

TRATADO  
DE LAS  
CONSTRUCCIONES EN EL MAR

ARREGLADO AL PROGRAMA

DE LA

ESCUELA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

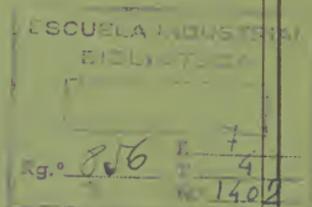
POR

**DON PEDRO PEREZ DE LA SALA**

INGENIERO JEFE Y PROFESOR DE LA MISMA ESCUELA

PARTE PRIMERA

Entrega segunda





A

69

PER

I.2

LBS

1159573

### CAPÍTULO III.

#### MAREAS EN GENERAL.

—

#### RESUMEN.

65. Descripción de la marea.—66. Relacion entre las fases de la marea y los movimientos del sol y de la luna.—67. Causas de la marea y teorías que la explican.—68. Explicacion de los fenómenos que presenta la marea dentro de la teoría estática.—69. Curvas de marea. Su aplicacion á la investigacion de las mareas diurnas.—70. Altura de la marea.—71. Hora de la marea.—72. Líneas estidales.—73. Teoría de Fitz-Roy.—74. Líneas de igual marea.—75. Altura de la marea.—76. Corrientes de marea.—77. Nivel medio.—78. Unidad y coeficiente de marea.—79. Escalas de marea y mareógrafos.

65. DESCRIPCION DE LA MAREA.—Uno de los fenómenos más notables que el mar presenta en algunas costas, es la elevacion y descenso alternativos que sufre su nivel; y no decimos en todas las costas, porque este fenómeno no es general: en algunos mares, como el Mediterráneo, el Pacifico y el Golfo de Méjico, es muy poco pronunciado; y en otros, como el mar Negro y el de Azof, no se hace sentir. En las costas europeas del Océano, es en donde aparece más marcado el movimiento, dejando en seco á ciertas horas grandes extensiones de terreno, cubiertas en otras por una capa de agua más ó ménos profunda: esta zona constituye lo que se llama *ribera* del mar.

El nivel de las aguas oscila dos veces al dia entre dos límites, que no son los mismos en todas las localidades ni para todos los dias en la misma

localidad; al límite superior ó á la elevacion máxima, se la llama *pleamar*, y al inferior ó á la máxima depresion, *bajamar*, constituyendo la marea el conjunto de las oscilaciones del nivel entre dos bajas ó dos *pleamares* consecutivas.

66. RELACION ENTRE LAS FASES DE LA MAREA Y LOS MOVIMIENTOS DEL SOL Y DE LA LUNA.—Desde muy antiguo se observó una coincidencia entre las oscilaciones de la marea y la marcha de la luna, reproduciéndose siempre cada fase del fenómeno para la misma localidad, cuando la luna ocupa próximamente igual posicion respecto del meridiano, aunque la posicion de la luna correspondiente á la misma fase varíe de una localidad á otra.

Tambien se observó que si bien la *pleamar* se verifica todos los días próximamente para la misma posicion de la luna, el nivel de la oscilacion varía con el estado de aquella; de manera que la máxima altura y el máximo descenso, se presentan en el dia de las *sizigias* ó en los inmediatos, y los menores en las *cuadraturas*; deduciéndose de esto que no sólo la luna sino el sol, influyen en la produccion del fenómeno. A las primeras se las conoce con el nombre de *mareas vivas* ó de *agua viva*, y á las segundas con el de *mareas muertas*.

Si tomamos una série de *mareas vivas* que comprenda el espacio de un año, van creciendo progresivamente hácia los equinoccios, y disminuyendo de allí hácia los solsticios; nueva confirmacion de la influencia que el movimiento de los dos astros ejerce en el ascenso y descenso del mar.

67. CAUSAS DE LA MAREA Y TEORÍAS QUE LA EXPLICAN.—La fuerza que dá origen á la marea es la atraccion ejercida por la luna y el sol sobre la tierra; desgraciadamente ninguna de las teorías hasta hoy expuestas satisface á la observacion, y con frecuencia la contradicen; y aunque hay algunas tablas calculadas con los resultados teóricos, es forzoso confesar que á lo sumo sólo son estos admisibles como explicacion general del fenómeno.

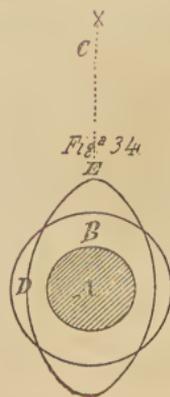
Tres teorías distintas se conocen relativas á las *mareas*. La primera es la teoría estática ó del equilibrio, que determina para cada instante la posicion de equilibrio de la masa flúida, suponiendo inmóviles los tres cuerpos, el sol, la luna y la tierra; hipótesis aceptable por la lentitud del movimiento de aquellos astros, si otras consideraciones referentes á la misma no la hiciesen poco conforme con la realidad. Aunque esta hipótesis diste más de la verdad que la segunda teoría, ó sea del movimiento, suele dar

con frecuencia resultados más conformes con la observacion. Esta teoría, desarrollada por Laplace, aunque con bastante oscuridad y algunos errores, ha resistido á los esfuerzos hechos posteriormente á su autor por otros varios, para completarla, y no ha salido del estado de oscuridad ó imperfeccion primitivos, en el que todavía se encuentra.

La tercera teoría ó la de las ondulaciones, mencionada al tratar de las olas, es la única aplicable á ciertos casos, por ejemplo, en lo que se refiere á la propagacion de la marea en el interior de las rias, canales, brazos de mar, etc.; al paso que las otras dos tienen aplicacion más propia, tratándose de mareas en mares abiertos, golfos ó bahías, de grande extension en todos sentidos, y sobre todo en alta mar. Como explicacion general y guia en las diversas fases por que pasa el fenómeno de las mareas, expon-dremos aquí brevemente los resultados de la teoría estática.

No debe extrañarse que hasta el día la teoría de las mareas no dé resultados muy de acuerdo con las observaciones; en primer lugar, se supone en ella que el flúido sometido á la atraccion del sol y de la luna cubre todo el globo uniformemente ó variando conforme á una ley, que no es ciertamente la verdadera. Se prescinde ademas del rozamiento y otras resistencias que ejercen una poderosa influencia en el fenómeno; de donde resulta, que en los trabajos científicos sobre esta materia, todos los esfuerzos de sus autores no han conseguido concuerden los resultados de la teoría con los de la observacion.

68. EXPLICACION DE LOS FENÓMENOS QUE PRESENTA LA MAREA DENTRO DE LA TEORÍA ESTÁTICA.—La explicacion de las mareas dentro de la teoría estática, es muy sencilla. Si un núcleo sólido *A* se ve rodeado por una masa flúida *B* (fig. 34), la atraccion de un astro *C*, combinada con la que sobre ella ejerce el núcleo, determinan en la parte próxima al astro y en la opuesta, una elevacion *E* y una depresion *D* en la intermedia. La elevacion y depresion la producen la diferencia entre las atracciones que el astro ejerce sobre la parte sólida y el agua; el núcleo, por estar cerca del astro, será atraido con mayor fuerza que las moléculas de agua que corresponden en la tierra á la parte más lejana, y habrá una diferencia nega-



tiva que equivale á una elevacion. El cálculo demuestra que la forma de la masa flúida en esta hipótesis y con estas restricciones, es la de un elipsoide de revolucion, cuyo eje pasa por el astro y cuyo centro es el de la tierra.

Los astros cuya accion se hace sentir, son únicamente el sol y la luna, y más esta que aquel, por su mayor proximidad, aunque la masa sea incomparablemente menor. Aplicando el cálculo, se obtiene (a) una fórmula cuyos términos se clasifican en tres grupos, cada uno de los cuales, tomado aisladamente, se puede suponer que representa una marea parcial, siendo la verdadera el resultado de la suma algébrica de las tres.

De la discusion de los términos que representan cada una de las tres mareas mencionadas, resulta; que la primera hace su período para la luna en media lunacion y para el sol en medio año; no puede, pues, considerarse como verdadera marea, porque no depende de la hora. Esta marea no se ha podido hacer sensible y es absorbida por las otras dos. Respecto de la localidad, es nula para los  $35^{\circ} 14'$  de latitud y la mayor en el ecuador.

La segunda marea depende de la hora, y su oscilacion se verifica en un dia, por lo cual se la llama *marea diurna*. Esta marea debe, segun la teoría, hacerse sentir, más en el paralelo de  $45^{\circ}$ , al paso que es nula en el polo y en el ecuador; y sin embargo, bajo estas latitudes, es en donde más marcadas son, como sucede en el estrecho de Behring, en algunas islas del archipiélago del Sur, en Filipinas, etc.; y por el contrario, no se hacen notar en nuestras costas.

Para una localidad dada, y tenidas en cuenta las posiciones relativas de los dos astros, corresponde la mayor marea cuando la luna es nueva, y la menor en la llena.

La tercera marea termina su oscilacion en medio dia, y por eso se llama *semi-diurna*: las mayores corresponden al ecuador, y desde allí disminuyen hasta el polo, donde son nulas. La observacion, sin embargo, las dá mas marcadas en nuestras latitudes, en donde no son aparentes las diurnas.

En cuanto á la posicion relativa de los astros para la misma localidad, las mareas mayores acontecen en lunas nuevas y llenas, ó en las sizigias;

(\*) Véanse los apéndices.

sucediendo las menores en las cuadraturas. Y respecto del sol, las mayores corresponden á los equinoccios, y son mayores cuando los dos astros se encuentran en el ecuador.

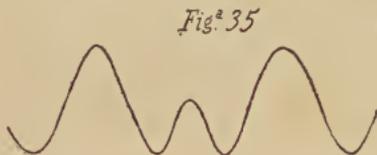
La combinacion de las mareas solares y lunares produce un retraso ó adelanto en la hora, la que deberia ser, en otro caso, rigurosamente la del paso de la luna por el meridiano; esta diferencia horaria está dada por una série, y limitandola al primer término

$$(1) \quad \text{tang } 2\psi = \frac{\text{sen. } 2 (R \odot - R \ominus)}{A + \text{cos. } 2 (R \odot - R \ominus)}$$

pudiendo despreciar los restantes si se suponen los dos astros en el ecuador, ó se prescinde de la influencia de las variaciones del movimiento en declinacion de los mismos. Esta fórmula es la dada por Bernoulli, modificándola según luego veremos.

69. CURVAS DE MAREA. SU APLICACION Á LA INVESTIGACION DE LA MAREA DIURNA. En resúmen, las oscilaciones de la marca pueden representarse, según manifiesta la fórmula á que ántes nos hemos referido, por una suma de cosenos de arcos proporcionales al tiempo; si esta suma se reduce á un solo término, la curva que expresa aquella funcion es una senoide, forma ordinaria de la *curva de la marea*. Esta es la representacion gráfica de las variaciones de nivel con relacion al tiempo trascurrido, que se toma por abscisa representado por una longitud arbitraria; las ordenadas son las alturas de la marea.

Para descubrir la influencia de la marca diurna, puede seguirse el procedimiento siguiente; debiendo advertir que en lo que se va á exponer prescindimos del caso en que es preponderante, es decir, cuando dá una sola marea en 24 horas, absorbiendo en ella la semidiurna. Si una de las pleamares semidiurnas coincide con la pleamar diurna, la siguiente coincidirá con la bajamar; de manera que construyendo las curvas de las mareas parciales, obtendremos para la resultante una curva como la de la figura 35: habrá, pues, un descenso de la una á la otra plea. Por el contrario, supongamos que la bajamar semidiurna coincide con la pleamar diurna; entónces la diferencia en las



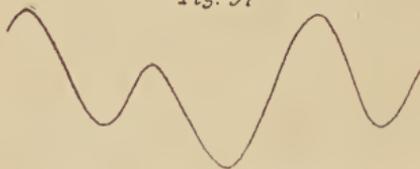
dos bajamares será la que indique la marca diurna (fig. 36). Cuando las

*Fig.<sup>a</sup> 36*



bajas y pleas diurnas coinciden con la media marca semidiurna, la curva es de la forma representada por la fig. 37. Cualquiera de estos medios, ó

*Fig.<sup>a</sup> 37*



todos reunidos, harán descubrir la influencia (si la hubiese) de la marca diurna. Es evidente que cuando no haya coincidencia perfecta con los casos estudiados, se acercará más ó ménos

á una ú otra de las formas indicadas, segun la mayor ó menor proximidad á alguno de ellos.

70. ALTURA DE LA MAREA.—En cuanto á las alturas de la marea, difieren de una manera muy notable de las dadas por la teoría en general, que son en nuestras costas (bajo cualquiera hipótesis en que se calculen) muy inferiores á la realidad. Más adelante veremos la explicacion de esta anomalía, contentándonos por ahora con hacer notar que las circunstancias supuestas para obtener las fórmulas son puramente hipotéticas y no tienen en cuenta la profundidad de la masa flúida, elemento muy importante de la altura de la marea; y en especial, la extraordinaria influencia que la configuracion de las costas ejerce sobre el desarrollo del fenómeno, segun tendremos ocasion de ver cuando consideremos á la marea como una ondulacion.

La altura de la marca depende entónces principalmente de la forma y direccion de las costas; si son tales que la onda venga á chocar contra ellas, quedará detenida en su curso, y acumulándose el agua, tomará las grandes elevaciones que se notan en algunos parajes; por eso en la costa inglesa del canal de San Jorge sube la marca extraordinariamente, mientras es apénas sensible en la opuesta de Irlanda.

71. HORA DE LA MAREA.—Circunscribiéndonos á la marea semidiurna, la hora de plea debiera ser, segun la teoría, la del paso de la luna por el meridiano con la correccion debida á la influencia solar [68] (1); pero esto no sucede. Si tomamos, por ejemplo, la marea correspondiente á la luna nueva, en cuyo día la correccion [68] (1) es nula, la hora á que deberia verificarse, la plea es la de las doce, ó sea la del paso de la luna por el meridiano en aquel día, salvo la pequeña diferencia que puede resultar de no tener lugar la conjuncion de los dos astros en aquel instante. La hora es por lo general diferente, y la de la marea en aquel día recibe el nombre de *establecimiento del puerto*; así, por ejemplo, si la marea se verifica á las 5 de la tarde el día de la sizigia, el establecimiento es de 5 horas; una vez tenido en cuenta este retraso, constante para todas las mareas, la correccion [68] (1) dá, con bastante aproximacion, el retraso variable segun las posiciones relativas del sol y de la luna.

Tambien se observa que la máxima marea no coincide en las costas de Europa con el día mismo de la sizigia, sino con el segundo ó tercero despues de ella. Newton y Bernouilli atribuyeron este retraso á la inercia de la masa del flúido arrastrado, y á los rozamientos y resistencias que encontraba en su marcha. Laplace desechó esta explicacion; pero habiéndose aplicado posteriormente á las mareas la teoría de las ondulaciones, resulta que el factor introducido en el retraso por el rozamiento es susceptible de tomar grandes valores para pequeños de éste, confirmando así las indicaciones de Newton y Bernouilli. Tomando 36 horas para este retraso en nuestras costas, y despreciando las variaciones de los movimientos en declinacion de los astros, resulta la fórmula de Bernouilli ó la (1) modificada del modo siguiente:

$$(1') \quad \tan 2 = \frac{\text{sen } 2 (R \odot - R \ominus - 20^\circ)}{A + \text{cos } 2 (R \odot - R \ominus - 20^\circ)}$$

por corresponder próximamente  $19^\circ$  (ó  $20^\circ$  en números redondos) á la diferencia de movimientos en ascension recta de los dos astros durante 36 horas: el valor de A se puede tomar como término medio igual á 2,40. Por esta fórmula se ha calculado una tabla, que dá la correccion á la hora de la marea, y cuyos resultados se refieren á la distancia média de los astros á la tierra; el verdadero valor oscila entre  $\frac{5}{6}$  para el perigeo y  $\frac{3}{4}$  para el apogeo de la luna.

Debemos, pues, tener presente, que en el establecimiento del puerto, calculado por la hora de la marea en el día de la sizigia, entra además del elemento puramente local, otro que depende de no ser la marea de la sizigia la que corresponde á este día, porque en rigor debiera tomarse la de 36 horas despues.

El retraso que corresponde al día de la sizigia, es el llamado *establecimiento ordinario*, però segun la hora á que se verifique la conjuncion de los astros, y segun se tome el paso por el meridiano superior ó inferior, así pueden resultar valores muy diferentes para el establecimiento. Por este motivo, y para no tener en cuenta el elemento que entra en él y corresponde al retraso en la marea por las resistencias que encuentra, se hace uso de otro establecimiento llamado *corregido*, que es el término medio de las horas á que se verifican las mareas durante una lunacion; de este modo desaparece la influencia del valor ( $1'$ ), destruyéndose los adelantos con los retrasos. Tomando un número mayor de lunaciones, la exactitud sería más grande.

Resulta de lo dicho, que para conocer la hora de la marea es necesario calcular: 1.º El paso de la luna por el meridiano. 2.º El adelanto ó retraso por la fórmula ( $1'$ ) [71]. 3.º Agregar el establecimiento corregido del puerto. La hora del paso de la luna por el meridiano, se calcula aproximadamente tomando 48' de retraso de un día á otro, á contar de las sizigias. En cualquier almanaque encontraremos las lunaciones, y se cuidará de contar, para mayor exactitud, las doce del día ó de la noche que estén más próximas á la hora de la sizigia; y para hallar la pleamar siguiente ó anterior, bastará añadir ó quitar 24' de la hora obtenida. La bajamar se deduce de la plea, sumándola ó restándola 6<sup>h</sup> 12', segun sea anterior ó posterior. A esta hora es necesario agregar el establecimiento del puerto, y además la correccion de la fórmula ( $1'$ ), [71] susceptible de dar valores muy considerables, que exceden de una hora en ciertas condiciones.

Si para el establecimiento se prefiere tomar la hora de la marea en el día de la sizigia, se debe tener en cuenta el elemento extraño á él, que calculado por la fórmula ( $1'$ ), [71] resulta ser de 22' 16'', y la hora de la marea será para este caso:

Hora del paso de la luna por el meridiano+establecimiento ordinario del puerto+una correccion [68] (1)—22' 16''. Si se toma el establecimiento corregido, esta última correccion debe suprimirse.

72. LÍNEAS COTIDALES.—Indicamos ántes que la marca es una ondulacion, fundándonos en las siguientes consideraciones. Los movimientos de las moléculas son muy lentos si se comparan con la velocidad de la marca, que se conoce marcando sobre una carta á intervalos iguales de tiempo (de hora en hora por ejemplo) la curva que liga los puntos de la pleamar para aquel instante; las líneas así trazadas se llaman de la misma hora de marea, ó *cotidales* (a), viniéndose por ellas en conocimiento de las modificaciones que sufre la onda en su forma y velocidad á consecuencia de las circunstancias locales. Teniendo en cuenta que en el caso de la marca la profundidad del mar es muy pequeña comparada con la amplitud de la onda, se ha querido aplicar la fórmula (22) [49], á la determinacion de la profundidad del mar en diversos puntos.

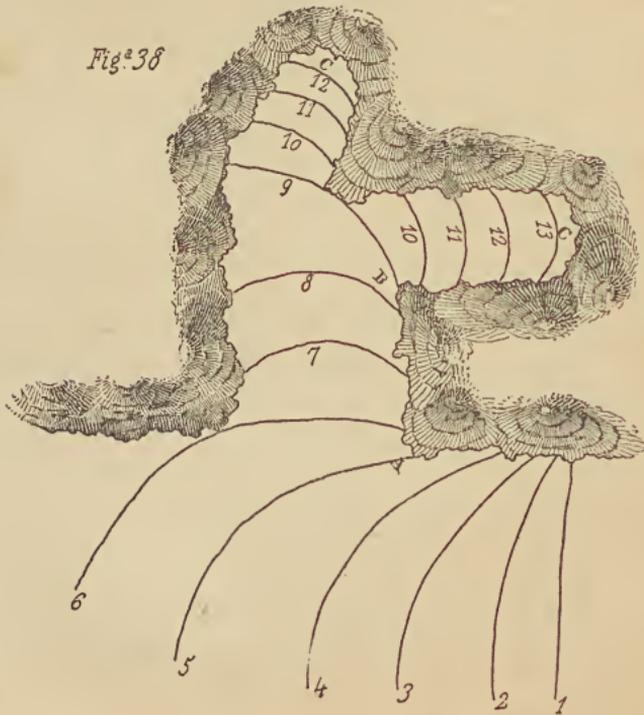
Todo lo dicho sufre, sin embargo, modificaciones; porque cuando la onda de la marea se divide en otras ramas que más tarde se encuentran; la marca es, despues de la reunion de estas ramas, el resultado de ellas; y la línea cotidal dá la resultante y no la onda ó las ondas separadas. Así, por ejemplo, la marea que llega á las cuatro de la tarde á la punta de Brest en el estrecho de la Mancha, se divide en dos; la una marcha hácia el Norte, dá vuelta á Inglaterra, vuelve hácia el Sur, y á las 11  $\frac{1}{2}$  de la mañana encuentra frente de Ostende á la onda que recorre el canal de la Mancha de Oeste á Este, y que habia llegado á las 4 de la mañana á la punta de Brest.

Preşcindiendo de las irregularidades producidas por estas bifurcaciones, la marcha de la marca desde los mares del hemisferio Sur es la siguiente: Toma su origen en el Océano Pacífico, donde la grande extension de agua se presta al desarrollo del fenómeno; sin embargo, en Tahiti es sólo de 0,30 metros; cerca de las islas de Sandwich, de 0,75; en Santa Elena, de 0,90; y en las Indias occidentales todavía no llega á 1,20 metros. Esta ondulacion marcha, siguiendo la luna, de Este á Oeste, pasa delante de la Nueva Holanda, atraviesa los diferentes estrechos del mar de Polinesia para encorvarse alrededor de la punta meridional de Africa hácia el Océano Atlántico, costeano las costas de América, de Africa y de Europa. Así 14 ó 15 horas despues, llega á la costa occidental de Inglaterra, donde se bifurca en la forma que ántes dijimos. Tambien se observa en la carta que

(a) De la palabra inglesa *tide*, marea.

damos (lám. 1.<sup>a</sup>), que la forma de las líneas cotidales no es un arco de círculo máximo trazado en la esfera, sino una línea de doble curvatura, plegándose siempre hácia la costa; es decir, hácia la parte de menor calado conforme á la fórmula [22] (49). De la misma causa depende sin duda la mayor ó menor separacion de las líneas cotidales.

En las mareas se verifica un fenómeno análogo al de las olas; así como estas aumentan progresivamente de altura por la accion constante del viento, otro tanto sucede á las mareas con la accion del sol y de la luna; la ondulacion va ganando de altura de una manera progresiva, independientemente de las alteraciones que en ellas puedan introducir las circunstancias locales. Debemos, pues, distinguir en las mareas las dos clases de ondulaciones, libre ó forzada, que mencionamos [35] al tratar de las olas. Si el sol y la luna ejerciendo su atraccion sobre un punto determinado de la masa líquida cesasen repentinamente de actuar, no por eso dejaria de tras-

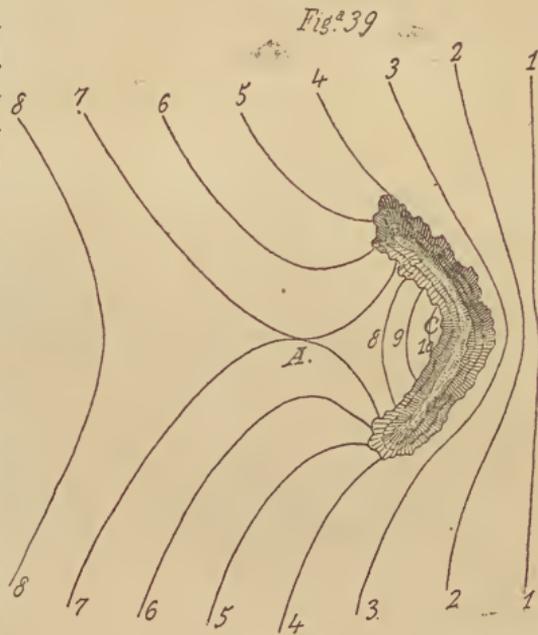


mitirse la ondulacion, aunque fuese distinta de la anterior. Esta clase de ondulacion libre tiene una grande influencia en las mareas desarrolladas en espacios limitados, como son los golfos, ríos, etc., en los cuales la masa flúida es muy pequeña para que sean sensibles sobre ella las acciones del sol y de la luna.

Aunque en el siguiente capítulo tendremos ocasion de tratar más extensamente y en lugar más oportuno las mareas que corresponden á esta segunda clase, ó sea á la simple trasmision ondulatoria, conviene iniciarla aquí para explicar al mismo tiempo algunas de las anomalías que se observan en la forma de las líneas cotidales. Supongamos (fig. 38), la onda de la marea avanzando de Este á Oeste con el movimiento aparente de la luna, y que en el punto *A* se abra un canal ó una bahía que comunique con el mar. Al llegar la onda al punto *A*, se trasmitirá hácia el interior retrocediendo hasta tomar en ocasiones una direccion contraria á la de la onda principal. Los puntos *A* y *B* en que las ondas se separan, los llamó Whewell puntos de *divergencia*. Por el contrario, el punto *C* hácia el cual se dirigen

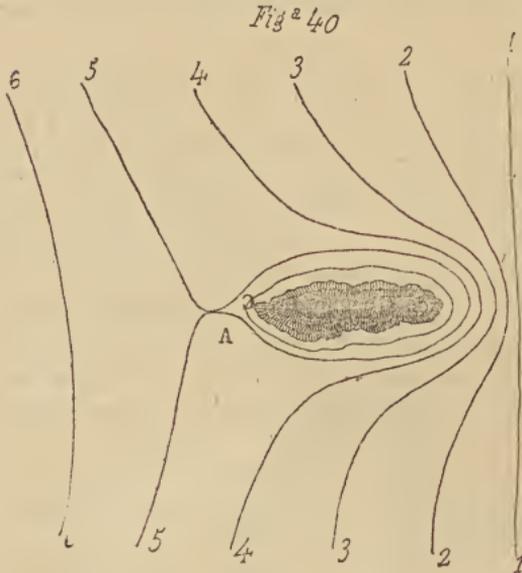
las ramas de la onda que caminan á lo largo de las costas, recibe el nombre de punto de *convergencia*.

En el encuentro de la onda de la marea con las costas, suelen presentarse con frecuencia estos puntos de convergencia. Las figuras 38 y 39 indican en *A* puntos de divergencia, y otros de convergencia en *C*. Si el mar estuviese sem-



brado de islas ó bajos que interceptasen la marcha de la marca, la forma de las líneas cotidales sería parecida á la de la (fig. 40).

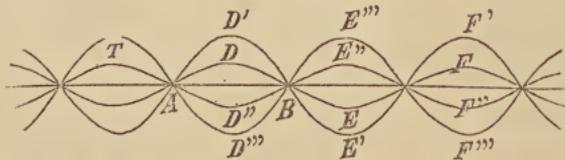
A veces suelen cruzarse dos ondas de marca, dando como resultado una



compuesta de las dos, sumándose algebricamente; esta interferencia de las ondulaciones puede producir puntos sin marca. Supongamos, por ejemplo, dos ondas de igual altura marchando en sentido contrario por un canal; en los puntos adonde una de ellas llegue seis horas despues que la otra, las dos ondas se anularán y no

habrá marca [49]. Entre cada dos de estos puntos inmediatos, la marea se verifica á la misma hora para todos; pero variando de seis en seis horas para las dos secciones contiguas, de tal manera que será bajamar en una de ellas al mismo tiempo que plea en la otra, siendo entónces el aspecto de la marea, el de una onda que oscila alrededor de los puntos *A B y C* (fig. 41); tomando las posiciones *A D B E C F*, *A D' B E' C F'*.

*Fig.<sup>a</sup> 41.*



De donde resulta que, como en todo el espacio comprendido entre dos de los puntos sin marca, la pleamar sucede á la misma hora; y ya no son

líneas sino superficies cotidales las que corresponden en este caso. Más tarde tendremos ocasion de citar algunos ejemplos.

73. TEORÍA DE FITZ-ROY.—Fitz-Roy ha criticado la teoría de Whewell, fundándose en hechos relativos á la manera de trasmitirse las mareas en el Atlántico y en el Pacífico. Las observaciones en aquellos mares, no son bastante numerosas, ni merecen gran confianza para impugnar ó apoyar una teoría, y aunque fuesen exactas, las objeciones pueden resolverse dentro de la teoría de Whewell. Fitz-Roy supone mareas parciales é independientes en cada una de las grandes cuencas ó secciones del mar; el sol y la luna determinan elevaciones en cada uno de los mares sobre que pasan. Hasta aquí en nada difiere esta teoría de la de las ondulaciones; efectivamente, la forma teórica de un elipsoide deducida, en la hipótesis de una capa uniforme de agua recubriendo un núcleo esférico y sólido, se modifica en el caso de un fondo desigual y de masas de agua cubriendo parcialmente la tierra. El punto de partida es, pues, para ambas teorías, el impulso inicial dado á la masa flúida por las atracciones del sol y de la luna. La elevacion formada avanza, segun Fitz-Roy, con el astro que la dá origen, hasta que encuentra una costa que la detiene en su marcha. Avanzando más el astro, la masa es abandonada por la fuerza que la retiene, y retrocede en virtud del impulso adquirido, para recobrar su nivel, como el agua que oscila en un vaso que se inclina; reproduciéndose estas oscilaciones ya en uno ya en otro sentido. Pero esto no era suficiente para explicar las anomalías que se observan en la marea, y aquel marino admite oscilaciones derivadas, que se transmiten en todas direcciones.

Prescindiremos de un error que más bien debe atribuirse á una falta de lenguaje; la fuerza del astro que dá origen á la marea, no cesa cuando el astro ha pasado del meridiano en que la marea se detiene; la atraccion sigue ejerciéndose al traves de la masa terrestre. Su direccion é intensidad, varian de una manera continua, é irá tomando nuevas posiciones de equilibrio conforme á la teoría estática, aunque bajo una forma más irregular que la deducida [68]. La teoría de Fitz-Roy, interpretada de este modo, vendria á ser la teoría estática limitada á una zona parcial de la superficie terrestre, si bien esta interpretacion destruye por completo la analogía que Fitz-Roy establece entre la marea y las oscilaciones del agua dentro de un vaso. Si se admitiese la exactitud de la comparacion, resultan graves objeciones contra esta teoría; la atraccion del

sol y de la luna actuando sobre la masa oscilante cada vez que pasan sobre ella, la imprimen (como sucede en el vaso cada vez que se agita) movimientos más y más violentos, y la marea aumentaría progresivamente de intensidad. Además, en tal hipótesis, las oscilaciones serían independientes del movimiento de los dos astros, que sólo intervendrían en el fenómeno de una manera indirecta, siendo entónces la magnitud de la cuenca el elemento influyente.

Esta teoría tampoco explica el retraso de 36 horas que se observa en nuestras costas en la trasmisión de la marea, y en algunos puntos hasta de dos y tres días; la trasmisión más rápida de la marea cuando la profundidad crece; la inflexión de las curvas cotidales con relación á la forma y alteraciones del fondo. Además, la marcha de las mareas en el Océano Atlántico y en el mar de la India, sólo puede explicarla Fitz Roy recurriendo á oscilaciones derivadas, lo mismo que en la teoría de Wherwell explicamos sus anomalías [72] por la interferencia de varias ondas y por las modificaciones de la principal.

No es posible concebir una masa flúida separada de su posición de equilibrio, que no trasmita ondulaciones al través de ella: la atracción del sol y de la luna determina elevaciones aisladas en cada uno de los mares, que á su vez desarrollan ondas parciales, influyéndose mutuamente y con más ó ménos energía segun las circunstancias; siendo en definitiva la marea una resultante de todas estas ondas parciales, que dan origen á combinaciones muy variadas y que difieren en cada punto.

74. LÍNEAS DE IGUAL MAREA.—También se suelen trazar en las cartas las líneas de igual altura de marea, que generalmente se refieren á un día determinado del año, ordinariamente el de las sizigias equinocciales. Unidas estas líneas á las cotidales, se obtienen las modificaciones que el perfil de la onda sufre, así como ántes deducíamos las alteraciones en la planta.

75. ALTURA DE LA MAREA.—Las alturas de la marea son muy diversas segun las localidades; cuando los mares son cerrados y tienen pequeña extensión, apenas se hacen sentir en ellos las mareas; en el Mediterráneo no exceden ordinariamente de 0,30 metros, aunque algunas en circunstancias favorables que luego indicaremos, suelen traspasar ese límite, como en Venecia, donde á veces alcanzan la altura de metro y medio. En el Océano es donde las mareas se hacen más patentes; su altura varía entre límites muy extensos; desde ser casi insensible en algunos puntos de los

mares del Sur, origen de la ondulacion, en el golfo de Méjico (semejante á un mar cerrado) y en otros, hasta alcanzar la altura de 20 metros y áun de 30 que recorre en la bahía de Fundy.

Otras causas accidentales influyen en la elevacion de las mareas; así, una variacion de un milímetro en el barómetro, produce una en sentido inverso de 15 milímetros en la altura del mar, suponiendo la presion ordinaria de 0,760.

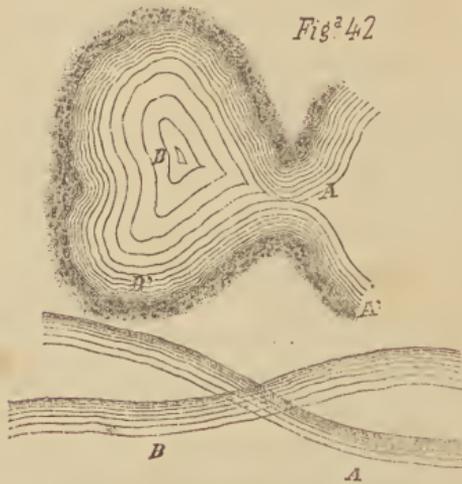
Tambien los vientos ocasionan accidentalmente en la altura ordinaria de las mareas, aumentos que reciben el nombre de *suplementos de marea*; por ejemplo, se observa en la costa cantábrica, que con los vendavales la marea baja más, al paso que sube con los nordestes.

76. CORRIENTES DE MAREA.—Las corrientes de marea son originadas por los movimientos de las moléculas que forman la ondulacion; generalmente no cambian de direccion en el momento de la plea y bajamar, sino en los puntos medios en donde la velocidad pasa por cero [33 y 49]. Es, pues, indispensable no confundir, como se hace con frecuencia áun por los marinos, la subida ó descenso de la marea con las corrientes de *flujo* y *reflujo*. Los franceses distinguen estas corrientes por los nombres de *flot* y *jussant* (aunque no siempre suelen emplearlas en su verdadera acepcion). Nosotros usamos para la subida indiferentemente las voces de *flujo*, *flote* ó *hinchente*; y para el descenso las de *reflujo*, *yusente*, *vaciante*, etc., sin que se ocurra hacer la distincion conveniente entre dos cosas esencialmente diferentes, como son el subir ó bajar el nivel del mar y la corriente que se establece en uno ú otro sentido. Los marinos españoles de los siglos XVI y XVII, más avisados que nosotros, conocieron esta diferencia entre las corrientes de marea y las alteraciones del nivel del agua, designando en sus escritos las estoas, con los nombres respectivos de *pleamar de corriente* y *pleamar de altura*.

Las corrientes de la marea insensibles en alta mar, pueden llegar á ser muy rápidas cerca de las costas: cuando estas son bajas y la carrera de la marea muy extensa, la corriente ya no es (al ménos en su mayor parte) debida al movimiento oscilatorio de las moléculas, sino al desnivel producido en el agua por la rápida subida; la oscilacion se perturba, y en vez de ella se produce una corriente.

Aunque solo suceda teóricamente, la inversion en las corrientes corresponde á la média marea; el rozamiento, la proximidad de la costa y otras

causas, de que más adelante nos ocuparemos, hacen que aquella fase (de la inversion de las corrientes) se acerque á la plea y bajamar y hasta que casi coincida con ellas en algunas ocasiones. Este fenómeno de la no coincidencia del cambio de corrientes con la plea y bajamar, ocurre á veces sin que la ondulacion exista, ó sin que deba atribuirse á ella principalmente. Tratándose, por ejemplo (fig. 42) de una bahía con una boca estrecha, en donde no puede penetrar la ondulacion de la marea sino muy



débilmente y con dificultad, situada en una costa de gran carrera de marea, la elevacion del agua en el exterior llegará á su máxima altura, sin que por eso en el interior de la bahía haya cesado de subir el nivel, resultando una pendiente y una corriente en el sentido de A á B. Aunque la marea descienda en el exterior, el agua continuará corriendo há-

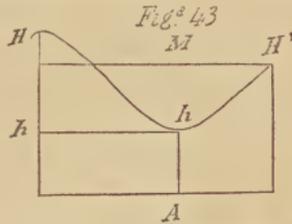
cia el interior, y subiendo allí el nivel sin que la corriente invierta hasta que la pendiente se determine en sentido contrario. Otro tanto sucede en las rias, aunque no deba en ellas atribuirse exclusivamente el fenómeno á la misma causa. Así sucede en Portland con la corriente que lleva su nombre.

77. NIVEL MEDIO.—Se toma como nivel medio del mar, el término medio entre una baja y una plea consecutivas; ó mejor, la línea média que resultaria del término medio de todos los puntos obtenidos por este procedimiento. Se ha criticado el que para nivel medio del mar se tome la mitad de la oscilacion de una marea, cuando en rigor debiera ser las dos terceras partes; puesto que segun la teoría estática de las mareas, el ascenso del agua es doble de lo que baja respecto del nivel del líquido en reposo. Prescindiendo de la inseguridad que ofrecen los resultados de la teoría, la mayor parte de la altura de la marea es debida, segun hemos ya dicho

y más tarde veremos, no á la accion directa del sol y de la luna, sino á las condiciones locales. Además, áun dentro de la teoría estática, si sumamos todas las alturas por que pasa la marea, el término medio resulta ser tambien la mitad de la oscilacion.

El nivel medio del mar, al cual se refieren las marcas y la mayor parte de las cotas en los proyectos y nivelaciones, se determina de la siguiente manera: Sean  $H$  y  $H'$  (fig. 43) dos pleamares que comprenden una baja mar intermedia  $h$ ;  $AM = \frac{1}{2} (H + H')$ , será el nivel medio de las pleamares correspondientes á la bajamar intermedia; luego su elevacion estará dada por

$$(2) \quad \frac{1}{2} (AM+h) = \frac{1}{4} (H+H'+2h)$$



Si se quiere obtener un nivel medio más exacto, conviene tomar un número mayor de pleas y de bajamares. Siendo  $\Sigma(H)$  la suma de las primeras en número de  $n$ ; y  $\Sigma(h)$  la de las segundas en número de  $n'$ ; el nivel medio estará dado por

$$(2') \quad \frac{1}{2} \left( \frac{1}{n} \Sigma(H) + \frac{1}{n'} \Sigma(h) \right)$$

Pero si se pretende alcanzar un rigor más completo, convendrá averiguar el área de la curva de la marea, y de ella deducir el nivel medio, es decir que

$$(2'') \quad \text{nivel medio} = \frac{1}{T} \int_0^T y dt$$

siendo  $T$  el tiempo total de la observacion é  $y$  la ordenada de la curva de marea.

78. UNIDAD Y COEFICIENTE DE MAREA.—De todo lo dicho se viene á deducir cuán irregular se presenta el fenómeno de la marea, y cuán poco es permitido hasta el presente confiar en la teoría para resolver los problemas que á él se refieren. Para medir las mareas en cada localidad, se adopta por unidad el término medio de todas las mareas de agua viva en uno ó varios años, y á él se refiere el resto las mareas. Multiplicándola por el número correspondiente á cada dia, llamado *coeficiente de marea*, que se calcula de antemano, (en general menor que la unidad,

pero para ciertas mareas mayor), tendremos la altura de la marea en un dia cualquiera.

79. ESCALAS DE MAREA Y MAREÓGRAFOS.—Convieni, con el fin de completar la teoría de las mareas, continuar recogiendo datos, y para ello se han establecido en muchos puntos de las costas observatorios especiales con objeto de conocer en funcion del tiempo, las alteraciones que sufre el nivel del mar. A fin de tener una representacion gráfica de la ley de variacion, se construyen las curvas que llamamos [69] de marea.

Las mareas se registran de dos modos; por medio de escalas ó reglas divididas en metros y decímetros, cuyo cero corresponde al fondo del canal ó entrada del puerto. Estas escalas se fijan en los muros ó muelles del puerto, y dan en cada instante la altura ó variaciones de la marea.

Pero es muy molesto y á veces impracticable el procedimiento anterior, siendo preferible disponer un aparato que por sí y sin intervencion de nadie registre las curvas de marea; éste aparato recibe el nombre de *mareógrafo*. Se compone de cuatro partes. 1.<sup>a</sup> De un flotador, que por su ascenso ó descenso indica las oscilaciones del nivel. 2.<sup>a</sup> De una superficie (generalmente cilíndrica), sobre la cual se escriben dichas indicaciones. 3.<sup>a</sup> Del medio de trasmision de las indicaciones del flotador al receptor. 4.<sup>a</sup> Del aparato de relojería que comunica un movimiento uniforme de rotacion al cilindro. Entre los varios mareógrafos, todos fundados en los mismos principios, describiremos sólo el que el gobierno español ha adoptado para los puertos de la Península, pues los demas difieren de él únicamente en los detalles.

El flotador *G* (fig. 44), queda sumergido en un pozo *A B C D*, que tiene comunicacion con el mar, y cuyo fondo es inferior al de las bajamares, lo suficiente para que el aparato no llegue á tropezar con él y cese de marcar la altura de la marea. Se consigue de este modo una agua tranquila, á la cual se trasmite débilmente la agitacion exterior, y no perturba las indicaciones del mareógrafo. Al flotador va unida una cuerda sin fin, de cuya parte inferior pende, por medio de una polea, un peso *F*, que la sirve de tensor. La parte superior de la cuerda pasa por otra polea *E*, montada sobre un eje fijo, al cual hace girar en uno ó en otro sentido, cuando sube ó baja el flotador, y el problema queda reducido á trasladarlo á donde nos convenga y en la relacion adecuada para marcar aquellas oscilaciones.

Para registrar las variaciones de altura del flotador, se trasmite su mo-

vimiento á un trazador *B* (fig. 45), que corre á lo largo de una regla horizontal *C D*, trazando una generatriz del cilindro *A* cuando el tambor permanece fijo; mas si el cilindro tiene un movimiento uniforme de rotacion, el lápiz describe una curva que, por sus abscisas y ordenadas, dá la ley de variacion de la altura de la marea en cada instante.

El cilindro *A* recibe el movimiento de rotacion de un aparato de relojería que engrana con una rueda montada sobre el eje: el aparato de relojería está arreglado para que el tambor dé una vuelta completa en 24 horas. El cilindro se cubre con una hoja de papel sobre la cual se traza la curva de la marea; las bases del cilindro están divididas en horas y cuartos de hora.

La trasmision del movimiento desde el flotador al trazador, se hace

Fig.<sup>a</sup> 44.

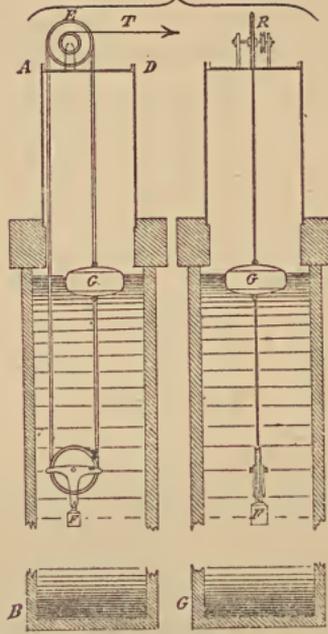
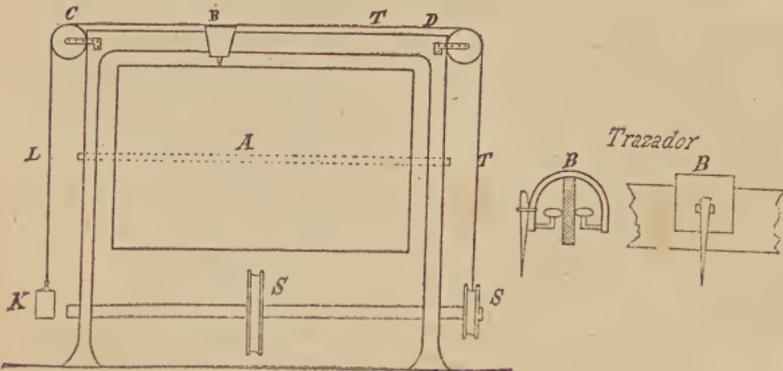
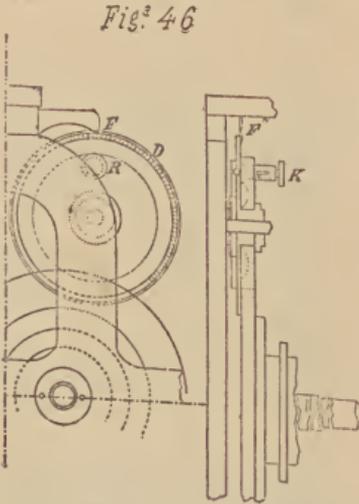


Fig.<sup>a</sup> 45



unas veces por medio de poleas *R R*, (fig. 44 y 45) cuyos radios están calculados para obtener una reduccion dada en la carrera del flotador, y de alambres *T T*; otras por medio de engranajes. Para que el movimiento del trazador (fig. 45) se verifique en ambos sentidos, el contrapeso *K* mantiene siempre tenso el hilo ó el alambre de trasmision.

Para poner el aparato en hora, lleva, ademas de las divisiones del tambor, el disco *D* (fig. 46), dividido en minutos, cuyo disco se hace girar hasta que el índice *F* caiga sobre la hora marcada por el reloj; entónces se introduce el boton *K* en uno de los 30 agujeros, y queda sujeto al cilindro girando con el aparato de relojería: una vuelta de disco corresponde á una hora. Una vez arreglado el aparato, funciona por sí, y no necesita más cuidado que el de renovar el papel cada 24 horas. Esta renovacion puede retardarse haciendo uso de lápices de varios

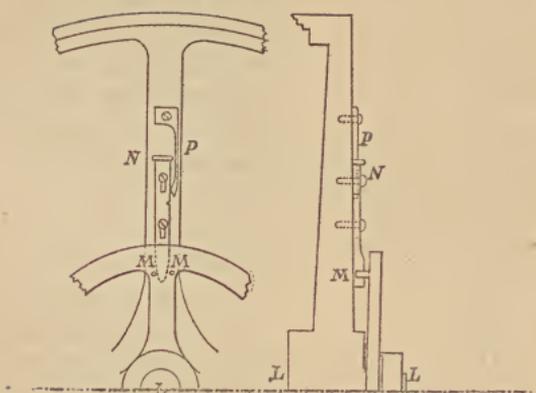


colores, que marquen cada uno la curva de un solo día; pero tampoco habria superposicion entre las curvas de dos mareas consecutivas aunque no se cambiase el color del lápiz, (á causa del retardo que cada día experimenta la marea) [71].

Cuando se quiere cambiar el papel, hay que interrumpir el enlace del aparato de relojería con el cilindro, á fin de no detener el movimiento de aquel, y que la hora no varie. Esta interrupcion se verifica haciendo loca sobre el eje *LL* (fig. 47) la rueda que comunica con el aparato de relojería; esta rueda lleva dos botones *M*, entre los cuales penetra un pestillo *N* fijo al cilindro que lo sujeta al aparato. Cuando se quiere interrumpir la marcha, se levanta el pestillo, á quien impide bajar el muelle *P* que lo sujeta, y entónces se puede hacer girar á mano de cilindro, y separar ó cambiar el papel sin alterar por eso la marcha del aparato de relojería.

El mecanismo de trasmision tiene dos objetos: trasladar los movimientos del flotador, variando en la relacion conveniente la amplitud de sus oscilaciones. Un alambre unido al eje que sostiene el flotador llena el pri-

Fig<sup>a</sup> 47

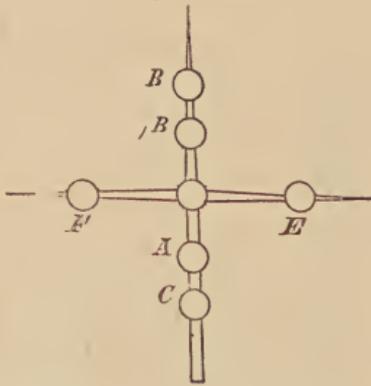


mer objeto; y el segundo se consigue con las cuatro poleas (figuras 45 y 46), *RR*, *SS* que son suficientes para las relaciones que ordinariamente se adoptan; pero cualesquiera que ellas fuesen, se haria que el aparato funcionase á nuestra conveniencia, multiplicando los ejes de trasmision. Las demas poleas y ruedas que aparecen en la figura, tienen sólo por objeto variar la direccion de los movimientos.

Para ser de verdadera utilidad á los navegantes las escalas ó marcógrafos, conviene transmitir sus indicaciones á cierta distancia por medio de señales convencionales que hagan saber á los buques si cuentan con suficiente calado para intentar su entrada en el puerto; en algunos como el Havre, Sunderland y otros, los movimientos del flotador se comunican por medio de engranajes, ya á una bola ó cilindro que recorre una percha graduada, ya á las agujas de un reloj que marcan en una esfera la altura con todas las indicaciones necesarias para entrar en el puerto; pero estas señales no siempre pueden hacerse visibles desde alta mar, ni establecerse en aquellos puertos que carecen de marcógrafo; es forzoso entónces recurrir á otros medios más sencillos; hé aquí las señales reglamentarias usadas en los puertos de Francia:

Se establece (fig. 48) un mastil en el extremo de los diques que forman la entrada del puerto, y en él se atraviesa una verga. Una bola *A*, colocada en el cruzamiento de la verga con el mastil, indica un calado de tres mc-

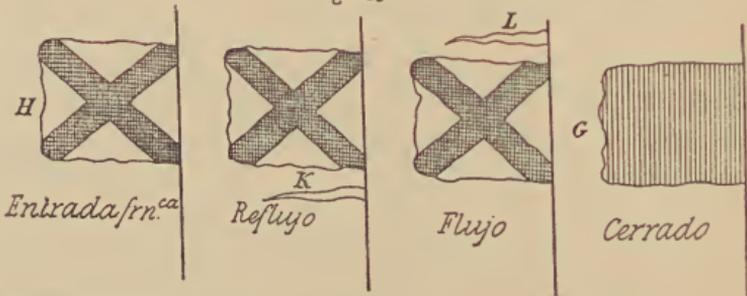
Fig.<sup>a</sup> 48



tros, el menor con que, sin peligro, es posible la entrada para los buques de pequeño porte. Para indicar calados superiores, se valen de bolas colocadas encima y debajo de la anterior; cada una *B* de las de encima señala dos metros, y las inferiores *C* un metro; y como podría ser conveniente apreciar menores diferencias, otras bolas colocadas en la verga sirven, la de la derecha *E* para indicar medio metro, y la de la izquierda *F* un cuarto

de metro. Con estas señales, un buque conoce á larga distancia si en aquel momento hay en el puerto bastante calado para entrar; más como necesita cierto tiempo para arreglar su aparejo y correr las bordadas á que le obligue la disposicion de la boca, le conviene tambien saber en este intervalo si sube ó baja la marea, á fin de no exponerse á varar, encontrándose al llegar á la boca con un calado insuficiente. Por esta razon, las indicaciones del aparato se completan con banderas y gallardetes de diferentes colores y en distintas posiciones. Una bandera blanca *H* (fig. 49) con aspa negra,

Fig.<sup>a</sup> 49



es señal de estar franca la entrada: si inferior á la última bandera hay colocado un gallardete *K*, la marea baja; el gallardete *L* encima de la bandera dá á conocer que la marea sube. La bandera se arria cuando el calado es inferior á tres metros, y no es posible la entrada; y por último, una bandera roja *G* indica que el puerto está cerrado por el estado del mar.

---

## CAPÍTULO IV.

### MAREAS EN LAS RIAS.

---

#### RESUMEN.

80. Mareas en las rias.—81. Diferencias entre el tiempo del flujo y del reflujó.—82. Mareas de dos aguas.—83. Otros resultados de la teoría.—84. Resultados en las rias.—85. Perfiles momentáneos.—86. Velocidad de propagación de la marea.—87. Canal de ancho y profundidad variables.—88. Rozamiento.—89. Naturaleza de la onda de la marea.—90. Experimentos de Scot Russell.—91. Corrientes.—92. Canal limitado por una barrera.—93.—Canal comunicando con dos mares.—94. Giros de la corriente en los estrechos.—95. Marcha de la marea en las rias.—96. Marcha de las moléculas.—97. Secciones en que debe considerarse dividida la ria para su estudio.—98. Determinación del volumen del agua que recorre la ria y velocidades medias en cada instante.—99. Relacion entre el agua procedente del mar que durante la marea entra y sale en una ria.—100. Estudio de las corrientes por las curvas de marea.—101. Influencia de las aguas del rio en las velocidades de flujo y reflujó y demas accidentes de la marea.—102. Resumen.—103. Causas perturbatrices de las leyes de la marea.—104. Bore.

80. MAREAS EN LAS RIAS.—La marea es el fenómeno que en la conservación ó destruccion de los puertos de ria juega el principal papel; sus leyes de trasmision difieren notablemente de las que rigen en los mares abiertos; y esta diferencia es acrecentada por la perturbacion que en el fenómeno introduce, para el mayor número de casos, la consideracion de una corriente fluvial; vamos, pues, en primer lugar, á ocuparnos de las leyes á que está sometida, y á consignar luego algunos de los escasos resultados experimentales que se conocen.

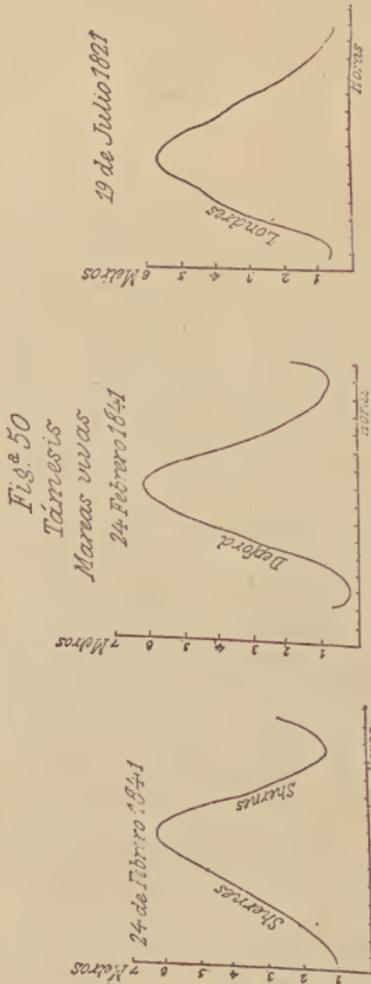
Si la teoría de las mareas en los mares abiertos se encuentra poco adelantada, aún lo está ménos en aquellas partes del mar, en donde por su

pequeña extension es insensible la accion directa de las atracciones del sol y de la luna. Sólo algunos casos muy particulares y muy raros fenómenos de los que se observan han podido ser sometidos á la teoría: los resultados deducidos de ella dependen del desarrollo de las funciones en series, que, cuando pasan á divergentes, dejan de ser aplicables, siendo imposible entónces asegurar nada con certeza. Las condiciones que la teoría exige, tampoco es fácil realizarlas de una manera comple-

ta, resultando de todas estas irregularidades fenómenos mixtos en que toman á la vez parte las leyes relativas á las ondulaciones y las ordinarias de las aguas corrientes.

Las fórmulas que dá la teoría son excesivamente complicadas para que se presten fácilmente á la discusion; están ademas deducidas estableciendo hipótesis más ó ménos aproximadas á la verdad y con un sinnúmero de restricciones que las hacen con frecuencia inaplicables; y esto nos precisa á citar sólo los resultados más principales.

81. DIFERENCIAS ENTRE EL TIEMPO DEL FLUJO Y DEL REFLUJO.— Consideremos un canal horizontal de longitud indefinida y de seccion constante; observando la marcha de la marea en la desembocadura del canal, resulta análoga á la de los mares abiertos, y la duracion del ascenso es próximamente igual á la del descenso; pero á medida que penetra en el canal la marea, la subida es más rápida, y emplea en ella ménos tiempo que en la bajada (fig. 50). En el Támesis, por

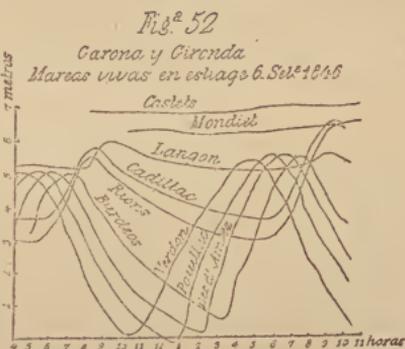


ejemplo, una marea viva, que en Sheernes emplea  $6\frac{1}{4}$  horas en subir y  $6\frac{1}{4}$  en bajar, en Depfort tarda 5 horas en el ascenso y en el descenso 7; en Lóndres es de  $2\frac{1}{4}$  por 8; y por último, en Tedigthon el ascenso dura

sólo  $1^h 15'$ . En el Sena (fig. 51), el ascenso de 6 horas en el Havre se reduce á  $1^h 45'$  en Quillebœuf; si bien más arriba por circunstancias locales (un aumento en la profundidad), sube á  $2^h 35'$  en Ruan, y  $2^h 45'$  en Elboœuf. En el Garona (fig. 52), no hay alteracion importante entre la desembocadura y Burdeos (á 93 kilómetros). En Verdon el ascenso es de  $6^h 30'$ ; en Burdeos dura  $4^h 20'$ , y en Cadillac, 32 kilómetros aguas arriba, ya se reduce á  $2^h 35'$ .



Otros varios y multiplicados ejemplos podriamos citar, pero nos contentamos con uno sólo, porque esta marcha de la marea se estudia mejor en los rios de grande extension, como el San Lorenzo. Cuarenta leguas más abajo de Quebec, áun el tiempo del ascenso y del descenso son iguales; seis leguas más abajo

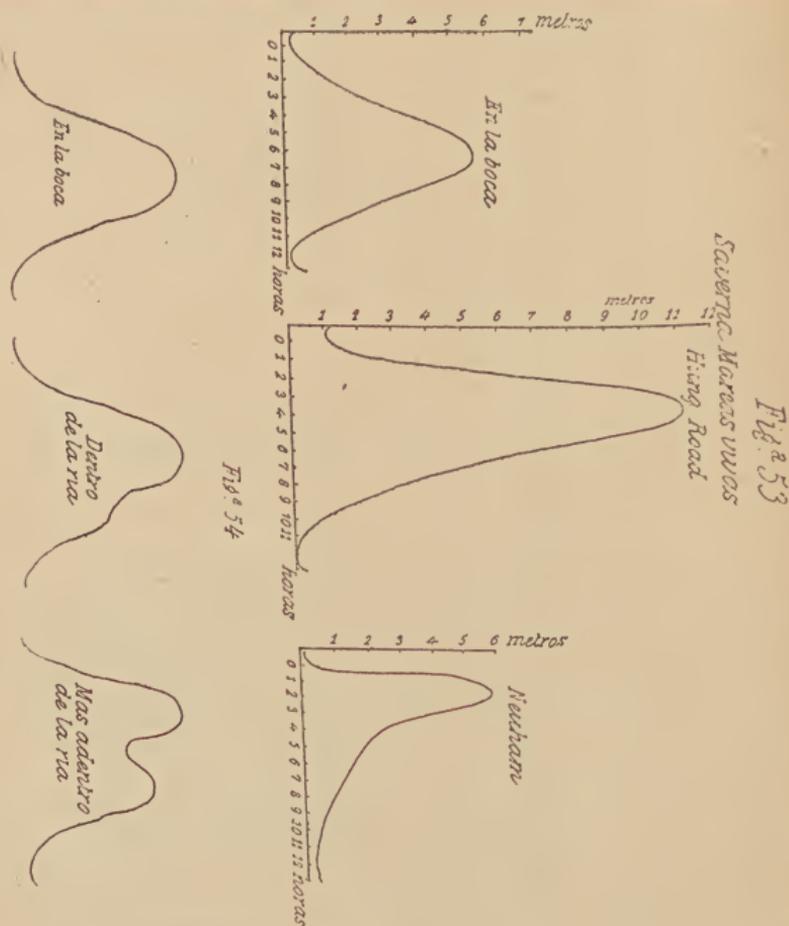


de dicho punto, la relacion entre ambos es de 5 y 6; y por último, aguas arriba, de 3 y 9.

Pero el tiempo empleado en el descenso no se reparte uniformemente (fig. 53). En el Saverna, en Hung-Road, el ascenso dura 4 horas, y aunque el descenso se verifica en 8, ya ha descendido á las 5 la mayor parte; en Newham, en el mismo rio, el ascenso dura  $1\frac{1}{2}$  hora y el descenso principal sólo 2, aunque no alcanza la bajamar hasta  $10\frac{1}{2}$  despues de la plea.

82. MAREAS DE DOS AGUAS.—Avanzando más hácia el interior del canal,

se nota que el descenso de la marea es detenido, formando la curva de marea una especie de descanso (fig. 54), ó detencion llamada *estoa*, segun se



observa en la ria del Dee (fig. 55). Más adentro aún, esta inflexion es muy marcada; volviendo á ascender para descender despues, y dando origen á lo que se llama *marea de dos aguas*, que segun veremos, se reproducen tambien en otros casos. Este fenómeno fué atribuido por algunos al cruzamiento de dos mareas distintas, (como las que se propagan por el canal de la Mancha y por el mar de Alemania), pero no es posible que dos mareas de la forma  $A \cos(mt+a)$  y  $B \cos(mt+b)$ , que sumadas se redu-

cen á  $C \cos (mt+c)$ , den origen á una curva de marea de la mencionada forma.

83. OTROS RESULTADOS DE LA TEORÍA.— Aunque en su estado actual nos merezca poca confianza la teoría para todo aquello que no sea explicar de una manera general el fenómeno, diremos que de ella se obtiene (a): 1.º Que la diferencia entre el tiempo del ascenso y del descenso, es proporcional al tiempo empleado por la onda en llegar desde la desembocadura al punto que se considera. 2.º En razon inversa de la profundidad média, segun se ha visto en el ejemplo citado [81] del Sena entre Ruan y Quillebœuf. 3.º Proporcional á la elevacion de la ondulacion sobre el nivel medio. De donde se deduce, que esta diferencia será mayor en mares vivas que en las muertas, segun se nota en Depfort (fig. 56), donde la diferencia, ántes cita-

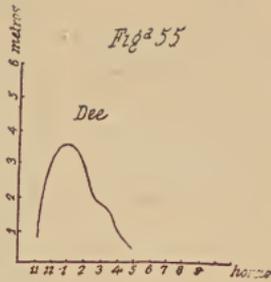
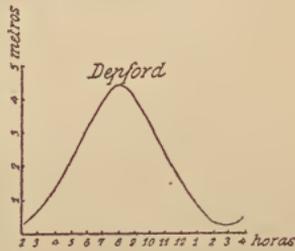
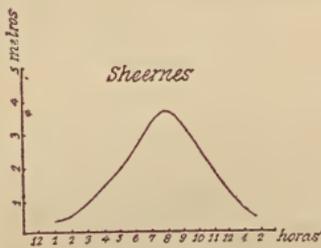


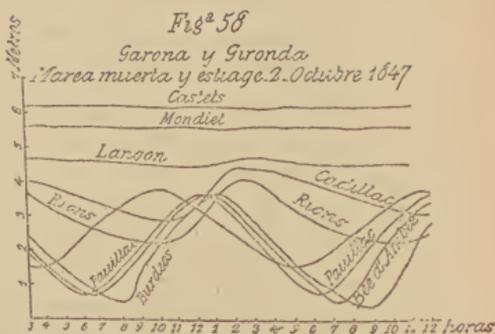
Fig.<sup>a</sup> 56.  
Mareas muertas en 2 de Marzo de 1844



da [81] de 5 horas entre el ascenso y descenso en mares vivas, se reduce á una hora en mareas muertas. Esto mismo se observa tambien en el Sena y Garona (figuras 57 y 58, comparadas con las 51 y 52). Lo que decimos de la diferencia entre el tiempo del ascenso y del descenso, se extiende á las demas desigualdades y á las pleamares intermedias, que en las mareas muertas son tambien ménos pronunciadas, y hasta se borran por completo.

84. RESULTADOS EN LAS RIAS.—El intervalo entre el ascenso y el des-

(a) Véanse los apéndices.

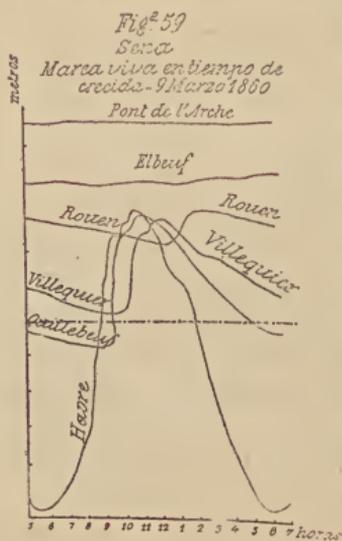


censo y las irregularidades en las curvas de marca, se pronuncian más cuando existe una corriente fluvial, y por eso en las rias extensas son más aparentes las mareas de dos aguas. Las diferencias aumentan con la velocidad de la corriente, mayor en las partes estrechas y poco profundas que en las anchas y hondas; y mayor también ordinariamente á medida que se elige un punto más lejano de la boca. Así, el tiempo del ascenso de la marca de 4<sup>h</sup> 20' en Burdeos (fig. 52) en épocas de estiaje, se reduce á 3<sup>h</sup> 10' en la de crecidas: y en el Sena, en Quillebœuf, es de 1<sup>h</sup> en las cre-

cidas (fig. 59), en vez de 1<sup>h</sup> 45' en las bajas aguas del rio (fig. 51).

85. PERFILES MOMENTÁNEOS.—Para la comparacion de los resultados de la teoría con las observaciones, es muy útil, además de las curvas de marea, conocer el perfil que afecta la superficie del canal en un momento dado, por cuyo motivo recibe el nombre de *perfil momentáneo*, y dá la forma de la ondulacion que constituye la marea en las rias ó canales que comunican con el mar.

El perfil momentáneo teórico en un canal horizontal de longitud indefinida y de ancho uniforme, se compone (figura 60) de trozos de una especie de sinu-

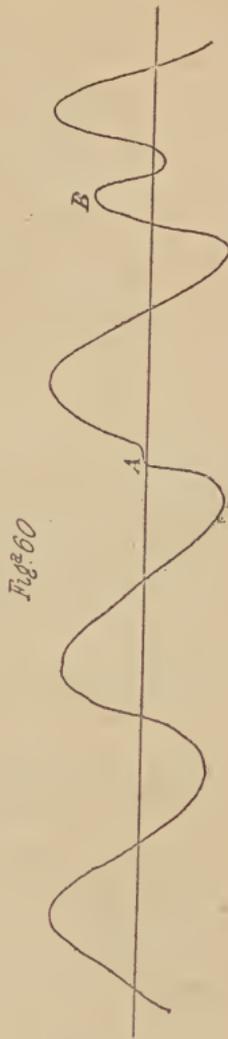


soide de ramas desiguales, cuya altura es próximamente la misma, pero variando en la forma: las ramas ascendentes son ménos tendidas á medida que se avanza hácia el interior, y llega hasta presentar inflexiones pronunciadas *A* ó nuevas ramas secundarias *B*. Generalmente, en nuestros rios, por su pequeña extension y gran pendiente, sólo se desarrolla la primera rama; pero en algunos de gran longitud, como el de las Amazonas, en el cual las mareas se propagan á más de 200 leguas de la desembocadura, se observan unos 20 puntos en que la mar está plea al mismo tiempo que en otros tantos intermedios está baja; la velocidad de la plea avanza aquí una legua por hora.

86. VELOCIDAD DE PROPAGACION DE LA MAREA.—

En cuanto á la velocidad de propagacion de las mareas, ó la velocidad de la fase correspondiente á la plea ó baja, es proporcional á la raiz cuadrada de la profundidad média [37]. Esta ley la confirma la experiencia, y por eso la marea se propaga más rápidamente en las de agua viva que en las muertas. En el Dornoch, la velocidad média de la plea es de 11,30 metros por 1'' entre Pormalanoc y Meickles Ferry, cuya profundidad varía entre 3 y 17 metros. Hasta Quarry, las profundidades varían entre 2 y 7 metros, y la velocidad média es de 3,40 metros por 1''; y por último, de Quarry á Bonar-Bridge, la velocidad es de 0,34 metros con profundidades de 0,30 á 1,00 metros.

La marea atraviesa lentamente los altos fondos que obstruyen la embocadura del Sena entre el Havre y Quillebœuf, aumenta rápidamente agua arriba de este punto, donde el canal es más profundo; y esta rapidez de transmision en las partes profundas, se ve confirmada hoy por los resul-



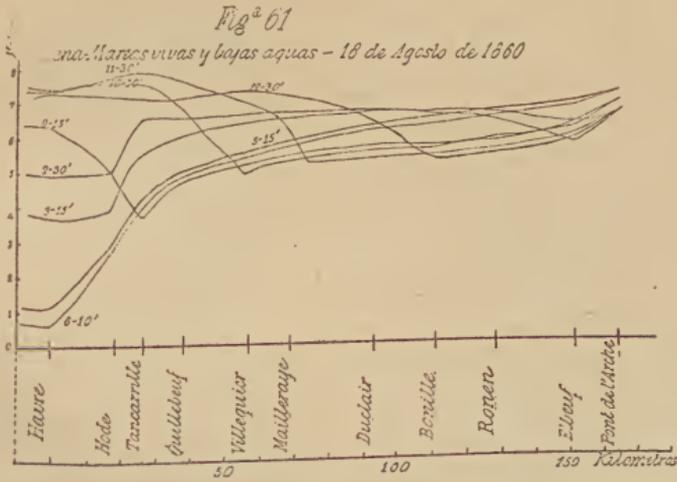
tados obtenidos en esta misma ría con el encauzamiento; resultados de que más tarde haremos mención.

La ley enunciada relativa á la propagación de las mareas, según sean vivas ó muertas, no siempre aparece conforme con la realidad (si hemos de dar crédito á los datos de Partiot), ya por circunstancias locales ó accidentales, ya por errores en las observaciones; en la obra escrita sobre rías por el mencionado autor, figuran cuadros con velocidades de propagación de las mareas muertas del Sena y del Gironda, iguales y superiores á la de las vivas. No debemos, sin embargo, fiar mucho en la exactitud de estos resultados, pues el mismo Partiot, que los presenta, no les concede gran confianza; y con frecuencia existe desacuerdo entre el texto de la obra y los cuadros de observaciones.

La teoría dá una ley muy notable para la propagación de la marea. Aunque la velocidad de la fase es proporcional á la raíz cuadrada de la profundidad, no debe tomarse para ella la que corresponde á aquel estado del río sino á una profundidad diferente. La ley es esta: si  $P_2$  y  $P_3$  representan las profundidades del canal, y se calculan dos profundidades auxiliares  $P_1$  y  $P_4$  en progresión aritmética con ellas, la fase de la plea tiene la velocidad correspondiente á  $P_4$ , y la de la baja á  $P_1$ . De aquí resulta una consecuencia curiosa; llamando  $h$  la carrera de la marea, la fase del refluo dependerá de  $P_1 = P_2 - h$  que no puede ser negativa, es decir, que en el punto en que  $P_2 < h$  la ondulación no se mantiene en el refluo y se convertirá en una corriente. Este resultado coincide con el obtenido al tratar de la marcha de las olas que rompen cuando su altura es igual á la profundidad [52].

87. CANAL DE ANCHO Y PROFUNDIDAD VARIABLES.—Cuando el canal es variable de ancho y profundidad, la marea toma en cada punto alturas en razón inversa de la raíz cuadrada del primero y á la raíz cuarta de la segunda. Los experimentos hechos en pequeño, parecen satisfacer á esta ley; la observación de los perfiles momentáneos en algunas rías la confirman. En el Sena, por ejemplo, vemos (fig. 61) á la onda elevarse sobre los bancos de Tancarville y Quillebœuf, haciéndose muy pendiente en la parte anterior; y vencido este obstáculo deprimirse y hacerse más tendida.

88. ROZAMIENTO.—El rozamiento obra en sentido contrario á la contracción; es decir, que tiende á deprimir la altura de la onda; pudiendo ser



tal, que combinándose los dos efectos, den en el interior del canal alturas iguales, mayores ó menores que en la boca. Así, en el Támesis (fig. 50), la marea en aguas vivas va creciendo desde Sheerness (4,20 metros) hasta Depfort (5,20 metros); y decrece desde Lóndres (4,60 metros) hasta Tedigton, donde sólo alcanza 0,60 metros.

En el Saverna, en el canal de Bristol, la marea es de 5,50 metros en la boca, de 9,15 en Swansee, y en Chepstow de 19,25, y hasta de 21 á 22 metros en ocasiones.

En el Sena (fig. 51) de 4,00 metros en la boca, sube á 6,10 en el Havre, y vuelve en Quilleboeuf á descender á 4,00, decreciendo desde allí rápidamente.

89. NATURALEZA DE LA ONDA DE LA MAREA. — Scot Russell pretende clasificar la onda de la marea entre las de primer orden [35], y cree encontrar en ella los caracteres distintivos de éstas. El ser única, no es carácter distintivo; su amplitud impide el que várias se agrupen, y cuando es posible, como en algunas rias (la de las Amazonas) [85], existen muchas simultáneas. No lo es tampoco el que se trasmite con una velocidad proporcional á la raíz cuadrada de la profundidad, pues esta ley puede realizarse en otras ondas; ni ménos el ser las excursiones horizontales de las moléculas las mismas en la superficie que en el fondo; pues lo pequeño de la profundidad con relacion á la amplitud de la onda, hace inapreciable las diferencias. Y por último, carece de uno de los caracteres más marcados [42], el

que las moléculas, llegando al límite de la excursión, no retrocedan; la trayectoria de las moléculas es completa en la marea, y no interrumpida como en otras ondas de primer orden.

Scot Russell, Bazin y otros ingenieros, asemejan la ondulacion de la marea á una série de pequeñas ondas superpuestas, con velocidades diferentes; es decir, que dividen la onda total en elementos. Influyendo la altura de la marea en la velocidad de trasmision [86], el plano anterior se hace más pendiente y más tendido el posterior; si la profundidad del canal es grande, estas modificaciones en el perfil se verifican lenta é insensiblemente, pero cuando es pequeña con relacion á la altura de la marea, esta se hace predominante, unas partes de la onda se precipitan sobre las otras y rompe desarrollándose una violenta corriente con el fenómeno del *bore* que más adelante estudiaremos.

90. EXPERIMENTOS DE SCOT RUSSELL.—Aunque se poseen numerosos resultados de observaciones hechas en diferentes rias, sólo hemos visto consignados los de Scot Russell; y las de Mr. Bazin [40 y 41] (si bien realizadas en un canal artificial) pueden tambien agruparse con ellas. Scot Russell eligió en la ria de Dec una seccion de 10 kilómetros, en que el rio está encauzado; y cuyas extremidades marcáremos con las letras A y B. Su profundidad média en bajamar es próximamente de 0,915 metros, y su lecho presenta un tendido de 4 por 1. Las márgenes están separadas en la plea 152 metros; pero casi la mitad de esta distancia la ocupan los espigones. Hé aquí los resultados obtenidos durante el mes de Setiembre de 1836.

DIAS DEL MES DE SEPTIEMBRE.	ALTURA DE LA ONDA EN		VELOCIDAD EN METROS POR 1 <sup>ca</sup>	PROFUNDIDAD.	
	A	B		CALCULADA.	REAL.
7	0,203	0,152	2,700	0,610	1,093
9	0,457	0,178	3,640	1,067	1,487
13	0,813	0,330	3,640	1,067	1,538
7	2,798	1,913	5,460	2,135	3,279
9	4,110	3,202	8,424	4,880	4,829
13	4,758	3,965	8,802	5,185	5,287

*Fase de la plea. Del principio.*

La profundidad média real se obtuvo agregando á los 0,915 metros la altura média de la marea; la teoría se calculó por la fórmula (4) [37].

Vemos que para la llegada del flujo hay una notable diferencia por exceso, entre la profundidad real y la calculada, moviéndose la onda más lentamente de lo que debiera. Esto consiste en la perturbacion que la onda sufre al pasar de la parte del rio estrechada por los espigones, á los ensanches bruscos que siguen á aquellos. Otro tanto sucede á la fase de la plea del dia 7 que enrasa casi los espigones; pero las de los dias 9 y 13, en que la marea los cubre, son ménos perturbadas, y la profundidad calculada se acerca más á la efectiva.

La segunda série de experimentos se hizo en el Clyde. Entre Glasgow y Puerto-Glasgow se midió una distancia de 33 kilómetros con una diferencia de nivel en bajamar de 0,84 metros, y en las pleas de 0,225. Los resultados han sido análogos á los de la ria del Dec: el siguiente cuadro contiene los números obtenidos. La profundidad es la média incluyendo la altura de la marea.

ESTACIONES.	PROFUNDIDAD MÉDIA.	VELOCIDAD EN METROS POR 1 <sup>ca</sup> .	
		CALCULADA.	REAL.
8. <sup>a</sup>	73 á 110	31,0 á 41,6	41,60
7. <sup>a</sup>	7,63	9,88	10,40
5. <sup>a</sup>	1,53	4,16	4,16
3. <sup>a</sup>	3,28	7,28	7,80
1. <sup>a</sup>			

91. CORRIENTES.—Uno de los fenómenos más importantes de las mareas, en las rias ó canales que comunican con el mar, es el de las corrientes que se desarrollan. Estas corrientes débiles en alta mar ó en la inmediatecion de algunas costas, adquieren en otras bastante rapidez para competir con las de los rios.

La ley general dada por la teoría para las rias es, que el cambio de corrientes coincida con la média marea en la desembocadura, y va ade-

lantando el momento de la inversion á medida que se penetra más en el interior de la ria. Otras causas contribuyen á acelerar la proximidad de la inversion á las pleas y bajamares. En primer término, debemos contar el rozamiento que amortigua más y más los movimientos del agua á medida que nos alejamos del mar, y en virtud del cual las corrientes de marea cambian más pronto que si no existiese aquella fuerza retardatriz; así, la corriente de flujo cambia entónces en reflujó poco despues de la plea, y la de reflujó en flujo despues de la baja y ántes de la média.

Tambien la forma del cauce influye en que el cambio de corrientes se acerque ó se aleje de las pleas y bajamares. Para lo primero se requiere que el cauce vaya estrechando ó elevándose el fondo á medida que el canal se aleja de la mar; y si la reduccion del ancho ó la elevacion del fondo son muy grandes, llega á hacerse muy pequeño el retraso de la inversion de las corrientes respecto de la fase de las pleas y bajamares.

El órden de inversion en las corrientes es progresivo y avanza desde la boca al origen del rio; esto es, que nunca la inversion, ya sea de flujo á reflujó ó viceversa, se verifica ántes en un punto del rio que esté aguas arriba de otro.

Aunque despues de lo dicho, conceptuamos inútil insistir en que no debe confundirse la velocidad con que avanza la ondulacion con la efectiva de las moléculas flúidas, esta confusion ha dado lugar á tantos errores que llamamos de nuevo la atencion sobre este punto, presentando algunos ejemplos. En aquellos parajes del estrecho de Dornoch en que recorre la ondulacion hasta 11,30 metros por 1", las corrientes de marea no exceden de 2 á 2,5 metros de velocidad, que podemos suponer como limite para todos los casos, exceptuando aquellos muy excepcionales como el New-Passage del Saverna, de 4,60 metros; y en el estrecho de Pentland, de 5,65; la máxima que recuerda Stevenson para las rias de cauce regular.

La teoria establece una preponderancia en la corriente del reflujó sobre la del flujo; preponderancia contraria á la opinion general de los ingenieros y que tiene su confirmacion práctica en algunos ejemplos, como en el estrecho de Cromarty, donde la velocidad del flujo es de 1,48 metros por 1" y la de reflujó 1,84. En el Clyde, despues de los trabajos de encauzamiento, resulta en Bouling-bay una corriente máxima de flujo de 0,87 metros á la média marea; y la de reflujó de 1,37 á los dos tercios. Esta ley sufre en la realidad excepciones de que más tarde nos ocuparemos.

92. CANAL LIMITADO POR UNA BARRERA.—Consideremos ahora el canal sujeto á condiciones, y supongamos lo limitado por una barrera colocada á cierta distancia de la boca; caso que se presenta en un golfo ó bahía, ó en una ria cerrada por una presa. A este caso se puede asimilar tambien el de la marea en los mares abiertos cuando encuentra una costa que se opone á su marcha. Un notable ejemplo de la influencia de la direccion y forma de la costa en la elevacion de la marea, se presenta en los mares de Inglaterra. En el canal de Irlanda, la altura de la marea en la costa del Este, es considerablemente mayor que en la del Oeste, y lo mismo en la del Norte respecto de la del Sur. Este aumento, en la elevacion que produce el obstáculo, es acrecentado por el estrechamiento y elevacion progresiva del fondo del canal.

Las fórmulas que dan el perfil momentáneo y las fases de la marea son muy complicadas, y sólo se simplifican en algunos casos particulares, cuando son pequeñas las mareas en la embocadura (como en los golfos ó canales del Mediterráneo), reduciéndose entónces las oscilaciones á una série de ondas estacionarias. Despreciando los efectos de la atraccion sobre las aguas del canal, las oscilaciones se verifican para este caso particular al mismo tiempo en todos los puntos; pero las alturas son diferentes, y crecen con gran rapidez á medida que nos situamos más cerca del obstáculo; en este punto, el máximo desplazamiento horizontal coincide con el vertical. El cambio de corrientes se verifica en la barrera, inmediatamente despues de la plea, y va aumentando el intervalo hasta ser de média marea en la boca del canal, con rápidas corrientes en la embocadura.

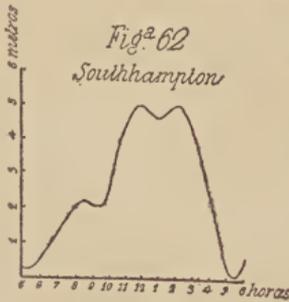
Estos resultados se modifican por el rozamiento que disminuye la altura que toman las aguas, y retrasa la plea. Teniendo en cuenta aquella resistencia, no puede asegurarse que la mayor altura corresponda á la extremidad del canal más bien que á otro punto más próximo á la embocadura.

Son muy numerosos los ejemplos de elevaciones extraordinarias que alcanza la marea cuando se ve detenida por un obstáculo, ó cuando penetra en un canal cerrado en su extremidad; y en ocasiones tambien contribuye á aumentar el efecto, el estrechamiento progresivo del canal [87]. En el de Bristol [88], sólo suben las mareas 6,00 metros en la boca, cuando en Swansee la elevacion es de 9,00 y hasta de 21 en Chepstow; pero el ejemplo más notable lo tenemos en la bahía de Fundy, cuyas mareas en la boca sólo son de 2,50 metros, y en el fondo, donde el canal se divide en dos bra-

zos poco profundos, sube de 20 á 23 metros, y en ocasiones hasta 30. La plea se retrasa una hora desde la entrada al fondo de la bahía. Iguales resultados se consignan para el golfo de California.

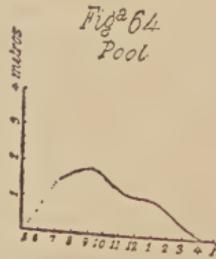
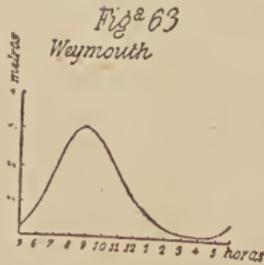
La grande elevacion de las mareas en la costa francesa de Saint-Malo, Avranches, etc., puede atribuirse á la misma causa, pues las islas de Jersey, Guernesey, etc., impiden casi por completo á la marea, el correr hácia el Este de la bahía, siendo realmente la entrada para la marea en Avranches, de mucha ménos anchura de lo que parece. La marea, que es sólo de 5,00 metros en Cherburgo, asciende en Avranches á 13. Y por último, citaremos tambien los ejemplos de Yarmouth y Walsh, cuyas mareas comparadas son de 2,00 metros y 9,00 respectivamente; y del Adriático, donde suben á 2 metros en algunos senos, cuando apénas son sensibles en el Mediterráneo.

Las curvas de marca presentan en estos canales una parte superior horizontal que se llama *estoa*, [82] la cual, en mareas vivas y tambien segun la situacion del punto elegido, se convierte en una línea ondulada, existiendo así dos pleas. En la fig. 62 se ve la curva de marea de Southampton.



Otro tanto se verifica en el Orwell, el Stour en algunos brazos de mar de la costa de Cornualles y otros esteros. En el Havre, (fig. 51) la plea hace *estoa* durante dos horas. La costa de Holanda, en la cual la mar corre sobre un fondo de bajos, puede asimilarse á un estero y en ella se producen iguales fenómenos.

A esta causa debe atribuirse la forma especial de las curvas de marea en Weymouth, Poole y Christchurch

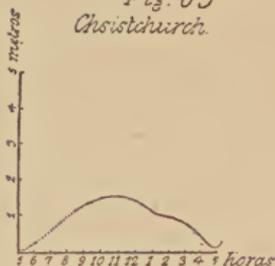


(figuras 63, 64 y 65) y no á la corriente del Solent, segun han pretendido algunos.

93. CANAL COMUNICANDO CON DOS MARES.—Pa-

semos ahora al tercer caso, y supongamos que el canal comunica por sus extremidades con dos mares abiertos, como sucede en un estrecho. Tampoco la teoría puede dar sobre éste más que indicaciones vagas. La plea se trasmite por todo el canal en la misma dirección, según acontece en las costas francesas del canal de la Mancha. Esto, sin embargo, pudiera no realizarse si se tiene en cuenta el rozamiento y demás resistencias que en-

Fig.<sup>a</sup> 65  
Christchurch



contra la onda; entónces las pleas la transmiten desde las dos extremidades hácia el medio del canal, recorriendo longitudes de él en relacion con las magnitudes respectivas de las dos ondas y de las menores dificultades con que para la trasmision tropieza cada una. Para las costas inglesas del canal de la Mancha, por ejemplo, se sabía ya desde los tiempos de Halley, que la línea de separacion de la trasmision en uno ó en otro sentido, se encuentra en la línea trazada de Rye al Somma. Tampoco en este caso se debe atribuir, lo repetimos, las mareas de dos aguas que en algunos de sus puertos se observan, al cruzamiento de las dos ondas [82].

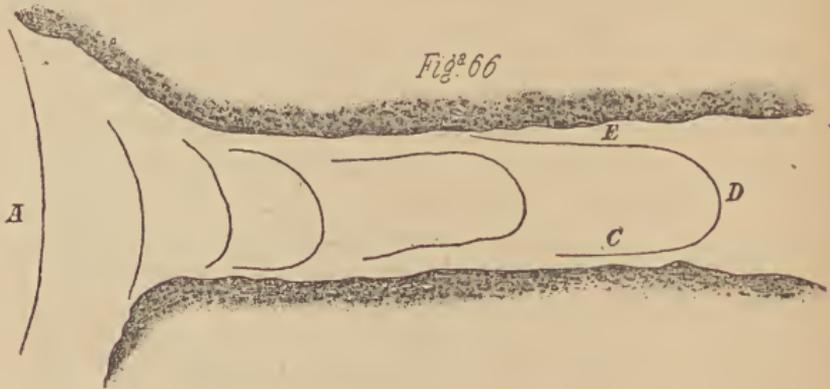
Si uno de los mares carece de mareas, la plea es entónces simultánea en todos los puntos del canal, y se establece una violenta corriente en el sentido del mar sin mareas, correspondiendo el mayor desplazamiento y velocidad horizontal con los verticales. Esta corriente constante hácia el mar sin mareas, se observa en el estrecho de Gibraltar.

Si las dos ondas son iguales, y prescindimos del rozamiento, no hay trasmision de la marea, que se reduce, según dijimos [49 y 73] á una onda estacionaria. La ley parece verificarse, según Beechey, en el canal de San Jorge, deduciendo de aquí la igualdad de las dos mareas que penetran en él por el Sur y el Norte de Inglaterra.

Los fenómenos que se refieren á este caso, se realizan tambien para una parte de canal de la Mancha en su extremidad oriental. La onda que lo recorre de Este á Oeste, se apoya más contra la costa francesa, tomando en ella una elevacion mayor [92]. Por el contrario, la marea que despues de haber contorneado la parte Norte de Inglaterra descende hácia el Sur, presenta mayor elevacion en la proximidad de la costa inglesa; debe pues existir una línea para la cual se realice la igualdad de las dos ondas. Los

dos puntos de nivel invariable [49 y 73] que comprenden una semiondulacion, parecen corresponder aquí uno de ellos, entre Yarmouth y Briclle, y el otro hácia Texel.

94. GIROS DE LA CORRIENTE EN LOS ESTRECHOS.—Vamos ahora á dar cuenta de un fenómeno que se presenta en esta clase de canales (en el de la Mancha por ejemplo), y consiste en un cambio de corrientes que describen un círculo completo durante una marea. Supongamos la ondulacion recorriendo de *A* á *B* (fig. 66) un canal cuya profundidad, como sucede ordi-



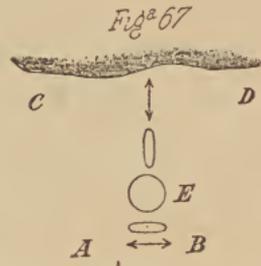
nariamente, va disminuyendo desde el centro á los bordes. En el caso que examinamos, la profundidad del canal es generalmente pequeña con relacion á la longitud de la onda, que marcha entónces con una velocidad proporcional á la raíz cuadrada de la profundidad [37]; es decir, que en el centro avanza más rápidamente que en las orillas, tendiendo á tomar la forma curva *A B C*. La onda de la marea se compone entónces de varias partes distintas; una central que avanza en la direccion del canal, y otras dos perpendicularmente á ella en direccion de la costa respectiva, ligadas cada una por la intermedia que participa de las dos ó es influida por ellas. Podemos asimilar la segunda parte de la onda á las que en su marcha encuentran un obstáculo que las detiene [92], y entónces coinciden en la costa la plea y la baja con la inversion de las corrientes. En la parte central donde no existen obstáculos, la ley general se realiza, y la corriente sube en el instante de la plea recorriendo el canal con la máxima velocidad, ó en sentido inverso en la bajamar. Por el contrario, en la média marea ascendente ó descendente, la corriente cerca de la costa se mueve

acercándose ó alejándose de ella, mientras permanece estacionaria en el centro del canal.

Resulta de aquí que en la zona intermedia donde se combinan constantemente los dos efectos, la resultante de las velocidades que en cada punto tendria si obedeciese aisladamente á una ú otra influencia, cambia de intensidad y de direccion en cada momento, verificándose un giro que debe ser de izquierda á derecha en la costa de Inglaterra, y al contrario en la francesa. Segun se elija el punto más cerca del centro ó de las márgenes del canal, así la curva, cuyos rádios vectores representan la magnitud de las velocidades y su direccion en cada instante (fig. 67), se acercará más á una recta situada en la direccion *AB* del canal ó perpendicular á la costa *CD*; convirtiéndose la curva en un círculo *E* para un punto intermedio.

Al expresarnos, como lo hacemos, no pretendemos establecer, como Monnier lo hacía para el canal de la Mancha, que sólo una onda recorre el canal; aquí damos la resultante de las dos, y si tuviésemos en cuenta la resistencia que tambien experimenta en su marcha, sería necesario proceder de dos maneras contrarias para las dos extremidades del canal. Si nos referimos al de la Mancha, hacemos tambien notar que no debe asimilarse este á un canal regular; sus ensanches y contracciones, las extensas y profundas bahías, los cabos salientes de sus costas, deben dar á las condiciones locales una grande influencia para modificar la ley general. Ademas, la marcha de las ondas no es paralela, cruzándose en la boca oriental bajo ángulos más ó ménos agudos; y estas interferencias oblicuas alteran el giro de las corrientes, ya como en el cabo Start, haciendo que no sea completo, ya dando movimientos orbitarios en el centro del canal. Por eso Keller pretendia establecer leyes puramente locales, y prescindia de los resultados generales. Por otra parte el viento modifica el fenómeno en realidad, y tambien aparentemente, por la influencia sobre el buque en que se situa el observador, colocándose en cada instante segun la resultante de la corriente y del viento.

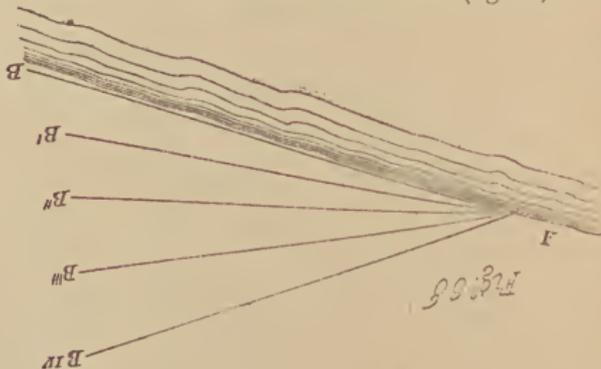
Cuando las dos ondas son iguales, la corriente [49] es nula en los puntos correspondientes á la máxima elevacion; al paso que es la máxima en



los puntos de altura invariable. En los primeros, las velocidades de las moléculas correspondientes á cada onda son, para todos los momentos, iguales y en sentidos opuestos; en los segundos, las velocidades varían, desde la máxima, cuando la onda coincide con el nivel medio [73], hasta ser nula en las máximas elevaciones y depresiones de la onda. Así sucede en el canal de San Jorge; al Oeste de la isla de Man, no se observa corriente alguna; y la carencia de marca con una corriente variable entre cero y un máximo, existe en Courtown á 50 millas al Sur de Dublin.

95. MARCHA DE LA MAREA EN LAS RIAS.—Hasta aquí nos hemos limitado á la teoría pura, aunque procurando comprobar sus resultados con ejemplos sacados de las observaciones hechas. Además, hemos tratado la cuestión bajo un punto de vista general, que limitaremos ahora á las rias considerando bajo un punto de vista más práctico.

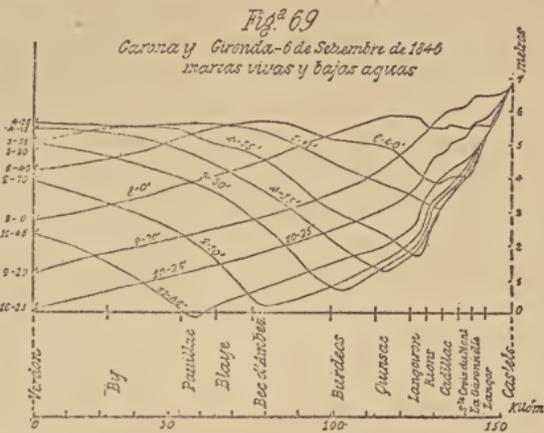
La explicación que generalmente se dá de la propagación de las mareas en las rias, es la siguiente: cuando la marea sube en la boca de la ria, se establece cierto desnivel entre el interior de ella y el mar, que hace correr las aguas río arriba remansando las que conduce la corriente fluvial; la elevación de las aguas por estas dos causas, constituye la marea en una ria; marea que penetra más ó ménos en el interior, según las circunstancias de cada localidad. De manera, que siendo  $A B$  (fig. 68) la superficie



del río, su pendiente gira alrededor de un punto  $A$  tomando inclinaciones cada vez mayores hacia el interior, hasta que llega á la máxima  $A B''$ . En todo este tiempo la marea sube; pero la corriente marcha hacia el interior de la ria sólo desde lo horizontal  $A B''$ . Desde el punto  $B''$  principia á descender la marea, aunque la corriente aún sigue marchando hacia el in-

terior, hasta llegar la superficie á la posición horizontal; punto en que la corriente se invierte y aumenta de velocidad con la pendiente, correspondiendo su máxima á la baja.

La primera observacion que se ocurre en contra de la anterior explicacion, es que la forma supuesta al perfil de la marea en el interior de la ria no puede admitirse ni como aproximacion para explicar el hecho en general; la forma verdadera de la marea es la de una onda que va penetrando progresivamente en la ria hasta llegar á un punto, del cual no pasa (fig. 61 y 69).



Segun se ve en la figura, la pendiente no coincide en todos los puntos de la ria, y al paso que en unos sube la marea en otros descende, presentando inclinaciones en sentidos encontrados. Pero aún prescindiendo de la forma, la explicacion anterior difiere de la dada por la teoría de las ondulaciones, en suponer que la elevacion del agua proviene de dos causas. 1.<sup>a</sup> De la masa de agua que de la mar penetra en la ria. 2.<sup>a</sup> Del remanso de las aguas del rio que contribuye á elevar más el nivel. Esto es inadmissible si se excluye por completo la teoría de las ondulaciones. 1.<sup>o</sup> Porque no explica las pleas y bajamares simultáneas observadas en algunas rias de grande extension, por ejemplo, en la de las Amazonas [85]. 2.<sup>o</sup> Porque la forma misma de la onda de marea excluye esta hipótesis; de ello tenemos un ejemplo en el Garona (fig. 69). Esta figura representa la marcha de la marea el 6 de Setiembre de 1846, en mareas vivas y estiaje.

A las 4<sup>h</sup> y 55' era pleamar en Verdon y en Bee-d'Ambez á las 6<sup>h</sup> y 40': la plea es más elevada en este último que en aquel, y otro tanto sucede en Gumsac á las 8<sup>h</sup>. Pues bien, si la elevacion es producida por las aguas del mar vertiendo hácia el interior, no puede suponerse descienda el nivel en Verdon y que en Bee-d'Ambez tome uno más elevado. Debemos tambien hacer notar que en Verdon es el límite del agua salobre, y la elevacion no puede ser debida al agua del mar vertiendo en el rio. Y por último, el agua salada apareceria en este caso siempre en la superficie cuando por el contrario, se encuentra en el fondo.

Tampoco la mayor elevacion puede provenir de las aguas del rio que se ven interrumpidas en su curso por la marea, pues ántes llenarian la depresion que se observa delante de ellas. Es por lo tanto la marea, en su mayor parte, una ondulacion trasmitida del exterior á las aguas de la ria, y decimos en su mayor parte, porque el fenómeno es mixto, por la irregularidad del cauce de las rias en su estado natural, que impide á la ondulacion se propague íntegra sin quebrarse y formar otras nuevas.

Entiéndase, que así las aguas del mar como las del rio, contribuyen á la elevacion de la marea, trasmitiéndose la ondulacion de aquellas á éstas, y penetrando las primeras en una cierta extension del cauce. Cuando ántes dijimos que las del rio no influyen en la marea, debe sobrentenderse en la forma ordinaria en que lo verifican las corrientes fluviales cuando aumenta ó disminuye su caudal.

96. MARCHA DE LAS MOLÉCULAS DURANTE LA MAREA.—Una molécula de agua que descende por el rio, no se encuentra, como en la mar libre, llevada al cabo de períodos regulares al punto de partida; apénas entra en la esfera de accion del flujo, su velocidad disminuye hasta ser nula. Desde aquel momento obedece á la accion del reflujó acercándose á la costa, y retrocediendo én el siguiente flujo, pero no hasta el punto de partida. Desciende de nuevo, y al cabo de un número mayor ó menor de mareas, (segun la extension de la ria y sus condiciones) llega al mar la molécula para perderse entre las demas de agua salada. Estas, que sólo penetran en una pequeña parte de la ria, comunican á las aguas fluviales grados de saturacion cada vez menores, hasta desaparecer la sal por completo mucho ántes de llegar al límite de las mareas. El límite del agua salada, varía con el estado de la marea, con su altura, con el caudal del rio, etc. etc.; y es evidente que en las avenidas y mareas muertas penetrará ménos que

en el estiaje y marcas vivas. En las mayores marcas del Sena, y durante el estiaje, no se han encontrado señales de sal en la Mailleraye á 63 kilómetros de la desembocadura del Sena. Tambien se observa que la masa de agua salada, forma una especie de cuña que penetra más adentro de la ría en la parte del fondo que en la superficie, fenómeno más visible en las avenidas, cuando el fango en suspension permite distinguir claramente las diferentes capas.

Una consecuencia de esta separacion del agua dulce y de la salada, es el no aparecer siempre la máxima velocidad en la superficie ó próxima á ella. En la ría de Cromarty, cuando la corriente de flujo es en la superficie de 0,94 metros por 1'', á los 15 metros de profundidad lo es de 2,00 metros, y en el reflujó las dos corrientes son respectivamente de 1,35 y 2,25 metros (a).

97. SECCIONES EN QUE DEBE CONSIDERARSE DIVIDIDA LA RÍA PARA SU ESTUDIO.— Debemos considerar tambien aparte aquella extension de la ría en la cual, aunque la marca se hace sentir, la corriente de flujo no existe, y en donde las moléculas descienden siempre segun la pendiente del río. En esta parte no tiene aplicacion lo que más adelante expondremos acerca de la influencia de las corrientes alternativas en el régimen de la ría, y la onda puede asimilarse más bien á la que forma el remanso en las corrientes fluviales de cauce variable. Este punto en que la accion alternativa de las corrientes principia, varía con la marca, aproximándose al mar en las muertas y alejándose de él en las vivas.

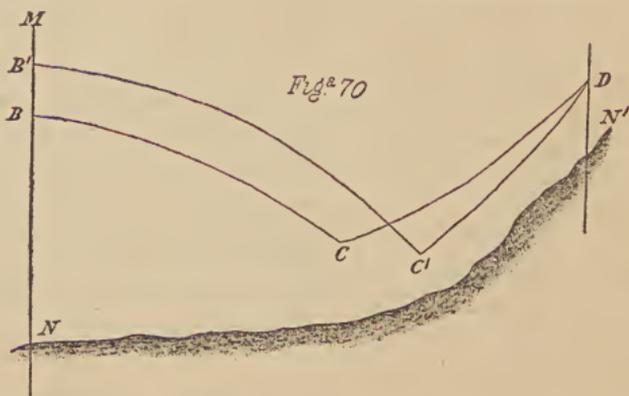
Tambien dividiremos la ría en dos partes distintas, con relacion á la bajamar. En la costa, las marcas de las sizigias suben y bajan más que las ordinarias y las muertas; en el interior de las rías, la plea sigue la misma ley, pero en la baja es inversa; es decir, que el nivel desciende más en las muertas; debe, pues, existir un punto invariable para el mismo estado del río, en el cual la bajamar sea constante para todos los dias de la luna, punto que se acerca á la costa cuando el caudal fluvial aumenta, y se aleja cuando disminuye. Desde dicho punto á la costa, las bajamars bajan más en las sizigias que en las cuadraturas, y al contrario desde él hácia el interior de la ría.

(a) Sin necesidad de apelar á la explicacion dada, y sin negar tampoco su influencia, resulta de los recientes experimentos de Mr. Bazin y de los ingenieros encargados del servicio hidráulico en el Missisipi, que lo aquí llamado anomalia es más bien la ley general de la hidráulica de los ríos.

Este punto en el Sena no pasa de la Hode á 20 kilómetros del Havre, y es próximamente el mismo así en estiaje como en épocas de avenidas; al paso que en el Garona sube hasta 15 kilómetros aguas abajo de Burdeos, ó á 80 de la desembocadura; pero en las crecidas baja á Bec d'Ambez á 70.

Tambien debemos hacer observar que en toda ria hay tambien un punto, á partir del cual, hácia aguas abajo, no influye el estado del caudal fluvial, siendo iguales las bajamares para el mismo dia de la luna, en las bajas aguas como en las crecidas. Esto depende, como es fácil comprender, de la seccion de la ria con relacion al caudal fluvial, de la pendiente, de la magnitud de las mareas, etc. Este punto no es tan fácil de marcar, porque no se pueden referir á la misma marea los datos que Partiot consigna; y al paso que en el Sena las mareas vivas en las avenidas tienen la bajamar más alta ó la misma, pero con irregularidad, en el Garona, aparece más baja en las avenidas. Para que fuesen comparables, era necesario que la marea fuese la del mismo dia de la luna ó que estuviere en ambos en iguales condiciones.

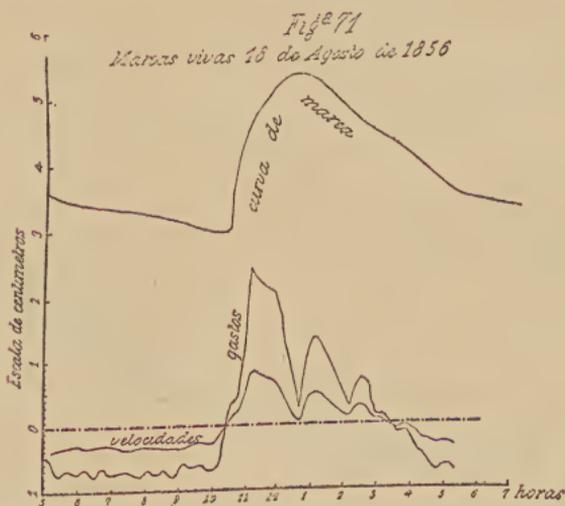
98. VOLÚMENES DE AGUA QUE RECORREN LAS RIAS, Y VELOCIDADES MÉDIAS EN CADA INSTANTE DE LA MAREA.—Para calcular prácticamente los volúmenes que pasan por la seccion de una ria en un tiempo determinado, y la velocidad média, nos valdremos de los perfiles momentáncos. Supongamos la seccion del cauce uniforme, y que  $M N$  (fig. 70) represente aquella á que



nos referimos;  $B C D$  el perfil momentáneo al principio y  $B' C' D'$  al fin del período marcado. El agua que habrá pasado por  $M N$  será el volúmen

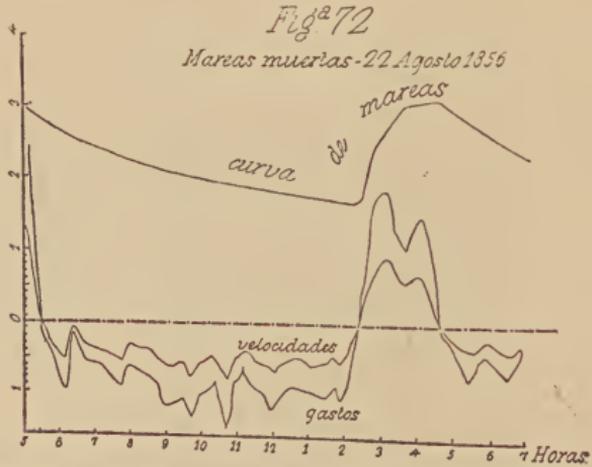
$B' N N' D C' B'$  ménos el  $B N N' D C B$ ; rebajando ademas de él la cantidad de agua suministrada por el rio en aquel intervalo. Conocido el volúmen, la velocidad média de la corriente se obtendrá dividiéndolo por el tiempo trascurrido y por la seccion média para el mismo intervalo.

De este modo, trazando una curva con los tiempos por abscisas y las velocidades ó volúmenes por ordenadas, nos formaremos exacta idea de la marcha de aquellas. Esta manera de calcular las velocidades es bastante aproximada, pues varian con lentitud. Conviene, sin embargo, tomar la precaucion de no comprender una estoa de corriente en uno de los intervalos, aunque esto tampoco tendria grande influencia en el resultado. Las figuras 71 y 72 representan gráficamente la marcha de la marca en Vi-

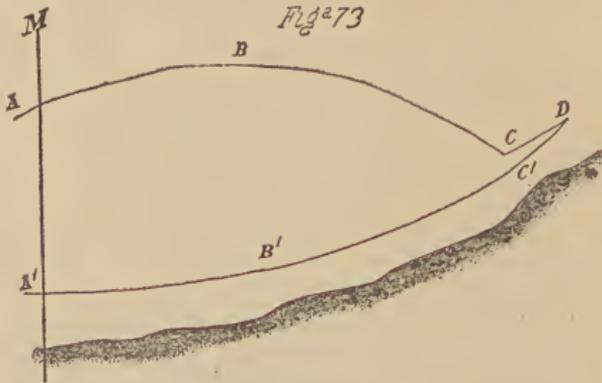


llequier en mareas vivas y muertas. Cada division de un centímetro representa 200.000 metros cúbicos en cada cuarto de hora para los volúmenes, y 2 metros lineales para las velocidades. La unidad tomada es el cuarto de hora. Las velocidades por segundo se deducen de los volúmenes dividiendo estos por la seccion respectiva y el número de segundos que contiene un cuarto de hora.

Los volúmenes que más interesa conocer son los que corresponden á los intervalos comprendidos entre las estoas de flujo y de reflujó; es decir,



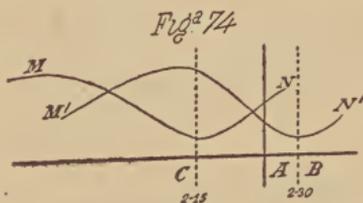
la cantidad de agua del mar que éntra en una marea y la que sale en la siguiente. Sea  $A B C D$  (fig. 73) el perfil momentáneo de la estoa de la



pleamar que sigue á la de baja en la seccion  $M N$ , y  $A' B' C' D$  la estoa de la bajamar anterior; la cantidad de agua que habrá entrado, es la diferencia entre el volúmen  $N A B C D' N$  y  $N A' B' C' D N'$  disminuida del volúmen que el rio desaguó durante aquel tiempo. Tomando el perfil de la estoa de bajamar siguiente y agregando el volúmen correspondiente del rio, se tendrá la cantidad total de agua fluvial y del mar que ha salido. Si los dos perfiles de la estoa de reflujó son iguales, el exceso de la cantidad que ha salido sobre la que entró, será exactamente la suministrada por el rio en todo el intervalo de baja á baja.

La dificultad consiste en determinar los puntos de las estoas de corriente. Partiot supone aproximada y empíricamente, que se verifica cuando la curva del perfil momentáneo es horizontal en el punto elegido, lo cual no es completamente exacto; más aproximado sería calcular la curva de las velocidades cuya interseccion con el eje de las abscisas dará el momento de la estoa, procedimiento aplicable igualmente á los volúmenes; pues no habria más que sumar los parciales que corresponden entre las dos estoas inmediatas.

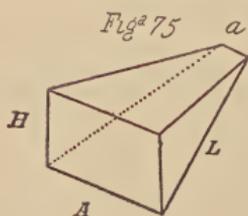
Para aplicar el método de Partiot se construyen dos perfiles momentáneos que comprendan la estoa del punto elegido, y por ellos se determina para cada uno en qué puntos hace estoa la corriente; una regla de proporcion dará aproximadamente el instante de la estoa para la seccion tomada. Supongamos, por ejemplo, que se han trazado los dos perfiles momentáneos  $MN$  y  $M'N'$  (fig. 74) con un intervalo de 15'; que la distancia entre los puntos  $C$  y  $B$  á que corresponden las estoas de 2<sup>h</sup> 15' y 2<sup>h</sup> 30', sea de 3 kilómetros; y la  $AB$  de un kilómetro; la estoa en  $A$  será próximamente á las 2<sup>h</sup> 25'. Si del perfil momentáneo trazado para esta hora no resultase hacer estoa en el punto elegido, una nueva aproximacion daria el punto con mayor exactitud.



Los perfiles momentáneos se trazan muy fácilmente cuando se conocen en diferentes secciones de la ria las curvas de marea con relacion á un punto fijo en cada una. Si se ligan todos estos puntos por un perfil longitudinal, basta llevar sobre cada uno la ordenada de la curva de marea correspondiente á aquel instante, lo cual nos dará el perfil que la superficie del agua afecta entónces, ó el perfil momentáneo de la ria.

Bouiceau emplea para determinar la masa de agua que penetra en un rio y su velocidad média en diferentes puntos, un método que aquel autor llama aproximado, y que nosotros calificamos de erróneo. No hay dificultad en aceptar las formas que supone al cauce; pero no es posible calcular la masa de agua admitiendo dos datos evidentemente falsos. 1.º Que la pleamar se verifica al mismo tiempo en todas las secciones de la cuenca de la ria. 2.º Que es una horizontal, ó cuando ménos una línea recta, la sec-

ción longitudinal de la superficie del agua. A estos datos erróneos agreguemos: 1.º el tomar como velocidad média la que corresponde á la mitad de la superficie de entrada; y 2.º el adoptar en sus deducciones ulteriores como elemento para calcular la fuerza de arrastre de la marea, la velocidad média, cuando, segun veremos, procede hacerlo con la máxima. Partiendo de aquellos datos, Bonniceau deduce de la siguiente manera la velocidad média. El volúmen será igual á ella multiplicada por el tiempo de una média



marea, y por la mitad de la superficie de entrada ó salida. Este producto lo supone igual al volúmen representado por la fig. 75, y se deduce de la relacion resultante la velocidad média. Aplicando ese método á un trozo de ria de planta trapezoidal, tendremos la siguiente fórmula:

$$(1) \quad \frac{1}{2} AHTv = \frac{1}{3} LH \left( A + \frac{1}{2} a \right)$$

Y despejando á la velocidad  $v$

$$(1') \quad v = \frac{2}{3} \cdot \frac{L}{T} \left( 1 + \frac{a}{2A} \right)$$

en donde  $T$  representa el tiempo de una média marea;  $A$  y  $a$  los anchos respectivos de la seccion que se considera y de la extrema, y  $L$  la distancia que média entre la seccion y el punto adonde llegan las mareas.

El único sistema aproximado que merezca alguna confianza, es el expuesto ántes, valiéndonos de los perfiles momentáneos y de las secciones transversales de la ria; y ahora vamos á determinar la relacion entre la cantidad de agua que sube en cada marea y la que sale. Para esto calcularemos el volúmen entre dos estoas consecutivas, una de plea y otra de bajamar.

Representemos por las letras  $S$  y  $s$  con un índice para cada seccion transversal del canal, las correspondientes respectivamente á cada estoa;  $\Delta L$  la distancia entre dos consecutivas;  $n$  el número de divisiones que comprende la estoa de flujo;  $m$  y  $m'$ , los volúmenes respectivos que la corriente fluvial vierte durante el flujo y el reflujó; y  $M$  y  $M'$ , los que, procedentes del mar entran y salen en cada marea.

El volúmen correspondiente al perfil momentáneo de la estoa de reflujó

será  $\Sigma_1^n s \Delta L$ ; y  $\Sigma_1^n S \Delta L$  el de la estoa de flujo siguiente; luego el volúmen que se ha acumulado dentro de la ria entre dos estoas consecutivas de reflujo y de flujo, estará expresado por la diferencia

$$\Sigma_1^n S \Delta L - \Sigma_1^n s \Delta L.$$

Pero en este tiempo ha entrado procedente del mar, la masa  $M$ , y ha dejado de salir del rio la  $m$ , y podremos establecer la siguiente igualdad:

$$(2) \quad M + m = \Sigma_1^n S \Delta L - \Sigma_1^n s \Delta L.$$

Si, como sucede siempre, los puntos en que se suponen conocidas las secciones son los mismos para las dos estoas, se puede dar á la fórmula (2) otra forma más sencilla:

$$(2') \quad M + m = \Sigma_1^n (S - s) \Delta L.$$

Y si las distancias entre cada dos fuesen iguales,

$$(2'') \quad M + m = \Delta L \Sigma_1^n (S - s)$$

Debiendo advertir que  $S$  y  $s$  representan las secciones correspondientes á la mitad de las distancias  $\Delta L$ , ó la semisuma de las dos extremas; porque si se tomasen las correspondientes á las extremidades de estas, sería en tal hipótesis:

$$(2''') \quad M + m = \Delta L \left[ \frac{1}{2} (S_1 - s_1) + (S_{n+1} - s_{n_1}) + \Sigma_2^{n+1} (S - s) \right]$$

Si llamamos  $s'$  las secciones correspondientes á la estoa siguiente de reflujo, habrá salido un volúmen representado por

$$\Sigma_1^n S \Delta L - \Sigma_1^n s' \Delta L.$$

Cuyo volúmen equivalia á la cantidad  $M'$  más la  $m$  acumulada durante el flujo anterior, ó

$$(3) \quad M' + m = \Sigma_1^n S \Delta L - \Sigma_1^n s' \Delta L;$$

y la diferencia entre la cantidad que sale procedente del mar y la que entra, será restando la ecuacion (2) de la (3),

$$(4) \quad M' - M = \Sigma_1^n (s - s') \Delta L$$

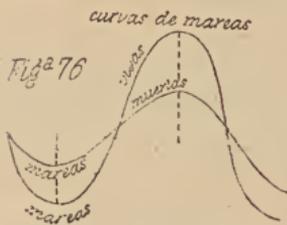
y contando con el agua del rio habrá que agregar el volúmen  $m + m'$  para tener el exceso total del volúmen de agua que sale en el reflujo.

99. RELACION ENTRE EL AGUA PROCEDENTE DEL MAR QUE ENTRA Y SALE EN UNA RIA EN CADA MAREA.—Ordinariamente  $s - s'$  no es cero de una marea á la inmediata, y Partiot deduce el siguiente resultado. Como los espacios cubier-

tos por el agua en bajamar son menores á medida que nos acercamos á las sizigias,  $s - s'$ , será positiva y saldrá en este período más agua del mar de la que entra (prescindiendo de la del río). Por el contrario, acercándose á una cuadratura entrará más de la que sale.

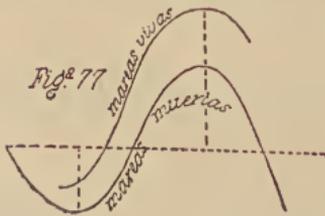
Si consideramos la seccion de la ria aguas arriba del punto de bajamar invariable [97], el fenómeno se presentará invertido, pues allí las mareas bajan más en las cuadraturas que en las sizigias.

Al deducir los anteriores resultados, Partiot toma los perfiles momentáneos de la bajamar, para las dos mareas consecutivas, y no los correspondientes á la estoa de reflujó; es lo probable, y acaso suceda siempre, que la ley establecida por aquel ingeniero se realice, pues las estoas de reflujó suceden ordinariamente ántes de la média marea. Si examinamos (fig. 76) las curvas de dos mareas consecutivas, vemos que los niveles rela-



tivos ántes de aquella fase, son respectivamente mayores ó menores, segun lo sean las bajamares; y como consecuencia, también mayor ó menor el agua representada por el perfil momentáneo. Para la seccion de aguas arriba del punto de bajamar invariable, no necesitamos hacer observacion alguna, porque

la fig. 77, análoga á la 76, que corresponde á este caso, hace todavía más



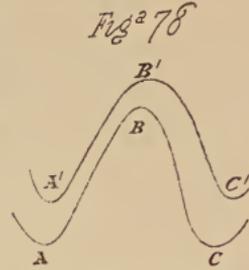
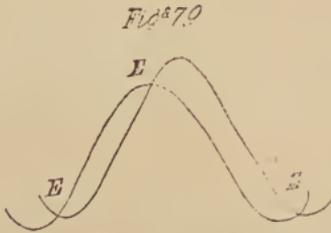
probable que el perfil de la estoa siga, para cualquier estado de la marea, la ley del de bajamar. En lo que precede suponemos también se verifica la estoa de reflujó á la misma hora, á partir de la bajamar, en las dos mareas consecutivas, lo cual no

es rigurosamente exacto, aunque la diferencia no sea grande. El problema es, pues, más complicado de lo que á primera vista parece, pues  $m$  y  $m'$ , que hacemos invariables, dependen de las estoas de corriente y del tiempo que média entre ellas, que no se reparte de una manera uniforme todos los días ni en todo el tiempo, entre las dos estoas.

100. ESTUDIO DE LAS CORRIENTES POR LAS CURVAS DE MAREA.—Partiot pretende equivocadamente deducir de las curvas de marea indicaciones

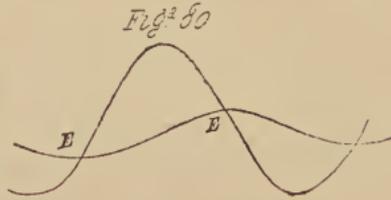
útiles sobre las corrientes y fijar reglas para la determinación de las estoas. Si las curvas tomadas en dos puntos bastante próximos para admitir sin error que la pendiente entre ellos es uniforme, afectan (fig. 78) la forma y posición  $ABC$ ,  $A'B'C'$ , siendo  $ABC$  la de aguas abajo, nunca habrá inversión en la corriente, predominando siempre la del río, más ó ménos debilitada.

Si las dos curvas van ascendiendo (fig. 79)

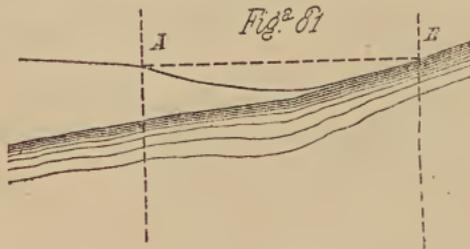


las estoas  $E$  de la corriente sucederán más cerca de la plea y baja, al paso que si se deprime una de ellas (fi-

gura 80), se acercarán á la média marea. Conviene, segun Partiot, tener presentes estas indicaciones para las aplicaciones relativas á la conservación del régimen de las rias. Así se observa que las figuras 78 y 79, dan velocidades muy uniformes, al paso que de la fig. 80 resultan grandes variaciones para las velocidades, así de flujo como de reflujó.



Debemos llamar la atención sobre los errores en que se incurriría admitiendo las anteriores deducciones, áun aceptando una teoría independiente de la de las ondulaciones. El exámen aislado de las curvas de marea, conduciría en algunas localidades á resultados absurdos: las curvas de marea correspondientes á las secciones  $A$  y  $B$  (fig. 81), pueden dar para la ma-



rea lá misma elevacion en el mismo instante, y la estoa corresponder á un punto intermedio entre las dos estaciones.

101. INFLUENCIA DEL AGUA DEL RIO EN LAS VELOCIDADES DE FLUJO Y DE REFLUJO Y EN LOS DEMAS ACCIDENTES DE LA MAREA.—Si prescindimos de la diferencia [98 y 99] entre el agua procedente del mar que entra ó sale en cada marea, las velocidades deben regularizarse en el reflujó más que en el flujo, pues al agua que penetra en la ria se agrega ( $m+m'$ ) ó el volúmen que vierte el rio por término medio en una marea; y como consecuencia deduciremos que la corriente de reflujó será tanto más uniforme cuanto mayor caudal lleve el rio relativamente al agua de la marea. Esto se observa en las curvas de velocidades que Partiot calcula para la desembocadura del Sena (figuras 71 y 72); de donde resulta, que en las crecidas debe la corriente de reflujó ser más regular que en bajas aguas, y más en las mareas muertas que en las vivas.

Pero esta consideracion sólo debe tenerse en cuenta en los rios que, como el Sena, llevan un caudal grande de agua; en este rio la relacion de su caudal al de una marea, es en las bajas aguas, de vez y média para las mareas muertas, y de una y un sexto en las vivas. El influjo del caudal fluvial es inapreciable en los pequeños rios, y conviene prescindir de él.

No es condicion precisa que la velocidad máxima de reflujó sea en un punto dado de una ria, mayor que la del flujo, conforme á lo que establece la teoría; hay en esto mucha variedad. Así, en el Garona, las velocidades de flujo y de reflujó son ambas las mismas (2,00 metros) cerca de la punta Grave; y mayor la última que la primera en la confluencia de aquel rio con el Dordoña á 70 kilómetros del mar.

En el ejemplo ántes citado del Cromarty [91] se ha visto que la velocidad del reflujó ganaba un quinto sobre la del flujo, mientras que la relacion de las aguas fluviales en bajas aguas, á las de la marea de sizigias, es de  $\frac{1}{1541}$ , y  $\frac{1}{791}$  en las muertas. Esta relacion crece durante las avenidas, convirtiéndose entónces los dos números anteriores en  $\frac{1}{67}$  y  $\frac{1}{29}$ .

En el Sena sucede lo contrario; á pesar del aumento de volúmen en el reflujó, generalmente la velocidad máxima de su corriente es menor que la del flujo. En el Sena, dice Partiot, la máxima velocidad de flujo en mareas vivas observada en Quillebœuf el dia 13 de Noviembre de 1856, ha sido de 2,14 metros por 1" y tuvo lugar média hora despues de la estoa de

reflujo; al paso que la de reflujo era de 1,78 metros, y no aparecia hasta cuatro horas despues de la estoa de flujo. En mareas muertas, la velocidad máxima de flujo fué de 1,95 metros y la del reflujo 1,10. En estos y otros hechos análogos se han fundado los ingenieros para consignar un resultado contrario al de la teoría, y establecer que el flujo tiene en las rias una predominancia sobre el reflujo. Los dos casos no son idénticos, y prescindiendo de otras rias ya citadas (la del Cromarty por ejemplo), en que se verifica lo contrario, la teoría se refiere á un cauce regular y no desarreglado como el del Sena.

Las velocidades máximas relativas de la corriente de flujo y reflujo, tienden á regularizarse á medida que se avanza hácia el origen de la ria, pues la influencia de la corriente fluvial va aumentando, y hasta llega á hacerse predominante en sentido contrario al flujo. En el ejemplo del Sena ántes citado, las velocidades máximas de flujo y reflujo en mareas vivas del 18 de Agosto de 1856, fueron de 2,22 metros y 1,46 metros respectivamente en Quillebœuf; de 1,84 metros y 1,24 metros en Villequier; y de 1,00 metros y 0,71 metros en Duclair. El 23 del mismo, en mareas muertas, las observaciones dieron para las velocidades respectivas los siguientes números: 1,95 metros y 1,10 metros en Quillebœuf; 1,08 metros y 1,00 en Villequier; 0,65 metros y 0,59 metros en Duclair; y si continuásemos rio arriba, encontraríamos un punto para el cual la velocidad de flujo se reduce á cero; punto comprendido para las grandes mareas entre Martot y Pont de l'Arche, y que suele descender hasta Villequier, si una grande avenida coincide con una marea muerta.

Durante las crecidas, las velocidades de flujo son aún menores. Esta disminucion progresiva de las velocidades, se observó igualmente en otros rios, el Loira, Garona, etc.

Aunque en algunas ocasiones la velocidad máxima de flujo es mayor que la de reflujo, no significa lo sea tambien la média en las rias en que aquello suceda. Para el Sena, en Quillebœuf, Villequier y Duclair; y para el Loira, en Nantes y Saint-Nazaire, las velocidades médias de reflujo exceden á las de flujo, en bajas aguas y en mareas vivas. Es evidente que con mayor razon se verificará la misma ley en otras condiciones y estados del rio y de la marea.

En los ejemplos citados, no sólo es mayor la velocidad média de reflujo, sino tambien el tiempo durante el cual se siente; pero esto no se puede

establecer como una regla general, pues depende del caudal de agua que el rio lleve; y así se observa en las avenidas una mayor duracion del reflujó, y en puntos dados llega á anular la de flujo que existia durante las bajas aguas.

Es bien fácil prever, no sólo por lo que dicta la razon, sino por los hechos consignados ántes, lo que sucederá á la marea durante las avenidas. Penetra ménos en la ria, y el punto limite á donde alcanza el reflujó, se acerca á la costa [97]. El nivel varía muy poco en la region marítima, así en la plea como en la baja; pero á partir de cierto punto, el nivel de las bajamars se eleva rápidamente, y otro tanto sucede con las pleas, á contar de otro situado aguas arriba de aquel. El punto invariable de la bajamar se habrá trasladado más cerca de la embocadura.

102. RESÚMEN.—Recapitulando lo dicho relativamente á las mareas, diremos: 1.º Que las pleamars son mayores en las mareas vivas que en las muertas para toda la extension de la ria, y su accion se hace sentir en aquellas más adentro que en estas. 2.º Que la baja en las mismas mareas, es más baja cerca de la embocadura y más alta en la parte superior de la ria, habiendo un punto intermedio en el cual la altura es invariable para un mismo estado del rio, cualquiera que sea el dia de la marca. 3.º Que el descenso de la marea es más lento y ocupa más tiempo á medida que se penetra más adentro en la ria. 4.º Que cuando existe una pendiente en el fondo, un banco ó un obstáculo cualquiera, el agua se eleva más sobre él durante el flujo, però se deprime á su paso por encima. En el descenso, el bajo detiene la marcha de la marea y la obliga á bajar con lentitud. La forma de la onda es entónces más pronunciada, su parte anterior más pendiente, y llega á veces á ser tal, que se desarrollan violentas corrientes y rompientes peligrosas. 5.º Un ensanchamiento de la ria hace subir ménos la marea, al paso que un estrechamiento la eleva más; la duracion del flujo es mayor en el primer caso y menor en el segundo.

103. CAUSAS PERTURBATRICES DE LAS LEYES QUE SIGUE LA TRASMISION DE LA MAREA.—En las consideraciones que preceden, hemos prescindido de aquellas causas accidentales y locales que, como el viento, pueden modificar la accion de las mareas y de su corriente. El viento tiene aquí como en las costas una grande influencia en la elevacion de la marca [75]: en el

Clyde sube con los vientos del Oeste y baja con los del Este. No se ha observado una influencia marcada en la velocidad de trasmision; debe, sin embargo, influir, aunque sea sólo indirectamente por la distinta elevacion que la marea toma [86]. Tambien los vientos, por su accion directa sobre las aguas, influyen en las estoas, prolongándolas ó acelerándolas segun el sentido en que soplan con relacion á la corriente.

Asimismo se suele observar que las estoas de reflujo principian y acaban más tarde en el medio de la ria que en los bordes; esta diferencia, que llega á veces á ser de tres cuartos de hora en el Sena, segun Partiot, se atribuye á la mayor intensidad de la corriente fluvial en el centro del rio. En las crecidas suele suceder que la corriente de flujo se establece con bastante intensidad en los bordes, sin que durante la marea cese en el centro la de reflujo.

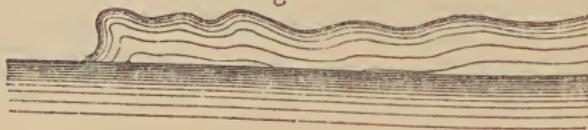
El mismo fenómeno se reproduce en sentido vertical; así la corriente de flujo se establece ántes en el fondo que en la superficie.

104. BORE Ó MASCARET.—Hemos dado fin al estudio de los fenómenos, ya generales ya particulares, que influyen en el régimen de las rias, pero no debemos pasar en silencio la descripcion de uno, que si bien no se presenta en las de España, ha llamado por largo tiempo la atencion de los ingenieros, quienes han dado de él diversas explicaciones, aunque hoy estén casi todos de acuerdo en la causa que lo produce. Cuando la marea sube rápidamente, se desarrolla sobre los bajos y playas una rompiente particular, conocida con el nombre de *bore*, *barra mascaret*, ó *pororoca* segun los paises. Se observa entonces al principiar la marea, que el agua se encuentra perturbada; la ondulacion se forma sin romper, hasta que elevándose el nivel sobre las márgenes tendidas ó bancos, el equilibrio se altera y la onda rompe con gran ruido arrastrando consigo cuanto encuentra al paso, y haciendo zozobrar las embarcaciones. Pasado el bore, la marea y su corriente continuan ascendiendo con gran rapidez durante algun tiempo (hora y média en el Saverna); entónces la marea descende, y su corriente se retrasa en aquella ria unos 15'. Al cambiar la direccion de la corriente, aparece una línea producida probablemente por el encuentro de las dos corrientes, ascendente y descendente, que ocupa todo el ancho de la ria y baja lentamente por ella. Partiot, sin embargo, al describir el bore del Sena, dice que esta corriente superficial hácia aguas abajo, sólo se ha observado en los dias en que el bore era muy débil; y sobre todo,

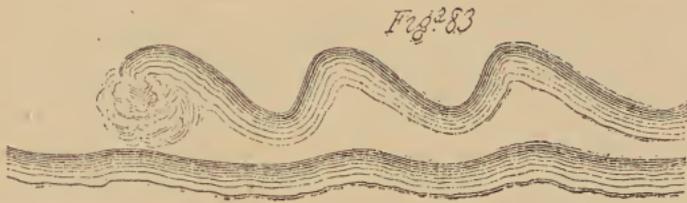
cuando el viento favorecia esta corriente. Desde aquel instante, la corriente descendente va aumentando de intensidad hasta llegar á veces á ser comparable con la de algunos torrentes. Una de las circunstancias notables del fenómeno, es que el cambio de corrientes se propaga desde aguas arriba á aguas abajo contra la ley general establecida [91], que es siempre de aguas abajo hácia aguas arriba. Cuando la ria se divide en varios canales, el bore se ramifica igualmente en otros brazos parciales, que recorren con velocidades distintas longitudes diferentes, y llegan en momentos diversos al punto de union. Tambien el bore se refleja, y combinándose todos estos accidentes, desarrollan aspectos variados en la apariencia del fenómeno. Dijimos que las condiciones necesarias para la produccion del bore son dos: 1.<sup>a</sup> Un ascenso rápido de la marca; y hé aquí por qué en las rias de España de pequeña carrera de marca, no se conoce este fenómeno. Tampoco en otras rias se desarrolla en todas las marcas, y es necesario esperar á las vivas para observarlo. 2.<sup>a</sup> Una playa tendida ó un cauce poco profundo ó cubierto de bancos para que la ondulacion rompa. Si el cauce es profundo ó de márgenes escoradas, el bore no se forma; se manifiesta allí tan sólo como una grande ola que desaparece para desarrollarse más adelante donde concurren circunstancias favorables. Cuando se presenta el bore, los buques procuran ganar la parte profunda del canal para no hacer su pérdida irremediable. Las partes profundas del cauce y las cubiertas de bajos se marcan distintamente en la línea del bore, compuesta de trozos en que la ondulacion no ha roto, interrumpidos por otros cubiertos de espuma. Generalmente la parte de las orillas se encuentra en este caso, y la central (si no tiene bancos el lecho), en el primero.

La forma longitudinal de la ondulacion, es la de un arco cóncavo hácia el origen del río, sin duda porque la corriente fluvial opone en el centro mayor resistencia á la marcha. En el Sena forma un arco de 90° cóncavo hácia el interior del río, que se extiende desde la punta de Hode á la de la Roque, y comprende una extension de diez kilómetros. Su seccion trasversal es muy variada segun las condiciones del fondo, como puede verse en las figuras. Ya es una ónda con ligeras inflexiones en la superficie (fig. 82); ya se com-

*Fig.<sup>a</sup> 82*



pone de ondulaciones acusadas hasta de  $1\frac{1}{2}$  á 2 metros de hondo (fig. 83)



Las formas que afecta son extremadamente variadas, segun las circunstancias locales; aquí damos algunas (figuras 82, 83, 84 y 85), pudiendo acudir á la memoria escrita por Partiot para las demas.



En cuanto á su corriente, la menor velocidad de los filetes fúidos del rio en el fondo y en las márgenes hacen, segun ha observado Partiot, que se sienta en uno y otras más pronto que en el centro y en la superficie, análogamente á lo que sucede para los casos ordinarios [103].

La fórmula (5) [39]

$$V = \sqrt{g(H+h)} - U$$

dá la explicacion del fenómeno llamado bore. A medida que la marea sube,  $h$  aumenta y  $U$  disminuye, luego por dos razones tiende á aumentar la velocidad de las capas de la onda que sucesivamente penetra en la ria; y avanzando las últimas más rápidamente que las precedentes, se reunen á las primeras acumulándose y formando la ondulacion denominada bore.

Este fenómeno lo reprodujo Bazin artificialmente en un canal. Se levantaba diez centímetros la compuerta destinada á dar paso al agua que debia dar origen á las ondas [40], y la masa flúida subia aguas arriba con-

tra la corriente. Á los 5' se elevaba la compuerta que habia quedado abierta otros diez centímetros; es decir, que presentaba un desagüe de 20, formándose una segunda onda que alcanzaba á la primera por su mayor velocidad. Á los 5' se levantaba más la compuerta, y así se continuaba formando nuevas ondas, que marchaban con velocidades crecientes á reunirse con las anteriores.

El bore puede producirse tambien en aguas profundas; si la velocidad de la corriente fluvial fuese excesiva, la onda romperá y la formacion del bore dependerá de que se verifique [53] (31)

$$U + u_0 > \sqrt{2gH};$$

de manera, que si bien en general un aumento de profundidad tiende á disminuir la velocidad del rio, un estrechamiento excesivo de seccion puede anular los efectos del mayor calado, y aumentar la intensidad del bore, segun se observa en algunos puntos del Sena.

Si se tiene [41]

$$h V < H U$$

es decir, que el volúmen engendrado por la onda de la marca sea menor que el de la corriente descendente, el agua, despues del paso de la onda, puede continuar marchando aguas abajo [41] y así se explica el retraso en la inversion de las corrientes. Y por el contrario, cuando

$$h V > H U$$

el paso de la onda es seguido inmediatamente de un cambio en el sentido de la corriente, que será tanto más marcado, prescindiendo de  $U$ , cuanto más pequeño sea  $H$ .

El tomo primero de la 4.<sup>a</sup> *série de los Anales de puentes y calzadas* contiene un estudio de las diferentes fases del bore en la ria del Sena, debido á Mr. Partiot; en él encontrarán los ingenieros que deseen estudiar á fondo el fenómeno, cuantos detalles puedan apeteer.

---

## CAPITULO V.

### CORRIENTES Y RESACAS.

#### RESUMEN.

105. Importancia de las corrientes en el estudio de los puertos.—106. Clasificación de las corrientes.—107. Corrientes litorales.—108. Revesas.—109. Corrientes que chocan contra obstáculos.—110. Corrientes submarinas.—111. Corrientes accidentales.—112. Corrientes en las costas de España.—113. Dirección y velocidad de las corrientes.—114. Clasificación de las resacas.

105. IMPORTANCIA DE LAS CORRIENTES EN EL ESTUDIO DE LOS PUERTOS.—Las corrientes desempeñan un papel muy principal en el proyecto de las obras de un puerto, por su influencia. 1.° En la marcha del buque que pretende la entrada, y cuya pérdida podrían causar. 2.° En la agitación que originan en el interior haciendo trabajar á los buques fondeados: y 3.° En la conservación del puerto, porque atacan y destruyen las obras y forman depósitos que lo ensucian en unos casos, así como en otros contribuyen á arrastrarlos fuera y á mantener limpio el fondo. El evitar las corrientes es uno de los problemas difíciles de resolver, pues casi siempre penetran en el interior de un puerto á pesar de las obras mejor combinadas.

Era imposible tratar de las mareas, sin ocuparnos al mismo tiempo de las corrientes de que son origen; y habiéndolo ya hecho con toda extensión en los capítulos correspondientes, es inútil mencionarlas aquí, advirtiéndolo desde ahora que se les puede aplicar cuanto digamos de las demas.

106. CLASIFICACION DE LAS CORRIENTES.—Las corrientes se dividen en dos grupos principales; *generales* y *litorales*. Las generales, como la famosa corriente denominada de *Golfo*, interesan sólo á la navegacion y de ningun modo al ingeniero ó constructor de obras de puertos, aunque sí le interesan las ramificaciones de dichas corrientes que se hacen sentir en las costas y que, modificadas por ellas y otros accidentes, entran en la categoría de las corrientes litorales. Por otra parte, estas corrientes son tan poco conocidas, que cuanto de ellas digamos está sujeto á rectificacion.

Hé aquí la circulacion más admitida de las corrientes generales. Si la accion del viento determina corrientes en el sentido del movimiento [63], serán persistentes allí donde lo sean los vientos. En la zona de los alisios, se establecerá una corriente de Nordeste al Sudoeste para el hemisferio Norte, que se inclinará progresivamente al Oeste á medida que se acerca al ecuador. Del mismo modo en la zona templada el contraalisio dará origen á otra corriente en sentido inverso que se ligará á la primera, por una zona de agua, remansada ó con corrientes variables y multiplicadas.

Si el mar fuese cerrado, como ordinariamente sucede, esta marcha se modifica; así, la corriente hácia el Oeste, producida por el alisio, encontrándose interrumpida en su marcha, sube al Norte á reunirse á la de contraalisio y luego se inclina al Este para ligarse á la primera cerrando el circuito.

¿El fondo del mar tiene alguna influencia sobre la direccion de estas corrientes? Es difícil concebir que corrientes sensibles solamenté á profundidades de algunas cientos de metros, puedan ser influidas por desigualdades situadas á cuatro ó cinco kilómetros; y sin embargo, se observa que las corrientes siguen la direccion de los canales más profundos. Esto se comprueba por el depósito de las materias que el agua arrastra, que son abandonadas en los parajes relativamente tranquilos por donde no marcha la corriente.

La corriente más estudiada y mejor conocida, es la llamada por los marinos *Corriente de Golfo* (lám. 3.<sup>a</sup>); se habia creido que nacía en el golfo de Méjico, mientras que es sólo una prolongacion de la corriente ecuatorial. Sus aguas difieren de las contiguas, por su transparencia, la elevada temperatura que conserva en todo su curso, su gradò de salazon y su densidad. La distincion es tan marcada en las costas de los Estados-Unidos,

que se reconoce á la simple vista la línea de separacion; de tal manera, que en la parte Noroeste se puede distinguir la mitad de un buquedentro y la otra mitad fuera de la corriente.

La corriente de golfo tiene su origen en la costa occidental del África, donde nace el alisio del Nordeste; se inclina progresivamente hácia el Oeste, pero ántes de abandonar la costa de África, destaca una rama hácia el Sur, que recorre la costa Occidental; y cerca del continente americano una segunda rama en la misma direccion por la costa Oriental de la América del Sur. La forma de las costas obliga á la rama principal de la corriente á remontarse hácia el Norte, dividiéndose en otras dos en el encuentro con las Antillas, y que más léjos se reunen al Norte de aquellas islas. Sigue luego contorneando las costas de la América del Norte, dirigiéndose luego al Este y al Sur por las costas de España y Portugal, hasta cerrar el circuito.

Otra rama de esta corriente, conserva su direccion Nordeste; parte contornea la Irlanda y la Inglaterra para bajar por el canal de San Jorge y mar del Norte. El resto penetra hasta los mares polares á lo largo de la costa de Noruega: allí se pierde, ó quizás se prolonga como corriente submarina hasta el mar libre que se sospecha fundadamente exista en las cercanías del Polo.

En el Pacífico existe otra corriente notable, y cuya circulacion es análoga á la de golfo en el Océano; esta corriente de Este á Oeste en el ecuador, deja derivar hácia el Sur una enorme masa de aguas. Otra segunda entra en la Australia, apareciendo entre la Nueva Holanda y Nueva Guinea para desparramarse en el Océano Índico; el resto pasa al Norte de la última isla, y á la altura del Japon se divide en dos ramas, una que marcha al Norte hácia el estrecho de Behring y la segunda cierra el circuito.

En el Atlántico y Pacífico del Sur, la configuracion de las costas de África y América es poco favorable al desarrollo de las corrientes que los alisios del Sudeste tienden á desarrollar. Las dos corrientes Norte-Sur establecidas en las costas de África y América que limitan el Atlántico del Sur, hacen imposible una rotacion única, y así se encuentran dos. La parte média de este doble circuito está formada por corrientes mal definidas que vienen de las regiones australes.

En el Pacífico, una parte de la masa de las aguas que forma la cor-

riente ecuatorial, es arrastrada hácia el Sur, lo que produce una contra-corriente hácia el Ecuador, que recorre la costa occidental de la América. De esta corriente de agua fria arranca otra derivada sobre el Este, en el cabo de Hornos, activada por los vientos del Oeste que soplan en aquellos parajes.

En el centro de todos estos circuitos, existen espacios tranquilos que comprenden millares de leguas cuadradas, y cubiertos por una vegetación tan abundante, que detiene á veces la navegacion de los buques; estos espacios se llaman, por las plantas que los cubren, *Mares de sargazo*: En los primeros tiempos se suponía que estas plantas crecían en sitios poco profundos de donde eran arrancadas por la fuerza de las olas; los sondeos han dado siempre en estos parages, calados superiores á dos kilómetros, y estudios recientes parecen demostrar que aquellas plantas nacen y viven en la superficie del mar.

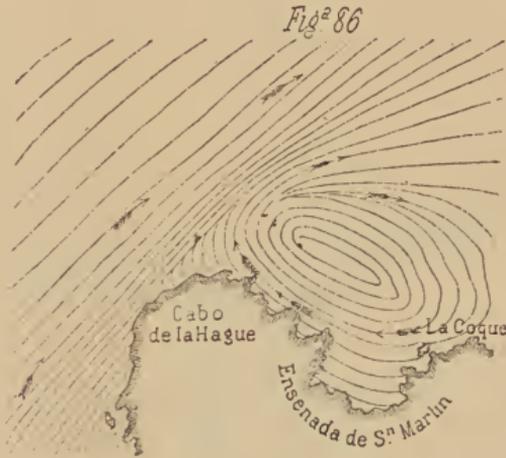
107. **CORRIENTES LITORALES.**—Las corrientes litorales son las que se determinan en la proximidad de las costas, ya por causas generales fuera de ella, (aunque influidas por sus accidentes y condiciones especiales), ya directamente por estos mismos accidentes y condiciones. En el primer caso se encuentran las de marea; corrientes débiles en alta mar, que haciéndose sentir con fuerza sólo en las costas, son verdaderas corrientes litorales debidas á una causa general (la marea). Las que el viento determina accidentalmente en algunos puntos, corresponden al segundo grupo.

El viento tiene una grande influencia en las corrientes; su acción prolongada sobre las moléculas flúidas, determina, independiente de las olas que levanta, un movimiento de traslación que forma una corriente. Veremos luego que en las costas de España el viento tiene tan marcada influencia sobre las corrientes, que estas dependen principalmente de él. En cambio las olas no ejercen ninguna influencia sobre las corrientes, observándose que allí donde se levantan, son arrastrados los cuerpos flotantes de la misma manera con mar gruesa que con mar bella.

108. **REVESAS.**—Nada hay más irregular que las corrientes litorales, de cuya teoría se sabe muy poco, y cuya marcha vienen á complicar las contracorrientes llamadas *revasas*, existiendo á veces una gran diversidad de opiniones, tomando unos autores por corriente principal á la que otros consideran como derivada.

Estas revasas, muy comunes cuando se originan por las partes salientes de una costa, son tanto más marcadas cuanto más fuerte es la corriente

de donde proceden y más saliente el cabo que la determina. La península de Cotentin (fig. 86), en la entrada del canal de la Mancha, dá origen, por



la corriente de flujo al Nordeste, á una revesa al Oeste. En la costa Este de Inglaterra, la punta Orford (figura 87), determina una revesa por la corriente de flujo, que aquí es al Sud-Sudoeste; la intensidad de la revesa es tan grande como la de la corriente principal, que alcanza cuatro millas. Reservamos para más tarde el citar algunas de nuestras costas. Y por último, en todas las bocas de los puertos formadas por espigones ó diques salientes, también se observan iguales revesas.

A veces la corriente litoral, como sucede en las rias, es encontrada por otra que sale del interior, en cuyo caso se forma



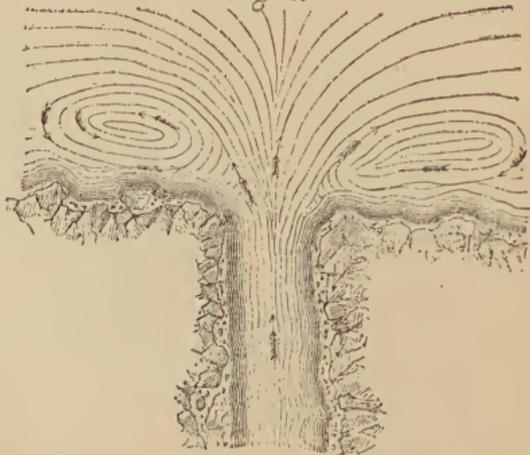
una revesa del lado de aguas abajo del canal, aunque la costa sea rasa y no presente desigualdades (fig 88).

*Fig<sup>a</sup> 88*



Si en el exterior no existe corriente y la ría desemboca perpendicularmente á la costa, suelen formarse (especialmente cuando la directa es muy violenta), dos revesas, pero más débiles, una á cada lado de la desembocadura (fig. 89). Este fenómeno se presenta principalmente en las limpias

*Fig<sup>a</sup> 89*



que se llevan á cabo por medio de corrientes artificiales.

109. **CORRIENTES QUE CHOCAN CONTRA OBSTÁCULOS.—HILEROS.**—Cuando la corriente encuentra una isla, se divide en dos laterales, dejando en las cabezas un espacio en donde se verifica el depósito de los acarreos. Si la corriente tropieza con un obstáculo que no puede vencer, tiende á elevarse en su proximidad hasta hacer equilibrio á la velocidad que trae; pero si el obstáculo puede ser sobrepujado, resulta una elevacion sobre él y una depression del nivel despues de vencido. Y por último, si dos corrientes marchan en direcciones opuestas, se produce en el punto de encuentro una elevacion que avanza en el sentido de la más fuerte: todo conforme con las leyes del movimiento de los flúidos.

A este género pertenecen los que se llaman *hileros* de corriente, formados por escarceos continuados, que la misma corriente se encarga de llevar consigo hasta que se desvanecen. Estos hileros se observan con mayor insistencia sobre los puntos más salientes de las costas, y con mayor intensidad sobre aquellas extremidades que cambian bruscamente de direccion. Cuando la mar de leva se combina con los hileros, las olas se encrespan hasta el punto de producir rompientes que harian sospechar la existencia de bajos donde no existen.

Los hileros son muy comunes en el estrecho de Gibraltar y al Este de él; pero desaparecen al Oeste. Tambien se forman por fuera del cabo San Vicente y sobre la costa de Galicia, debidos al choque de la corriente general con las de marea.

Entre los hileros más notables, se cuenta el del cabo Trafalgar, sin que falte en cada marea con más ó ménos energía, segun sea esta de sizigia ó de cuadratura; se extiende hácia el Sudoeste pasando por encima del bajo Aaceytera, hasta perderse envuelto en la corriente general.

110. **CORRIENTES SUBMARINAS.**—Tambien se ha reconocido la existencia de corrientes inferiores, unas veces donde no existen en la superficie, y otras en direccion diferente y hasta opuesta á las superiores, siguiendo la ley establecida para la circulacion atmosférica [22]. Una corriente superior supone otra inferior ó lateral. En los Dardanelos se ha reconocido la existencia de una corriente submarina desde el Mediterráneo al Mar Negro, en direccion opuesta á la de la superficie que lleva las aguas del Mar Negro al Mediterráneo. Sin embargo, en el estrecho de Gibraltar no se ha notado corriente alguna inferior, si bien existen las contracorrientes laterales.

Estas contracorrientes submarinas suelen notarse con mucha frecuen-

cia en las bocas de los puertos ó bahías que presentan una entrada estrecha, donde la contracorriente no encuentra medios de establecerse lateralmente. Son muy peligrosas para los buques cogidos así, entre dos fuerzas encontradas, porque gobiernan mal en medio de ellas, no obedecen al timon y están expuestos á tumbar. En la boca que forma la rada de Brest, existe, cuando empieza la corriente de flujo hácia el interior, otra al exterior, un poco más baja que á la primera; de modo que en tiempo de calma, un bote entra en el puerto llevado por la corriente, al mismo tiempo que un navío sale de él.

III. CORRIENTES ACCIDENTALES.—Hay otras corrientes derivadas, ya en el sentido horizontal, ya en el vertical, que suelen presentarse accidentalmente en una localidad en circunstancias dadas; como cuando un viento fuerte acumula en el interior de una bahía grandes masas de agua. Semjante fenómeno es muy marcado en el golfo de Nápoles, en la bahía de Forbay de la costa del Sur de Inglaterra, y en el golfo de Valencia; la corriente submarina es tanto más fuerte cuanto más violento sopla el viento, observándose que siendo uno y otra encontrados, apenas trabajan las cadenas de las anclas.

En los senos de las costas, y al abrigo de las puntas salientes, una corriente especial, denominada por los franceses *raz de marée*, y *race* por los ingleses, se forma en aquellos puntos en que la marea recorre una grande altura. Si la marea sube con mucha rapidez mar afuera, se establece una caída hácia la bahía, que produce una fuerte corriente. En Portland, la carrera de la marea es sólo de 2,30 metros en la bahía, y en el exterior, frente al Chesil-bank, de 3,80. La corriente, durante la plea, alcanza una velocidad de 6 á 7 millas por hora hácia el Este, cambiando al Oeste cuando la marea ha descendido á la mitad de su carrera.

Un fenómeno análogo se produce en los canales estrechos, comunicau-do con dos mares ó dos partes del mismo mar, en las cuales la marea no tiene igual altura, ó no coinciden sus fases; tal es la corriente que se establece en el canal del Solent que comunica con la bahía de Southhampton. La terrible corriente del Kile-Rée debe su origen á la misma causa; el Loch-Alsh recibe la marea por la parte del Norte, elevándose más que en la del Sur, obstruida por las islas y bajos que impiden la propagacion de la marea, y de aquí la corriente violentísima que se forma.

Los marinos deben tomar las mayores precauciones en la proximidad

cia en las bocas de los puertos ó bahías que presentan una entrada estrecha, donde la contracorriente no encuentra medios de establecerse lateralmente. Son muy peligrosas para los buques cogidos así, entre dos fuerzas encontradas, porque gobiernan mal en medio de ellas, no obedecen al timon y están expuestos á tumbar. En la boca que forma la rada de Brest, existe, cuando empieza la corriente de flujo hácia el interior, otra al exterior, un poco más baja que á la primera; de modo que en tiempo de calma, un bote entra en el puerto llevado por la corriente, al mismo tiempo que un navío sale de él.

111. CORRIENTES ACCIDENTALES.—Hay otras corrientes derivadas, ya en el sentido horizontal, ya en el vertical, que suelen presentarse accidentalmente en una localidad en circunstancias dadas; como cuando un viento fuerte acumula en el interior de una bahía grandes masas de agua. Semejante fenómeno es muy marcado en el golfo de Nápoles, en la bahía de Forbay de la costa del Sur de Inglaterra, y en el golfo de Valencia; la corriente submarina es tanto más fuerte cuanto más violento sopla el viento, observándose que siendo uno y otra encontrados, apenas trabajan las cadenas de las anclas.

En los senos de las costas, y al abrigo de las puntas salientes, una corriente especial, denominada por los franceses *raz de marée*, y *race* por los ingleses, se forma en aquellos puntos en que la marea recorre una grande altura. Si la marea sube con mucha rapidez mar afuera, se establece una caída hácia la bahía, que produce una fuerte corriente. En Portland, la carrera de la marea es sólo de 2,30 metros en la bahía, y en el exterior, frente al Chesil-bank, de 3,80. La corriente, durante la plea, alcanza una velocidad de 6 á 7 millas por hora hácia el Este, cambiando al Oeste cuando la marea ha descendido á la mitad de su carrera.

Un fenómeno análogo se produce en los canales estrechos, comunicando con dos mares ó dos partes del mismo mar, en las cuales la marea no tiene igual altura, ó no coinciden sus fases; tal es la corriente que se establece en el canal del Solent que comunica con la bahía de Southhampton. La terrible corriente del Kile-Rée debe su origen á la misma causa; el Loch-Alsh recibe la marea por la parte del Norte, elevándose más que en la del Sur, obstruida por las islas y bajos que impiden la propagacion de la marea, y de aquí la corriente violentísima que se forma.

Los marinos deben tomar las mayores precauciones en la proximidad

de tierra y de las prolongaciones submarinas de sus cabos, si no quieren verse sorprendidos y arrastrados por las corrientes; y los ingenieros procurarán al proyectar las obras, evitar los estrechamientos bruscos y otras disposiciones viciosas que las originen.

112. CORRIENTES EN LAS COSTAS DE ESPAÑA.—Pasemos ahora á consignar los resultados de las observaciones que sobre las corrientes se han hecho en las costas de España.

En las del Norte, se nota á la altura del cabo Prior é islas Sisargas, que marchan con el viento, combinándose y modificando las de marea, que son del Oeste al Este en el flujo, y del Este al Oeste en el reflujo.

Las corrientes son más sensibles al Este del cabo de Peñas; en invierno marchan al Este y al Es-Sudeste, y son casi constantes hácia el golfo de Gascuña, con tal intensidad, que con frecuencia alcanzan á 3 y 4 millas por hora, y hasta pasan de 5 frente á Guipúzcoa, siendo causa de la mayor parte de los naufragios en esta costa. En el verano son al Oeste y al Oes-Noroeste con poca fuerza (1 á 2 millas á lo más), aumentando de intensidad cuando soplan vientos del primer cuadrante. Si observamos que los vientos reinantes en esta costa son ordinariamente, en el invierno, los del tercero y cuarto cuadrante, y los del primero en el verano, deducimos que el viento influye en la marcha de estas corrientes, siendo regla en aquella costa que una fuerte corriente al Este es indicio de temporal del Noroeste. Las de marea siguen la dirección ya expresada hácia el Este ó Es-Sudeste en el flujo, y Oeste ú Oes-Sudeste en el reflujo.

En el saco de Aviles, al Oeste del cabo de Peñas, las corrientes son al Nordeste, especialmente en verano, cuando la litoral es al Oeste; de manera que puede considerarse como una revesa suya.

En el Mediterráneo son más inseguras las corrientes, variando los autores en sus apreciaciones, tomando los unos como corriente principal lo que otros consideran como derivaciones ó revasas.

En el Estrecho, la corriente principal es de Oeste á Este, y tan violenta, que se hace sentir hasta la altura de Sicilia. Suele alcanzar de 4 á 5 millas y hasta 7 en la parte más estrecha, es decir, entre Tarifa y la punta Ciris; pero entre Ceuta y Gibraltar, no excede de 2  $\frac{1}{2}$ . Se notan revasas en sentido contrario á la corriente principal, en las inmediaciones de las costas que forman el Estrecho, pudiendo señalarse en ambas una faja de 1 á 2 millas en que las grandes marcas de las sizigias determinan una fuerte contracorriente.

Esta corriente general se ramifica en dos al desembocar en el Mediterráneo: la rama correspondiente á Africa es la principal, y marcha directamente hasta Sicilia; la que pertenece á España es una derivada suya, y se modifica insensiblemente inclinándose hácia el Nordeste, siguiendo la marcha de la costa. Es tal la fuerza de esta corriente general hácia el Este, que se citan muchos casos de haber anochecido un buque encalmado en la boca oriental del Estrecho, y amanecer en el meridiano de Málaga, lo cual equivale á una velocidad média de 5 millas: en semejantes casos se oye con bastante frecuencia el ruido de los hileros de la corriente, que arrastra al buque hácia el Este.

Esto mismo se ve confirmado en la dificultad que tienen los buques en salir del Mediterráneo y atravesar el Estrecho con Ponientes, hallandose en ocasiones más de mil buques repartidos en los puertos y ensenadas comprendidos entre el cabo de Gata y la bahía de Algeciras; mientras que nunca se ve uno detenido por Levantes para navegar hácia el Este, á no ser con barcos costeros y vientos duros.

La corriente puede estimarse en 1 ó 2 millas por hora entre los meridianos de Málaga y cabo de Gata, y ménos entre éste y el cabo de San Antonio.

En los golfos de Valencia y de Leon, las corrientes son más variables, y dependen principalmente de los vientos. Cuando hay Noroeste duro en el golfo de Leon, las aguas arrolladas por la impetuosidad del viento, adquieren la direccion hácia el Sud-Sudeste y Sudoeste al difundirse por la costa de Cerdeña y mar Balcárico. Si reinan vientos del Sudeste, las corrientes en dicho mar son al Norte.

Cuando reina Levante fresco, se acumulan en el golfo de Valencia masas de agua que producen una fuerte corriente de fuera para dentro, la cual se escapa por el cabo de San Antonio y gira por la costa de España á unirse con la general del Este. Si reinan dentro del golfo vientos del Noroeste, salen las aguas para afuera, y la corriente marcha al Sudeste en los canales de las Baleares, y al Sur sobre el cabo de San Antonio, y va luego á unirse insensiblemente á la corriente general de la costa de África.

En el golfo de Leon, con vientos del Sudeste al Sudoeste, las aguas que afluyen siguen la direccion de fuera hácia tierra, manifestándose en direccion al Noroeste, Norte y Nordeste, segun la situacion del punto respecto

del golfo, siendo tanto más sensible, cuanto más cerca se halle de la boca. Lo contrario sucede con vientos de Noroeste, que producen una corriente tan fuerte para fuera, como la indicada ántes en direccion de tierra. Esta corriente recalca sobre la costa de Cataluña como si fuese del Nordeste; dentro del golfo de Valencia como del Este y en las Baleares del Norte: de manera, que sobre Menorca, la más expuesta á los embates del golfo, se encuentran casi siempre las corrientes en direccion hácia Sur ó el Sudoeste, porque durante las dos terceras partes del año reinan Nortes y Nordeste sobre la costa de aquella isla. La velocidad de estas corrientes es de 1 á 2 millas en el golfo de Leon, y ménos en el de Valencia, disminuyendo de intensidad á proporcion que se alejan del origen.

Cuanto queda dicho suele modificarse en puntos y momentos determinados, y así como al tratar de los vientos dijimos [44] habia años de Levantes y de Nordeste, así hay años en que unas corrientes predominan sobre las otras.

Pasando ahora á estudiar las corrientes en el saco de Cádiz y costa de Portugal y Galicia, diremos que la corriente del Estrecho deja de ser sensible (á pesar de cuanto hayan podido decir algunos autores) á muy pocas leguas al Oeste de su entrada, y nunca se preocupan los navegantes por ella, siempre que hayan franqueado la boca occidental.

Las corrientes en esta parte de la costa van con el viento; si soplan vendavales, se establece una gran corriente de Sur á Norte, cuya intensidad alcanza á 2 millas por hora entre los cabos de Trafalgar y San Vicente; corriente que va asumiendo la direccion de las costas por donde resbala hasta el Oeste en el golfo de Huelva y costa de Algarbe. Dobra el cabo San Vicente, se incorpora á la general [106] y ambas reunidas recorren la costa de Portugal y Galicia, siguiendo su configuracion. La continuacion de esta corriente es la descrita que, desde los cabos Finisterre y Prior, recorre todo el golfo de Vizcaya y penetra por los canales de la Mancha y San Jorge, hasta desparramarse por el mar del Norte [106].

Igual reaccion sufre la corriente, cuando despues de algunos dias de vientos fuertes de la parte del Sur, entran los opuestos; si bien no cambia tan pronto como el viento. La corriente que baja entónces por los canales de la Mancha y San Jorge, se une á la corriente general, deslizándose á lo largo de la costa de Portugal, penetrando una parte dentro del saco de

Cádiz, al que dá vuelta, siguiendo luego á lo largo de la costa occidental de África.

En tiempos normales en que la virazon alterna con los Levantes y Ponientes [46], no se experimentan grandes corrientes dentro del saco de Cádiz; la marcha es entonces del Este al Oeste con Levantes, y la contraria con Ponientes. Sobre la costa sólo se conoce la corriente de la marea más ó ménos marcada.

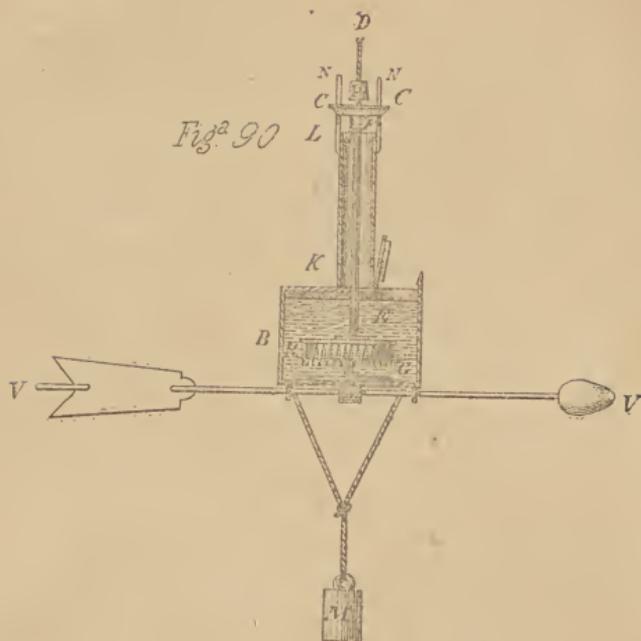
En la costa de Portugal y Galicia son muy pronunciadas las corrientes, cuya direccion sobre tierra es de Norte á Sur ó Sur á Norte, segun los vientos reinantes; inclinándose fuera de ella ya al Nordeste ya al Sudeste cuando predominan el Sudoeste ó el Noroeste.

Un fenómeno raro se observa sobre la costa de Galicia, y es natural suceda lo mismo en la de Portugal; uno ó dos dias ántes de un temporal, las corrientes se dirigen al punto del horizonte de donde al fin viene el mal tiempo; de manera que cuando los vientos se dirigen al Sur sin causa visible, sobreviene un temporal de vendaval. Es difícil dar una explicacion satisfactoria del hecho.

Las corrientes, en general, una vez entablado el viento, van hácia el Nordeste y Norte con vientos del tercer cuadrante, y hácia el Sur cuando dominan los del cuarto y primero. En invierno son más frecuentes las primeras, y en verano las segundas; su velocidad se estima en 2 millas por hora, y más cuando sopla vendaval duro.

113. DIRECCION Y VELOCIDAD DE LAS CORRIENTES.—La marcha de las corrientes y su direccion, se reconoce por un flotador lastrado para mantenerle á la profundidad á que se quiere observar; el flotador vá unido por una cuerda á una boya del tamaño estrictamente necesario para sostener el cuerpo sumergido. Cuando se quiere observar con exactitud, se aprecia tambien préviamente la influencia de la corriente superficial sobre el flotador superior.

Mr. Aimé ha construido un aparato con el cual se determina la direccion de las corrientes. Se compone de una caja cilíndrica *B* (fig. 90), á cuyo fondo vá fija invariablemente una veleta *V* correspondiendo al cero del limbo de una brújula *G* colocada en el interior de la caja. Termina en su parte superior por un tubo *K L*, en el cual entra una varilla *E F*, de la que pende un disco *R* armado de puntas que sujetan la aguja de la brújula cuando se baja, y la dejan libre cuando se eleva. La parte superior de



la varilla lleva un platillo *C* atravesado por la cuerda *D* que sostiene el instrumento, y por las varillas *N* que están destinadas á guiar el platillo. En la parte inferior, el contrapeso *M* sirve para dar estabilidad al aparato.

Cuando se quiere ensayar se levanta el disco que sujeta la aguja, se llena la caja de agua, se la hace descender hasta la profundidad marcada, y se espera que el instrumento y la aguja, orientados en la direccion de la corriente por medio de la veleta *V*, tomen su posicion de equilibrio. Entonces se deja caer enfilado por la cuerda que sostiene el aparato, un peso *P* que choca con el platillo *C* y hace bajar la varilla *D* con el disco, sujetando la aguja en la posicion que tenía.

Generalmente, el número de dientes del disco es de 32, correspondiendo á los 32 vientos; pero pudiera aumentarse, si se creyese necesaria mayor exactitud.

En cuanto á la velocidad, se determina por un molinete ú otro cualquiera de los medios usados de ordinario para medirla en los rios.

114. CLASIFICACION DE LAS RESACAS.—La denominacion de *resaca* es extremadamente vaga y comprende efectos muy diversos en sus causas y resultados. En algunas localidades se suele dar el nombre de *resaca*, á la ola de retroceso; pero conformándonos con la nomenclatura adoptada en las obras de puertos, llamaremos *resaca* á toda agitacion indirecta producida en el interior de un puerto; ya sea esta agitacion una corriente, (como las causadas en las contracciones bruscas de un canal), ó una ondulacion, (como cuando las olas penetran del exterior al interior reflejándose).

Tres clases de *resaca* son generalmente admitidas; *resaca* por reflexion, por trasmision lateral y por desviacion gradual.

La *resaca* por reflexion se produce cuando algun obstáculo refleja la accion de la marejada y la dirige al interior del puerto. El de comercio de Cherburgo (fig. 91), nos dá un ejemplo de la *resaca* por reflexion.

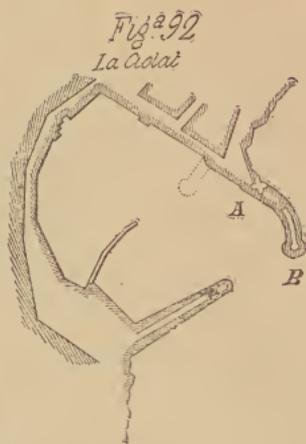


La marejada del Oeste al Noroeste determina una grande agitacion en el antepuerto *M R S T*, que ántes no habia. Principió con la demolicion de la parte interior *B C* del dique del Oeste, y aumentó considerablemente con la destruccion de una restinga *M O*, llegando á su limite con la limpia de los bajos de la parte del Norte del antepuerto. Las olas del Noroeste, despues de chocar contra la parte *D H* del dique del Este, son trasmitidas por reflexion contra el muelle del Oeste *N R*, reflejándose de nuevo y recorriendo de esta manera todo el antepuerto. Para evitar la agitacion, ha sido necesario construir

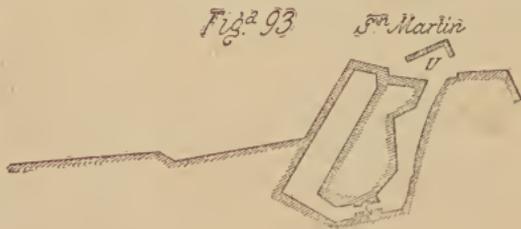
en *M* un espigón que vino á sustituir la restinga *M O*.

Para abrigan el puerto de la Ciotat de los Nordeste (fig. 92), se construyó el dique *A B*, pero las olas del Sud-Sudoeste al Sud-Sudeste penetran por la boca, se reflejan en la parte *A B* y se trasmiten al interior.

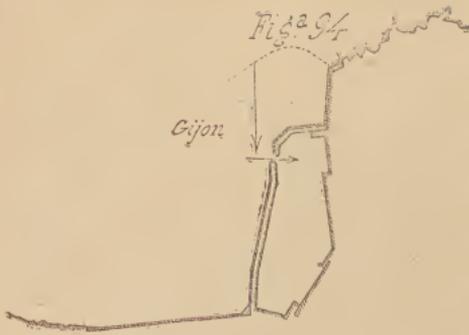
Podemos tambien considerar como resaca por reflexion la que se desarrolla con la construccion de muros vérticales que detienen las olas que ántes se perdian en la playa; esto produce una agitacion que los marinos llaman *trapison-da ó marullo*, y un ruido particular al chocar unas olas con otras. El puertecillo de Luanco en la costa Cantábrica, nos dá un ejemplo de ello. Los productos de una limpia hecha en el interior del puerto, se dispusieron en la playa formando un muro vertical, notándose desde su construccion mayor agitacion en el espacio abrigado.



La resaca por trasmision lateral se observa cuando las olas marchan á lo largo de una costa, de un muro, ó apoyadas en un obstáculo cualquiera; si el obstáculo falta, las olas se precipitan por el boquete y ocasionan una resaca en sentido próximamente perpendicular á la direccion que traia fuera. De esta resaca hay tambien numerosos ejemplos; haremos mencion solamente de algunos. En la isla de Ré, los vientos del Sudoeste al Oeste (fig. 93), producen en el puerto de San Martin una fuerte resaca; las olas marchan del Oeste al Este, rozando la muralla, y se lanzan por el boquete V al interior del puerto en una direccion perpendicular á la que traian fuera.



En el de Gijon (fig. 94), ántes del ensanche de la boca y de las nuevas obras, sucedia lo propio; las olas que marchan de Norte á Sur, se corrian lateralmente á la boca que por su estrechez originaba una fuerte corriente en uno y otro sentido, que se trasmitia al interior con tal violencia, que

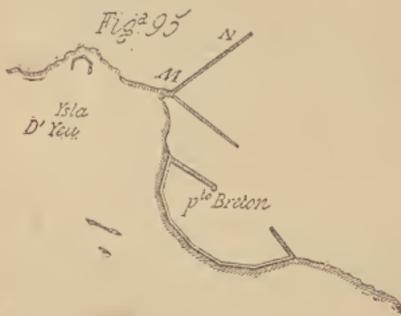


los buques rompián las amarras, y algunos de ellos fueron arrastrados fuera del puerto. Hoy se ha debilitado notablemente esta resaca con el abrigo que el nuevo dique procura á la boca y con el ensanche de ella.

Esta resaca suelen algunos confundirla con la

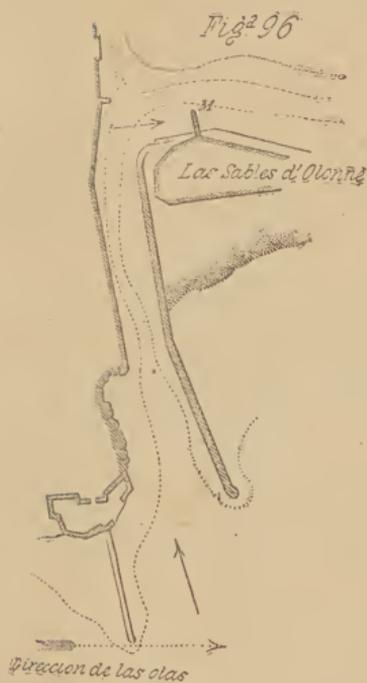
producida por la reflexion: en el puerto de Cádiz, por ejemplo, la marejada del Sudoeste se trasmite lateralmente como si fuera del Noroeste; efecto, dicen, de la reflexion sobre la costa que se extiende entre Rota y el Puerto de Santa María. En el puertecillo de Ares en la costa de Galicia (Coruña), se hacen sentir tambien duramente los temporales del Noroeste á pesar del abrigo que la costa presenta. Tambien influye en esta agitacion la resaca por desviacion gradual.

La resaca por desviacion gradual consiste, como su nombre lo indica, en separar lentamente las olas de su primitiva direccion, verificándose una especie de giro en su marcha y penetrando en puertos que se creian al abrigo de ellas. El puerto Breton, en la parte Nordeste de la isla D'Yeu, ofrece uno de los ejemplos más notables de ese género de resacas. El viento Sudoeste produce una violenta resaca en el interior, á pesar de hallarse perfectamente abrigado de su accion directa (fig. 95) y mirando



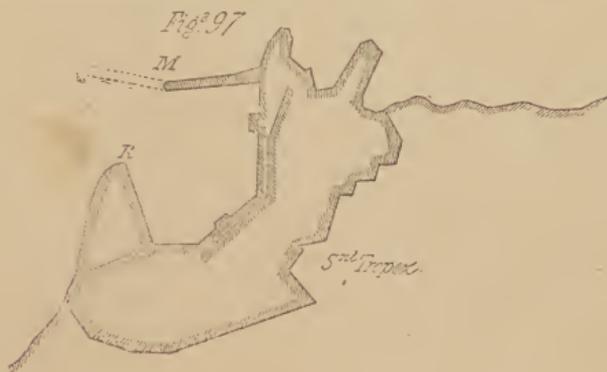
al Nordeste; habiendo sido necesario para impedir la trasmision de las olas, construir un dique de 200 metros de largo, perpendicular á la costa.

Con frecuencia se presentan combinadas estas resacas. En las Sables d'Olonne (fig. 96), la marejada del Oeste se trasmite al Norte por comunicacion lateral, y por desviacion gra-



dual al interior del puerto; habiendo sido forzoso construir un espigón *M* perpendicular al muelle para asegurar la tranquilidad á los buques que cargan en él.

En Saint-Tropez, (fig. 97) las olas del Este marchan á lo largo del



muelle *M*; entran en el puerto por trasmision lateral, y reflejándose sobre el muelle *R* se esparcen por todo el interior.



En Bastía (fig. 98), es más marcado el efecto; las olas que marchan de Norte á Sur, paralelamente á la costa y al muelle *A*, se arrojan de lado al rebasar la cabeza *B*, y son reflejadas por la costa en una direccion opuesta á la que traian.

Estos ejemplos demuestran con qué prudencia se debe caminar en los proyectos de obras de abrigo, y cuán fácil cosa es que tratando de mejorar un puerto, el resultado de las obras sea producir mayor agitacion en el interior de él. Así ha sucedido en la Ciotat, en la Flotte y otros, necesitándose para corregir los defectos, obras adicionales, con frecuencia costosas y no siempre de efecto seguro.

---

---

## CAPÍTULO VI.

### RÉGIMEN DE LAS COSTAS.

---

#### RESUMEN.

116. Forma general de una costa.—117. Cordon litoral.—118. Marcha de los aluviones.—119. Formación de las dunas.—120. Marcha de las arenas en las dunas.—121. Daños causados por las dunas.—122. Defensa de las costas.—123. Forma de los diques.—124. Materiales.—125. Medios indirectos de defender las costas.—126. Formas y materiales de los espigones.—127. Espigones de Holanda.—128. Fijación de las dunas.—129. Apertura de canales por medio del viento.—130. Flora de las dunas.

116. FORMA GENERAL DE UNA COSTA.—Sabido es que las costas no presentan á la vista una línea regular y uniforme, siendo por el contrario el carácter dominante en ellas, la irregularidad de sus contornos; y aunque prescindamos de los accidentes más notables y variaciones pronunciadas de dirección, y limitemos el exámen á pequeños trozos, hay siempre partes que sobresalen de la línea general en forma de puntas ó cabos, y otras que penetran en ella formando ensenadas. Tales desigualdades deben siempre subsistir, pues los terrenos que aparecen en las costas (áun suponiendo en ellas idéntica forma) ni tienen igual dureza, ni son atacados por las olas y las corrientes con la misma fuerza; y una vez dada la más pequeña irregularidad en la línea de la costa, será causa de otras innumerables, por la natural tendencia del mar á destruir las partes salientes que más direc-

tamente sufren sus embates, rellenando con ellas las entrantes. No se puede con esto fijar una regla sin excepcion, pues en circunstancias especiales, como luego veremos, las partes salientes, cuando son formadas por los detritus que las aguas arrastran, tienden generalmente á crecer avanzando cada vez más adentro.

El aspecto general de una costa es extremadamente variado; ó presenta á la vista extensas llanuras con pequeña ó ninguna pendiente trasversal, sobre las que resbalan las olas corriendo á lo largo de ellas hasta perder su fuerza, ó terrenos cortados á pico, contra los cuales rompen, desgredándolos más ó menos rápidamente, segun la dureza de las rocas y segun su exposicion al choque de las olas. Cuando la costa está cortada á pico, y corre paralela próximamente á la línea general, tiene á su pié y á poca profundidad formada por los desprendimientos de la roca, una playa, las más de las veces descubierta en las bajamares. Pero si la costa se interna en el mar; si forma los costados de un cabo saliente, suele entónces mantenerse escorada en toda su altura, y conserva un gran calado á su pié aun en las mayores bajamares. Es evidente que este último caso se repetirá con más frecuencia en las costas poco atacables, como son las formadas por los terrenos de origen ígneo. En la costa de Galicia, compuesta de terrenos plutónicos, han sido arrastrados los de sedimento que los cubrian, quedando tan sólo las rocas que servian de esqueleto, y que en sus profundas bahías y cabos inatacables ofrece á cada paso al marino puertos naturales con grandes calados al pié de la misma costa. Pero apénas se llega al límite occidental de la provincia de Asturias de formacion siluriana, ya los puertos naturales desaparecen y sólo se descubre una costa escarpada sobre la cual baten constantemente las olas. Tambien en ella se observa sin excepcion la regla general: los cabos ó puntas de esta parte de la provincia están casi todos formados de cuarcitas, las rocas más duras de la formacion siluriana; y el accidente más notable de la costa, el cabo de Peñas, pertenece á la formacion devoniana, cuyas cuarcitas en esta costa ofrecen mayor consistencia que las de la siluriana. En el grupo devoniano, compuesto de rocas de muy desigual dureza, se encuentran tambien las ensenadas más profundas; las rocas ménos duras han sido arrastradas, quedando las otras para formar el cabo y sus puntas más salientes. A pesar de todo, dichas puntas son constantemente atacadas y van perdiendo su relieve, como lo comprueban

merosos islotes y bajos ligados con los cabos, que en otros casos forman parte de ellos.

Las masas desprendidas de las laderas permanecen en semejante estado muy poco tiempo; removidas por las olas, son arrastradas las más ténues, redondeándose las asperezas de las gruesas por el frote continuado de unas con otras, hasta quedar reducidas á guijarros ó cantos rodados; y en semejante estado, se ponen en movimiento á impulso de las olas, si no liay obstáculos que se opongan á su marcha.

Los guijarros impulsados por las olas, marchan á lo largo de las costas en la forma siguiente: al chocar una ola contra la costa cubierta de guijarros, los arrastra oblicuamente en el sentido de su marcha y desciende luego con la ola segun la línea de máxima pendiente, para ser arrastrados de nuevo y trasportados un poco más lójos; avanzando así en zig-zag hasta que un cambio en la direccion de las olas producido por una alteracion en el viento, haga variar la marcha de los aluviones. Los guijarros avanzan y retroceden alternativamente; pero determinándose en definitiva su transporte progresivo en el sentido en que predominen los vientos.

117. CORDON LITORAL.—Cuando las olas rompen normalmente á la costa, los guijarros no avanzan; suben y bajan alternativamente disponiéndose en la playa segun un talud cóncavo parecido al de una cicloide, muy tendido en la parte próxima al mar y coronado muchas veces por un reborde más ó ménos aparente, que subsiste mientras no se rompe en las grandes mareas ó temporales que lanzan los guijarros fuera del alcance de la mar; pero restablecida la calma, vuelve el reborde á reformarse hasta que sobrevenga un nuevo temporal ó lo destruya. Este reborde ha sido llamado por E. de Beaumont *cordón litoral*. Algunas veces este nombre se aplica á las rócas mismas que forman la costa, cuando aquel no tiene espacio para desarrollarse.

Lo que decimos de la accion normal de las olas se aplica á la accion oblicua; descomponiendo esta en dos, la una normal y la otra paralela á la costa, la normal determina la formacion de su perfil, al paso que la paralela hace marchar los aluviones á lo largo de ellas [116]; si las costas situadas á barlovento, cesasen de suministrar materiales, la seccion que se considera sería atacada, á no construir las obras de defensa de que más tarde nos ocuparemos.

tamente su forma geométrica que afecta el perfil de la costa donde se

arrollado el cordon litoral, es más notable todavía en planta. Los guijarros se disponen segun curvas cóncavas hácia el mar, sobre las cuales

vienen á estrellarse las olas; y cuando la costa presenta entradas profundas y accidentadas, en las cuales no penetra la agitacion exterior, forman los guijarros delante una especie de dique que protege un estanque en comunicacion muchas veces con el mar, hasta que un temporal rompe aquella barrera y la deja abierta más ó ménos tiempo. Esto sucede en la Albufera de Valencia, cuya comunicacion con el mar es preciso mantenerla abierta artificialmente.

Vemos, pues, que el cordon litoral no se forma siempre en el fondo de las bahías, tambien se desarrolla en la proximidad de las puntas ó cabos, de las rocas aisladas, de las islas y bancos que, situados fuera de la costa, la sirven de abrigo y constituyen puntos de apoyo para el cordon. En una playa baja que se interne en el mar á gran distancia de la costa, y sobre la cual rompe la mar, formará su cordon en la extremidad exterior de esta playa y de la rompiente de que es origen, permaneciendo inalterable á su abrigo la extensa playa que se extiende detras, como se ve en los al-

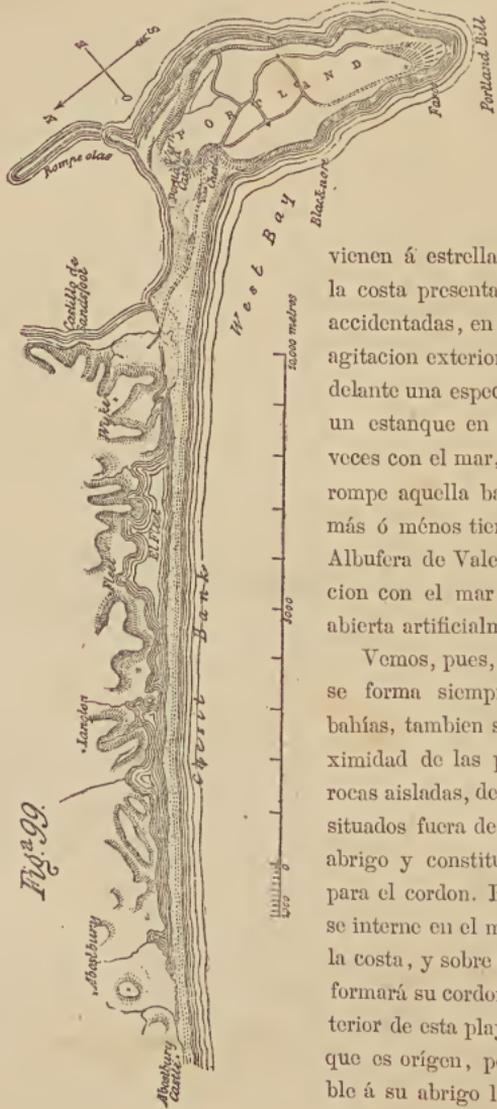


Fig. 99.



EUP T A 69 PER I.2

ESCUELA TÉCNICA DE PERITOS INDUSTRIALES  
DE SEVILLA

ESTANTE..... 2

T A B L A ..... 7

NÚMERO..... 535

tame

la geométrica

de se

3

