

# CORRIENTES Y TRANSPORTES DE ARENAS ORIGINADOS POR EL OLEAJE

Por RAMON IRIBARREN CAVANILLES  
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

*Este importante trabajo fue publicado en los meses de mayo y junio de 1947.*

## I

Aunque este estudio tiene carácter general y puede, por lo tanto, aplicarse a cualquier caso que se presente, vamos a ocuparnos especialmente de la causa principal de los movimientos y transportes de arenas en las ensenadas por las que desembocan las rías de la región vasco-cantábrica que constituyen interesantes casos particulares y ejemplos de aplicación y comprobación de las teorías expuestas.

Dada la orientación, comprendida entre el Norte y el Noroeste, de las ensenadas y bahías de estas costas, los temporales del Noroeste acumulan las aguas en sus zonas más abiertamente expuestas a esa dirección, o sea, las zonas Este y Sureste, elevando su nivel medio en mayor proporción que en las zonas Oeste y Suroeste, menos expuestas a la acción de los citados temporales del Noroeste.

Esta diferente elevación del nivel medio, originada por el oleaje, es causa de una importante corriente que, avanzando del Este hacia el Oeste, en el fondo de estas bahías o ensenadas, arrastran las arenas en esa dirección.

Originándose esta interesante corriente como consecuencia de los temibles temporales del Cantábrico, es muy difícil estudiarla directamente, por lo que, más que para determinar sus valores utópicamente exactos, con el simple fin de formarse una idea aproximada de la importancia del fenómeno, vamos a tratar de determinar su velocidad, o mejor dicho, su límite máximo aproximado.

Las alturas representativas de los excesos de presiones sobre la atmosférica, originados por el paso de la onda, y deducidas por Saint Venant y Flamant en el artículo publicado por los *Anales des Ponts et Chaussées* de 1888, son:

$$\frac{P}{\rho \cdot g} = z_0 - \frac{g T^2}{2 L^2} \left( h^2 - r^2 \frac{r^2 L^2}{g^2 T^4} \right) + \left( r \frac{\pi \cdot L}{g T^2} - r' \right) \cos \varphi$$

que, teniendo en cuenta que el semiperíodo vale:

$$T = \sqrt{\frac{\pi}{g} \cdot L \cdot K},$$

se simplifica notablemente reduciéndose a:

$$P_v = \frac{P}{\rho g} = z - S_h + S_r + (P_r - r') \cos \varphi;$$

siendo la sobreelevación superficial:

$$S_h = \frac{\pi h^2 K}{2 L};$$

la sobreelevación ficticia:

$$S_r = \frac{\pi P_r^2 K}{2 L};$$

la altura representativa:

$$P_r = \frac{r}{K}; \quad K = \text{Cot } h \frac{\pi H}{L}$$

y la fase:

$$\varphi = \pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x_0}{L} \right),$$

si tomamos como instante inicial el del paso de la molécula superficial, cuyo centro orbitario se toma como origen de coordenadas, por el punto más alto de su trayectoria, o sea, cuando la cresta de la ola pasa por dicho origen.

Siendo la profundidad, medida desde el nivel superficial de reposo, a que en cada instante se encuentran las moléculas  $z' = z_0 - S_h - r' \cos \varphi$ , todavía la expresión anterior se simplifica aún más reduciéndose a:

$$\frac{P}{\rho g} = z' + S_r + \frac{r}{K} \cos \varphi.$$

Dejando el término casi permanente  $S_r$  para más adelante, vamos a ocuparnos ahora del término oscilante,  $\frac{r}{K} \cos \varphi$ , que, como es una altura representativa de presión, podemos denominar:

$$\frac{P'}{\rho g} = \frac{r}{K} \cos \varphi,$$

cuyos efectos transversales vamos a explicar.

No es necesario aclarar que denominamos movimientos o componentes longitudinales a los que se efectúan en el plano vertical  $xz$ , de avance de la onda, y transversales, los que se efectúan en el plano  $yz$ , también vertical y normal a aquél.

Estos planos son, respectivamente, tangentes a la normal y a la línea de onda del punto considerado que, debido a sus débiles y generalmente despreciables curvaturas, comprenden virtualmente en cada uno de ellos a la zona de estudio que, prácticamente, se reduce a las pequeñas áreas orbitarias o amplitudes de las oscilaciones.

Recordemos las ecuaciones generales del movimiento longitudinal originario:

$$\begin{cases} x = x_0 + r \sin \varphi, \\ z = z_0 - r' \cos \varphi, \end{cases}$$

y los semiejes orbitarios:

$$\begin{cases} r = h \frac{\text{Ch} \pi \frac{H-z_0}{L}}{\text{Sh} \pi \frac{H}{L}} \\ r' = h \frac{\text{Sh} \pi \frac{H-z_0}{L}}{\text{Ch} \pi \frac{H}{L}} \end{cases}$$

Siendo la fase  $\varphi = \pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x_0}{L} \right)$ , lo que pase en un punto cualquiera, en determinado momento, pasará igualmente en el origen, en otro momento también determinado, por lo que basta, para simplificar, con estudiar lo que sucede en dicho origen y sus proximidades comprendidas en su reducida órbita, en la que:

$$x_0 = 0 \quad \text{y} \quad \varphi = \frac{\pi t}{T}.$$

Siendo, como luego comprobaremos, las oscilaciones transversales de pequeñísima amplitud, podemos admitir, dentro del grado de aproximación en que nos desenvolvemos, que:

$$\frac{\partial P'}{\partial y} \approx \frac{\partial P'}{\partial y_0} = \frac{\rho g}{K} \cdot \frac{\partial r}{\partial y_0} \cos \varphi.$$

Teniendo  $r$  y  $r'$  los valores anteriormente indicados, y siendo  $z_0 = z' + S_h + r' \cos \varphi$ , inmediatamente deducimos:

$$\begin{aligned} \frac{\partial r'}{\partial y_0} &= \frac{\partial h}{\partial y_0} \times \frac{\text{Sh} \pi \frac{H-z_0}{L}}{\text{Sh} \pi \frac{H}{L}} \\ &- \frac{\pi r}{L} \left( \frac{\pi h K}{L} \cdot \frac{\partial h}{\partial y_0} + \frac{\partial r'}{\partial y_0} \cos \varphi \right) \end{aligned}$$

Siendo generalmente:

$$\frac{\partial h}{\partial y_0}, \frac{\partial r}{\partial y_0}, \frac{\partial r'}{\partial y_0}, \frac{\pi h}{L}, \frac{\pi r}{L} \text{ y } \frac{\pi r'}{L},$$

muy pequeños, despreciando los términos en sus productos, obtenemos:

$$\frac{\partial r'}{\partial y_0} = \frac{\partial h}{\partial y_0} \times \frac{\text{Sh} \pi \frac{H-z_0}{L}}{\text{Sh} \pi \frac{H}{L}}.$$

Análogamente se deduce:

$$\frac{\partial r}{\partial y_0} = \frac{\partial h}{\partial y_0} \times \frac{\text{Ch } \pi \frac{H-z_0}{L}}{\text{Sh } \pi \frac{H}{L}}$$

$$-\frac{\pi r'}{L} \left( \frac{\pi h K}{L} \frac{\partial h}{\partial y_0} + \frac{\partial y'}{\partial y_0} \cos \varphi \right) \approx$$

$$\approx \frac{\partial h}{\partial y_0} \frac{\text{Ch } \pi \frac{H-z_0}{L}}{\text{Sh } \pi \frac{H}{L}}$$

de donde se obtiene:

$$\frac{\partial P'}{\partial y_0} = \frac{\rho g}{K} \frac{\text{Ch } \pi \frac{H-z_0}{L}}{\text{Sh } \pi \frac{H}{L}} \frac{\partial h}{\partial y_0} \cos \varphi$$

La ecuación aproximada de equilibrio dinámico horizontal y transversal, referente a estas derivadas de presiones oscilantes, prácticamente constantes en cada instante, en la reducida zona abarcada por cada órbita será:

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial P'}{\partial y} = \frac{g \text{Ch } \pi \frac{H-z_0}{L}}{K \text{Sh } \pi \frac{H}{L}} \frac{dh}{dy_0} \cos \varphi = -\frac{d^2 y}{dt^2}$$

que, en origen  $x_0 = 0$ ;  $\varphi = \frac{\pi t}{T}$ , e integrada, nos da:

$$\frac{g T}{K \pi} \frac{\text{Ch } \pi \frac{H-z_0}{L}}{\text{Sh } \pi \frac{H}{L}} \frac{dh}{dy_0} \text{sen } \frac{\pi t}{T} = -\frac{dy}{dt} + C$$

Siendo las presiones originarias periódicas, de período  $2T$  y simétricas respecto al origen de coordenadas, el movimiento forzado resultante será también periódico, de período  $2T$ , y simétrico respecto a dicho origen, por lo que la constante  $C$  será nula.

Volviendo a integrar y teniendo en cuenta

que, por las razones indicadas, la constante ha de ser también nula, obtenemos:

$$\frac{dh}{dy_0} \frac{g T^2}{K \pi^2} \frac{\text{Ch } \pi \frac{H-z_0}{L}}{\text{Sh } \pi \frac{H}{L}} \cos \frac{\pi t}{T} = y$$

Si tenemos en cuenta que  $T = \sqrt{\frac{\pi}{g} L K}$ ,

llegamos a la expresión:

$$y = \frac{L}{\pi} \frac{dh}{dy_0} \frac{\text{Ch } \pi \frac{H-z_0}{L}}{\text{Sh } \pi \frac{H}{L}} \cos \frac{\pi t}{T}$$

Las ecuaciones del movimiento molecular en planta serán:

$$x = r \text{sen } \frac{\pi t}{T} = h \frac{\text{Ch } \pi \frac{H-z_0}{L}}{\text{Sh } \pi \frac{H}{L}} \text{sen } \frac{\pi t}{T}$$

$$y = \frac{L}{\pi} \frac{dh}{dy_0} \frac{\text{Ch } \pi \frac{H-z_0}{L}}{\text{Sh } \pi \frac{H}{L}} \cos \frac{\pi t}{T}$$

que es una elipse cuya relación de semiejes vale:

$$\frac{y_{\text{máx}}}{x_{\text{máx}}} = \frac{L}{\pi h} \frac{dh}{dy_0}$$

que, por ser generalmente la pendiente transversal de la cresta de la ola,  $\frac{dh}{dy_0}$ , muy pequeña,

nos indica que, lógicamente, el movimiento transversal molecular es también pequeño.

Por ejemplo, en el caso de la bahía de Fuerteventura, cuyos planos de oleaje se deducen más adelante, y que constituye un interesante y comprobable caso de aplicación de las teorías expuestas, obtenemos que, aun en la zona de mayor pendiente transversal, o sea la comprendida entre los tramos 9'' y 10'' de la ola en el fondo de la bahía, dicha relación vale:

$$\frac{4 \times 12}{\pi \times 1,25} \times \frac{2,6}{73 \times 12} = 9,036;$$

o sea, que por cada metro de recorrido longitudinal, las moléculas solamente se desvían 3 centímetros y medio, transversalmente.

Esta pequeñez de los recorridos transversales, que apenas modifican las condiciones del movimiento, justifican, y hacen muy aceptable, el procedimiento seguido.

Con mayor grado de aproximación se hubiera podido aplicar el procedimiento expuesto a cualquier otra zona de la bahía en la que, como sucede generalmente, la curvatura de las líneas de onda son más suaves, pero hemos elegido precisamente esta anómala zona para comprobar que, aun con su máxima pendiente transversal, las oscilaciones moleculares en este sentido son insignificantes.

Conocidas, con suficiente aproximación, las características de la ola en la zona que nos ocupa, o sea la situada en el límite común de los tramos 9'' y 10'', cuyas características son: semialtura,  $h = \frac{2,6}{2} = 1,30$ ; semilongitud,  $L = 4 \times 12 = 48$  m.; profundidad,  $H = 5$  m., y el semiperíodo:

$$T = \sqrt{\frac{\pi}{g} L_0} = \sqrt{\frac{\pi}{g} 145} = 6,80 \text{ s.}$$

podemos determinar cuanto de dicha ola nos interesa.

Por ejemplo, el semirrecorrido molecular horizontal, longitudinal y superficial:

$$r_{sx} = h K = h \cot h \frac{\pi H}{L} = h \cot h \frac{\pi \times 5}{48} = 409 \text{ m.};$$

el semirrecorrido transversal superficial:

$$r_{sy} = 4,09 \times 0,036 = 0,147 \text{ m.};$$

el semirrecorrido longitudinal en el fondo:

$$r_{fx} = \frac{h}{\text{Sh} \frac{\pi H}{L}} = \frac{1,30}{\text{Sh} \frac{\pi \times 45}{48}} = 3,93 \text{ m.},$$

y el transversal, aproximado, en el mismo:

$$r_{fy} = 3,93 \times 0,036 = 0,141 \text{ m.}$$

Las máximas velocidades correspondientes son:

$$v_{sx} = \frac{\pi r_{sx}}{T} = \frac{\pi \times 4,09}{6,8} = 1,89 \text{ m./s.}$$

$$v_{sy} = \frac{\pi \times 0,147}{6,8} = 0,067 \text{ m./s.};$$

$$v_{fx} = \frac{\pi r_{fx}}{T} = \frac{\pi \times 3,93}{6,8} = 1,81 \text{ m./s.};$$

$$v_{fy} = \frac{\pi \times 0,141}{6,8} = 0,06 \text{ m./s.}$$

La pequeñez de los semirrecorridos transversales en el fondo,  $r_{fy} = 0,141$  m., y de sus máximas velocidades correspondientes,  $v_{fy} = 0,06$  metros/s., nos comprueban la pequeña importancia de estas corrientes oscilantes, en lo que al transporte de arenas se refiere.

En cambio, no hay que olvidar nunca las fuertes corrientes oscilantes longitudinales,  $V_{fx} = 1,81$  m. por segundo, que se aproximan a su cuádruplo en las zonas menos abrigadas de la bahía, y que mantienen en suspensión a las arenas del fondo, por lo que éste realmente se estrema o diluye durante los fuertes temporales, permitiendo que, aun débiles corrientes permanentes, efectúen voluminosos transportes de estas arenas en agitada suspensión.

Determinadas anteriormente las ecuaciones del movimiento en planta, fácilmente podemos generalizarlas, a base de la teoría trocoidal, introduciendo incluso la ecuación correspondiente al movimiento vertical.

Obtenemos así las ecuaciones aproximadas del movimiento en tres dimensiones y en el origen de coordenadas, o mejor dicho, en el eje de las  $z$  ( $x_0 = y_0 = 0$ ), que puede coincidir, con su debido instante inicial correspondiente al paso por el de la cresta de la ola, con cualquier punto del plano de oleaje, con lo que las ecuaciones se reducen a:

$$x = r_x \cdot \text{sen} \frac{\pi t}{T} = h \frac{\text{Ch} \pi \frac{H-z_0}{L}}{\text{Sh} \pi \frac{H}{L}} \cdot \text{sen} \frac{\pi t}{T};$$

$$y = \frac{L}{\pi} \frac{dh}{dy_0} \frac{\text{Ch} \frac{H-z_0}{L}}{\text{Sh} \pi \frac{H}{L}} \cdot \cos \frac{\pi t}{T};$$

$$z = z_0 - r' \cos \frac{\pi t}{T} = z_0 - h \frac{\text{Ch} \pi \frac{H-z_0}{L}}{\text{Sh} \pi \frac{H}{L}} \cdot \cos \frac{\pi t}{T}.$$

Fácilmente se ve que las trayectorias son elipses inclinadas que se hacen verticales cuando la altura de la ola es contante,  $\frac{dh}{dy_0} = 0$ , luego  $y = 0$ .

Conocidas, mediante el correspondiente plano de oleaje y sus perfiles de onda, las características de las olas en cada punto de la bahía, inmediatamente pueden determinarse, como acabamos de indicar, cuantas características del movimiento oscilante se deseen.

Aunque es éste ya un interesante resultado, vamos a ocuparnos ahora de las corrientes transversales no oscilantes, sino prácticamente permanentes, originadas por el oleaje que, en cooperación con aquéllas, tienen decisiva influencia en el transporte de arenas.

Para ello, ocupémonos del término casi constante de la presión  $S_r$ , que hemos dejado para el final por ser, precisamente, el que más intensas corrientes transversales puede originar.

Siendo  $S_r = \frac{\pi r^2}{2LK}$ , dentro del grado de aproximación en que nos desenvolvemos, inmediatamente se obtiene:

$$\frac{\partial S_r}{\partial y} = \frac{\pi r}{LK} \cdot \frac{\partial r}{\partial y} = \frac{\pi r}{LK} \cdot \frac{\partial h}{\partial y} \cdot \frac{\text{Co} \pi \frac{H-z_0}{L}}{\text{Sh} \pi \frac{H}{L}}$$

Si denominamos ahora a la altura representativa  $\frac{P''}{\rho g} = S_r$ , obtenemos:

$$\frac{\partial P''}{\partial y} = \rho g \frac{\partial S_r}{\partial y}$$

y establecemos la ecuación de su equilibrio dinámico transversal:

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial P''}{\partial y} = g \frac{\partial S_r}{\partial y} = - \frac{d^2 y}{dt^2}$$

inmediatamente llegamos a la conclusión de que, siendo dicha derivada de  $S_r$ , con relación a  $y$ , constantemente del mismo signo que  $\frac{\partial h}{\partial y}$ ,

no alternativa, la molécula considerada experimentará siempre aceleraciones en el mismo sentido, o sea, de las zonas más batidas por el oleaje hacia las más abrigadas, por lo que, si no

a infinita, llegaría a adquirir enormes velocidades que serían frenadas intensamente por la viscosidad.

En el caso de las relativamente pequeñas velocidades, de suaves gradaciones, originadas por los movimientos oscilantes ahora estudiados, puede, como se admite generalmente, prescindirse de la acción de la viscosidad, llegando a resultados aceptablemente aproximados.

En cambio, en el caso de las grandes velocidades que adquirirían las moléculas siempre empujadas, por decirlo así, del mismo lado, el frenado producido por la viscosidad, o mejor dicho, el consumo de energía por ella originado, que llegaría a igualarse al trabajo motor de las presiones, hace que dichas moléculas adquieran un régimen similar al uniforme de los canales inclinados, y cuya fórmula de Chezy  $V = C \sqrt{Ri}$ , podemos, aproximadamente, utilizar.

En efecto: si en el canal de Chezy, de pendiente  $i = \frac{dh_1}{dy}$ , siendo  $h_1$  la profundidad de la molécula considerada, estableciésemos del mismo modo, y siendo  $\frac{P}{\rho g} = h_1$  su ecuación de equilibrio dinámico, obtendríamos:

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} = g \frac{\partial h_1}{\partial y} = - \frac{d^2 y}{dt^2}$$

que es similar a la anterior y cuyas aceleraciones son frenadas, del mismo modo, por la viscosidad, hasta llegar, en el límite, al movimiento uniforme.

Como consecuencia de esto, basta determinar, siempre a base del plano de oleaje correspondiente, la pendiente media transversal que se obtiene dividiendo la diferencia de las alturas medias,  $S_r$ , correspondientes a las zonas más o menos batidas de la bahía, por la distancia transversal que hay entre esas dos zonas, medida a lo largo de la línea de onda.

Dentro del grado de aproximación en que nos movemos, basta, para determinar dichas medias de  $S_r$ , correspondientes a cada una de las repetidas zonas, con obtener la media aritmética de la sobreelevación superficial:

$$S_{rs} = \frac{\pi \left( \frac{r_s}{K} \right)^2 K}{2L} = \frac{\pi h^2 K}{2L} = S_h$$

y de la virtual correspondiente al fondo:

$$S_{r,f} = \frac{\pi \left( \frac{r_f}{K} \right)^2 K}{2L}$$

que, por ser:

$$r_f = \frac{h}{\text{Sh} \frac{\pi H}{L}} \quad \text{y} \quad K = \text{Cot} h \frac{\pi H}{L},$$

se reduce a :

$$S_{r,f} = \frac{\pi h^2 K}{2L} \cdot \frac{1}{\text{Ch}^2 \frac{\pi H}{L}} = \frac{S_h}{\text{Ch}^2 \frac{\pi H}{L}}$$

Acentuándose las sobreelevaciones al aproximarse a la rotura, procede, aun a costa de un menor grado de aproximación y para determinar la máxima corriente transversal, o más bien su límite superior, operar en profundidades reducidas que se aproximen a la altura de la ola.

La aproximación será aún mayor en el caso de expansiones laterales producidas a mayores profundidades, y en general, en profundidades menos reducidas.

Siendo dicho supuesto canal transversal indefinido por sus lados, su radio hidráulico,  $R$ , se aproximará a su profundidad,  $H$ .

En estas condiciones, y tenida cuenta de la naturaleza arenosa del fondo, el coeficiente de rugosidad podemos, salvo en casos excepcionales, admitirlo, por comparación con el de algunos grandes ríos, como aproximado a  $C = 50$ .

En nuestro caso de Fuenterrabía podemos llegar así a conocer el orden de magnitud de la corriente transversal Este-Oeste a lo largo de la playa de Hendaya, y que ha sido indudable causa primordial de la formación y avance de su arenal.

La semialtura media de ola de su tramo más batido, ya en profundidades aproximadas a su altura, es la correspondiente al tramo  $6'' h = \frac{5,28}{2} = 2,64$  metros.

Su profundidad es  $H = 5$  m., y su semilongitud,  $L = 48$  metros.

Conocemos, pues:

$$K = \text{Cot} h \frac{\pi H}{L} = \text{Cot} h \frac{\pi \times 5}{48} = \text{Cot} h 0,33 = 3,15,$$

y:

$$\text{Ch} \frac{\pi H}{L} = 1,05.$$

Con esto podemos determinar la sobreelevación superficial:

$$S_{r'} = S_{h,6''} = \frac{\pi h^2 K}{2L} = \frac{\pi \times 2,64^2 \times 3,15}{2 \times 48} = 0,70 \text{ m.},$$

y la sobreelevación virtual en el fondo:

$$S_{f,6''} = \frac{\text{Sh} \delta''}{\text{Ch}^2 \frac{\pi H}{L}} = \frac{0,70}{1,05^2} = 0,64 \text{ m.}$$

La sobreelevación media de esta sección será:

$$\frac{0,70 + 0,64}{2} = 0,67 \text{ m.}$$

Análogamente, en el centro del tramo más abrigado,  $8''$ , de aproximadamente igual profundidad, tenemos:

$$S_{h,8''} = \frac{\pi \times 2^2 \times 3,15}{2 \times 48} = 0,41,$$

y:

$$S_{f,8''} = \frac{0,41}{1,05^2} = 0,37 \text{ m};$$

luego su sobreelevación media será:

$$\frac{0,41 + 0,37}{2} = 0,39 \text{ m.}$$

Siendo la distancia entre los dos centros de ambos tramos,  $171 \times 12 = 2052$  m., la pendiente resulta ser:

$$i = \frac{0,67 - 0,39}{2052} = 0,000135.$$

Obtenemos en definitiva la velocidad:

$$v = C \sqrt{Ri} = 50 \sqrt{5 \times 0,000135} = 1,30 \text{ m./s.}$$

Si en vez del nivel medio  $0,67 - 0,39 = 0,28$  metros, hubiéramos operado con el superficial  $0,70 - 0,41 = 0,29$ , o con el del fondo,  $0,64 - 0,37 = 0,27$ , hubiéramos obtenido sus veloci-

dades correspondientes, que, como vemos, difieren poco de la media hallada.

No es necesario repetir que en éste, como en la mayoría de los resultados ingenieriles, sólo se puede pretender una idea del orden de magnitud de los resultados obtenidos, y no hay que olvidar que la gran velocidad que acabamos de hallar constituye más bien un límite máximo, pues el llenado parcial de las zonas abrigadas, producido por la propia corriente, aminorará su desnivel medio respecto a las más batidas, disminuyendo, en consecuencia, la intensidad de dicha corriente.

El resultado verdaderamente interesante consiste en haber hecho patente que el desigual abrigo de zonas de bahías o puertos originará corrientes de las zonas menos abrigadas a las más tranquilas, transportando, en ese sentido, las arenas mantenidas en suspensión por el propio oleaje, tendiendo a socavar las primeras y a cegar las segundas, dando a sus fondos arenosos las formas aconchadas que generalmente se observan.

Si, por las menores celeridades de avance de las olas en las zonas poco profundas, tienden las líneas de onda a hacerse paralelas a las batimétricas cercanas a la costa, que es la batimétrica cero, también, por el proceso indicado, las batimétricas del fondo arenoso tienden a moverse, haciéndose paralelas a las líneas de ondas de puertos o bahías abrigadas.

Por esta razón es muy admisible la simplificación, que se confirma en el ejemplo indicado, de admitir que las profundidades  $H$ , y como consecuencia,  $L$  y  $K$ , son constantes en el sentido transversal, o sea, a lo largo de la línea de onda.

Probablemente las batimétricas de profundidades muy reducidas, no solamente tienden a hacerse paralelas a las líneas de ondas, en los fondos arenosos, retirándose en las zonas batidas y avanzando hacia el mar en las abrigadas, sino que es lógico que este avance las rebase lo suficiente para que, a lo largo de dichas líneas de ondas, se compense la menor altura de onda en las zonas abrigadas con una también menor profundidad de propagación, para conseguir así una sobreelevación comparable a la de las zonas más batidas, anulándose, una vez conseguido este resultado, las corrientes transversales transportadoras de arenas.

Esté interesantísimo resultado puede incluso

permitir, en cierto modo, determinar *a priori*, mediante algunos tanteos de supuestas futuras curvas batimétricas, y como consecuencia de sus planos de oleaje, la forma que tenderá a adoptar el fondo arenoso de un puerto o playa, como consecuencia de la ejecución de sus obras de abrigo.

Con todo lo expuesto, esperamos haber iniciado el sistemático y necesario estudio del más temible enemigo de los puertos, o sea los aterramientos, de los que hasta el presente poco o nada se sabía.

El otro enemigo, o sea el oleaje, más espectacular pero quizá menos peligroso, vamos también conociéndolo ya debidamente, mediante los planos de oleaje, para poder defendernos de él.

### Planos de oleaje de Fuenterrabía.

El primer problema que se plantea para el debido proyecto de una obra marítima es, indudablemente, el del conocimiento, cuando menos aproximado, de las características de la mayor ola de temporal que puede abordarla o, si se prefiere, de un límite superior aproximado de dichas características.

No conociéndose, como desgraciadamente sucede en la mayoría de los casos análogos, las características de la máxima ola posible por observación directa realmente digna de crédito y suficientemente amplia para tener la probabilidad de haberla observado, se recurre, como hemos indicado, a la aplicación del método de los planos de oleaje, expuesto en la REVISTA DE OBRAS PUBLICAS de 1 de enero de 1941, para obtener dicho límite superior aproximado.

Siendo indudablemente el temporal más temible el que coincide con la P. M. V. E., a este peligroso estado de marea se referirán los planos de oleaje que a continuación determinamos.

En esta región del Cantábrico solamente son realmente temibles los temporales del NO., cuya línea de agua llega hasta Groenlandia, pues a poco que role hacia el N., dicha línea de agua o "fetch" disminuyen enormemente por encontrarse con las costas inglesas o francesas, y los temporales del sector O. disminuyen también en intensidad por avanzar en dirección sensiblemente paralela a nuestras costas cantábricas, con su consiguiente consumo lateral de energía y expansión de onda.

En su consecuencia, y siendo el gran "fetch" de estos temibles temporales del NO. del orden de los 3 330 Km., obtenemos las máximas características de la ola, en grandes profundidades.

$$\text{Altura: } 2 h_2 = 1,2 \sqrt[4]{F} = 1,2 \sqrt[4]{3\,330} = 9,12 \text{ metros.}$$

$$\text{Longitud: } 2 L_0 = 3,5 (2 h_0)^2 = 3,5 \times 9,12^2 = 290 \text{ metros.}$$

En el Anejo núm. 1 que constituye el Plano General de la costa cantábrica que abarca a Fuenterrabía, o sea, en el número 910 de los de la Comisión Hidrográfica, a escala aproximada

en esta zona, de  $\frac{1}{93\,000}$ , y en profundidades superiores a  $L_0 = \frac{290}{2} = 145 \text{ m.}$ , representamos

la situación de una línea de onda del repetido temporal NO., que será la recta normal a esta dirección.

Para que sus avances sucesivos sean cómoda y prácticamente visibles a la reducida escala del plano, los representamos cada  $n = 10$  semiperíodos, o sea, en dichas grandes profundidades, cada

$$n L_0 = \frac{145 \times 1\,000 \times 10}{93\,000} = 15,6 \text{ mm. (1),}$$

que, para claridad del dibujo, tomamos también como equidistancia original entre las normales.

Con el fin de determinar los avances correspondientes a cada unidad de profundidad y a los citados 10 semiperíodos, utilizamos las columnas (4) y (3) del cuadro del citado artículo de la REVISTA DE OBRAS PUBLICAS.

Obtenemos así, que a cada profundidad expresada en metros,  $H = \frac{H}{L_0} \times L_0 = (4) \times L_0$ , obtenida simplemente multiplicando los valores de la columna (4) por  $L_0 = 145 \text{ m.}$ , le corresponde un avance  $n L = 10 L = 10 L_0 \times \frac{L}{L_0} = 10 \times L_0 \times (3)$ , o sea, a la escala del plano y en milímetros  $n L = 15,6 \times (3)$ .

Deducimos, pues, fácilmente, el siguiente cuadro de avances:

Profundidades $H$ , en metros	Avances correspondientes en milímetros
$H = (4) \times L_0 = (4) \times 145$	$n L = 10 L = 15,6 \times (3)$
144,42	15,52
137,00	15,50
130,00	15,45
126,00	15,40
118,50	15,35
110,80	15,30
102,20	15,20
94,70	14,90
83,50	14,60
75,00	14,30
66,80	13,80
58,20	13,30
49,50	12,60
40,70	11,20
33,10	10,30
24,90	8,70
16,30	6,85
9,60	4,68
4,35	2,48
1,17	1,96
0,725	1,47
0,435	0,985
0,145	0,482
0,—	0,—
0,—	0,—

Con este cuadro a la vista, cómodamente se determinan los avances correspondientes a cada profundidad y, como consecuencia, las diversas situaciones de las líneas de onda que, partiendo la recta originaria, corresponden a cada 10 semiperíodos y que representamos en el plano que nos ocupa, siguiendo el sencillo método de planos de oleaje.

En él vemos que, hasta profundidades del orden de los 65 m., no sufre la onda expansión alguna, puesto que no se acusa divergencia apreciable en las normales ni, por tanto, deformación alguna en el tramo de línea de onda que va a abordar la ensenada de Fuenterrabía, cuyo tramo de línea de onda continúa siendo rectilíneo y normal al temporal originario del NO. Esto nos indica también que, hasta estas profundidades, no experimenta la ola variación apreciable en su altura, que continuará siendo de  $2 h_0 = 9,12 \text{ m.}$

Obtenidos estos resultados, pasamos ésta, aún rectilínea, línea de onda y normal al NO., al anejo núm. 2, constituido por el plano núm. 178 A de la Comisión Hidrográfica, que, por ser su escala  $\frac{1}{12\,000}$ , permite un mayor detalle en el avance de la onda, reduciendo el número de semiperíodos, al cabo de los cuales la vamos representando a  $n = 2$ .

(1) Tanto esta medida como todas las demás, vienen aceptadas por la reducción de las reproducciones de los planos.

A dicha escala, la semilongitud de onda  $L_0 = 145$  m., viene representada por  $L_0 = \frac{145\,000}{12\,000} = 12$  mm., y  $n L_0 = 2 L_0 = 2 \times 12 = 24$  mm.

En estas combinaciones, el cuadro de avance, análogo al anterior, será:

Profundidades $H$ , en metros	Avances correspondientes, en milímetros
$H = (4) \times L_0 = (4) \times 145$	$n L = 2 L = 24 \times (3)$
144,42	23,90
137,00	23,88
130,00	23,86
126,00	23,78
118,50	23,68
110,80	23,56
102,20	23,42
94,70	23,20
83,50	23,02
75,00	22,54
66,80	22,04
58,20	21,36
49,50	20,41
40,70	19,20
33,10	17,64
24,20	15,80
16,30	13,40
9,60	10,52
4,35	7,20
1,17	3,82
0,725	3,00
0,435	2,26
0,145	1,52
0,—	0,72
0,—	0,—

Con él a la vista, determinamos fácilmente, en el citado plano de oleaje que constituye el

anejo núm. 2, las situaciones de las líneas de onda correspondientes a cada  $n = 2$  semiperíodos, o si se prefiere, la situación instantánea de todas las crestas o senos de las olas.

Además de las alturas correspondientes a la línea de onda que afecta al puerto de refugio, hemos determinado también las correspondientes a la cala Asturiaga para poder determinar la diferencia de abrigo natural entre ambas zonas, cada una de las cuales tuvo sus partidarios para el establecimiento del puerto.

A dichas profundidades, del orden de los 65 metros, corresponde un avance de 22 mm. a la escala del plano, que, a su vez, hemos tomado como equidistancia originaria de las normales en el tramo rectilíneo 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, etc.

Para aproximarnos más, tanto a la zona de la cala Asturiaga como a la del puerto de refugio, hemos trazado la línea normal que pasa tangente a los acantilados de la costa, con lo que el tramo originario 8 resulta ampliado de 22 mm. a 24,5 mm. que resulta tener el 8<sub>1</sub>.

También, para afinar mejor el irregular trazado de las líneas de onda sobre el bajo formado por la desembocadura de la ría, se ha trazado otra normal intermedia que pasa sobre dicho bajo y separa los tramos 9'' y 10''.

Determinamos así en el Anejo núm. 3 las alturas escalonadas correspondientes a la línea de onda que pasa frente a la Asturiaga, 1', 2', 3', 4', 5', 6', 7', 8', mediante el siguiente cuadro:

## ALTURAS DE LA OLA CON TEMPORAL NO.

Bahía de Fuenterrabía.

Onda frente a la cala de Asturiaga.

ONDA ORIGINARIA		ONDA EXPANSIONADA		SEMIALTURAS $L = h_0 \sqrt{\frac{A_0}{A}}$	Altura $2 L$
Tramo número	Anchura $A_0$ milímetros	Tramo número	Anchura $A$ milímetros		
1	22,00	1'	22,00	4,56 1 = 4,56	9,12
2	22,00	2'	22,00	4,56 1 = 4,56	9,12
3	22,00	3'	22,50	4,56 0,998 = 4,56 × 0,99 = 4,51	9,02
4	22,00	4'	24,75	4,56 0,89 = 4,56 × 0,94 = 4,28	8,56
5	22,00	5'	25,00	4,56 0,881 = 4,56 × 0,938 = 4,27	8,54
6	22,00	6'	26,50	4,56 0,832 = 4,56 × 0,912 = 4,16	8,32
7	22,00	7'	30,00	4,56 0,734 = 4,56 × 0,857 = 3,91	7,82
8 <sub>1</sub>	24,75	8 <sub>1</sub> '	38,00	4,56 0,65 = 4,56 × 0,81 = 3,69	7,38

Pasando, en el perfil longitudinal correspondiente, Anejo núm. 3, de la representación escalonada, así obtenida, a la continua, vemos que la altura de ola en la zona de la cala Asturiaga es todavía de una altura que se aproxima a  $2L = 7$  m., lo que, como es lógico, y era de pre-

ver, nos indica que su abrigo natural no es eficaz en dicha zona.

En cambio, en la zona del puerto de refugio, o sea, en la onda 1", 2", 3", 4", 5", 6", 7", 8", y según el siguiente cuadro:

*Onda frente al puerto de refugio.*

ONDA ORIGINARIA		ONDA EXPANSIONADA		SEMIALTURAS $L = h_0 \sqrt{\frac{A_n}{A}}$	Altura $2L$
Tramo número	Anchura $A_0$ milímetros	Tramo número	Anchura $A$ milímetros		
1	22,00	1"	22,50	$4,56 \cdot 0,979 = 4,56 \times 0,99 = 4,51$	9,02
2	22,00	2"	23,50	$4,56 \cdot 0,938 = 4,56 \times 0,97 = 4,42$	8,84
3	22,00	3"	23,50	$4,56 \cdot 0,938 = 4,56 \times 0,97 = 4,42$	8,84
4	22,00	4"	28,50	$4,56 \cdot 0,773 = 4,56 \times 0,88 = 4,01$	8,02
5	22,00	5"	29,00	$4,56 \cdot 0,76 = 4,56 \times 0,872 = 3,98$	7,96
6	22,00	6"	39,00	$4,56 \cdot 0,565 = 4,56 \times 0,75 = 3,42$	6,84
7	22,00	7"	46,00	$4,56 \cdot 0,479 = 4,56 \times 0,69 = 3,15$	6,30
8 <sub>1</sub>	24,75	8" <sub>1</sub>	73,00	$4,56 \cdot 0,339 = 4,56 \times 0,58 = 2,64$	5,28

vemos, en el perfil correspondiente de dicho Anejo número 3, que la altura de onda se reduce, aproximadamente, a  $2h = 4,00$  m., en la citada zona del puerto de refugio que, para mayor sencillez y claridad, se supone no construido en este plano de oleaje.

Lo más interesante para el presente estudio es determinar el perfil de una onda situada ya

cerca del fondo de la bahía, o sea la 6", 7", 8", 9", 10", en la que, estos dos últimos, pequeños tramos 9", 10", se han tomado en consideración, separadamente, para tener en cuenta la brusca deformación producida, en la onda, por el bajo, recorrido por la normal que los separa.

El cuadro del que se deduce el perfil de onda correspondiente, es el siguiente:

*Onda en el fondo de la bahía.*

ONDA ORIGINARIA		ONDA EXPANSIONADA		SEMIALTURAS $L = h_0 \sqrt{\frac{A_0}{A}}$	Altura $2L$
Tramo número	Anchura $A_0$ milímetros	Tramo número	Anchura $A$ milímetros		
6	22,00	6"	66,00	$4,56 \cdot 0,334 = 4,56 \times 0,58 = 2,64$	5,28
7	22,00	7"	82,00	$4,56 \cdot 0,268 = 4,56 \times 0,517 = 2,36$	4,72
8	22,00	8"	112,50	$4,56 \cdot 0,196 = 4,56 \times 0,44 = 2,00$	4,00
9	1,50	9"	15,00	$4,56 \cdot 0,10 = 4,56 \times 0,31 = 1,41$	2,82
10	1,25	10"	19,00	$4,56 \cdot 0,6557 = 4,56 \times 0,256 = 1,16$	2,32

De este interesante perfil de onda que se representa en el Anejo núm. 3, se deducen los

datos necesarios para la determinación de las corrientes objeto de este estudio.

## II

### *Régimen cíclico de la desembocadura del Bidasoa.*

El explicado régimen general de corrientes y transportes de arenas origina un régimen cíclico de la desembocadura del Bidasoa, que, también por poder repetirse en otras rías, es de interesante exposición.

El arenal de Hendaya, arrancando desde los acantilados del Este, avanza, por las causas explicadas, hacia el Oeste, obligando en esa dirección a la desembocadura del Bidasoa, tendiendo a estrangularla contra Fuenterrabía.

Se establece así el equilibrio entre el arenal que tiende a estrangular a la desembocadura en dicha dirección y las corrientes vaciantes que por algún lado han de abrirse paso.

Estas causas antagónicas fijan, en cierto modo, la desembocadura en la forma expuesta, pero, por el relativamente gran tamaño de la bahía en la que desemboca el río, se origina, aguas abajo del fijado estrechamiento, un interesante proceso cíclico, que vamos a explicar:

Las arenas de la playa de Hendaya, avanzando sobre ella de Este a Oeste, caen en la ría por el extremo Oeste del arenal, y son, en definitiva, devueltas al mar por las corrientes vaciantes de la ría, formando, al depositarse principalmente en marea alta, por pérdida de velocidad originada por el brusco aumento de sección, el peligroso bajo, o islote en bajamar, que puede verse en el Anejo núm. 2, y que adopta, temporalmente, la forma triangular, pero va-

riable, de delta, y cuyas causas y proceso de variación vamos a explicar.

Si suponemos que, como sucede durante varios años, el desagüe de la ría, doblegada por el avance de las arenas tantas veces repetido, se efectúa casi totalmente por el canal del Oeste, pegado al Cabo Higer, no existe aparentemente razón alguna para la apertura del canal del Este, que queda prácticamente cerrado durante ese largo tiempo, en cuyo transcurso parece haberse llegado a un equilibrio definitivo.

En esta situación, las arenas que caen en la ría, al ser arrastradas por las vaciantes, forman el bajo unido a la playa de Hendaya, cuya puntiaguda prolongación de su extremo constituyen.

Tenemos así un continuo aterramiento producido por arrastre de las arenas hacia el Oeste, frenado y al fin detenido por las corrientes vaciantes, cuya socavación de los extremos occidentales del arenal y del bajo detienen su avance, devolviendo las arenas al mar, desde el cual vuelven parcialmente a la playa de Hendaya, por la acción del oleaje, cerrándose su ciclo circulatorio en el sentido dextrósum.

Este aparente estado de equilibrio es lento pero continuamente alterado, pues el ininterrumpido arrastre de las arenas hacia el Oeste produce, además, a la larga, una especie de basculamiento del bajo que se eleva en su parte occidental tendiendo a cegar su desembocadura, cuyo taponamiento produce, al cabo de algunos años, la temida apertura del canal del Este, junto a dicha playa, quedando cortado el bajo

en la forma triangular de delta que puede verse en el plano del Anejo núm. 2.

A partir de esta situación el proceso de variación es ya más visible, pues el caudal que desagua por el canal del Este, debido a su forma curva y al avance de su margen derecha, empujada por el caudal de arenas que sobre ella se vierte, va desplazándose hacia el Oeste, según el sentido básico de todos estos interesantes fenómenos que explicamos, y cuya principal causa son las corrientes transversales originadas por el oleaje.

Además, el proceso es autoacelerado, por decirlo así, pues la especie de partidor constituido por el vértice del delta, dirigido hacia aguas arriba, divide al caudal vaciante en dos partes, perdiendo, por esta causa, potencia de limpia el canal del Oeste por el que, con anterioridad a la apertura del del Este, vertía todo el caudal de la ría.

Al modificarse, por estas causas, el equilibrio del canal del Oeste, ya menos enérgico, empieza fatalmente a ser dominado por las arenas, pues es preciso que, al disminuir su caudal, reduzca su anchura de equilibrio para conseguir la velocidad necesaria para el eficaz arrastre de las arenas que, por su borde del delta, tienden constantemente a invadirlo.

A medida que todo este proceso se acentúa, la punta partidor del delta se desplaza también hacia el Oeste, desviando más caudal hacia el canal del Este y menos hacia el del Oeste, que, al fin, y falto de su corriente defensiva, es invadido por las arenas del delta que lo estrangula y cierra.

Es éste quizá el período más rápido y espectacular del proceso, pues cerrado el canal del Oeste, el delta, sin nada ya que lo contenga, avanza empujado por el oleaje hacia las playas de Fuenterrabía, inundándolas y haciendo subir su nivel de arenas en más de tres metros.

Queda así esta playa, unida e invadida por el delta, en excelentes condiciones de baños durante varios años, en el transcurso de los cuales el avance, siempre hacia el Oeste por las repetidas causas, del canal del Este, ahora único, lo va llevando hasta los acantilados del cabo Higuer, transformándose en canal del Oeste, llevándose la playa y cerrándose así este interesante y largo ciclo, cuyo período es de treinta a cuarenta años.

Los canales nacen, pues, en el Este y mueren en el Oeste, según el sentido circulatorio

explicado, y que es la base fundamental de todos estos interesantes procesos.

La gran duración del ciclo que abarca más de la vida adulta media del hombre, y la falta de metódicos estudios, es indudablemente la causa de que hasta ahora se desconociese este bastante regular proceso, siendo creencia general que, en esta desembocadura, se producían caóticas y desordenadas variaciones.

Cuando hace ya algunos años, o sea el año 1942, se anunció, como consecuencia de la iniciación de estos estudios y del predicho principio de la apertura del canal del Este, el cierre del canal del Oeste, entonces único existente, el escepticismo fue general, incluso entre la gente del mar, que creía, o quería creer, que este canal había llegado a su definitivo equilibrio.

Hoy, a la vista ya del avanzado proceso de formación y desplazamiento hacia el Oeste del canal del Este, aún más avanzado que en la fecha de levantamiento del plano del Anejo número 2, o sea en noviembre de 1943, nadie puede dudar del cierre total ya efectuado del canal del Oeste, ni del cumplimiento del ciclo predicho, fehacientemente comprobado por las fotografías que se adjuntan, en las que también puede apreciarse el correlativo avance de cimentación y construcción del muro de la carretera de acceso al puerto, en relación al de las arenas.

El haber previsto, con anterioridad al año de 1942, el avance del arenal, ha permitido ordenar lógicamente la construcción del citado muro, comenzando por avanzar lo más rápidamente posible con toda su larga cimentación, efectuada directamente sobre la plataforma rocosa situada hacia el nivel de la B. M. V. E., pudiéndose únicamente trabajar en ella a la marea, en bajamares vivas, o sea solamente dos o tres horas de cada marea, durante dos o tres días de la quincena.

Para activar, en lo posible, la urgente y difícil construcción de esta cimentación, se ha trabajado tanto en la bajamar de la mañana como en la de la noche, en esos días de mareas vivas.

Se ha conseguido así ultimar toda la cimentación poco antes de su invasión por las arenas, invasión que hubiera imposibilitado o encarecido de tal modo su ejecución, que quizá hubiese obligado a paralizar los trabajos hasta el ciclo siguiente, o sea durante treinta o cuarenta años.

En cambio, una vez ejecutada toda la larga cimentación en una altura de cerca de dos metros; solamente se ha elevado el muro, en su altura total de siete metros por término medio, en algunos tramos, dejando entre ellos y en los sitios convenientes, aberturas por las que, como puede también apreciarse en las fotografías, ha irrumpido el arenal, pasando sobre la cimentación en su previsto avance y habiendo efectuado así el mar un relleno por valor superior a los dos millones de pesetas.

Aunque hay otras pruebas y mediciones más fehacientes, en relación a la comprobación del plano de oleaje que constituye el Anejo número 2, es curioso compararlo con las dos fotografías del temporal en la bahía, efectuadas después del cierre del canal del Oeste.

Conocedores del resultado de estos estudios,

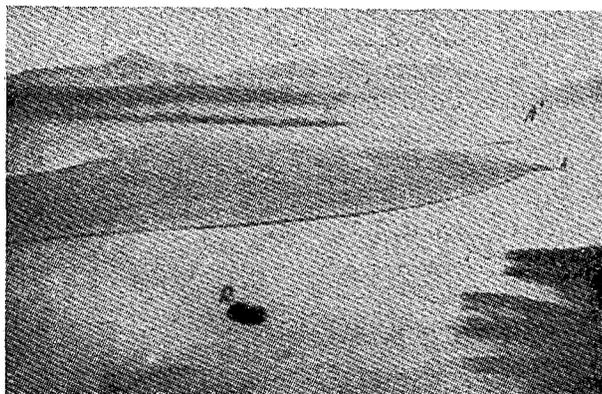
los ingenieros franceses los han aplicado al proyecto del espigón en el extremo occidental de la playa de Hendaya, consiguiéndose, nada más iniciada su construcción, el comienzo de su eficaz regeneración, pues las arenas retenidas rebasan ya los cuatro metros de altura de dicho espigón, como puede verse en la fotografía correspondiente.

Todos estos resultados son interesantes no sólo para el caso particular de Fuenterrabía y varios más de estas costas que los confirman, sino muy principalmente como comprobación del método general que, para el estudio de las corrientes y transportes de arenas originados por el oleaje, hemos iniciado y procuraremos afinar en el futuro, por ser el conocimiento de estos transportes del máximo interés para la técnica portuaria.

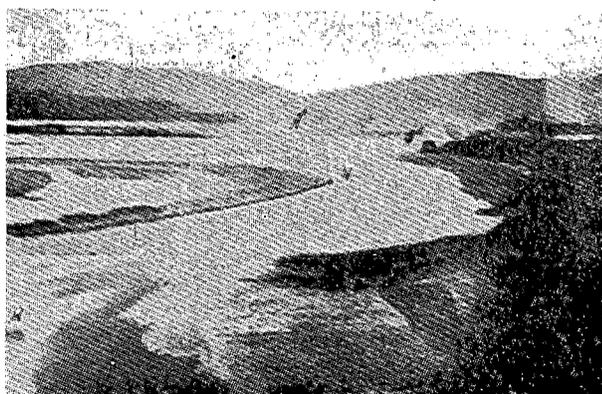
# CORRIENTES Y TRANSPORTES DE ARENA ORIGINADOS POR EL OLEAJE

COMPROBACION FOTOGRAFICA EN LA BAHIA DE FUENTERRABIA  
SERIE DE FOTOGRAFIAS TOMADAS DESDE EL MISMO PUNTO P

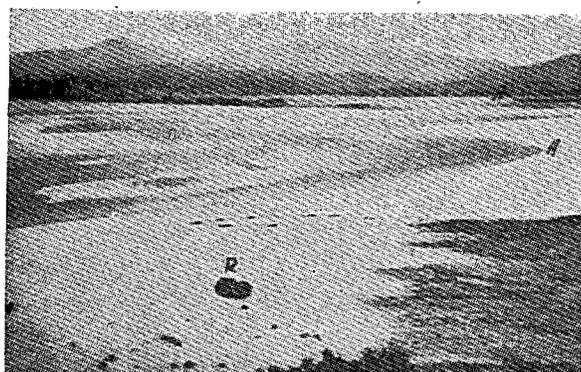
Núm. 1. - Enero 1943.



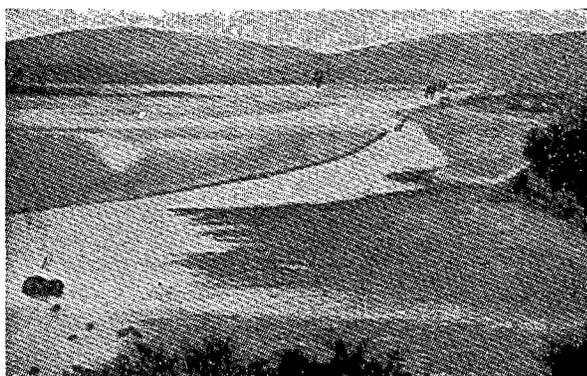
Núm. 2. - Octubre 1943.



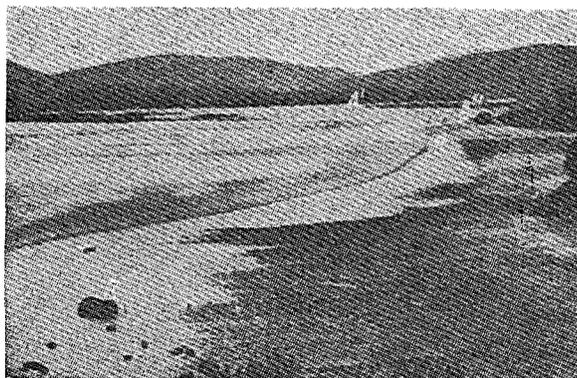
Núm. 3. - Noviembre 1943.



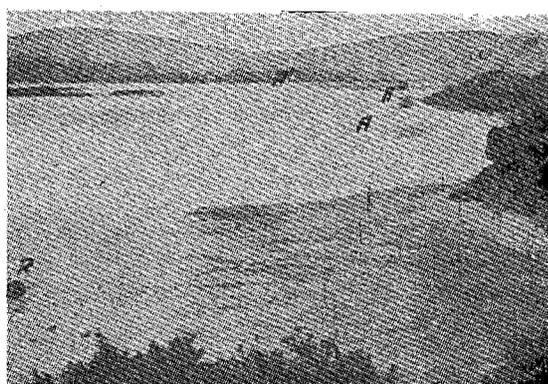
Núm. 4. - Enero 1944.



Núm. 5. - Mayo 1944.

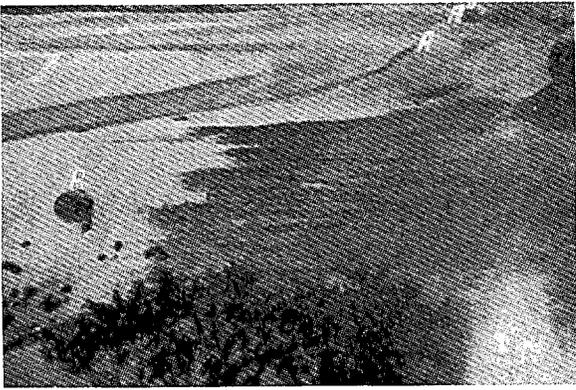


Núm. 6. - Julio 1944.

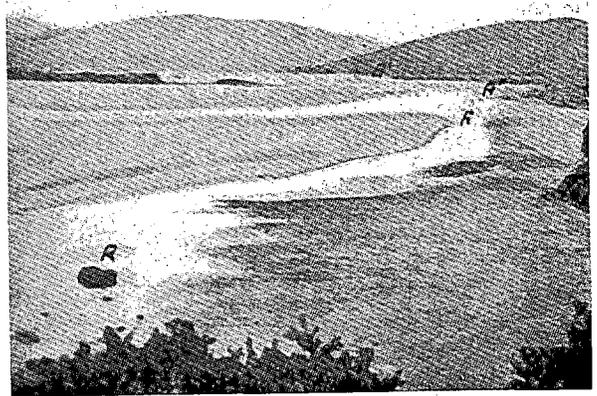


Compárese el extremo del delta A, con los puntos fijos A' y A''.  
Obsérvese también el avance del delta con respecto a la roca R.

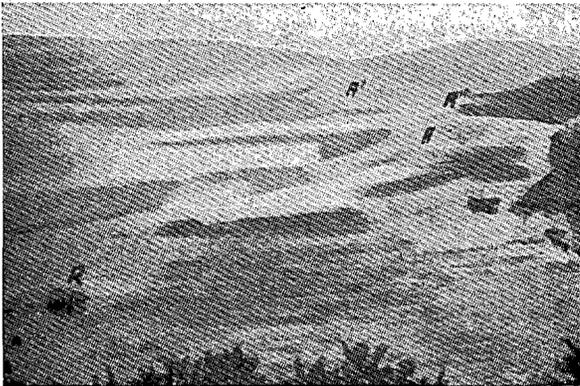
Núm. 7. - Agosto 1944.



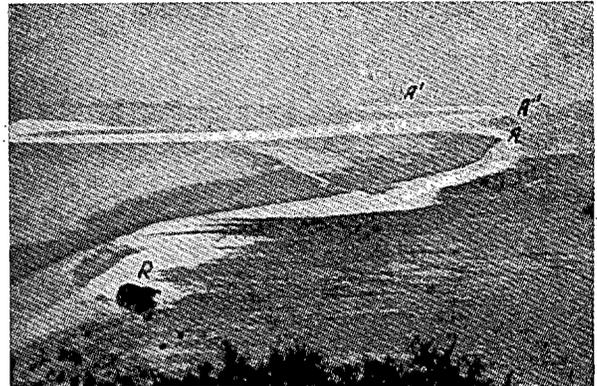
Num. 8. - Septiembre 1944.



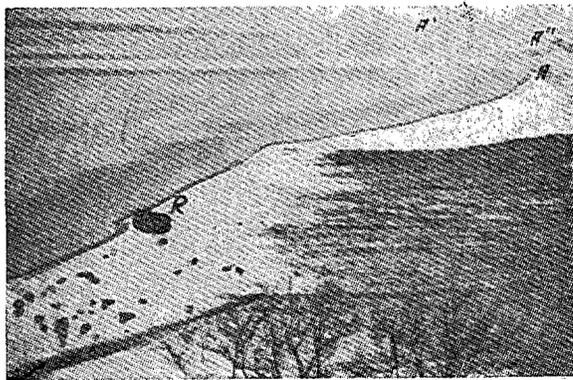
Núm. 9. - Octubre 1944.



Núm. 10. - Noviembre 1944.



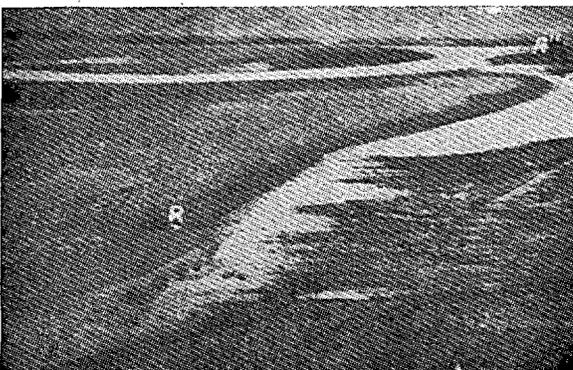
Núm. 11. - Diciembre 1944.



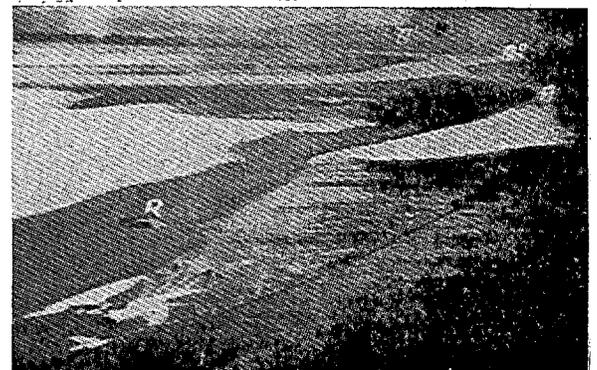
Núm. 12. - Enero 1945.



Núm. 13. - Febrero 1945.



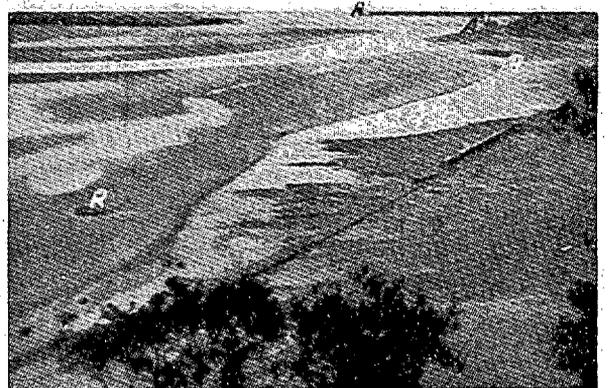
Núm. 14. - Marzo 1945.



Núm. 15. - Mayo 1945.



Núm. 16. - Junio 1945.



Núm. 17. - Septiembre 1945.



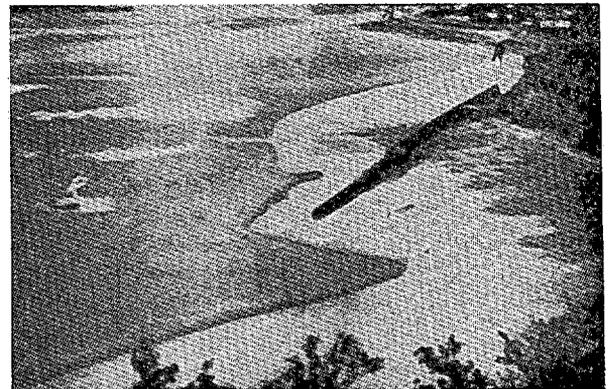
Núm. 18. - Octubre 1945.



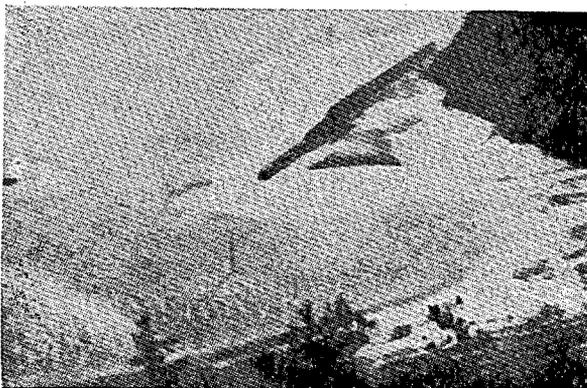
Núm. 19. - Noviembre 1945.



Núm. 20. - Diciembre 1945.



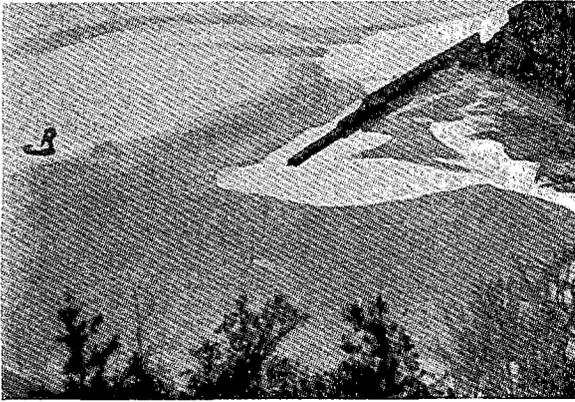
Núm. 21. - Enero 1946.



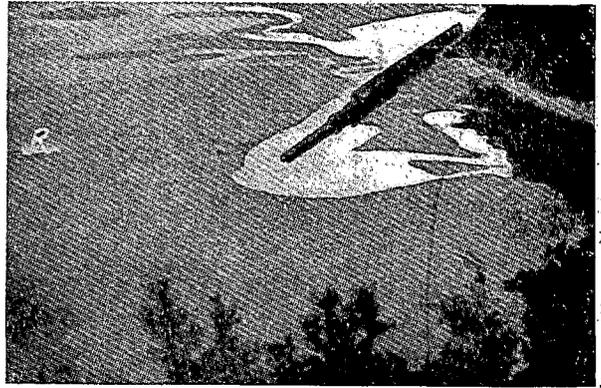
Núm. 22. - Febrero 1946.



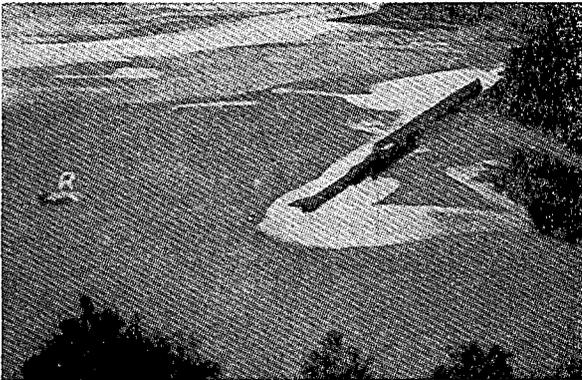
Núm. 23. - Marzo 1946.



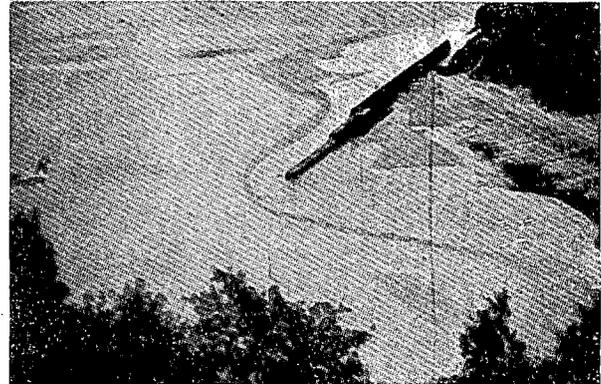
Núm. 24. - Mayo 1946.



Núm. 25. - Julio 1946.



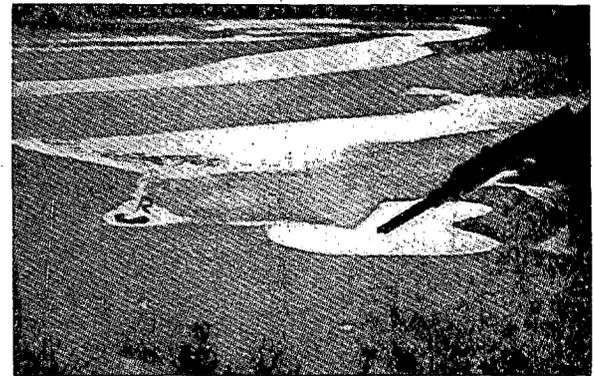
Núm. 26. - Agosto 1946.



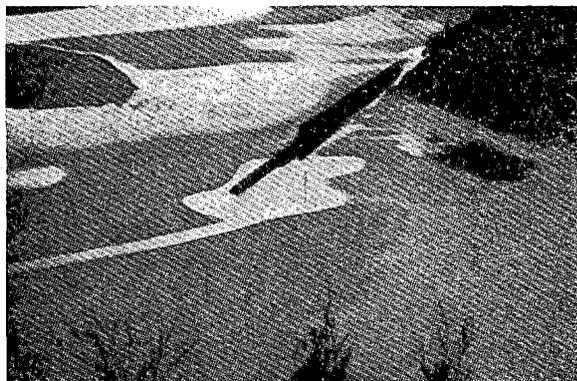
Núm. 27. - Octubre 1946.

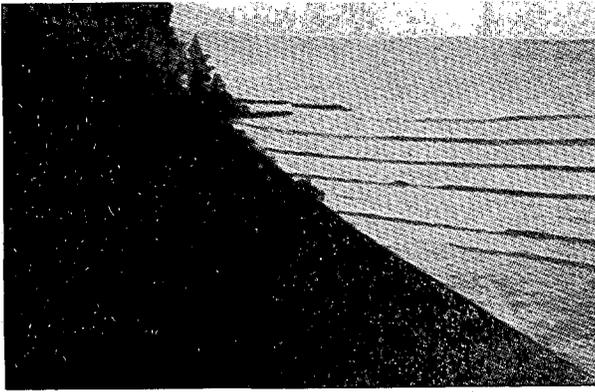


Núm. 28. - Diciembre 1946.



Núm. 29. - Marzo 1947.





Fotografías panorámicas tomadas desde **P**, del plano de oleaje (Anejo núm. 2).



Retención de arenas producida por el espigón de Hendaya.