

4

ENERGÍA MAREMOTRIZ EN EL
ESTRECHO DE GIBRALTAR, EN EL CANAL
NORTE DEL MAR DE IRLANDA Y EN EL
CANAL DE LA MANCHA

D. Félix Cañada Guerrero

Doctor Ingeniero de Minas



D. Félix Cañada Guerrero

*Doctor Ingeniero de Minas
Investigador*

FORMACIÓN ACADÉMICA

Doctor por la Escuela Superior de Ingenieros de Minas de Madrid, 1956.
Estudios de Química en la Universidad Complutense, sin llegar a obtener título académico.
Curso de Mineralogénesis en la Berg-Akademie de Clausthal-Alemania 1957.
Curso de Geoquímica en Moscú Univ. Lomonosov y Org. Estatal de Geol. 1962.
Curso de Análisis Espectral en la J.E.N. de Madrid, Enero-Abril 1972.
Varios cursos monográficos de materias relacionadas con la Química y la Geología.

EXPERIENCIA PROFESIONAL

1. En Organismos estatales:
 - Profesor de Química-Geoquímica en la E. de I. de Minas de Madrid 1958-1966.
 - Ingeniero al servicio del Instituto Geológico y Minero de Madrid 1957-1986 realizando trabajos de campo y de investigación en el laboratorio:
 - Geología y mineralogía generales en la Península y en el Sahara.
 - De mineralogénesis.
 - Fundando y dirigiendo el Dep. de Geoquímica, con trabajos en todo el país.
 - Realizando investigación Geoquímica de hidrocarburos en el delta del Ebro.
 - Iniciando la investigación marina en la plataforma continental Galicia, Huelva, Málaga, islas Columbretes.
 - Publicando los estudios correspondientes a los trabajos realizados.
 - Interviniendo en simposios y congresos delegado por el IGME.
2. Para instituciones privadas desde 1986 hasta hoy:
 - En la península Ibérica.
 - En Yemen y en Omán.
3. Trabajos personales:
 - Estudios variados con solicitud y obtención de patentes.
 - Estudios sobre la posibilidad de obtener energía de las corrientes de marea,
 - Publicando los resultados en diversos congresos.

4 • ENERGÍA MAREMOTRIZ EN EL ESTRECHO DE GIBRALTAR, EN EL CANAL NORTE DEL MAR DE IRLANDA Y EN EL CANAL DE LA MANCHA

D. Félix Cañada Guerrero

Doctor Ingeniero de Minas

INTRODUCCIÓN

Los tres estudios que siguen responden a una misma fuente energética: la asociada a las mareas oceánicas, que por los enormes caudales que ponen en juego, permitirían obtener enormes energías, y además perpetuas y limpias.

Son numerosos los ensayos y estudios realizados para aprovechar la energía de las corrientes producidas por la marea. Desde hace siglos, modestas instalaciones artesanales utilizaban la marea para mover molinos, batanes, etc. en las costas de muchos mares. Conocemos los utilizados en Gran Bretaña, Francia, España, Rusia, América, etc. algunos de los cuales todavía funcionan. Se trataba de artificios sencillos capaces de sacar pequeñas energías de las corrientes de marea, que eran aprovechadas en el mismo lugar donde se producían, y que a finales del siglo XIX habían desaparecido en su mayor parte, desplazados por los nuevos sistemas generadores de electricidad. En esa misma época comenzaron a estudiarse con base científica, las posibilidades que presentaban ciertos estuarios y radas donde las mareas alcanzan alturas importantes, para obtener energía hidroeléctrica acorde con los volúmenes circulantes, más que con la escasa energía cinética del agua.

Son conocidos los estudios franceses en Bretaña, los ingleses en el estuario de Severn y del canal de Bristol, los del golfo de San José en Argentina, bahía de Fundy en Canadá, los rusos del Mar Blanco y Lumbovskaya.

Fueron los ingenieros franceses quienes en el estuario de La Rance construyeron la primer central maremotriz productora de electricidad, que continúa suministrando una importante energía, mientras los rusos proseguían sus experiencias,-no interrumpidas-, en la bahía de Kislaya Guba, con mareas que no sobrepasan los 4 metros.

Sin embargo, todos los estudios que conocemos se refieren a proyectos confinados en radas y estuarios donde, tras construir un dique o varios diques, uno o varios depósitos se llenan o vacían al subir o bajar la marea, produciendo los caudales de entrada o salida.

Energía eléctrica. Se contempla también en algunos proyectos la posibilidad de bombear y almacenar el agua en depósitos a cotas más altas, aprovechando la energía producida en horas de mínimo consumo industrial.

Hasta el momento, que sepamos, no se ha considerado la posibilidad de encauzar mediante grandes diques, las corrientes producidas por la marea fuera de los estuarios y las radas, considerando la posibilidad de que tales diques situados estratégicamente, puedan provocar desniveles considerables del agua entre sus paramentos, aptos para producir económicamente energía eléctrica.

Esto es lo que hicimos por primera vez para el Estrecho de Gibraltar en 1979, en un boletín del IGME, y posteriormente en The First International Offshore Conf. de Edimburgo, comentándose en varias revistas. Sobre la imaginaria y utópica realización del proyecto, escribí un libro que se publicó hace varios años.

El que trata del Canal Norte del Mar de Irlanda, que estimamos realizable y de gran interés, —si los necesarios estudios previos lo demuestran—, fue el segundo, publicándose en la sección de energía de la revista Industria y Minería, dándose también a conocer en otros ambientes y medios de comunicación.

El que se refiere al Canal de La Mancha, contemporáneo del anterior, presenta muchos problemas para su realización y, además, es de menor importancia energética.

Los tres exigen grandes diques dotados de compuertas, para permitir la navegación en ambos sentidos, que interpuestos a las corrientes de marea harán aumentar su amplitud, consiguiendo una diferencia del nivel del agua entre ambos paramentos, que de ser suficiente, por la energía producida justificaría la realización de un proyecto de coste muy elevado.

Cada uno de los proyectos debe ser precedido por montajes de modelos reducidos que reproduzcan a escala todo el ámbito marino y submarino de las zonas consideradas convenientes para la construcción de cada dique, sobre los cuales puedan experimentarse con las corrientes producidas por la marea en sus distintas fases, determinando las posiciones del dique más favorables para que las diferencias de nivel del agua entre ambos paramentos sean máximas. Habría también que contemplar la influencia de la meteorología, simulando vientos, presiones etc., cosa que no hemos hecho en los sumario cálculos que nos han servido para conocer, aproximadamente, las potencias y energías puestas en juego.

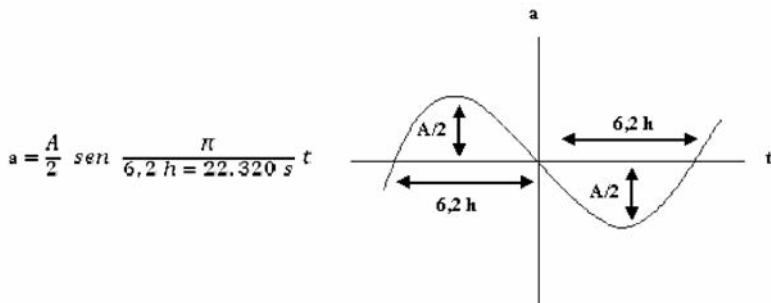
El modelo a escala puede complementarse con un modelo matemático en el que pudieran incorporarse los parámetros representativos de cuantas variables fueran apareciendo a lo largo de las experiencias.

La construcción del dique puede realizarse de varios modos. Proponemos una con módulos adosables, en los que se alojen turbinas de gran diámetro y de funcionamiento reversible, que transmitan su energía a generadores situados fuera del agua.

CÁLCULOS TEÓRICOS

Partimos de admitir las siguientes suposiciones para los tres casos:

1. Que la superficie (**S**) metros del dique a través de la cual circula el agua por las turbinas es aproximadamente, la mitad de la ocupada por él.
2. Que prescindimos en los cálculos de considerar la influencia de las variaciones climáticas que, indudablemente las habrá.
3. **Am**, media anual en metros de las máximas diferencias diarias del nivel del mar entre ambos paramentos del dique
4. Que la altura (**a**) metros, sobre o bajo el nivel medio del mar, será aproximadamente, una función sinusoidal del tiempo (**t**), medido en segundos o en horas.



Caudales

1. Caudal (**Qt**) en metros cúbicos por segundo, que circula por una sección de un metro cuadrado en el instante **t**, al que corresponde una altura de **a** metros.

$$v = 9,8 \text{ m/seg} // v_t = 3,13 // v_t = (2ga)^{1/2}$$

$$Q_t \text{ m}^3/\text{seg} = 3,13 A^{1/2} \operatorname{sen}^{1/2} \frac{\pi}{22320} t \text{ m}^3/\text{seg}$$

2. Caudal (Q_{sp}) en metros cúbicos que pasa por un metro cuadrado de sección en un semiperiodo de marea (6,2 horas o 22.320 segundos).

$$\text{Hacemos: } \frac{\pi}{22320} t = z \quad // \quad \int_0^{\pi} \text{sen}^{1/2} z dz = 2,39628$$

$$Q_{sp} m^3 = \int_0^{22320} (2gA)^{1/2} dt = A^{1/2} 53282 m^3$$

Energía

1. Potencia P_t kW de la corriente en el instante t .

$$P_t kW = \frac{1}{2} Q v_t^2 = \frac{1}{2} v_t^3$$

$|v| = |Q|$ al medir Q en m^3/seg que pasan por $1 m^2$ de sección y la velocidad V en m/seg .

Al medir el caudal en metros cúbicos por segundo y ser el que pasa por un metro cuadrado de sección, los valores de la velocidad en metros por segundo y el caudal son el mismo.

$$P_t = \frac{1}{2} (gA \text{sen} \frac{\pi}{22.320})^{3/2} kW$$

2. Energía (Esp) de la corriente que pasa por un metro cuadrado de sección durante un semiperiodo de marea (6, 2 horas o 22.630 segundos), medida en kW \cdot s y kWh.

$$Esp \text{ kW}\cdot\text{s} = \int_0^{22320} P_t dt = \frac{1}{2} (gA)^{3/2} \int_0^{22320} \text{sen}^{3/2} \frac{\pi}{22.320} t dt \text{ kW}\cdot\text{s}$$

$$\frac{\pi}{22.320} t = z \quad // \quad \int_0^{\pi} \text{sen}^{3/2} z dz = 1,746$$

$$\begin{aligned} Esp \text{ kW}\cdot\text{s} &= \frac{1}{2} 30,68 A^{3/2} \frac{22.320}{\pi} \int_0^{\pi} \text{sen}^{3/2} z dz \text{ kW}\cdot\text{s} = A^{3/2} 190.507 \\ &= A^{3/2} 52,92 \text{ kWh} \end{aligned}$$

La energía correspondiente producida en un año será la de 706 mareas, y la de ambas corrientes, el doble.

$$\text{E año} = 2 \pi Esp \approx 706 \text{ kWh} = 7,77 \pi 10^4 \pi A^{3/2} \text{ kWh}$$

ENERGÍA MAREMOTRIZ EN EL CANAL NORTE DEL MAR DE IRLANDA

El dique, —de unos 20 Km., donde el cauce tiene una sección de 2,2 Km² y los fondos que no sobrepasan los 130 m—, se podría construir entre la Isla y la península de Kintyre, estrecho donde se dan dos grandes e inversas corrientes relacionadas con la marea, que en ciertas partes sobrepasan los tres nudos. En el Mar de Irlanda las mareas son en general altas, y en algunas zonas muy altas, (canal de Bristol 19 m).

La energía y la potencia calculadas corresponden a las de la corriente de marea de dirección NO. Las que corresponden a la de dirección SE, serían aproximadamente las mismas. Habría que estudiar a fondo horarios, desfases e interferencias entre ambas.

Es evidente que los valores teóricos de **Q** y **E**, caudales y energías de las tablas que siguen, serán considerablemente disminuidos tras estudiar con rigor: el régimen más conveniente para el funcionamiento de las turbinas acorde con los tiempos de la marea, rendimientos, velocidades de salida del agua tras ceder parte de su energía cinética, etc., etc. Pero sus valores son tan importantes comparados con las potencias hoy instaladas en toda Europa (menos de 900 **GW**), que su estudio merecería realizarse.

A_m	I	II	III	IV	V	VI	VII
1	53.282	52,92	3,73 x 10 ⁴	3,73 x 10 ¹⁰	3,73 x 10 ⁴	4,258	9,325
2	75.344	149,70	1,06 x 10 ⁵	1,06 x 10 ¹¹	1,06 x 10 ⁵	12,100	26,500
3	92.282	274,50	1,94 x 10 ⁵	1,94 x 10 ¹¹	1,94 x 10 ⁵	22,146	48,500
4	106.564	423,10	2,99 x 10 ⁵	2,99 x 10 ¹¹	2,99 x 10 ⁵	34,132	74,750
5	116.991	491,30	3,47 x 10 ⁵	3,47 x 10 ¹¹	3,47 x 10 ⁵	39,618	86,750
6	130.396	777,50	5,49 x 10 ⁵	5,49 x 10 ¹¹	5,49 x 10 ⁵	62,671	136,810
7	140.950	979,50	6,91 x 10 ⁵	6,91 x 10 ¹¹	6,91 x 10 ⁵	78,880	172,750
8	150.653	1.196,40	8,44 x 10 ⁵	8,44 x 10 ¹¹	8,44 x 10 ⁵	96,347	211,000
9	159.846	1.428,00	1,01 x 10 ⁶	1,01 x 10 ¹²	1,01 x 10 ⁶	114,155	250,000
10	168.357	1.672,40	1,18 x 10 ⁶	1,18 x 10 ¹²	1,18 x 10 ⁶	134,703	295,000
11	176.699	1.929,40	1,36 x 10 ⁶	1,36 x 10 ¹²	1,36 x 10 ⁶	155,251	340,000

Explicación de la tabla para cada valor de **am**

Am: Media anual en metros, de las máximas diferencias diarias del nivel del mar en ambos paramentos del dique.

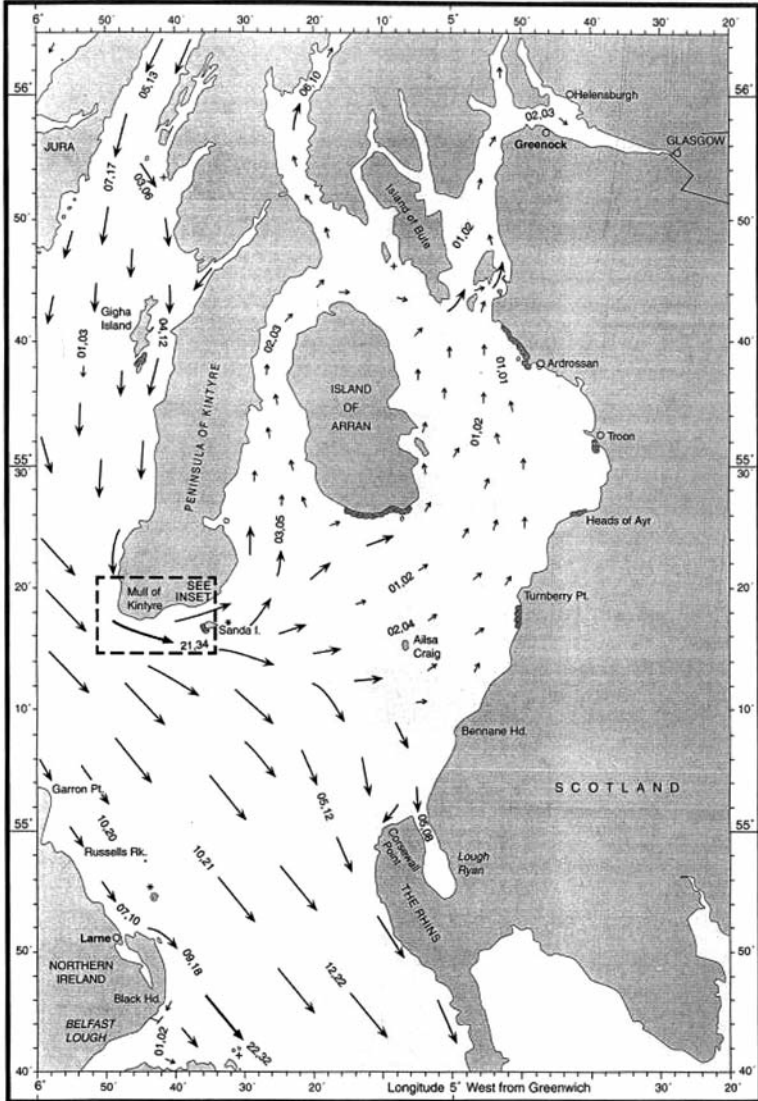
I: Caudal **Q_{sp}** en metros cúbicos por segundo que circula por 1 metro cuadrado de sección en un semiperiodo de marea, (6,2 horas = 22320 seg.)

II: Energía en **KWh** del caudal **Q_{sp}**

- III:** Id. Id. Id. Id durante un año (706 mareas)
- IV:** Id. Id. Id. Id. Que pasa por todas las turbinas del dique, (106 metros cuadrados)
- V:** Id. Id. Id. Id. Id. en **GWh**
- VI:** Potencia instalada equivalente en **GW**, trabajando las turbinas 8760 horas.
- VII:** Id. Id. Id. Id. Id. Id. 4000 horas.

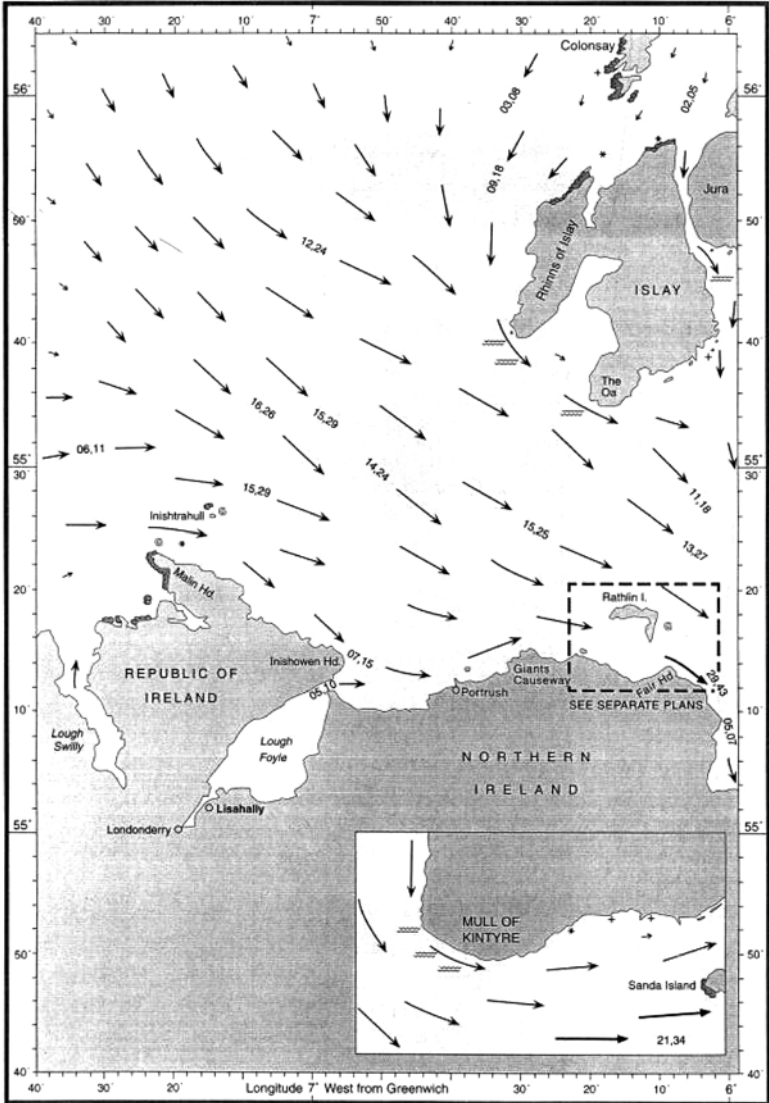
CAUTION - Due to the very strong rates of tidal streams in some of the areas covered by this Atlas, many eddies and overfalls may occur. Where possible some indication of these has been included. In many areas there is either insufficient information or the eddies are unstable.

3 BEFORE HIGH WATER DOVER
4h 20m before HW GREENOCK



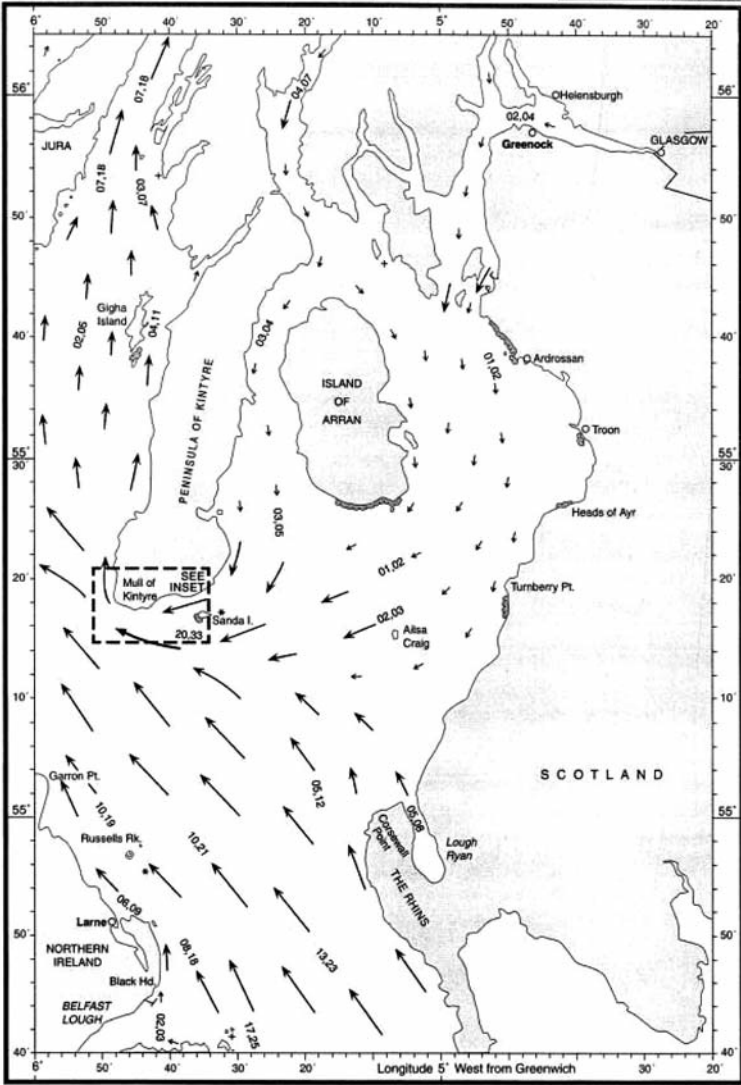
CAUTION- Due to the very strong rates of tidal streams in some of the areas covered by this Atlas, many eddies and overfalls may occur. Where possible some indication of these has been included. In many areas there is either insufficient information or the eddies are unstable.

3 BEFORE HIGH WATER DOVER
4h 20m before HW GREENOCK



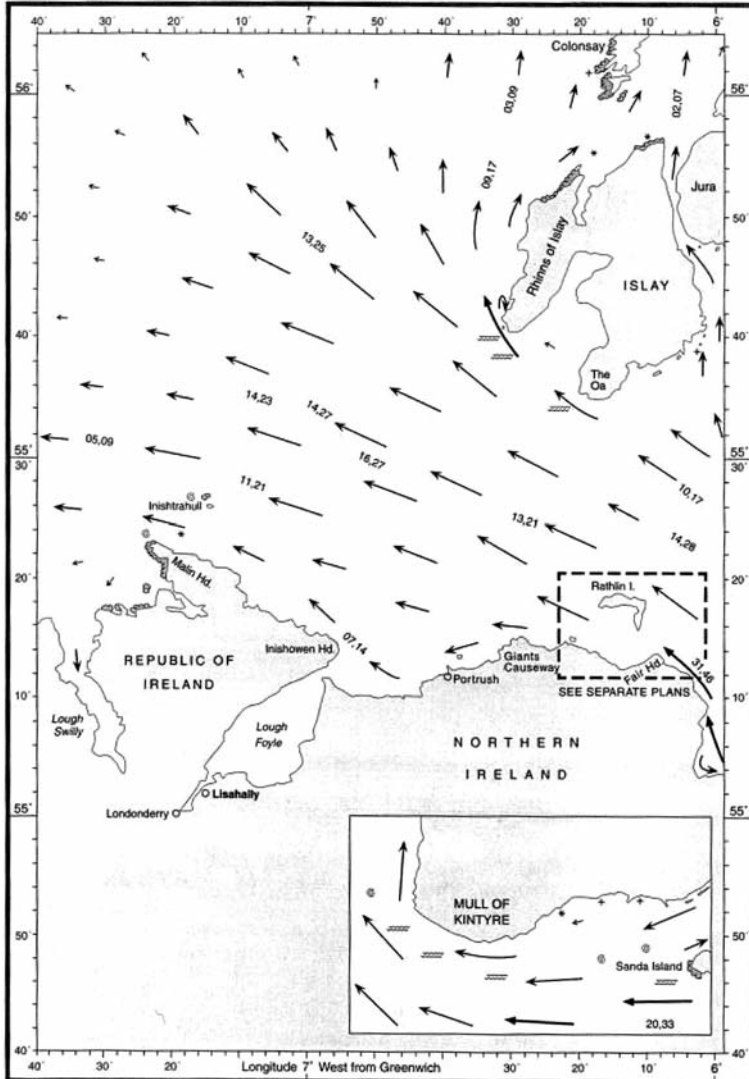
CAUTION - Due to the very strong rates of tidal streams in some of the areas covered by this Atlas, many eddies and overfalls may occur. Where possible some indication of these has been included. In many areas there is either insufficient information or the eddies are unstable.

3 AFTER HIGH WATER DOVER
1h 40m after HW GREENOCK



CAUTION- Due to the very strong rates of tidal streams in some of the areas covered by this Atlas, many eddies and overfalls may occur. Where possible some indication of these has been included. In many areas there is either insufficient information or the eddies are unstable.

3 AFTER HIGH WATER DOVER
1h 40m after HW GREENOCK



ENERGÍA MAREMOTRIZ EN EL CANAL DE LA MANCHA

El dique,—de unos 50 Km, donde la sección aproximada del cauce es de 1,4 Km², con fondos que raras veces pasan de los 40 m—, podría construirse entre la zona de Dover y el cabo Gris-Nez. Dada la escasa profundidad, la gran circulación marítima y que la sección del dique ocupada por las turbinas no sería mayor de 500000 m², a pesar del gran volumen de agua circulante, estimamos que la energía que podría obtenerse, no justificaría las obras.

Para la energía y la potencia calculadas, decimos lo mismo que dijimos para las corrientes de marea del Mar de Irlanda. En los cálculos solamente se han considerado las de una. Las de la otra serán parecidas. La misma observación en cuanto a desfases e interferencias.

A_m	I	II	III	IV	V	VI	VII
1	53.282	52,92	$3,73 \times 10^4$	$18,65 \times 10^9$	$1,86 \times 10^4$	2.123	4.655
2	75.344	149,70	$1,06 \times 10^5$	$5,30 \times 10^{10}$	$5,30 \times 10^4$	6.050	13,25
3	92.282	274,50	$1,94 \times 10^5$	$9,70 \times 10^{10}$	$9,70 \times 10^4$	11,073	24,25
4	106.564	423,10	$2,99 \times 10^5$	$1,49 \times 10^{11}$	$1,49 \times 10^5$	17,009	37,25
5	116.991	491,30	$3,47 \times 10^5$	$1,73 \times 10^{11}$	$1,73 \times 10^5$	19,748	43,25
6	130.396	777,50	$5,49 \times 10^5$	$2,79 \times 10^{11}$	$2,79 \times 10^5$	31,849	69,75
7	140.950	979,50	$6,91 \times 10^5$	$3,45 \times 10^{11}$	$3,45 \times 10^5$	39,383	86,25
8	150.653	1.196,40	$8,44 \times 10^5$	$4,22 \times 10^{11}$	$4,22 \times 10^5$	48,173	105,50
9	159.846	1.428,00	$1,01 \times 10^6$	$5,05 \times 10^{11}$	$5,05 \times 10^5$	57,648	126,25
10	168.357	1.672,40	$1,18 \times 10^6$	$5,90 \times 10^{11}$	$5,90 \times 10^5$	67,351	147,50
11	176.699	1.929,40	$1,36 \times 10^6$	$6,80 \times 10^{11}$	$6,80 \times 10^5$	77,625	170,00

Explicación de la tabla para cada valor de a_m

Am: Media anual en metros, de las máximas diferencias diarias del nivel del mar en ambos paramentos del dique.

I: Caudal Q_{sp} en metros cúbicos por segundo que circula por 1 metro cuadrado de sección en un semiperiodo de marea, (6,2 horas = 22320 seg.).

II: Energía en **KWh** del caudal Q_{sp} .

III: Id. Id. Id. Id. durante un año (706 mareas).

IV: Id. Id. Id. Id. Que pasa por todas las turbinas del dique, (106 metros cuadrados)

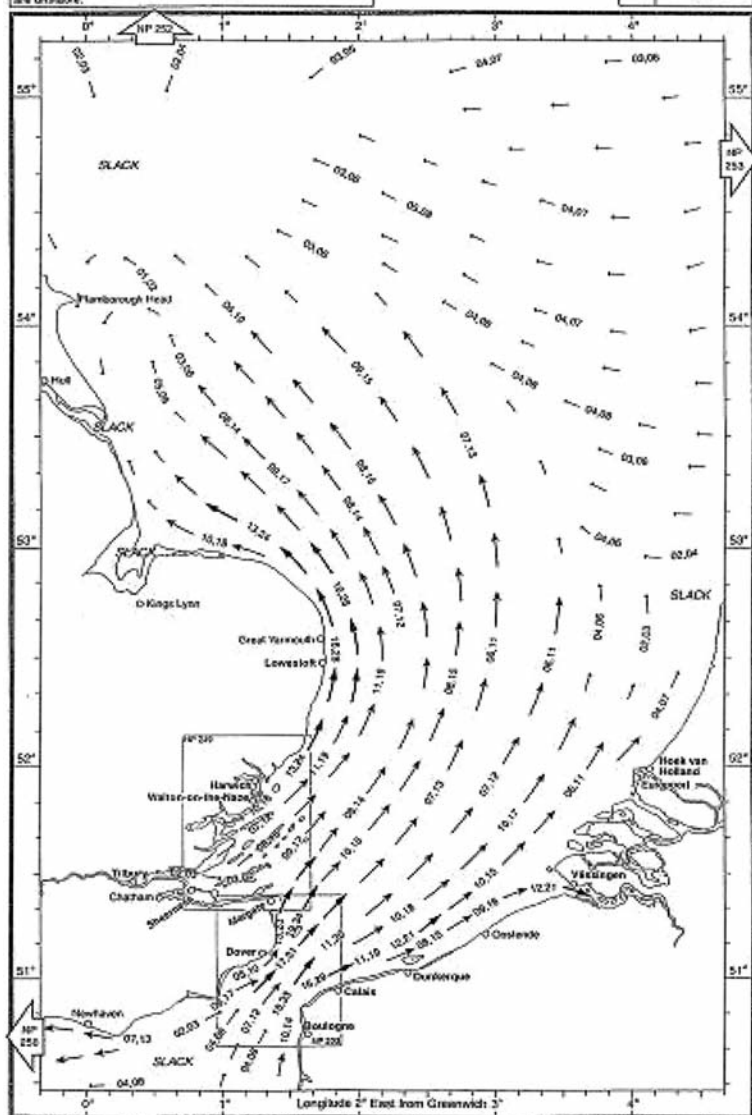
V: Id. Id. Id. Id. Id. En **GWh**.

VI: Potencia instalada equivalente en **GW**, trabajando las turbinas 8760 horas.

VII Id. Id. Id. Id. Id. Id. 4000 horas.

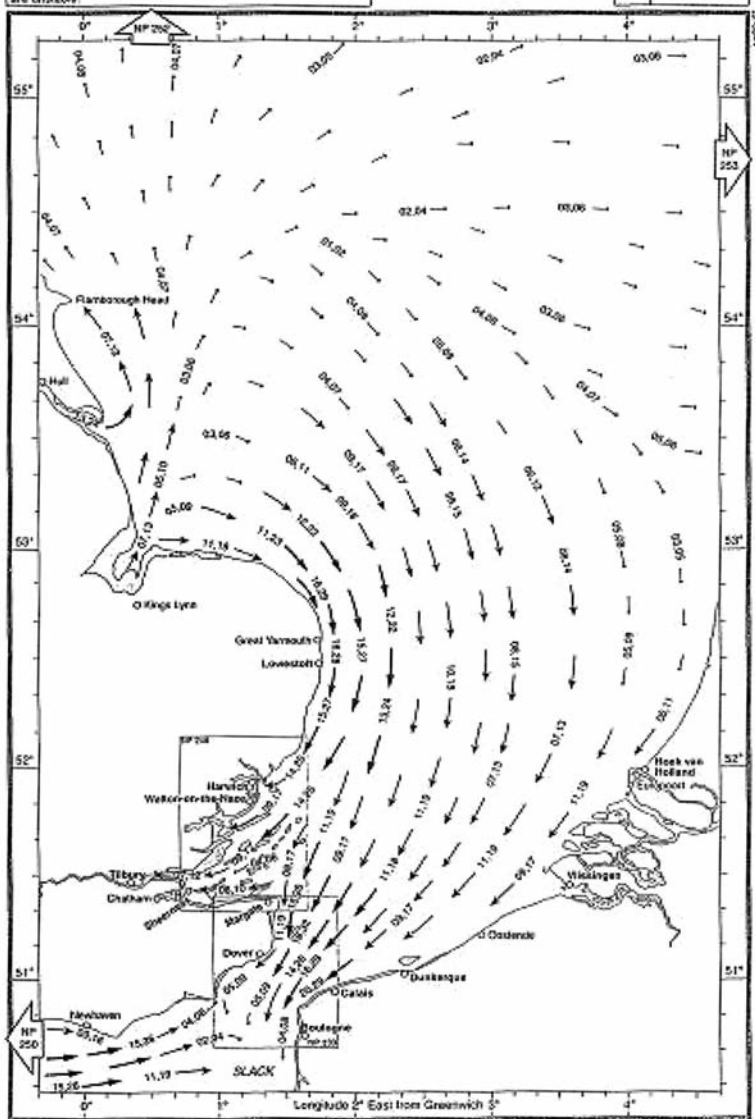
CAUTION: Due to the very strong rates of tidal streams in some of the areas covered by this Atlas, many eddies and overfalls may occur. Where possible some indication of these has been included. In many areas there is either insufficient information or the eddies are unstable.

2 AFTER
HW DOVER



CAUTION: Due to the very strong rates of tidal streams in some of the areas covered by this Atlas, many eddies and counterflows may occur. Where possible some indication of these has been included. In many areas there is either insufficient information or the eddies are unstable.

3 BEFORE HW DOVER



ENERGÍA MAREMOTRIZ EN EL ESTRECHO DE GIBRALTAR

El hecho de que en el Mediterráneo las mareas carezcan de importancia frente a las atlánticas, hace distinto el régimen de corrientes que contemplamos en los dos casos anteriores.

Por el Estrecho de Gibraltar circulan permanentemente dos corrientes todavía insuficientemente estudiadas: una superficial de agua atlántica que penetra en el Mediterráneo para compensar la que se evapora, que los ríos de su cuenca hidrográfica no restituyen; y otra profunda de agua mediterránea más fría, de mayor salinidad y por tanto más densa, que sale al Atlántico por el fondo. Un cálculo aproximado, pero poco riguroso, cifra los caudales de estas corrientes en 106 m³/seg para cada una, con un exceso de 105 m³/seg para la atlántica, que compensan la evaporación en el Mediterráneo.

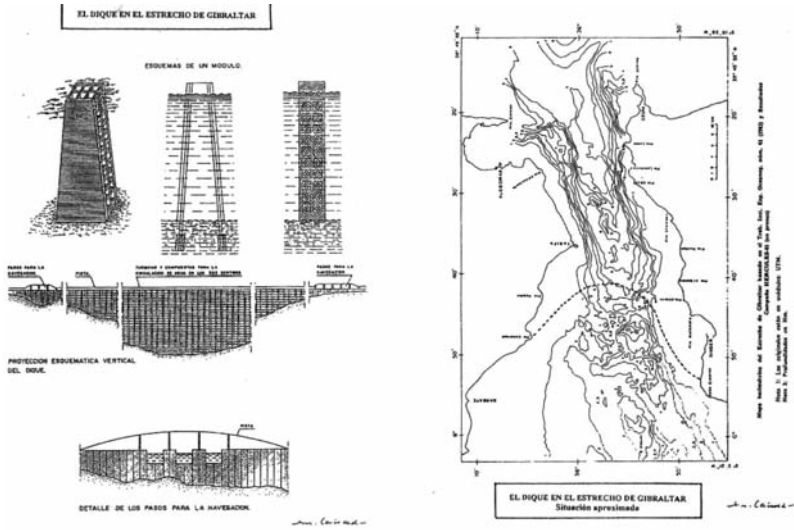
¿Cuál es el régimen de corrientes de marea entre ambos mares? No lo conocemos suficientemente, como para calcular sus posibilidades energéticas. Sí como para haber calculado que el aprovechar las energía cinéticas de ambas no es rentable. En el mejor de los casos podría obtenerse la energía consumida en España... tras unas obras de ingeniería disparatadas y carísimas.

¿Un dique que cerrara el Estrecho podría provocar un aumento de la marea atlántica suficiente para producir una energía que justificara las obras, y al mismo tiempo contribuyera a una buena ventilación del Mediterráneo? Nadie lo sabe, pero lo probable es que no.

Escribimos un libro novelado sobre una posible fuente de energía enorme e inagotable en el Estrecho –que ha sido traducido al árabe–, basándonos en una serie de suposiciones razonables, pero fruto fundamentalmente de la imaginación, que no procede por tanto exponer aquí.

No obstante, acompaña la página de esquemas y dibujos que figura en el libro citado.

El Dique en el Estrecho de Gibraltar (Una situación posible)



CONCLUSIONES

Dada la importancia de cualquier método, sistema o proyecto que suponga un aporte considerable de energía “limpia” para el consumo humano, máxime si tiene el carácter de renovable y perpetua, ESTI-MAMOS que el estudio de un proyecto para obtener energía maremotriz en el Canal Norte del Mar de Irlanda según hemos propuesto, que podría generar una cantidad de energía equivalente a toda la producida y consumida anualmente por el United Kingdom, debería ser considerado y estudiado seriamente por la Comunidad Europea.

BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA J. ET AL. (1982): Campañas geofísicas oceanográficas en E. de G. Col. Int. Madrid Nov. 1982.

BOYUM G. (1963-1967): Hydrologie and currents in the area west of the S. of G. T.R. 78. Comité Oc. OTAN.

CAÑADA, F. (1979): Las corrientes del B. de G., importante fuente de energía. F. Inst. Geol. y Min. De España T.XC-VI.

CAÑADA, F. (1979): Energía maremotriz en el E. de G., B. Inst. Geol. y Min. de España. Inf. 132-144.

CAÑADA, F. (1991): "Marine Energy in the S. of G. Some Ideas for Their Harnessing." Proc First International Offshore and Polar Eng Conf. Edinburgh, U.K. ISOPE, Vol 1.

CAÑIZO, L. (1984): Estudio de canales con dos corrientes superpuestas. R. de Obras Públicas N° 3227.

CARTER, D.B. (1956): The wáter balance of the Mediterranean. Drexel Inst. of Meach. Vol 9.3, New Jersey.

ESTERAS, M. Geología de la orilla europea del E. de G. Coloquio. Int. Madrid, Nov. 1982.

INST. ESPAÑOL DE OCEANOGRAFÍA: (1983) Campañas oceanográficas de Geología Marina en el E. de G.

KULLENBERG (1953): Les échanges d'eau á travers le Detroit de G.B. Oceanographique. Paris, vol. 7.

LACOMBE-LIZERAL (1953): Sur le régime des courents dans le D. de Gibraltar. C.R. Acad. Sc. De Paris, t. 248.

LACOMBE, H (1971): Le Detroit de Gibraltar. Oceanographie Physique. Serv. Geol. Maroc 222 bis.

TIDAL POWER. T.J. Gray and U.K. Gashus/ Plenum Press. New York-London. 1972.

TIDAL POWER AND STUARY MANAGEMENT (1972). Colstoa Papers N° 30. Ed. By R.T. Sewern.

SEVERN BARRAGE (1981): Thomas Telford.

La Houille Blanche (1973) Six ans d'exploitation de Fusine matemotrice de La Ranos. Societé Hydrotecnique de France.