

Modelo de interacción de las corrientes de marea en la desembocadura del estuario mesomareal del Río Guadiana, (S.O. España-Portugal)

Model of tidal currents interactions in the mesotidal Guadiana River Mouth, (S.W. Spain-Portugal)

J.A. Morales González

Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Experimentales, Universidad de Huelva. 21819 Huelva.

ABSTRACT

The mesotidal Guadiana River Estuary, and all the estuaries located along the Huelva Coast present ebb tidal deltas in front of their mouth, that are unexplainly curved to west; in the same way, authors have observed turbidity plumes west directed. At this moment anybody do not have explain for the origin of the littoral current that product this curve sense. This paper gives data that certify a tidal origin for these currents, explaining the observed phenomena by a interactive model of the tidal currents in the open coast with the tidal currents coming out from the estuary mouth.

Key words: estuaries, spits, tidal current interaction, sedimentological effects.

Geogaceta, 18 (1995), 83-86
ISSN: 0213683X

Introducción

El Estuario del Río Guadiana (Fig.1) es uno de los sistemas fluvio-marinos más importantes del SO de la Península Ibérica, su origen es un estrecho valle excavado por incisión fluvial durante el Pleistoceno e inundado hace unos 6500 años durante la transgresión Flandriense (Zazo *et al.*, 1994). Actualmente se encuentra en un estado avanzado de colmatación, ya que su morfología estrecha inhibe el asentamiento en su interior de un importante volumen de sedimento, haciendo que gran parte de los materiales se depositen en su desembocadura, que sufre un importante proceso de progradación. Esta progradación es el resultado de la interacción de los procesos costeros (olas y mareas) y continentales (régimen fluvial), teniendo además una notable influencia otros factores como la cantidad de sedimento disponible y la estabilidad del nivel del mar, en este caso el sedimento es aportado por el río Guadiana y una deriva litoral muy activa que circula en sentido O-E, transportando material arenoso procedente de los acantilados de Olhos de Agua en el Algarve Portugués (Bettencourt, 1989). Desde este punto de vista, el resultado de la interacción de estos fenómenos puede dar

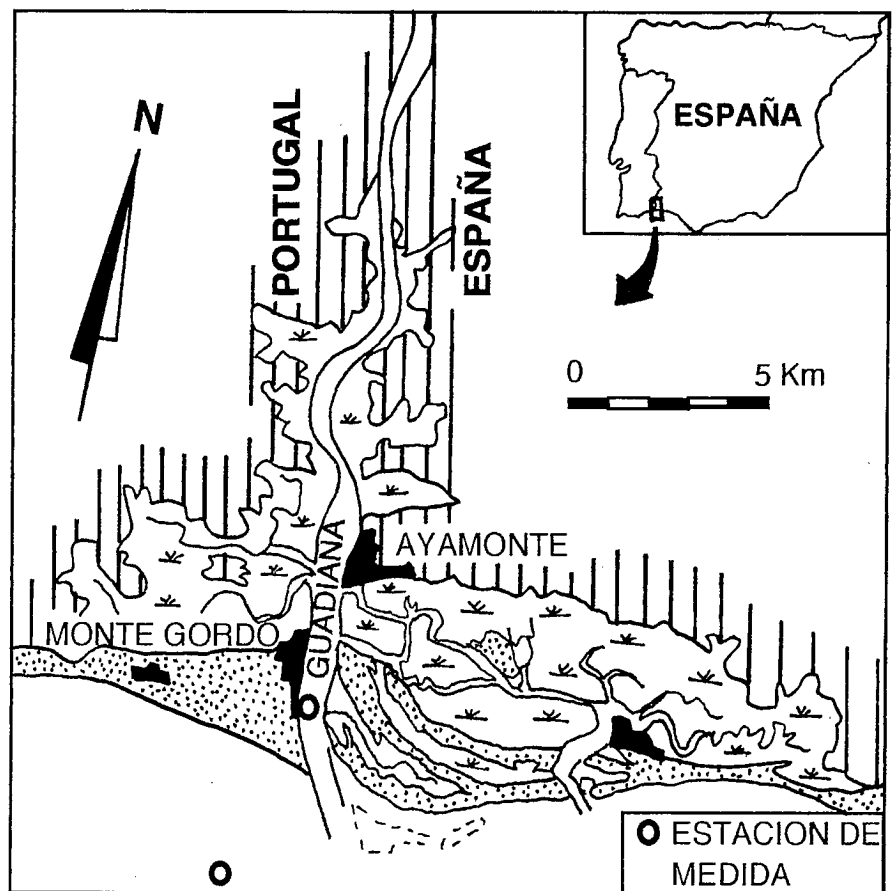


Fig. 1.- Localización del area estudiada.

Fig. 1.- Location of the study area.

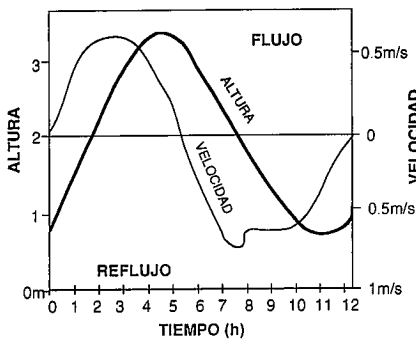


Fig. 2.- Curvas de Tiempo-Altura de marea y Tiempo-Velocidad de corriente en una Marea Viva Media registrada en el interior del canal principal del estuario del Río Guadiana.

Fig. 2.- Tidal High-Time and Speed of Current-Time curves for a Mean Spring Tide into the main channel of the Guadiana River Estuary.

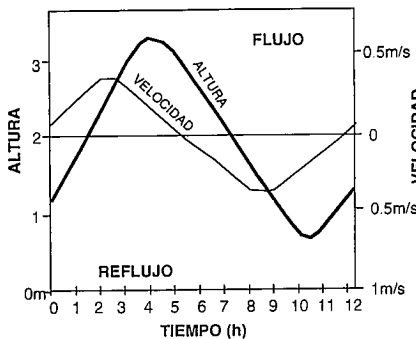


Fig. 3.- Curvas de Tiempo-Altura de marea y Tiempo-Velocidad de corriente en una Marea Viva Media registrada en la costa abierta al frente del estuario.

Fig. 3.- Tidal High-Time and Speed of Current-Time curves for a Mean Spring Tide in the open coast in front of the estuary.

lugar a diferentes modelos de relleno, así como a diferentes tipos de evolución (Nichol y Boyd, 1993).

Diferentes autores han propuesto la incidencia oblicua de los trenes de olas sobre la línea de costa (deriva litoral O-E) como el principal agente responsable de la elongación hacia el Este de las principales macroformas de cierre en los estuarios de la Costa de Huelva (Zazo, 1980; Borrego y Pendón, 1988; Ojeda, 1988; Dabrio, 1989), sin embargo otros atribuyen mayor importancia al fenómeno de interacción entre las corrientes de marea de salida/entrada de los estuarios y las corrientes mareales de la zona litoral abierta, siendo el oleaje el encargado de retrabajar el sedimento depositado en la zona de interacción para contruir las flechas litorales

(Borrego *et al.*, 1992; Morales *et al.*, 1994). De todos modos atendiendo a la morfología de las principales macroformas de la Costa de Huelva, todos los autores parecen coincidir en el dominio de una dinámica dominante de la deriva y las corrientes mareales en sentido O-E; por el contrario, se han observado fenómenos que indican que en la zona litoral actúan de una forma persistente corrientes en sentido contrario al expresado. Así, Ojeda (1988) pone de manifiesto la existencia de plumas de turbidez incurvadas hacia el O en la salida de los estuarios de los ríos Guadiana, Piedras y Odiel, igualmente se ha observado que estas corrientes dejan su impronta en la morfología de algunas formas costeras: Borrego *et al.* (1993) y Morales (1993) describen deltas de reflujo incurvados hacia el Oeste al frente de los spits del Rompido y Punta Umbria respectivamente.

Aunque estos casos han sido descritos en la bibliografía, en ninguno de ellos se explica de un modo convincente, ni el origen de las corrientes que producen la curvatura en las plumas de turbidez, ni cuál es la causa que provoca la incurvación de los deltas de reflujo. Hay que tener en cuenta que a pesar de formarse ambas estructuras durante el reflujo, la curvatura se produce en sentido contrario a la dirección preferente de circulación de las corrientes de reflujo en la zona externa y además a la actuación de la deriva litoral.

Elementos morfodinámicos

El estuario del Guadiana es mesomareal, con un rango medio de 2,0 m (el rango de la marea muerta media es 1,22 m. y de la marea viva media es 2,82 m.), produciéndose en los rangos mareales ciclicidades de distinto periodo (semidiurno, bisemanal y semestral). En la zona litoral abierta la onda de marea se propaga en sentido E-O, mientras que en el interior del estuario la onda se propaga según un modelo Sincrónico hasta unos 50 Km. hacia el interior (Morales, 1993). Los prismas de marea en este estuario son muy elevados debido a la longitud del mismo (Marea Viva media: 41,49 Hm³, Marea Media: 29,85 Hm³ y Marea Muerta Media: 18,21 Hm³).

Sobre este sector costero actúan generalmente olas de energía media-baja, este oleaje incluye tanto olas atlánticas (olas de Swell: 48,21 % del tiempo) como olas generadas localmente (olas de Sea: 51,75% del tiempo). Frecuen-

cialmente domina el oleaje procedente del SO (20% del tiempo), aunque sus olas ($H_{1/3}=0,40$ m., $T=4,06$ s.) son menos energéticas que las procedentes del SE y que actúan sólo el 8% del tiempo ($H_{1/3}=0,70$ m., $T=5,08$ s.). Esta menor energía de las olas del SW está relacionada con la inducción mayoritaria de estas olas desde el Atlántico (Swell del SW: 75%) (Morales, 1993). Durante los temporales de invierno llegan a producirse olas muy energéticas ($H_{max}=6,0$ m.), aunque estas olas son muy excepcionales, siendo las olas significativas más altas de bastante menor tamaño ($H_{1/3}$ máxima=3,80 m.) (Morales, 1993). Esta dinámica del oleaje provoca una fuerte deriva litoral en el sentido W-E, cuyos valores de transporte potencial varían según los autores entre los 180×10^3 m³/año (Cuenca, 1991) y los 300×10^3 m³/año (CEDEX, 1991).

El régimen hídrico del río Guadiana presenta un acusado caracter estacional además de una marcada irregularidad interanual, de modo orientativo pueden citarse las aportaciones de agua dulce que el río hace al estuario en los regímenes alto, medio y bajo durante las 6 horas que dura aproximadamente un semiciclo de marea (9,01 Hm³, 3,40 Hm³ y 0,35 Hm³ respectivamente); puede observarse que estos volúmenes de agua son sensiblemente menores que los prismas mareales. La aportación sólida del Guadiana se ha estimado para los últimos 44 años ($57,90 \times 10^4$ m³/año de aporte en suspensión y $43,96 \times 10^4$ m³/año de aporte en carga de fondo), aunque dicha estimación puede utilizarse sólo como un valor orientativo (Morales, 1993). Hay que tener en cuenta que desde la década de los 60 se han construido en la cuenca de drenaje del Río Guadiana más de 40 embalses, que regulan alrededor del 75% de la superficie de drenaje, lo que ha debido suponer un importante decrecimiento en el volumen de sedimento aportado por el río al estuario.

Las corrientes mareales

Para el estudio de la interacción de las corrientes de entrada y salida del estuario con las corrientes de marea en la zona costera abierta, se dispone de curvas de tiempo-altura y tiempo-velocidad medidas simultáneamente en el canal del estuario y en la costa abierta durante un ciclo de Marea Viva Media (Figs. 2 y 3). En estos gráficos se observa el desfase existente entre las pleameres y bajameres y el giro de las co-

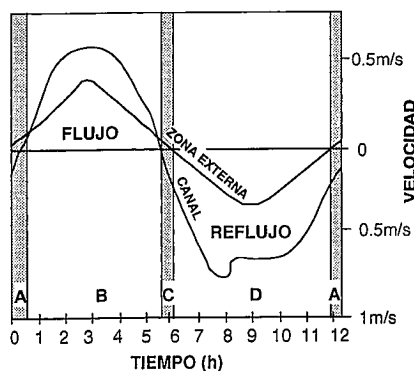


Fig. 4.- Comparación entre las dos curvas de Velocidad-Tiempo, delimitando las situaciones con interacción diferente de corrientes mareales.

Fig. 4.- Comparison between two curves Speed-Time, with specification the different interaction conditions of tidal currents.

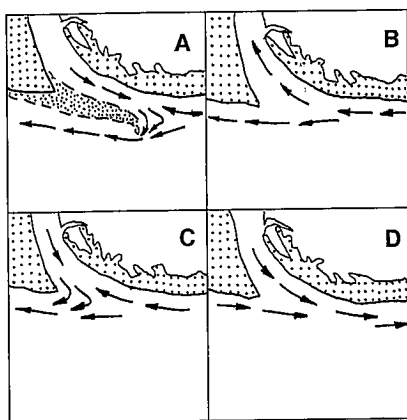


Fig. 5.- Modelo gráfico de las diferentes situaciones de interacción de corrientes de marea.

Fig. 5.- Graphic model of the different interactions patterns of tidal currents.

rientes, así como el desplazamiento de la onda hacia el interior del estuario, pero lo más interesante es la relación entre las dos curvas de velocidad (Fig. 4), pues las velocidades de la zona externa son sensiblemente menores que las alcanzadas en el canal. Por otra parte, en el canal del estuario se observa una clara asimetría de las corrientes, donde el reflujo alcanza velocidades mayores y las mantiene durante más tiempo, puesto que al prisma mareal ha de sumarse el caudal evacuado por el río durante el funcionamiento del reflujo y además el caudal fluvial acumulado en el interior del estuario durante el funcionamiento del flujo. Este hecho hace que el sentido de las corrientes se invierta dos veces en el canal, mientras en la zona externa se mantiene el sentido

de flujo, dando lugar a la existencia de 4 situaciones o estadios distintos, en los que las corrientes interactúan de manera diferente (fig. 5):

SITUACION A: De 0 h a 0 h 35 min.- Este estadio comienza cuando se produce la primera inversión de la corriente en la zona abierta, adquiriendo el sentido de Este a Oeste, que se mantiene durante todo el semiciclo de flujo. Al mismo tiempo, en el canal estuarino se mantiene el reflujo de inercia, aunque ya con corrientes muy débiles (inferiores a 0,15 m/s). A la vez que las corrientes de salida van perdiendo intensidad, la ganan las de flujo en la zona externa, que llegan a alcanzar alrededor de 0,10 m/s cuando se invierte el sentido de la corriente en el canal. Todo esto se produce con una altura de marea bastante baja (entre 0,7 y 1m. sobre el nivel de la Marea Baja Viva Equinocial), de forma que los deltas de reflujo asociados a la desembocadura aparecen emergidos y el reflujo se encuentra, entonces, muy canalizado.

SITUACION B.: De 0 h 35 min. a 6 h 20 min.- Este estadio tiene una duración de algo menos de 6 horas, desde que se invierte el sentido de la corriente en el canal estuarino, por lo que puede decirse que corresponde a la situación normal de flujo en la desembocadura del Guadiana. Durante todo el periodo, la corriente en la zona externa mantiene el sentido Este-Oeste, mientras que en el canal permanece con sentido entrante; así pues, la marea continúa creciendo desde 1m hasta el momento de pleamar, sumergiéndose los bajos durante el mismo.

SITUACION C: De 6 h 20 min a 6 h 35 min.- Nuevamente vuelve a producirse una inversión de la corriente en el canal estuarino, mientras que en la zona externa permanece aún la corriente de flujo actuando en sentido Este-Oeste, aunque de forma muy débil. Este estadio es muy breve, apenas dura 15 minutos, incluso en determinadas condiciones podría no aparecer, si el giro de las corrientes se produce de forma simultánea en el canal y en la zona externa. La situación es muy parecida a la del estadio A, sin embargo, este estadio tiene lugar con una marea lo suficientemente llena como para cubrir los bajos existentes en la desembocadura.

SITUACION D: De 6 h 35 min. a 12 h 35 min.- Durante alrededor de 6 horas y media se produce la coincidencia de corrientes de salida del estuario y corrientes de reflujo en la zona externa circulando en sentido Oeste-Este, en lo

que podríamos denominar la situación normal de reflujo. Ambas corrientes actúan con una velocidad elevada (la corriente de salida supera los 0,30 m/s) y los bajos, que en principio permanecían sumergidos, llegan a aflorar en los últimos momentos de este estadio.

Estos estadios van sucediéndose en el tiempo de una forma progresiva, de manera que podríamos considerar que los estadios A y C son intermedios entre las situaciones normales de flujo y reflujo (B y D), que son las que presentan mayor duración temporal. Estas dos situaciones fueron las únicas contempladas por trabajos anteriores (Borrego *et al.*, 1992).

Discusión y conclusiones

El modelo propuesto explica los fenómenos observados en la desembocadura del estuario del Guadiana, por una parte, la existencia de estas 4 situaciones de circulación explica todas las estructuras de turbidez detectadas por Ojeda (1988); este autor observaba un desplazamiento persistente hacia el Oeste de las plumas de turbidez del reflujo estuarino en diferentes situaciones de altura de marea y oleaje, en algunas de las cuales estos penachos eran explicables para este autor, sin embargo en otras quedaban sin explicación, atribuyendo su posible origen a una contracorriente de compensación dentro de la circulación general del Golfo de Cádiz.

Por otra parte, la existencia de la situación A justifica el giro en la orientación de los canales principales de reflujo ya que, aunque la deriva actúe hacia el Este y el reflujo de la zona costera abierta lo haga también en el mismo sentido, esta situación coincide precisamente con la persistencia del reflujo de salida del estuario, mientras que en la zona costera ya existen corrientes de flujo hacia el Oeste; a pesar de la corta duración del estadio, es durante el mismo cuando es posible que se produzca la incurvación ya que en estos momentos tiene lugar la mayor canalización en los deltas de reflujo; mientras que en estadios anteriores se produce una descarga en lámina en los niveles más superficiales de la columna de agua, que no destruye las mesoformas creadas durante este estadio.

Este modelo puede ser aplicado al resto de los estuarios de la Costa de Huelva, donde se han observado también plumas de turbidez similares y deltas de reflujo, con una curvatura incluso más evidente que en el sistema del

Guadiana (estuarios del Piedras y del Odiel), aunque hay que tener en cuenta que los prismas mareales en estos dos casos no son tan elevados y además tampoco la descarga fluvial media es de la misma importancia, esto precisará de un estudio más detallado en estos estuarios.

A pesar de explicar todos estos fenómenos, este modelo parece contradecir el esquema de circulación presentado en el informe del plan de ordenación del territorio C.I.T.N. de Isla Canela (1988). El citado esquema fue realizado a partir de los perfiles de velocidad construidos en una serie de estaciones durante un ciclo completo de marea, sin que se especifique el método, y contempla dos situaciones normales de circulación (en flujo y reflujo); en la segunda de ellas, las corrientes interactúan de forma muy similar a la propuesta en el estadio D de este trabajo; sin embargo, la actuación durante el flujo de corrientes que circulan de Oeste a Este en la zona externa, no sólo difiere de este trabajo, sino que además contradice la circulación mareal descrita en los derroteros de costas para este sector litoral y no explica las evidencias encontradas sobre el terreno. Hay que tener en cuenta que el registro del C.I.T.N. fue

realizado durante un solo día, en el que pudieron influir condiciones locales de tipo hidroclimático que no se indican en el informe (Ojeda, 1988). Por el contrario, el modelo propuesto si que es coherente con las trayectorias seguidas por los trazadores en una experiencia realizada por el C.E.O.T.M.A. (1981) en la desembocadura del Río Odiel.

Agradecimientos

Agradecemos al Puerto Autónomo de Huelva la cesión de los datos obtenidos por la dirección General de servicios Hidráulicos de Portugal en el proyecto internacional de construcción de los diques de contención de arena. Los comentarios y discusiones de J. G. Pendón y J. Borrego han enriquecido en gran medida este trabajo, se agradecen igualmente los comentarios de J. Ojeda y la cesión de las imágenes de satélite para su interpretación según el modelo propuesto. Este trabajo ha sido financiado por CICYT, proyecto nº PS89-0113.

Referencias

Bettencourt, P., 1988. *Bull. Inst. Geol. Bassin d'Aquitaine*, 44: 81-96.
 Borrego, J. y Pendón, J.A., 1988.

Henares Rev. Geol., 2: 299-305.
 Borrego, J., Morales, J.A. y Pendón, J.A., 1992. *Geogaceta*, 11: 86-89.
 Borrego, J., Morales, J.A. y Pendón, J.A., 1993. *Journ. of Coastal Res.*, 9: 242-254.
 C.E.D.E.X., 1991. *Informe inédito*, 300 pp.
 C.E.O.T.M.A., 1981. *Informe inédito*, 198 pp.
 C.I.T.N. Isla Canela, 1988. *Informe inédito*, 600 pp.
 Cuenca, G.J., 1991. *Servicio de Costas, MOPT*, 100 pp.
 Dabrio, C.J., 1989. In: *A. Arche (coord). C.S.I.C.*, 541 pp.
 Morales, J.A., 1993. *Tesis Doct. Univ. Sevilla.*, Serv. Publ. Univ. Huelva, 274 pp.
 Morales, J.A., Pendón, J.G. y Borrego, J., 1994. *Rev. Soc. Geol. España*, 7: 155-167.
 Nichol, S.L. y Boyd, R., 1993. *Mar. Geol.*, 114: 59-80.
 Ojeda, J., 1988. *Tesis Doct. Univ. Sevilla*, (Inédita), 411 pp.
 Zazo, C., Goy, J.L., Somoza, L., Dabrio, C.J., Belluomini, G., Improta, S., Lario, J., Bardají, T. y Silva, P.G., 1994. *Journ. Coastal Res.*, 10: 933-945.
 Zazo, C., 1980. *Tesis Univ. Compl. Madrid*, (Inédita)