

UTILIZACION DEL MAR EN LA PRODUCCION DE ENERGIA ELECTRICA

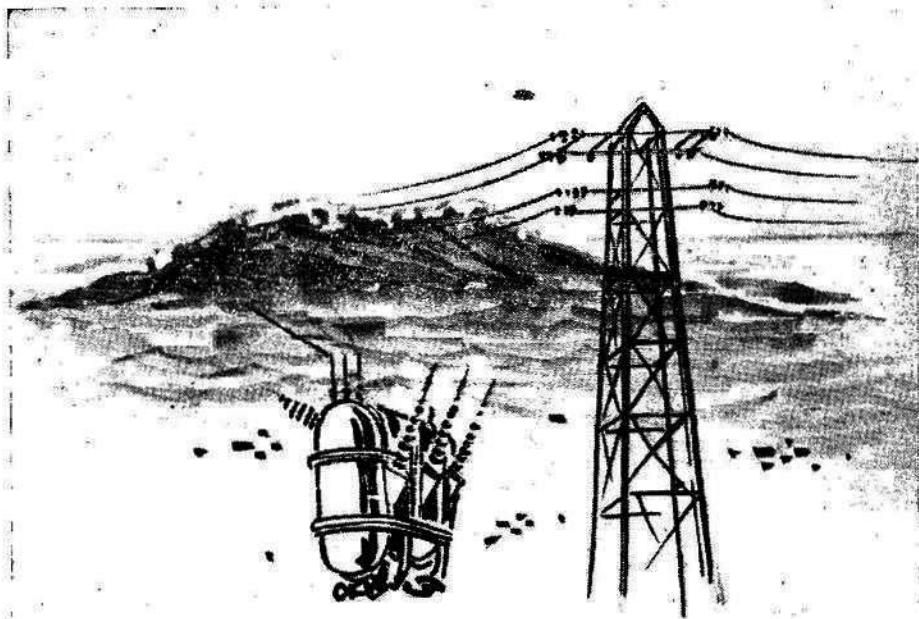


1—Introducción.

Desde el momento en que el primer hombre dotado de razón se aproximó al mar y pudo darse cuenta de la potencia gigantesca que se escondía en sus movimientos poderosos y mesurados a veces pero siempre magníficos, tuvo que haber pensado que esa energía debería encadenarse a su servicio y desde entonces muchos de sus descendientes han soñado con encontrar los medios de lograrlo. No es por consiguiente extraño que a lo largo de las edades se hayan realizado toda clase de intentos, la mayoría de ellos fallidos, para poner al servicio del hombre la energía almacenada en el mar y quizás a esto se deba también que



Tte. de Navío JAIME SANCHEZ C.



La sonrisa de incredulidad aparezca en todo aquel que oye hablar de un nuevo intento.

El costo relativamente bajo de la energía hidráulica producida por las caídas fluviales no ha estimulado la investigación sobre el aprovechamiento de la energía del mar, sino en aquellas regiones que carecen de potencia fluvial y no disponen de combustibles baratos como para operar termoeléctricas a bajo costo.

A pesar de que el potencial hidroeléctrico fluvial del país no ha sido comprometido en su totalidad y de que existen inmensas reservas, es necesario pensar en la utilización de cualquier forma de energía que la naturaleza haya puesto a nuestro alcance, con el fin de impulsar el desarro-

llo y lo único que nos debe detener es un rendimiento económico demasiado bajo.

En este orden de ideas, creo que es necesario volver los ojos a la costa colombiana del Pacífico cuando tratemos de estudiar una forma de empleo de la energía presente en el mar, debido a que es aquella costa en donde con mayor facilidad se puede utilizar la energía regularizada del océano en forma de mareas.

2—Algunas formas de utilización de la energía del mar:

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 mas 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 regimen 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

desea 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.

3—Algunos sitios en las costas colombianas.

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.

1) Embalse para utilización de las mareas en la costa del Pacífico.

Este tipo de trabajo necesita las siguientes condiciones iniciales para la escogencia del sitio:

- 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 o semi-diurna).
- f) Clase de turbina usada o usadas.

g) Costo de transmisión de la fuerza electromotriz a los centros de consumo e interconexiones con sistemas existentes o en estudio.

h) Obras adicionales necesarias (esclusas 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 favorables 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.

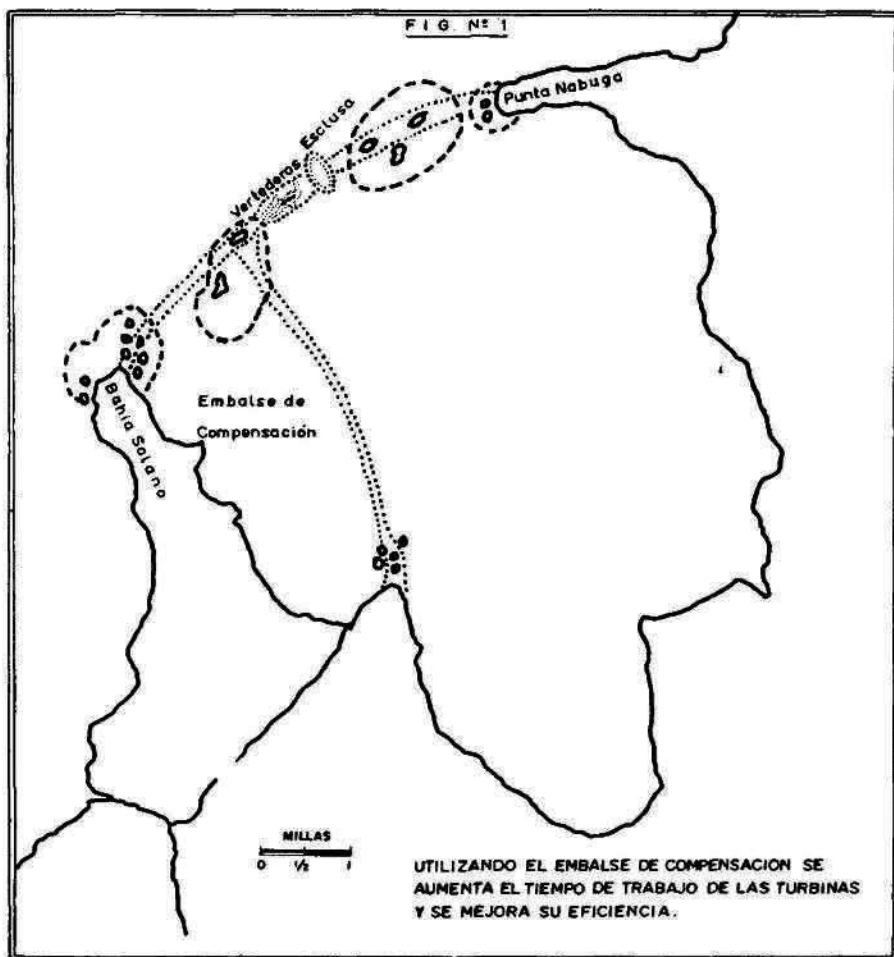
a) Mareas.

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 máxi-

mos y mínimos para bajamares y pleamares, tomando como referencia el plano de las Bajamares de Sicigias:

Mes	Día	Hora	Altura en pies	Observaciones
Febrero	20	05:41	2.6	5.3 pies de amplitud.
		12:17	8.6	
		18:05	3.3	
	21	00:35	9.3	
	28	00:29	-1.5	14.8 pies de amplitud.
06:35		12.9		
12:41		-1.4		
18:59		13.4		



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.).

b) 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.

c) Longitud de la línea 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.

La figura 1 muestra la disposición de la bahía, los cayos presentes permiten ahorrar material y tiempo en la obra de cierre y por consiguiente significan una no despreciable reducción de los costos. Además, la magnitud de la potencia disponible que se logra mediante esta obra puede permitir una inversión muy elevada fácilmente resarcible.

d) Características del fondo y de los flancos.

Aun cuando constituida por rocas sedimentarias relativamente jóvenes, las características rocosas de la región son sumamente ventajosas para la obtención de materiales baratos y cimientos de suficiente resistencia para las construcciones.

Un estudio más detallado de los suelos posiblemente demostrará la presencia de canteras apropiadas a corta distancia de las obras programadas.

Aún en el supuesto de que el material encontrado sea de muy mala calidad para las construcciones normales, es necesario recordar que simplemente se trata de levantar un dique que no va a estar sometido a presiones demasiado elevadas ya que aun con los vertederos completamente cerrados, el embalse lleno y la marea en su mínima altura, la diferencia de nivel no llegaría ni siquiera a los cinco metros. Sin embargo, estas condiciones no se alcanzarían nunca si se operara el complejo de turbinas en

forma continua y con doble efecto durante las 24 horas del día, tratando de mantener un flujo constante de agua con excepción del breve tiempo en que los niveles de embalse y del mar se encuentren a la misma altura. Para lograr esto sería conveniente seguir un régimen de operación similar al contemplado en la figura Nº 2.

Dos hileras de piedras con un afirmado de tierra en medio podría ser el procedimiento usado en la construcción de la mayor parte del dique y solamente en los espacios reservados a la instalación de las turbinas, conductos y vertederos, se utilizaría el concreto. Con este proceso se pueden reducir los costos de construcción a niveles muy poco impresionantes.

e) Tipo de marea.

Como se dijo anteriormente, el tipo de marea presente en la zona es semi-diurna y por consiguiente en el término de las 24 horas del día se presentan dos máximas y dos mínimas. Este tipo de marea significa un desplazamiento de masas de agua en la mitad del tiempo utilizado en las de tipo diurno y por tanto, nos permite utilizar las turbinas en forma casi continua aunque si bien es cierto con flujos variables.

f) Tipos de turbinas a usar.

Si deseamos mantener las turbinas trabajando el máximo de tiempo, las características que necesitamos, teniendo en cuenta el tipo de embalse, saltan a la vista:

1) Que sea capaz de trabajar eficientemente con un volumen elevado de líquido a baja velocidad.

2) Que se mantenga dentro de un margen apropiado de eficiencia frente a una amplia variación en la velocidad del flujo.

3) El grupo de turbinas debe tener la capacidad apropiada para utilizar el volumen total del embalse en seis horas con el mínimo posible de unidades para disminuir los costos de mantenimiento.

Estas serían las características iniciales, las que fuera necesario complementar o modificar a medida que se estudiara en detalle la operación y utilización del sistema, pero a simple vista los requerimientos mencionados nos indican que el tipo de turbina que más se adapta a las necesidades es una Kaplan. En este caso, el sistema turboeléctrico estaría compuesto por un grupo de turbinas Kaplan o Francis acopladas a generadores apropiados para transformar en energía eléctrica la potencia aproximada del embalse. Teniendo en cuenta un gasto teórico de 10.000 metros cúbicos/segundo y una carga media de operación de 1.5 metros, se podría obtener una potencia teórica de 147.100 kilovatios. Aceptando un rendimiento del 70% en los canales y tubería de conducción, del 80% en las turbinas y del 79% en los alternadores, podríamos obtener un rendimiento total del sistema del 40%, o sea, la no despreciable cantidad de 500 millones de kilovatios/hora al año.

g) Costo de la transmisión de energía.

En este caso, sin lugar a dudas, el costo sería muy elevado debido a la

FIG. Nº 2

RENDIMIENTO DE LOS CICLOS IDEALES DE LA OPERACION DE LA PRESA



DIRECCION DEL FLUJO DURANTE CICLO:

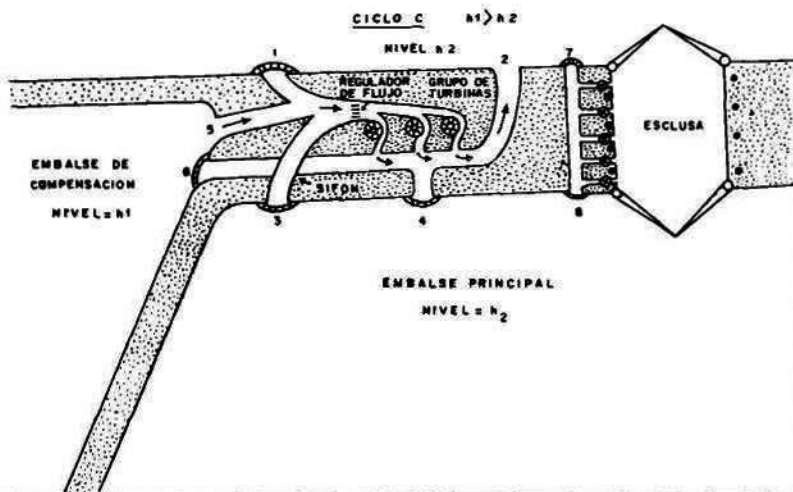
- A : DE MAR ABIERTO HACIA EMBALSE PRINCIPAL
 B : DE EMBALSE PRINCIPAL HACIA MAR ABIERTO

- C : EMBALSE DE COMPENSACION HACIA EL MAR
 D : DEL MAR HACIA EMBALSE DE COMPENSACION

EJEMPLO 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.



distancia a los centros potenciales del consumo. Sin embargo, si no consideramos esta obra como un hecho aislado y tratamos de ubicarla dentro de los planes nacionales, nos damos cuenta inmediatamente de que encaja perfectamente como obra complementaria al embalse Atrato San Juan ya que se encuentra más o menos en un punto equidistante de las dos hidroeléctricas en ese plan y por consiguiente es evidente la facilidad para efectuar interconexiones, reducir costos de transmisión y elevar el potencial eléctrico disponible para el desarrollo acelerado del occidente colombiano.

h) Obras adicionales.

Siendo Bahía Solano el puerto natural para el desarrollo del Chocó, especialmente si observamos la cercanía del proyecto de la carretera Panamericana, tenemos que considerar el hecho de que es indispensable permitir el paso de buques de gran calado al interior de la bahía y para lograr esto la construcción de una esclusa apropiada sería la línea de acción indispensable.

Esta construcción adicional elevaría grandemente el costo de la obra, pero le daría una seguridad adicional a los buques que se encontraran en su interior y energía eléctrica muy barata para todos los servicios del puerto. Estudiando en forma detenida el caso, se podría comprobar que los beneficios obtenidos por el puerto fácilmente compensarían el costo adicional y seguramente hasta podría amortizarlos en un tiempo relativamente corto.

2) 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 de 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 de 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 de 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 cir-

Tejidos Leticia Ltda.

- ♦ PAÑOS
- ♦ RUANAS
- ♦ MANTAS
- ♦ PONCHOS
- ♦ HILAZAS
DE
LANA

MEDELLIN
BOGOTA
CALI

cundante, 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 con 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 Claude y Boucheret, 100.000 kilográmetros por metro cúbico de agua.

En busca de la productividad del mar

Los mismos experimentos demuestran 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 ha 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 kilovatio hora resultaba muy semejante al de las hidroeléctricas en servicio y

Cuéllar, Serrano, Gómez y Cía. Ltda.

arquitectos, ingenieros

bogotá — colombia

miembros:

s.c.a., s.c.i., andi y camacol.

CAMILO CUELLAR TAMAYO
GABRIEL SERRANO CAMARGO
JOSE GOMEZ PINZON
GABRIEL LARGACHA MANRIQUE
ERNESTO CUELLAR TAMAYO
JORGE PINZON BARCO

CARRERA 10a. No. 16-39 PISO 15
EDIFICIO SEGUROS BOLIVAR
APARTADO AEREO 3527

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.

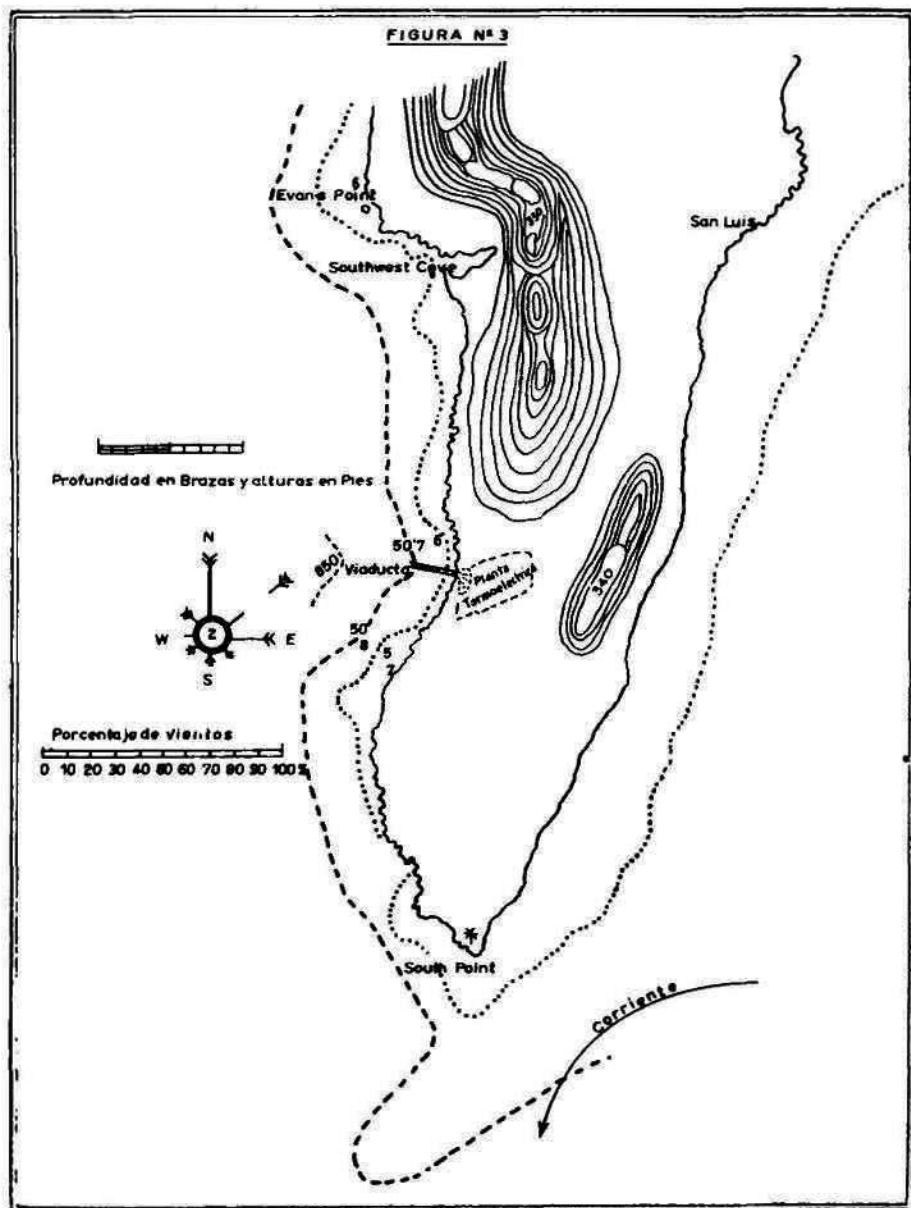
b) El sitio seleccionado se encuentra a dos kilómetros de Southwest Cove y en este lugar el veril de las cincuenta brazas se encuentra a trescientos metros de la playa, profundidad que luego aumenta en forma muy rápida hasta alcanzar las 850 brazas. Dentro de estas profundidades se encuentran las temperaturas 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.

FIGURA N° 3



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 la escala Beau-

fort), 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 kilovatios por lo menos, o sea, 60 millones de kilovatios - hora al año.

BIBLIOGRAFIA

- 1) La información sobre la central de Abidjún fue obtenida de "El mar" - V. Romanovsky. C. Francis Bocuf y J. Bourcart, página 156 y siguientes.
- 2) "Pilot Chart" Atlántico norte y pacífico norte.
- 3) Pronósticos de mareas del Instituto Agustín Codazzi.
- 4) Cartas de navegación: H0-1290 y 2077.
- 5) "Manual de Hidráulica" Horace Williams King.