía de escala. Además, generalmente la venta del elemento no es práctica en su forma pura y es *preferible* considerar el precio en la forma usual de venta, es decir como compuesto. Se considera que los minerales extraídos del mar que tienen en el momento importancia económica son los siguientes: Cloro en forma de sales, magnesio como metal e hidróxido y el bromo, los cuales en la actualidad se obtienen del mar en forma competitiva. También entran dentro de esta categoría la sal común y compuestos de sodio y potasio. El hidróxido de magnesio se puede calcinar para obtener óxido de magnesio. En la actualidad quizás la totalidad del magnesio que se consume en Estados Unidos se obtiene del mar. En cuanto a los costos de producción podemos señalar algunos, tomando como base el costo energético por ser el nivel de comparación más adecuado en el momento inicial.

Se considera que se requiere alrededor de 2.8 kilowatios-hora para remover las sales de 1.000 galones de agua de mar manteniendo una concentración.

Para obtener una libra de cloro en celda de diafragma se requiere una energía electromecánica de 1.3 a 1.6 kilowatios-hora, para una libra de magnesio 8 kilowatios-hora y para una libra de aluminio 10 a 12 kilowatios-hora. Tomando como referencia este sistema de costo frente a los cálculos de concentración y producción se llega a la conclusión que en el momento y utilizando las técnicas de extracción más eficientes, solamente tendrían valor comercial y por consiguiente justificarían la inversión para su explotación los 9 elementos más abundantes en las sales disueltas en el agua de mar en la forma de: Cloruro de sodio, manganeso, óxido de magnesio, azufre, sulfuro de calcio, cloruro de potasio, bromo, sulfato de estroncio y carbono.

Los esfuerzos para obtener metales preciosos como el oro, el platino, etc., han sido infructuosos hasta el momento, pero esta situación puede cambiar a muy corto plazo en razón a que estas sustancias, por no ser componentes mayores no cumplen la ley de las proporciones constantes, su concentración es selectiva en distintos puntos del mar y puede variar en varios

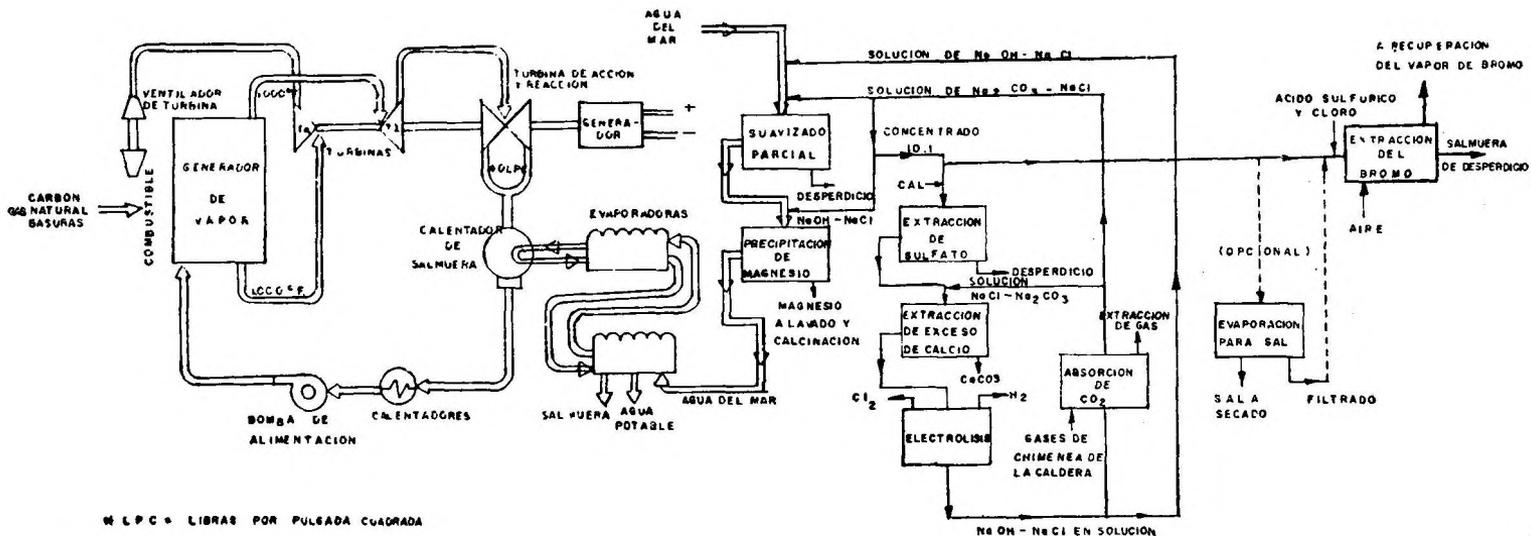
órdenes de magnitud y además, existen formas de concentración, para estos elementos a través de mecanismos biológicos en algas, plaktón y otras especies vivas, proceso que apenas se empieza a investigar como consecuencia de los estudios de contaminación marina. Otro mecanismo natural es la formación de nódulos de manganeso.

b. *Agua potable.*

El problema de obtención de agua potable a partir del agua de mar lleva complejas consideraciones de tipo energético para analizar su factibilidad económica por cuanto los costos de producción la hacen poco competitiva frente a cualquier fuente natural de agua potable. Sin embargo, las características de cada sitio son diferentes y es posible que para algunos pudiera tener un valor potencial inmediato o a corto plazo como es el caso de la Guajira y las áreas insulares del país. Tomando como referencia un costo de agua potable de 12 a 36 centavos de dólar en un acueducto sin distribución por 1.000 galones. En almacenamiento el costo de tratamiento podría subir a 52 centavos de dólar por los 1.000 galones. Estos costos se van incrementando a medida que los canales de distribución se alargan y se aumenta la distancia a la fuente de suministro de agua. Además un acueducto requiere grandes volúmenes de almacenamiento que también tienen un costo que en algunos casos puede llegar a ser muy elevado.

Por el contrario, una planta de producción de agua potable por desalinización a la orilla del mar no requiere grandes espacios de almacenamiento y por tal razón, si bien su costo de producción es mucho más elevado, la reducción de costos por tratamiento y almacenamiento pueden en determinadas situaciones volver altamente competitiva esta forma de producción de agua potable frente al acueducto tradicional. Esto es cierto especialmente en la alta Guajira, en donde se dispone de una gran reserva energética en la forma de carbón y gas natural y en donde se están explotando los minerales extraídos del mar en las salinas de Manaure. Si se combina la producción de agua potable y minerales de valor comercial con la generación de energía eléctrica a través del mecanismo de turbinas alimentadoras o turbinas que utilicen la energía del carbón o el gas para la producción de energía eléctrica y que

PLANTA MIXTA PARA PRODUCCION DE ENERGIA ELECTRICA Y EXTRACCION DE MINERALES Y AGUA POTABLE



empleen el mecanismo de enfriamiento para producción de agua potable, se podría obtener una unidad de alta eficiencia capaz de producir más de 50.000 kilowatios-hora, 10.000.000 de galones de agua potable diarios y los minerales indicados anteriormente en cantidades suficientes para satisfacer las necesidades del país y superar varias veces los niveles actuales de exportación a costos muchos más bajos de los usuales.

c. *Minerales del fondo marino.*

En la actualidad, los módulos de manganeso ya dejaron de ser una curiosidad científica para convertirse en materia prima para la producción de minerales y se calcula que en 1985 se alcanzará la cifra de 15 millones de toneladas de mineral seco. La composición de los módulos de manganeso varía con las regiones pero en general, se puede afirmar que si contienen más de un 3% de níquel su explotación es comercial y económicamente factible. En la época presente los países en desarrollo producen alrededor del 13% de la demanda mundial de níquel y se espera que para 1985 la explotación de módulos de manganeso alcanzaría para satisfacer el 18% de la demanda mundial para esa época, lo cual nos está diciendo que el potencial económico del mar puede afectar en forma negativa a los países que no están preparados para su impacto.

El cobre que se espera extraer de los módulos será solamente el 1.3% de la demanda mundial y por tal razón se considera que no tendrá demasiado impacto en los precios y por ende en la economía de los países productores.

El manganeso, en la forma de ferromanganeso presente en los módulos, se usa principalmente en la producción de acero y la demanda crece en forma paralela al crecimiento en la producción de hierro como metal, el obtenible del procedimiento de un millón de toneladas de módulos sería el doble de la demanda actual del metal. La producción de cobalto obtenible de los módulos en 1985 sería la mitad de la demanda mundial en ese momento.

En algunos sitios se han obtenido módulos con porcentajes significativos de platino, cuya explotación tendría efecto muy importante en el mercado de este valioso metal.

Los módulos comercialmente explotables solamente se han encontrado en el fondo del Océano Pacífico entre latitudes 6N y 22N aproximadamente, pero su distribución y concentración exacta es secreto comercial celosamente guardado por las empresas que aspiran a recibir concesiones para su explotación. En el caso específico de Colombia, las reservas potenciales de este recurso estarían en el área comprendida entre la Costa del Pacífico y el límite de doscientas millas al occidente de la Isla de Malpelo y no es ilusorio suponer que en su composición estaría presente el platino.

d. *Hidrocarburos.*

Un pequeño incremento en la exploración de la plataforma submarina del Caribe permitió probar que no era cierto que la naturaleza había discriminado al país. Los yacimientos probados de gas son la primera indicación del potencial de hidrocarburos con que el país debe contar, si aceptamos las afirmaciones del doctor Meyerhoff, en la reunión que, con el propósito de evaluar los recursos energéticos del Caribe se llevó a cabo el 17 hasta el 22 de febrero en Kingston, Jamaica.

El doctor Meyerhoff sostenía que: "Las principales reservas de petróleo conocidas de la región del Caribe están en Venezuela, Colombia y Trinidad. El petróleo recuperable en forma directa estaría en el orden de 85 a 90 billones de barriles. Las reservas de gas recuperables serían de por lo menos 200 trillones de pies cúbicos. Considerando el Caribe como un todo, los recursos potenciales se pueden estimar en este momento en el orden de los 90 a 100 billones de barriles y 300 trillones de pies cúbicos".

Si las afirmaciones anteriores son válidas debemos llegar a la conclusión de que una intensa exploración en la plataforma continental del litoral Caribe colombiano debe permitir evaluar como reservas un porcentaje sustancial de los recursos potenciales que menciona el doctor Meyerhoff, máxime si tenemos en cuenta que el litoral venezolano ha estado bajo un intenso programa de exploración y explotación que permite suponer que la mayor parte de los recursos potenciales ya han sido descubiertos y evaluados y forman parte de las reservas probadas de ese país.

De lo anterior podemos concluir que el potencial de hidrocarburos que tiene el país en el Litoral Caribe le puede permitir regresar al autoabastecimiento a muy corto plazo.

4. RECURSOS NO RENOVABLES

Las investigaciones adelantadas por la Armada Nacional tanto en el Caribe como en el Pacífico han permitido determinar la existencia de dos áreas de surgencia, una en el sector comprendido entre Santa Marta y el Cabo de la Vela y la otra entre la Costa del Pacífico y la Isla de Malpelo, áreas de surgencia que determinan una elevada productividad y que supone un desarrollo también muy elevado de potencial biológico al crear la gran abundancia de alimentos.

Estas dos áreas podrían sostener pesquerías de gran importancia económica en especies que no están siendo explotadas en la actualidad.

El Litoral del Pacífico además de las especies vivas actualmente explotadas cuenta con un elevado potencial de Atún. Pero el país no lo está aprovechando en ninguna forma por la simple razón de que no hay pescadores de Atún en el país, y la técnica necesaria no se está desarrollando en ninguna forma. Las reservas de Atún se estiman en 25.000 toneladas por año. Además los stocks de peces diferentes al Atún están totalmente inexplorados y las reservas estimadas son del orden de las 100.000 toneladas al año.

Estas reservas permitirían el sostenimiento de pesquerías de gran importancia económica si el país se decidiera a pescar después de 5 o 6 millas de la costa, que es donde actualmente se lleva a cabo la casi totalidad del esfuerzo pesquero colombiano.

En relación con las reservas pesqueras en el área de San Andrés, Providencia y los Cayos de Serrana, Serranilla, Roncador, Quitasueño, Bajo Nuevo y Rosalinda. El problema no reside en la evaluación del potencial pesquero sino en el trato a mi manera de ver discriminatorio que recibe el pescador colombiano frente al pescador de los Estados Unidos y los pescadores de los Buques de Bandera norteamericana, por cuanto la aplicación del tratado con Estados Unidos en el aspecto relacionado con igualdad para el ejercicio de la pesca se

ha entendido como que los pescadores colombianos deben obtener licencias sometidas a controles y concentrar el producto de la pesca en San Andrés, efectuar trámites de exportación para su venta al exterior y los pescadores extranjeros no tienen que llenar ningún requisito. Este tratamiento preferencial va en contra del espíritu del Tratado y está poniendo al pescador colombiano, especialmente el nativo, en desventaja manifiesta frente al pescador extranjero. Además, se debe tener presente que la pesca es quizá la actividad fundamental para la subsistencia y el bienestar económico de los colombianos que residen en la Isla de Providencia.

Sin entrar a considerar la pesca del camarón y la pesca artesanal que se lleva a cabo a muy corta distancia de la Costa, se puede afirmar que los recursos pesqueros del área marítima del país, que fácilmente sobrepasan las 300.000 toneladas por año, están prácticamente sin utilización de ninguna clase.

En relación con las Algas apenas se han hecho importantes investigaciones como primer paso a la evaluación de este recurso de gran importancia para la industria farmacéutica y de alimentos y se considera que con la información ya disponible se puede afirmar que el país está en condiciones de reemplazar toda la importación actual de AGAR-AGAR y demás agaroides con la sola explotación de los recursos existentes en el litoral guajiro.

5. POTENCIAL ENERGETICO DEL MAR

La potencia recibida del sol es de 10^{17} watios, es decir 10 a las 17 Julios por segundo y la necesidad actual de potencia del mundo es de 10^{13} watios y la potencia hidroeléctrica actualmente en uso asciende a 10^{11} watios, considerando estas cifras simplemente como órdenes de magnitud y no como valores exactos que difícilmente se podrían dar en forma tan sencilla.

La potencia consumida en nuestra sociedad industrializada se transforma finalmente en calor. Este calor se añade al recibo del sol y a pesar de que también es radiado al espacio, el balance térmico puede estarse incrementando en un 0.01% a un 1.% en las llamadas Islas Térmicas. En esta época

de consumo de combustibles fósiles nos estamos aproximando al límite superior tolerable en la adición de calor a la tierra y por consiguiente las futuras demandas de potencia deben recaer en métodos diferentes, relacionados con los ciclos de intercambio de energía mantenidos en forma natural por el balance de calor del sistema tierra sol. Seríamos verdaderamente inteligentes y hábiles si lográramos extraer al menos un 10% del flujo de energía entre el sol y la tierra en forma tecnológicamente útil. Esto llegaría al nivel de 10^{15} watos, que podría considerarse el tope para métodos naturales alternos. En cuanto a la potencia nuclear y otros métodos exóticos que añaden calor al sistema, el tope de potencia probablemente no deberá sobrepasar los 10^{13} watos con el fin de preservar el balance del clima, por cuanto los climas del mundo son frágiles. La atmósfera es quizá la parte más sensitiva del balance en el sistema del mundo y se puede demostrar una fuerte respuesta no lineal a los cambios energéticos. El calor latente de evaporación y precipitación es particularmente importante en el régimen meteorológico. Los Océanos almacenan calor y sirven como un poderoso amortiguador en el balance de agua atmosférica, estabilizando su comportamiento. Pero no se puede abusar de los Océanos porque si sus reservas de calor son alteradas demasiado se perturbarán, y a su turno lo hará la atmósfera y el régimen de clima.

El disco de la tierra interceptada alrededor de 10^{17} watos de energía solar, de los cuales 10^{10} watos se reciben en la superficie en rotación.

La superficie de la tierra también se calienta por acción radiogénica y por calor primario proveniente de su interior. Hay una gran cantidad de energía allí, pero el flujo no es grande, cerca de 10^{10} watos y se encuentra disponible solamente en ciertas áreas tectónicamente activas, tales como el "*Arco de fuego del Pacífico*".

Las consideraciones anteriores nos llevan al convencimiento de que el mar es una gran reserva de energía térmica y accesible en razón a la pequeña distancia que normalmente existe en estratos de diferentes temperaturas en las regiones tropicales, lo cual nos permite afirmar, que las áreas marítimas del país han sido favorecidas con una elevada potencia térmica fácilmente utilizable. Como un ejemplo de la forma

como podría emplearse esa energía térmica se ha tomado el caso concreto de la obtención de energía eléctrica, utilizando una diferencia de aproximadamente 20 grados centígrados, observados entre la capa superficial y la capa por debajo de la termoclina en el área de San Andrés y Providencia. Este aspecto fue estudiado en trabajo presentado en la Revista de las Fuerzas Militares en enero de 1968 y discutido en un programa de la Televisión Educativa, Canal 11 en el año de 1974, pero por diversas razones sigue a nivel de análisis potencial y no ha podido entrar a nivel de desarrollo.

Termoeléctrica marina en la isla de San Andrés.

Para la utilización del gradiente térmico vertical del mar en la producción de fuerza motriz, es necesario escoger un punto en el cual se pueda obtener una diferencia térmica aceptable ya que esta diferencia es la que indica la cantidad de energía disponible. Como dentro de ciertos límites la temperatura disminuye con la profundidad, en las zonas tropicales, es lógico que debemos escoger un punto en la tierra que se encuentre lo suficientemente cerca a una fosa marina para que la temperatura entre el agua de la superficie y la del fondo presenten suficiente diferencia para ser utilizada. Si logramos que las aguas superficiales se encuentren en una zona donde las horas del sol estén en una proporción elevada, la diferencia de temperatura entre las capas superficiales y las profundas será mayor y la empresa tendrá mayores probabilidades de éxito.

Para comprender la teoría de la termoeléctrica marina es suficiente recordar que un líquido pasa al estado gaseoso cuando la presión del vapor de sus moléculas es superior a la presión del medio circundante. Si mantenemos constante la presión circundante y elevamos la temperatura del líquido, la presión del vapor del líquido irá aumentando con la absorción de energía calórica hasta llegar a un punto en que supera a la presión del medio circundante y se convertirá en vapor. Inversamente, si mantenemos la temperatura constante pero vamos disminuyendo la presión del medio circundante, la presión de vapor del líquido se mantiene constante, pero al disminuir la presión circundante se producirá nuevamente el fenómeno anterior.

Es por consiguiente, posible mantener un líquido a una presión tal que a un cambio relativamente pequeño de temperatura se produzca la transformación en vapor capaz de efectuar trabajo hasta convertirse nuevamente en líquido y volver a comenzar el ciclo.

En las regiones tropicales la temperatura de las aguas superficiales del mar oscila entre 20 y 28 grados centígrados y la de las aguas profundas entre 0 y 7 grados.

Existe por consiguiente, una diferencia de aproximadamente 20 grados la cual es suficiente para extraer, de acuerdo a los experimentos de Claudio y Boucheret, 100.000 kilogrametros por metro cúbico de agua.

Los mismos experimentos demostraron que el vapor producido por el agua a 28 grados bajo una presión de 0.01 atmósferas, es suficiente para mover una turbina, así esta hubiera sido diseñada para trabajar bajo condiciones normales.

El único problema que se presenta en este caso es el de que los gases disueltos en el agua a tan baja presión se desprendan y afecten el funcionamiento de las turbinas. Sin embargo, pruebas prácticas efectuadas durante el estudio de la termoeléctrica marina de Abidjún (Costa de Marfil), demostraron que la desgasificación se puede efectuar en forma fácil y económica.

Los problemas a resolver los podemos sintetizar en la siguiente forma:

- a) Obtención de agua superficial del mar a una temperatura entre 20 y 28 grados centígrados.
- b) Obtención de agua a temperatura entre 0 y 7 grados, a la profundidad en que se encuentre en el mar, mediante una tubería con aislamiento térmico y colocada en tal forma que no sea destruida por el mar.
- c) Construcción de una cámara al vacío (0.01 atmósferas), dentro de la cual se produzca la evaporación del agua a 28 grados y pueda funcionar una turbina apropiada.
- d) Empleo de un sistema barato y eficiente de desgasificación.
- e) Selección de un condensador por contacto o mezcla, de acuerdo a las circunstancias locales, para la condensación del vapor que ya a efectuado trabajo.

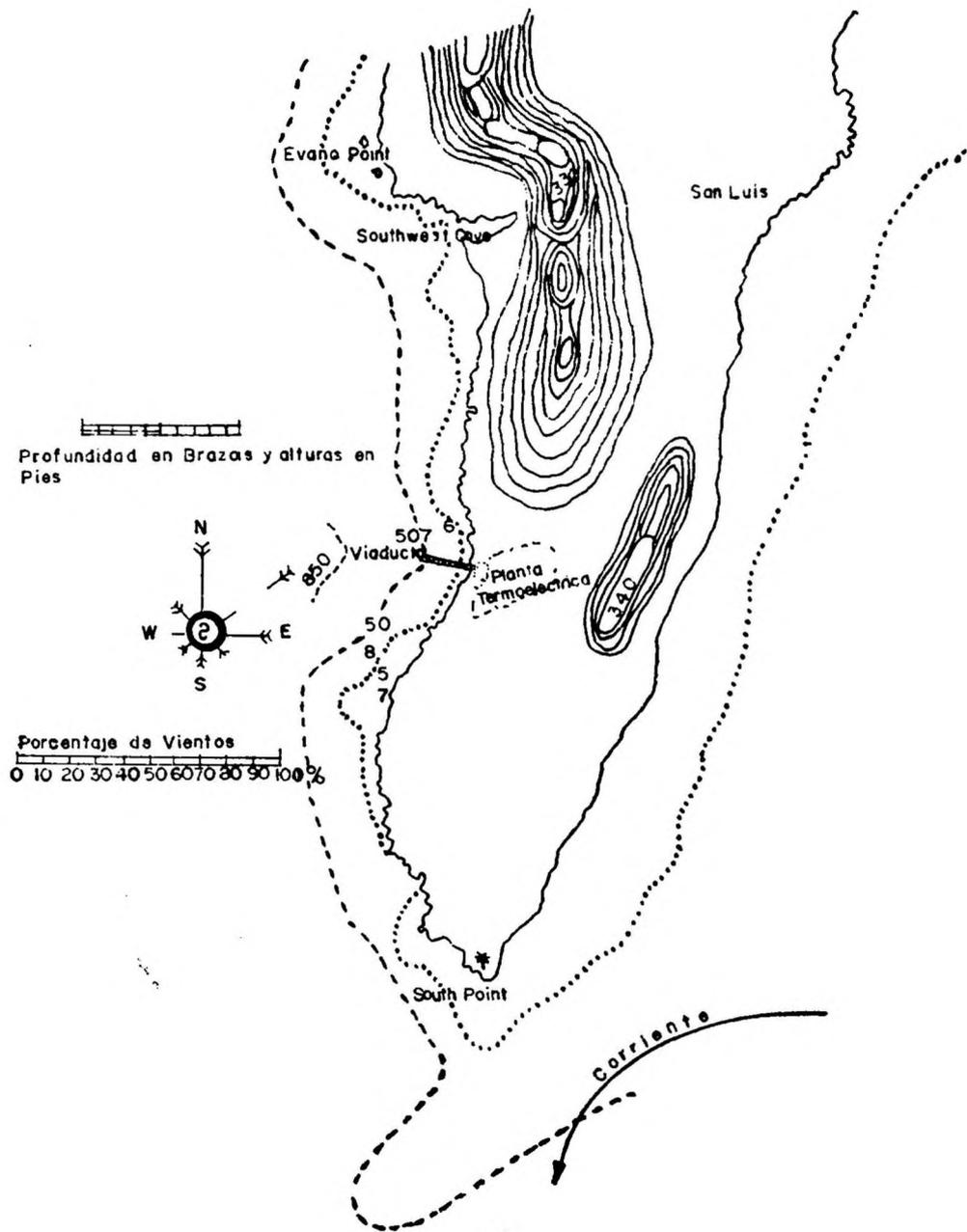
Los contratistas franceses del proyecto de Abidjún efectuaron estudios minuciosos de todos los problemas y las soluciones encontradas permiten reducir casi completamente el asunto a descubrir un lugar geográfico donde sea posible hallar las condiciones de temperatura de agua de mar expuestas y que ofrezca una relativamente alta protección contra las condiciones climáticas adversas, especialmente en lo referente a la tubería de conducción de las aguas profundas. No está demás hacer hincapié en que los estudios efectuados por contratistas franceses para Abidjún los llevó a la conclusión de que el costo por kilowatio-hora resultaba muy semejante al de las hidroeléctricas en servicio y que, por consiguiente, este sistema era competitivo.

La selección de San Andrés y especialmente del punto escogido en la Figura N° 3, tiene su explicación en el estudio de los problemas expuestos anteriormente y de algunos otros que son característicos de esta Isla.

La Isla de San Andrés forma parte del territorio colombiano, pero desgraciadamente se encuentra a gran distancia del continente y es difícil y costoso el apoyo logístico por parte del resto del país. La carencia de caídas de agua u otras fuentes convencionales de energía hacen que la producción de fuerza eléctrica y la obtención de agua potable sea muy costosa e insuficiente. La actividad turística en que se ha empeñado la Isla y a la que el país quiere dar el máximo apoyo, exige un mínimo de comodidades que la hagan atractiva al turista potencial sin que eleve en forma desordenada los costos a fin de poderse mantener en un terreno competitivo con el resto de centros turísticos del Caribe.

En cuanto a la escogencia de la Isla de San Andrés, podemos hacernos la consideración general de que si el producto de una planta térmica de las características de la que se encuentra en estudio, es competitivo en igualdad de condiciones con las hidroeléctricas convencionales, en las circunstancias presentes en la Isla de San Andrés, el éxito sería absoluto en caso de que pudiera probar su viabilidad.

Estudiando el sitio seleccionado a la luz de los problemas considerados en esta clase de obra, podemos observar:



- a) La Isla de San Andrés se encuentra en la zona tórrida y por consiguiente las temperaturas que alcanzan las aguas superficiales del mar están dentro de los márgenes propuestos.
- b) El sitio seleccionado se encuentra a dos kilómetros de Southwest Cove y en este lugar el veril de las cincuenta brazas se encuentra a trescientos metros de la playa, profundidad que luego aumenta en forma muy rápida hasta alcanzar las 850 brazas. Dentro de estas profundidades se encuentran las temperaturas mínimas requeridas y un estudio detallado del gradiente térmico vertical permitiría seleccionar la más apropiada.

Las circunstancias mencionadas permiten el empleo de una tubería relativamente corta, la cual se tendería desde tierra por medio de un procedimiento similar al estudiado en el proyecto de Abidjún. Es decir, sobre un viaducto de trescientos metros se colocaría la tubería semiflexible y térmicamente aislada en forma tal que ésta se sumerja casi verticalmente y sostenida por flotadores especiales.

Este sistema evita que la tubería sea destrozada por las rocas del fondo por efecto de las olas.

- c) Las pruebas efectuadas para la central de Abidjún demostraron que la solución práctica para este problema es relativamente fácil debido a que es posible la utilización de concreto recubierto por una pintura impermeabilizante especial. En realidad en este caso el transporte del material sería la parte más significativa del problema de construcción.
- d) La desgasificación se ha resuelto en forma eficiente y barata mediante procedimientos ampliamente verificados por la Fábrica Bercy, del servicio de aguas de París.
- e) El empleo de un condensador de contacto sería el sistema aconsejable en San Andrés en vista de tal costo y dificultad de obtención del agua dulce.

Aparte de las condiciones mencionadas anteriormente y como ampliación al punto (b), es necesario estudiar las seguridades que ofrece el lugar escogido contra la acción de los

agentes atmosféricos adversos. De acuerdo a la información recopilada, se puede observar que aparte de las condiciones de profundidad ya analizadas, el lugar seleccionado está protegido por South Point, Wright hill, lever hill y Evans point contra los vientos del sur este, nor este y norte respectivamente, que son los que soplan durante el 96% del tiempo en esta región y entre los cuales se encuentran los que mayor intensidad promedio (4 en escala Beaufort), manifiestan. Así mismo, la corriente marina reinante en la región corre en dirección este-oeste y por tanto la isla se interpone en su acción y protege al punto escogido.

La potencia total de la planta solamente se podría calcular al finalizar estudios más detallados, pero provisionalmente se puede fijar en 7.000 kilowatios por lo menos, o sea, 60 millones de kilowatios-hora al año.

ENERGIA CINETICA DEL MAR

Como ya vimos el mar actúa como amortiguador del clima y por tal razón tiene gran capacidad para almacenar y entre-gar energías. La forma más evidente de esta energía disponible la vemos en el movimiento continuo del agua de mar, tanto en la forma de olas como en la forma de mareas. Estas dos formas de energías representan una capacidad muy grande de trabajo que el hombre a través de su historia ha soñado con capturar y poner a su servicio. Solamente en tiempos modernos se ha encontrado y desarrollado la tecnología suficiente para la extracción de esta energía. Las áreas marítimas colombianas presentan características muy definidas que permiten identificar cual es la forma de energía más fácilmente utilizables en cada uno de los litorales y así vemos que en el mar caribe las olas de viento se mueven dentro de un patrón confuso que hace difícil la transmisión de energía a un sistema ligado en tierra firme y además la amplitud de la marea es muy pequeña la cual vuelve ineficientes los mecanismos para extraer la energía de esta forma de movimiento. Sin embargo las tormentas tropicales en la intensidad de los ciclones generan olas que llegan a las costas norte colombianas, con frecuencia ya regularizadas. Esto facilitaría la extracción de gran parte de la energía que ellas traen mediante un sistema oscila-

torio sensible al período de 5 a 7 segundos que esas olas normalmente traen.

En el litoral Pacífico se forman olas con períodos más o menos constantes originadas en el Centro del Océano Pacífico y que llegan con energía de una gran importancia potencial utilizando un sistema de extracción sensible a períodos de 7 a 9 segundos. Además encontramos amplitudes con características costeras favorables que permiten una extracción de energía verdaderamente insospechables.

Existen varios métodos para la utilización de la energía presente en el mar y la selección del método más apropiado depende de varias consideraciones de carácter local y general. Las olas y mareas son manifestaciones de energía y fueron, seguramente, las que primero llamaron la atención del hombre.

Naturalmente se podría pensar en la utilización de las primeras en el caso de que su presencia fuera más o menos regular y su fuerza media considerable. Intentaríamos el uso de las segundas cuando exista una elevada amplitud en las mareas y una cuenca apropiada para represar un volumen considerable de las aguas sometidas al régimen de mareas.

El mar también presenta un gradiente térmico vertical y esto es una manifestación de energía aunque menos evidente que las mencionadas anteriormente y por consiguiente, solamente en épocas relativamente recientes se ha explorado las posibilidades de su empleo. Métodos modernos de desgasificación han comprobado la eficiencia de turbinas al vacío y han permitido la utilización de relativamente pequeñas diferencias térmicas en la producción de energía motriz y eléctrica. Se ha demostrado y se ha llevado a la práctica un método para utilizar el gradiente térmico de las aguas marinas con buenos resultados económicos.

Resumiendo algunos de los métodos para controlar la energía de los Océanos, podemos decir que es factible el uso de la energía dinámica de las olas, la energía potencial de las mareas y la energía térmica de las aguas.

Todas estas formas de energía se encuentran en mayor o menor grado en todos los mares del mundo y la selección de la forma de energía que se desee utilizar dependerá no solo

de la que se encuentre en mayor cantidad en la respectiva región, sino también en las facilidades locales para su empleo. Para el uso de la energía contenida en las olas es necesario, como se dijo anteriormente, que la presencia de estas sea lo más constante posible y su fuerza considerable, pero además, se necesita que el sector escogido ofrezca seguridades mínimas a las construcciones necesarias y la energía que haya que contrarrestar no sea demasiado grande comparada con la que se puede utilizar con el fin de no elevar los costos de construcción, mantenimiento y operación.

Para el empleo de la energía potencial suministrada por las mareas, es necesario disponer de una apropiada amplitud de estas, pero también, la existencia de una cuenca que permita efectuar un embalse de gran superficie con el mínimo de construcción posible y que al mismo tiempo ofrezca seguridad contra la acción destructora del mar.

La utilización de la energía térmica exige la presencia de un gradiente térmico lo más elevado posible y que la diferencia de la temperatura máxima se encuentre en las proximidades de la termoeléctrica planeada. En este caso, quizás más que en los anteriores, se necesita que el lugar escogido ofrezca cierta seguridad contra la acción destructora del mar y de la atmósfera.

En general se puede decir que el empleo de la energía de las olas del mar no es conveniente en ninguna de nuestras dos costas debido a su irregularidad en cuanto a presencia y fuerza. El régimen de mareas nos muestra inmediatamente las ventajas que ofrece la costa sobre el Pacífico, en comparación con la costa del Caribe y el gradiente térmico, por el contrario, nos muestra las ventajas de ésta sobre aquélla, ya que las horas de sol son mayores y por consiguiente se introduce una pendiente térmica más elevada y conveniente, pero esto no quiere decir que se descuide la posibilidad de empleo de termoeléctricas marinas si se encuentra un lugar de características apropiadas en la costa del Pacífico.

Habiendo reducido a dos los métodos de mayores posibilidades de éxito en nuestro medio, es necesario seleccionar en cada una de nuestras dos costas puntos tipo que pudieran servir al menos como lugares de experimentación e investigación.

Características de un embalse para utilización de las mareas en la Costa del Pacífico:

- a. Amplitud de la marea
- b. Area de la cuenca escogida
- c. Longitud de la Línea de cierre
- d. Características del Fondo y de los flancos
- e. Tipo de marea (Diurna y semi-diurna)
- f. Clase de turbina usada o usadas
- g. Costo de transmisión de la fuerza electromotriz a los centros de consumo e interconexión o en estudio.
- h. Obras adicionales necesarias (esclusas de navegación, obras de navegación, obras de defensa, etc.).

Tomando en cuenta los puntos anteriores y sin profundizar demasiado, encontramos varios sitios en la costa del Pacífico que atraen la atención tales como Bahía Solano, Málaga, Utría, Tumaco, Cupica, etc., pero como este trabajo se haría interminable si nos pusiéramos a analizar los factores adversos y favorable de cada uno de tales lugares, me he permitido escoger como ejemplo Bahía Solano y dejar el resto para estudios posteriores.

Sin el propósito de convertir este trabajo en anteproyecto de ninguna obra y solamente con el deseo de mantener viva la inquietud por esta clase de problemas me atrevo a enfrentarme, sin ser ingeniero, a esta obra de ingeniería. Trataremos de analizar cada uno de los factores mencionados anteriormente sobre el terreno y en una forma muy superficial para evitar las digresiones que serían necesarias en caso contrario.

MAREAS

En el sector de Bahía Solano el régimen de mareas es de tipo semi-diurno, es decir que presenta dos mareas plenas y dos mareas bajas en el transcurso de las 24 horas del día. El "Pronóstico de Pleamares y bajamares para la costa occidental de Colombia", elaborado por el Instituto Agustín Codazzi para el año de 1967, presenta los siguientes valores máximos y mínimos para bajamares y pleamares tomando como referencia el plano de las Bajamares de Sicigias:

Podemos decir que normalmente se encuentra una amplitud mínima de 5.3 pies y máxima de 14.8 pies y una amplitud promedio de 10 pies (aproximadamente 3.300 m).

AREA DE LA CUENCA ESCOGIDA

La superficie aproximada de la Bahía es de 7.700 hectáreas, es decir 77 millones de metros cuadrados, lo cual se considera aceptable como punto de referencia teniendo en cuenta las inexactitudes de los levantamientos de esta zona.

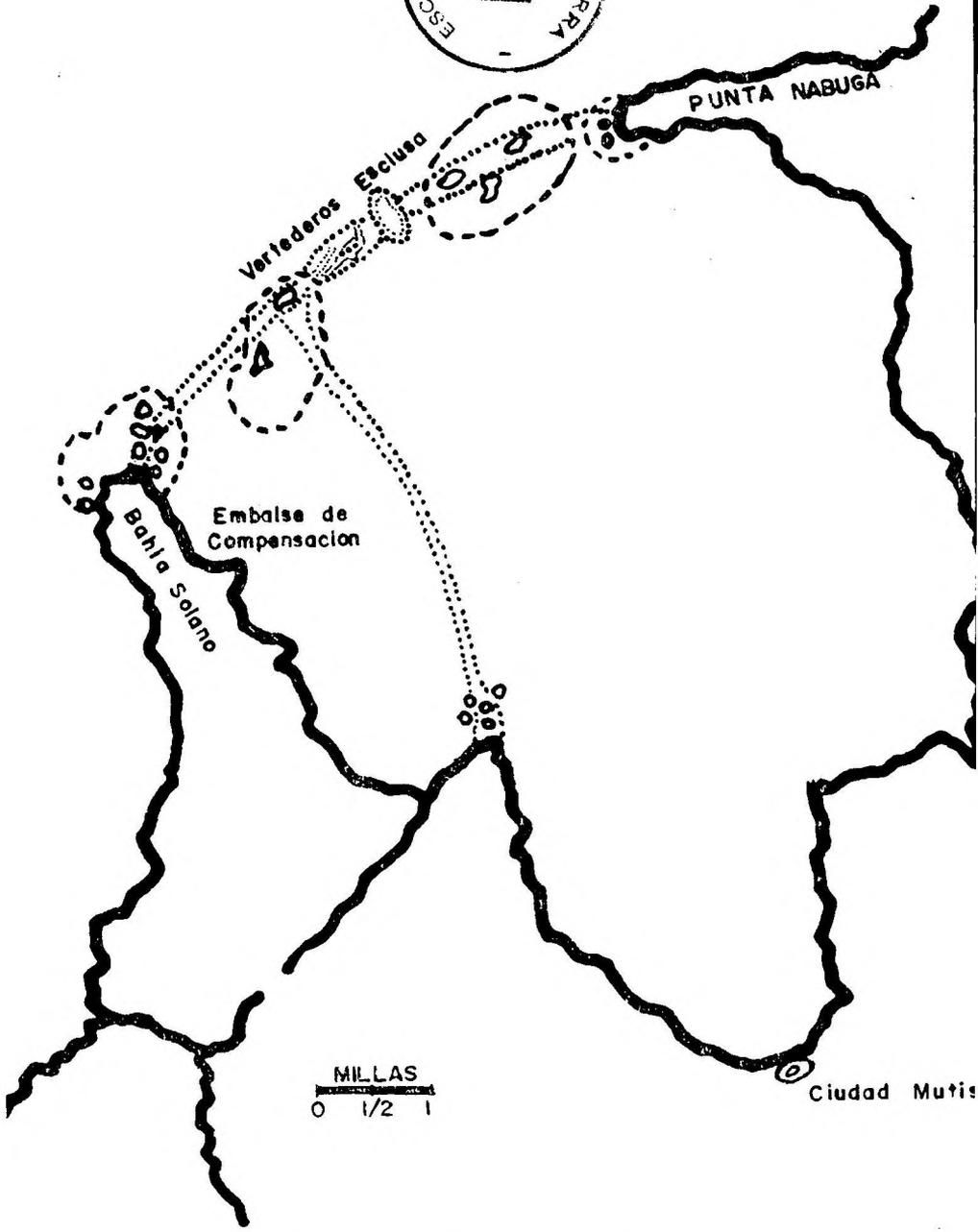
Considerando una amplitud media de 3.00 metros, el volumen que debe salir de la presa es de 231 millones de metros cúbicos, que serán readmitidos nuevamente en el ciclo siguiente. Si cada ciclo se efectúa en un período aproximado de 6 horas, el gasto teórico sería de 10.000 metros cúbicos/segundo con una carga media de 1.5 metros.

LONGITUD DE LA LINEA DE CIERRE

Es de aproximadamente 9 kilómetros y esto de por sí entraña un grave problema ya que lo ideal sería una distancia muchas veces menor. Sin embargo, si estudiamos con más detenimiento el trabajo que hay que llevar a cabo vemos que el problema es más aparente que real ya que la boca de la bahía ofrece varios puntos de apoyo y la mayor parte del muro de contención consiste en un simple dique que no va a estar sometido a las elevadas presiones de los embalses fluviales normales y por consiguiente se puede construir utilizando la misma técnica empleada para los tajamares de Bocas de Ceniza. En estas circunstancias, el costo, sin dejar de ser elevado, no se hace prohibitivo.

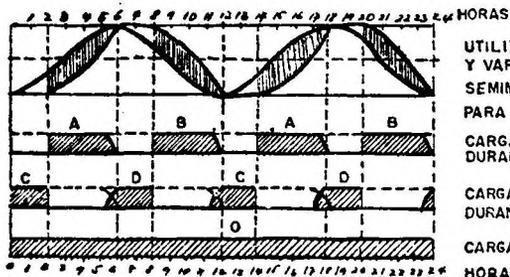
CONCLUSIONES

1. Se requiere unificar los trabajos de exploración del mar y extenderlos a las áreas no exploradas dentro de los límites de las 200 millas.
2. Si bien es cierto, la información con que se cuenta en la actualidad es insuficiente, es posible identificar recursos potenciales en todos los sectores de utilización del mar. Estos recursos potenciales son utilizables en forma inme-



Utilizando el embalse de compensación se aumenta el tiempo de trabajo de las turbinas y se mejora su eficiencia.

RENDIMIENTO DE LOS CICLOS IDEALES DE LA OPERACION DE LA PRESA



UTILIZANDO UNA LINEA DE CARGA SIGNIFICATIVA Y VARIACION AUTOMATICA DE FLUJO CON SEMIMODULOS DE FLOTADOR U OTRO SISTEMA PARA MANTENER CONSTANTE LA CARGA BRUTA.

CARGA BRUTA DEL EMBALSE PRINCIPAL DURANTE 24 HORAS (A+B)

CARGA BRUTA DEL EMBALSE DE COMPENSACION DURANTE 24 HORAS (CICLO C+D)

CARGA BRUTA TOTAL EN 24 HORAS (A+C+B+D+) HORAS

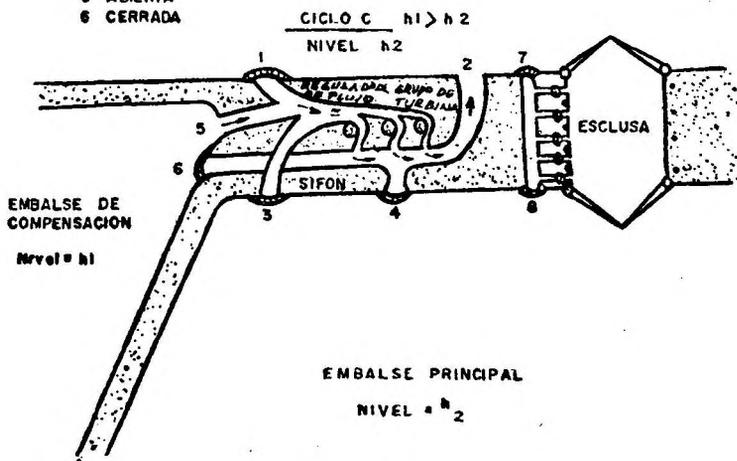
DIRECCION DEL FLUJO DURANTE CICLO

- | | |
|--|---|
| A : DE MAR ABIERTO HACIA EMBALSE PRINCIPAL | C : EMBALSE DE COMPENSACION HACIA EL MAR |
| B : DE EMBALSE PRINCIPAL HACIA MAR ABIERTO | D : DEL MAR HACIA EMBALSE DE COMPENSACION |

TIEMPO DEL CICLO "C" CON EL EMBALSE DE COMPENSACION SUMINISTRANDO LA CARGA CUANDO LA MAREA EMPIEZA A SUBIR PERO NO HAY TODAVIA UNA LINEA DE CARGA SIGNIFICATIVA ENTRE MAR ABIERTO Y EL EMBALSE PRINCIPAL.

- COMPUERTAS
- 1 CERRADA
 - 2 ABIERTA
 - 3 CERRADA
 - 4 CERRADA
 - 5 ABIERTA
 - 6 CERRADA

LA ESCLUSA SE PUEDE OPERAR SIN DIFICULTAD AL IGUALAR NIVELES MEDIANTE EL USO DE LAS COMPUERTAS 7 Y 8 Y DE LAS VALVULAS CORRESPONDIENTES.



diata de conformidad con las características geográficas de cada región del litoral colombiano. La utilización de estos recursos permitirían el desarrollo acelerado de las Regiones costeras y la creación de gran cantidad de empleo y disponibilidad de energía.

BIBLIOGRAFIA

1. F.A.O. Atlas of the Living Resources of the Seas "FAO". Fisherues Circular N° 126-Rex 1-Rome 1972.
2. INSTITUTO AGUSTIN CODAZZI. Pronósticos de Mareas.
3. KING WILLIAMS Horace. "Manual de Hidráulica".
4. LEVINE Sumner N. - "Selected Papers On Desalination And Ocean Technology. Dover Publications New York 1968.
5. SANCHEZ CORTES Jaime. Utilización del Mar en la Producción de Energía Eléctrica. Revista de las Fuerzas Armadas N° 48 Vol. XVI. Enero y febrero de 1968.
6. STEWART Jr. Harris B., Proceedings of the Mac Arthur Work Shop on Energy from the Florida Current. Febrero 27 March 1 - 1974.
7. UNITED NATIONS, Source Documents on Seabed Mining. Compiled by the Editors of Ocean Science News. Nautilus Press, Inc. 1056. Natl. Press Bldg (202) 347-6643.
8. U. S. OCEANOGRAPHIC OFFICE. Cartas de Navegación HO-1290 y 2077.
9. U. S. OCEANOGRAPHIC OFFICE. Pilot Chart Atlántico Norte y Pacífico.
10. V. ROMANOVSKY. La información sobre la Central de Abidjún fue obtenida de "El Mar" V. Romanovsky, C. Francisc Bocuf y J. Boucart.