

# Deriva de hidrocarburos en la Bahía de Santiago de Cuba

RODAS FERNÁNDEZ, ARRIAZA OLIVEROS, M. HERNÁNDEZ GONZÁLEZ (\*)

**RESUMEN** Con el objetivo de pronosticar la deriva superficial de hidrocarburos en la Bahía de Santiago de Cuba fueron realizados cálculos partiendo de los promedios históricos de velocidad del viento y la marea. Se pronosticó la deriva de hidrocarburos seleccionando zonas con mayor probabilidad de ocurrencia de derrames. Se concluye que los derrames que ocurran en el Canal situado entre Punta Gorda y la termoeléctrica Renté se propagarán rápidamente hacia otras zonas de la bahía y causaran gran contaminación en el entorno de la misma.

## DRIFT OF HYDROCARBONS IN SANTIAGO DE CUBA BAY

**ABSTRACT** *With the objective of forecasting the surface drift of hydrocarbons in Santiago de Cuba Bay, were carried out calculations starting from the historical averages of speed of the predominant winds on the bay. The drift of hydrocarbons was predicted selecting areas with more spills occurrence probability. It is concluded that the spills that occur in the Channel located between Punta Gorda and the thermoelectric Renté will spread quickly toward other areas of the bay, and these will cause great contamination to the environment of the bay.*

**Palabras clave:** Deriva; Hidrocarburo; Contaminación; Circulación; Bahía.

## INTRODUCCION

Al entrar el petróleo al océano, se esparce de acuerdo a complicadas leyes cuyos detalles aún son desconocidos. Una forma simplificada puede analizarse como sigue: cuando una cantidad de petróleo se vierte en la superficie (por ejemplo un accidente de un supertanquero), el esparcimiento inicial del petróleo es debido a la acción de la gravedad (Shen et al. 1990 y 1993). Tan pronto como las capas de petróleo comienzan a ser suficientemente finas, las fuerzas de viscosidad y tensión superficial juegan un papel importante en el esparcimiento. Dicho proceso cesa enseguida que el espesor de la mancha se convierte en una película monomolecular. La velocidad de deriva de una mancha de hidrocarburos se considera como la suma vectorial de las velocidades inducidas por el viento y las corrientes marinas. Se asume que la mancha se esparce en forma de una elipse cuya elongación y alineación dependen del viento predominante en la zona. El proceso más importante que gobierna la localización de la mancha de petróleo es la advección. Esta es causada por el efecto combinado de las corrientes superficiales y el viento.

Según lo expuesto por Emilsson y Tápanes (1971), los principales agentes que afectan el movimiento de las aguas sobre la plataforma son la marea, las corrientes en el mar abierto adyacente y el viento. Los vientos de más interés para caracterizar este fenómeno en nuestra región geográfica, dada la periodicidad con que aparecen, son: la Brisa, el Terral, los Alisios, los Nortes (N), los Sures (S) y las tormentas y huracanes.

La bahía de Santiago de Cuba se encuentra situada en la parte oriental de la Isla de Cuba, enclavada en el centro de la cuenca de Santiago de Cuba. La bahía no sobrepasa los 7 km de longitud y aproximadamente los 3 km en su parte más ancha (fig. 1). Es un cuerpo de agua, calificado como una bahía de bolsa con un canal de entrada corto y muy estrecho, cuyo litoral es totalmente irregular y donde están enclavadas infraestructuras con una variada actividad económica, así como asentamientos poblacionales. En sus entornos se localizan los cayos Granma y Ratón, el primero de ellos totalmente urbanizado. La bahía cuenta con varias ensenadas. Las mismas sirven de abrigo a las embarcaciones y son utilizadas por los pobladores para la pesca artesanal.

La marea en la Bahía de Santiago de Cuba tiene dos pleamares y dos bajamares en un día lunar (aproximadamente 25 horas), por lo que los llenantes y vaciantes tienen una duración aproximada de 6 horas, debido a lo cual la marea se clasifica como mixta semidiurna irregular. La amplitud máxima de la marea en este lugar es de 73 cm y su amplitud media es de 31 cm (Rodríguez y Rodríguez, 1983). En general, la circulación superficial a corto plazo (6 horas) en la Bahía de Santiago de Cuba, se caracteriza por corrientes lentas, con velocidades por debajo de los 10 cm/s, excepto en el canal de entrada, frente al Morro, donde puede alcanzar hasta 25 cm/s.

Los vientos con mayores probabilidades de ocurrencia sobre la bahía son los de región N (35.96%), las **calmas** (19.40%), los de región S (13.97%) y los del SE (12.29%) (Puente, 2001).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Durante el muestreo de la bahía se realizaron mediciones de las corrientes marinas utilizando correntógrafos SD-6000 de

(\*) Ingenieros Licenciados. Instituto de Oceanología, Ave. 1ra. No. 18406 entre 184 y 186. Reparto Flores, Playa. La Habana, Cuba.

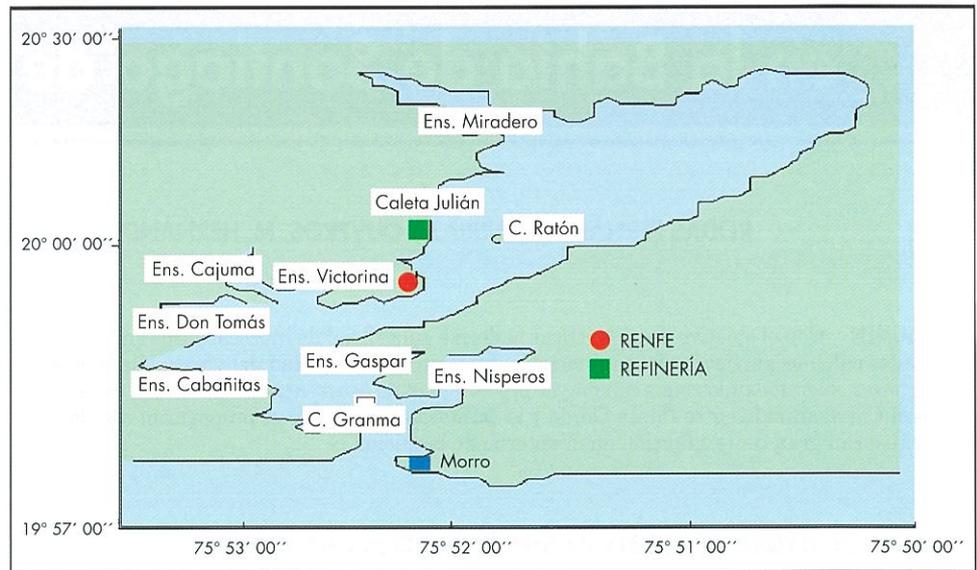


FIGURA 1. Bahía de Santiago de Cuba.

la firma noruega Aanderaa y cuerpos de deriva en forma de crucetas, confeccionados en el Departamento de Oceanografía del Instituto de Oceanología. Se efectuaron mediciones hidrológicas de temperatura y salinidad del agua en 50 estaciones hidrológicas de forma manual en superficie y mediante muestreadores NANSEN con termómetros en los niveles intermedios.

La georeferenciación de los anclajes de los correntógrafos y los experimentos de los cuerpos de deriva se realizó mediante un GPS. También se realizaron mediciones de viento *in situ*, con un anemómetro de fabricación soviética, con una precisión 1 m/s. Todos los muestreos se desarrollaron durante las horas iluminadas del día.

La red de estaciones de muestreo, las derrotas y la rejilla del modelo matemático que sirve de base al sistema con el cual se calcularon las corrientes superficiales se construyeron sobre la carta náutica "Bahía de Santiago de Cuba y sus accesos" de escala 1: 10.000 (ICH, 1976).

Softwares: Matlab 5.1, Excel, Word, Photo Suite PE, Paintbrush, Photo Editor y Surfer.

Se recopilaban datos de velocidad y dirección del viento 15 días antes de la campaña oceanográfica, durante la misma y 15 días posterior, como información complementaria. Los datos de tiempo de deriva y de correntometría fueron obtenidos durante los 7 días de muestreo en la bahía.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### ANÁLISIS DE LA DERIVA DE HIDROCARBUROS EN CADA ZONA, SEGÚN LAS DIFERENTES DIRECCIONES DEL VIENTO Y LAS FASES DE MAREA

Los petróleos más ligeros se mantienen en la superficie y se evaporan más rápidamente, sin embargo los más pesados se moverán menos horizontalmente y se emulsionarán y hundirán con mayor rapidez. Los cálculos están hechos para la deriva superficial de hidrocarburos. No obstante, cualquiera sea la cantidad de petróleo derramada, un por ciento de él se va a trasladar según la circulación superficial dominante en cada caso, y será suficiente para contaminar las costas u otras zonas de la bahía. Las magnitudes de la velocidad del viento empleadas en el análisis son promedios históricos

para el área, a partir de estos se calcularon las velocidades de las corrientes marinas. Las situaciones promedio analizadas aquí pueden ser alteradas por cambios sinópticos en la magnitud o dirección del viento, que deben tomarse en cuenta en situaciones específicas de derrames en cualquiera de las zonas escogidas.

Se escogieron tres zonas ubicadas en la franja costera de la refinería como puntos probables de derrame de hidrocarburos. (fig. 2), debido a que la refinería Hermanos Díaz es una de las fuentes con mayores probabilidades de contaminar la bahía. La zona 1 está ubicada en la Ensenada Victorina, de aproximadamente 150 metros de ancho por 250 metros de largo. En ella se encuentra situada la barrera flotante de la refinería —la cual se encuentra en pésimas condiciones— y donde presumiblemente, pueden ocurrir derrames frecuentes de hidrocarburos y petróleos envejecidos que afectan grandemente la vida de los organismos marinos, la vegetación costera y el mangle. La zona 2 abarca, a todo lo ancho (entre 400 y 600 metros) y largo (aproximadamente 800 metros), el canal que se encuentra frente a la termoeléctrica Renté (entre Punta Gorda y Renté), por esta zona navegan los barcos que suministran el crudo a la refinería. Como zona 3 fue escogida la Caleta Julián, de donde salen diariamente las embarcaciones de transporte del personal de la refinería, siendo un lugar donde pudieran ocurrir eventualmente derrames relacionados a situaciones accidentales, así como a limpieza de sentinas. Esta caleta es pequeña, posee aproximadamente 150 metros de ancho por 200 metros de largo.

### ANÁLISIS DE LA DERIVA DE HIDROCARBUROS BAJO LA INFLUENCIA DE LOS VIENTOS DE MAYOR FRECUENCIA DE OCURRENCIA EN LA BAHÍA

En el informe climatológico de los vientos actuantes sobre la Bahía de Santiago, se expresa que los vientos más frecuentes sobre la bahía son los de región **N** (35.96%), las **calmas** (19.40%), los de región **S** (13.97%) y los del **SE** (12.29%). A partir de esta información se analizaron, en primer lugar y detalladamente, para cada zona, las derivas que responden a estas situaciones de viento y que acumulan una frecuencia de ocurrencia mayor del 80%.



FIGURA 2. Zonas de derrame de hidrocarburos.

**ENSENADA VICTORINA (ZONA 1)**

Para vientos del N con velocidad de 2.8 m/s:

Durante **ambas fases de marea**: una mancha de hidrocarburos en el área derivará hacia el S y saldrá del lugar en aproximadamente 1 hora (figs. 3 y 4).

Bajo la acción de vientos del S, con velocidad de 3.1 m/s:

Durante **ambas fases de marea**: El derrame que ocurra se

mantendrá dentro de la ensenada y alcanzará la costa en menos de 30 minutos.

Para vientos del SE con velocidad de 3.5 m/s:

La deriva del hidrocarburo será hacia la parte NW de la ensenada en ambas fases de marea.

Para situación de calma (ausencia de viento):

Durante el **vaciente** una mancha tendrá una lenta deriva hacia el S, moviéndose apenas 100 m en 3 h, por tanto deri-

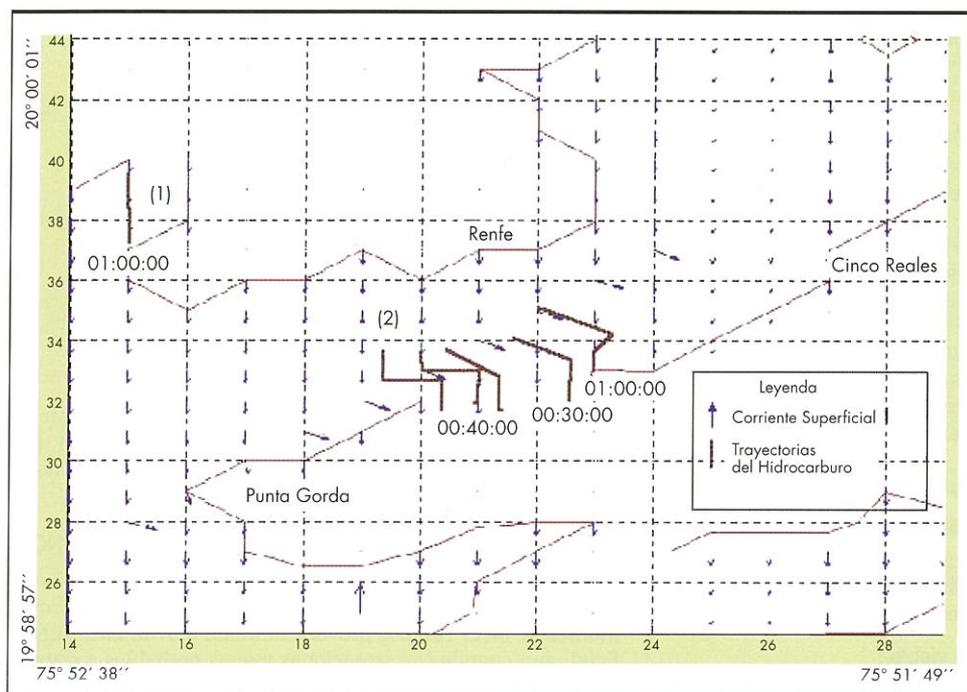


FIGURA 3. Deriva provocada por vientos del N, durante el llenante.

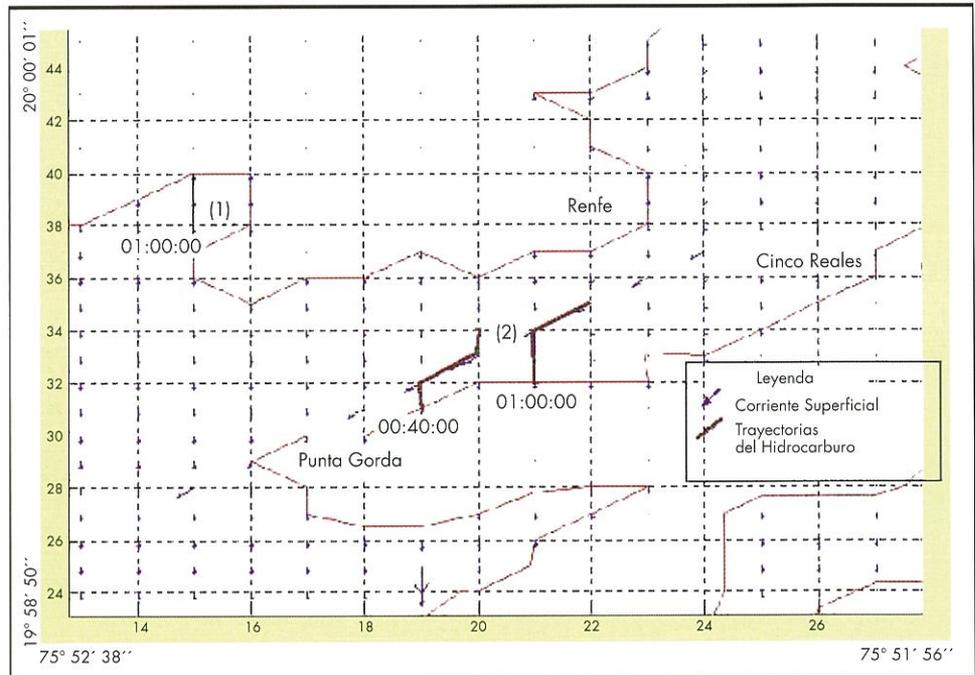


FIGURA 4. Deriva provocada por vientos del N, durante el vaciante.

vará muy poco y se mantendrá dentro de la zona. Durante el **llenante** ocurrirá lo contrario en cuanto a dirección y la deriva será igualmente muy lenta.

**CANAL ENTRE PUNTA GORDA Y RENTE (ZONA 2)**

Para vientos del N con velocidad de 2.8 m/s:

Con el **llenante**, el derrame se dirigirá hacia el S y SE alcanzando la costa, recorriendo distancias aproximadas de entre 200 m y 300 m en un tiempo cercano a 1 h (fig. 3). Durante el **vaciante** la mancha tomará rumbo S en los bordes del canal y W en el centro, recorriendo aproximadamente una distancia de 273 m en 1 hora, en este tiempo alcanzará la costa S del canal (fig. 4). Lo anterior no impide que, si el derrame ocurre mas al centro del canal, la contaminación pueda trasladarse hasta Punta Gorda.

Bajo la acción de vientos del S, con velocidad de 3.1 m/s:

Si la mancha se encuentra sobre la zona más profunda del canal, mientras dure el **llenante**, derivará hacia el NE, y si se aleja de la parte profunda se inclinará hacia el N, afectando gran porción de la costa NW de la bahía (en 5 h recorre una distancia de alrededor de 1 km), (fig. 5), llegando la afectación hasta la Ensenada de Miradero. Durante el **vaciante** los hidrocarburos que se derramen, tomarán trayectorias con rumbos aproximados al NW y luego al N. En ambas fases de marea, la contaminación se mantendrá en el canal, mientras el derrame se produzca al SW del punto (9), alcanzando la costa N del canal en aproximadamente 1 hora (fig. 5). Si la situación ocurre al NE del punto (9), el hidrocarburo se trasladará muy lentamente hacia el N de la bahía.

Para vientos del SE con velocidad de 3.5 m/s:

Las trayectorias probables indican una deriva hacia la costa N del canal, en tiempos aproximados de 30 a 40 minutos. El comportamiento de la deriva es similar durante **ambas fases de marea**.

En situación de calma (ausencia de viento):

La mancha que se encuentre en esta área se moverá hacia el

SW, durante el **vaciante** y recorrerá alrededor de 200 m en 6 h. Durante el **llenante** ocurrirá lo contrario en cuanto a dirección y la deriva seguirá siendo muy lenta. Los cálculos arrojaron que durante una u otra fase de la marea, la mancha no saldrá del canal. En ausencia de viento el movimiento del hidrocarburo estará regido por la acción de la marea, por tanto es muy importante tener en cuenta en qué fase está la misma. Esta es la situación climatológica en la que, cualquier derrame se trasladará, a largo plazo, mas lentamente entre un área y otra de la bahía.(fig. 6).

**CALETA JULIÁN (ZONA 3)**

**DURANTE AMBAS FASES DE MAREA**

Para vientos del N con velocidad de 2.8 m/s:

La mancha se dirigirá hacia su costa S, manteniéndose dentro de la caleta.

Bajo la acción de vientos del S, con velocidad de 3.1 m/s:

El derrame que ocurra se mantendrá dentro de ella y alcanzará la costa en menos de 30 minutos.

Para vientos del SE con velocidad de 3.5 m/s:

Cualquier derrame se mantendrá dentro de la caleta en ambas fases de marea.

En situación de calma (ausencia de viento):

La mancha tendrá una lenta deriva hacia el N (llenante) y hacia el S (vaciante), moviéndose apenas 100 m en 3 h, por tanto derivará lentamente y se mantendrá dentro de la caleta.

**ANÁLISIS DE LA DERIVA DE HIDROCARBUROS BAJO LA INFLUENCIA DE LOS VIENTOS DE MENOR FRECUENCIA DE OCURRENCIA EN LA BAHÍA**

En cada una de estas zonas, la incidencia de vientos provenientes de otros rumbos provoca también movimiento superficial, aun cuando son situaciones menos probables a ocurrir (menos del 20%).

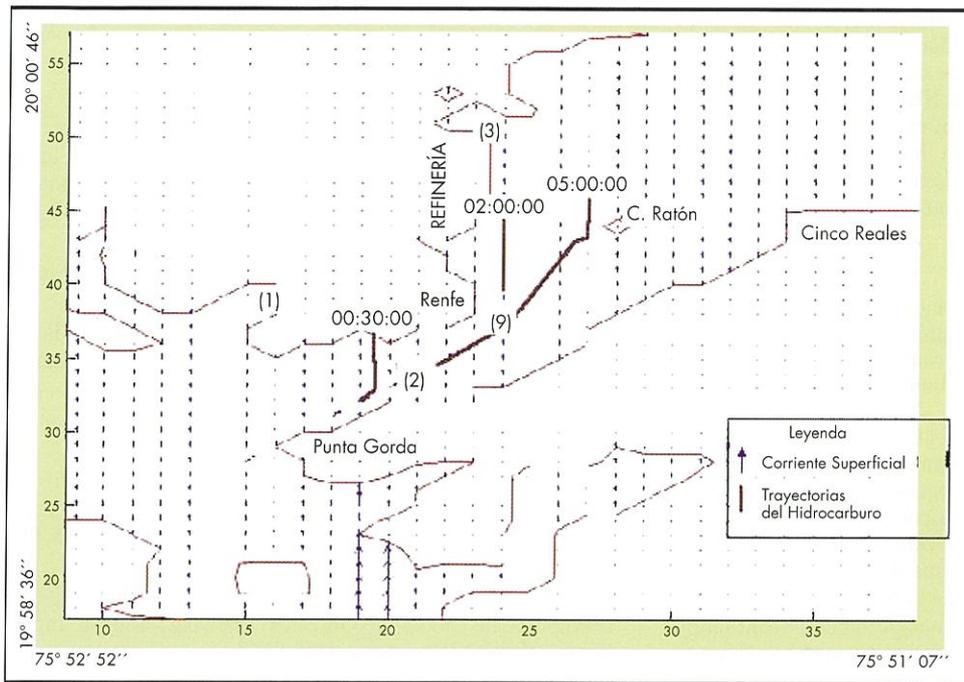


FIGURA 5. Deriva provocada por vientos del S, durante el llenante.

Para las zonas 1 y 2 bajo la acción de los vientos del **NE** (frecuencia **6.51%** e intensidad media **3.5 m/s**), tanto en llenante como en vaciante, la propagación superficial del derrame toma dirección SW, contaminando todas las ensenadas de la parte SW de la bahía hasta Punta Calán y con trayectorias aproximadas hasta la costa N de Punta Gorda. Desde estas zonas, cuando coincide el **vaciente** con vientos del **E** (frecuencia **6.36%** e intensidad media **4.1 m/s**) las trayectorias aproximadas de deriva toman dirección WSW, lo que provo-

caría la contaminación de la porción SW de la bahía hasta el N de la Ensenada Cabañitas.

Para la zona 2 con la coincidencia del **llenante** y vientos del **SW** (frecuencia **2.65%** e intensidad media **2.9 m/s**) las trayectorias probables indican que, puede ser contaminada el área NE de la bahía; desde esta zona hasta Cayo Ratón en aproximadamente menos de tres horas; y hasta el NE del cayo antes de que termine el llenante.

En la zona 3 con vientos del **W**, que son los menos fre-

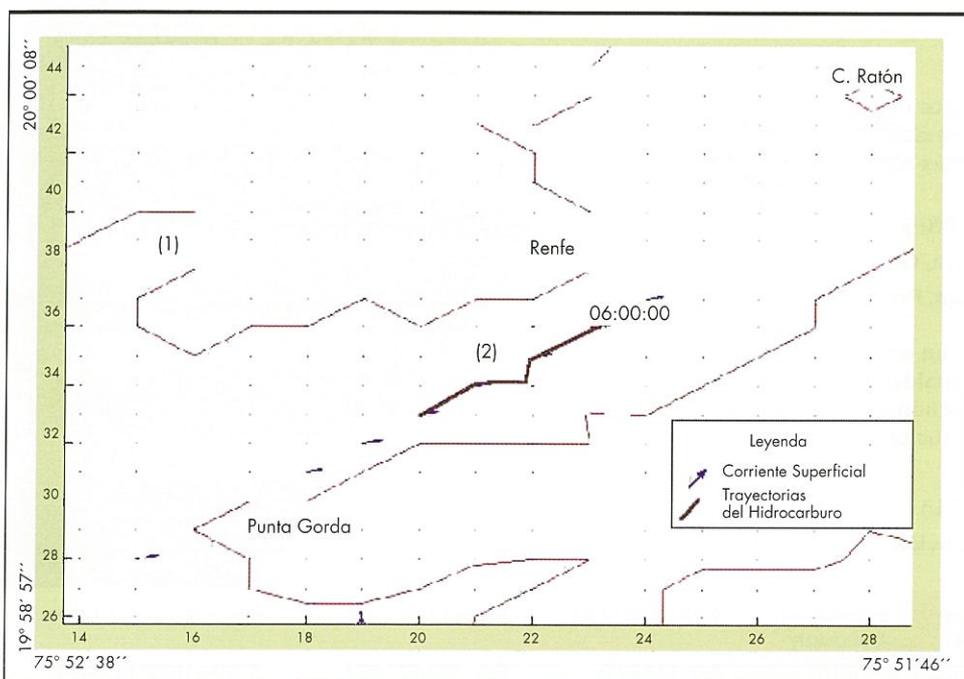


FIGURA 6. Deriva en situación de calma y llenante.

cuentas en la bahía (frecuencia **0.38%** e intensidad media **2.9 m/s**), la situación de contaminación por deriva de hidrocarburos sería tal que en ambas fases de marea se propagaría el derrame hasta el centro del área NE de la bahía. Para vientos del NW (frecuencia **2.48%** e intensidad media **3.5 m/s**), el derrame se movería de la Caleta Julián con dirección SE y alcanzaría la costa cercana a la fábrica de cemento en aproximadamente 3 horas, también para ambas fases de marea.

## CONCLUSIONES

1. Desde la Ensenada Victorina, la contaminación de otras zonas de la bahía es más probable y crítica cuando inciden vientos de dirección N, durante cualquier fase de marea. El tiempo mínimo aproximado para actuar sobre el hidrocarburo es de 1 hora.
2. Los derrames que ocurran en el Canal entre Punta Gorda y Renté se propagarán rápidamente. El tiempo mínimo para evitar que llegue a las costas del canal es de 30 minutos y para que se propague por la bahía es de aproximadamente 2 horas. Desde el canal, dada su orientación geográfica, su profundidad y sus dimensiones, puede ser contaminada cualquier zona de la bahía.
3. Desde la Caleta Julián es menos probable la contaminación de otras zonas de la bahía producto de un derrame

de hidrocarburo. De ocurrir tal evento se cuenta con un tiempo aproximado de 3 horas para actuar.

## BIBLIOGRAFÍA

- BLÁZQUEZ, L. y E. ROMEU (1982): Contribución al estudio de la circulación general del Golfo de Batabanó. Zona B. Reporte de Investigación. No 1. Instituto de Oceanología. ACC.
- BERGUEIRO, J. R.; DOMÍNGUEZ, F. (1996). Evaporación de mezclas de hidrocarburos: Apéndice 11 300-304.
- EMILSSON, I. y TÁPANES, J. (1971): Contribución a la hidrología de la plataforma Sur de Cuba. Serie Oceanológica. No 9. ACC.
- RODRÍGUEZ, J. y J. RODRÍGUEZ (1983): Las mareas en las costas cubanas. No 8. Instituto de Oceanología. ACC.
- SHEN, H. T.; P. D. YAPA and M. E. PETROSKI (1990): Simulation of Oil Slick Transport in Great Lakes Connecting Channels. CRREL Report 90-1, Cold Regions Research & Engineering Laboratory. pp. 1- 29.
- SHEN, H. T.; P. D. YAPA and M. E. PETROSKI (1993) A Mathematical Model for Oil Slick Transport and Mixing in Rivers. Special Report. pp. 2145-2156.



GSE Lining Technology GmbH

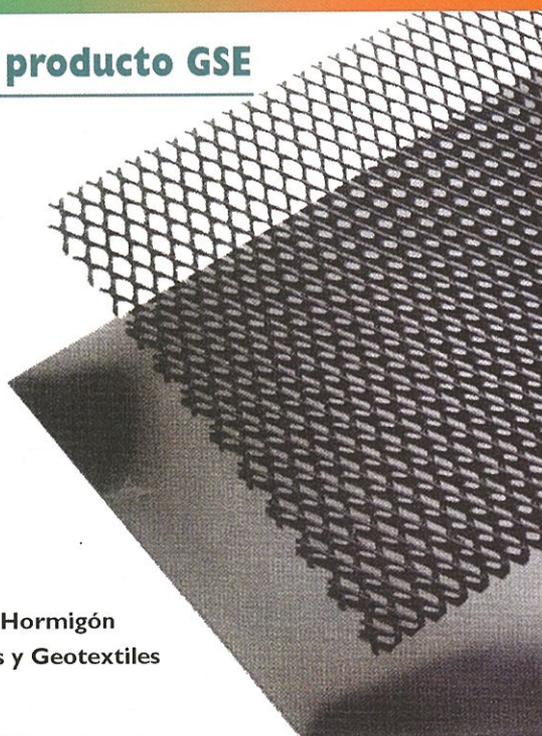
## DURA SEAL® HD otro producto GSE

GSE es el principal fabricante de productos geosintéticos, para el mundo de la impermeabilización. El producto DURA SEAL® HD es uno de los más representativos para la aplicación en:

- Vertederos tipos RSU y RSI y sellado de los mismos
- Embalses para Agricultura, Golf, Acuicultura y Depósitos
- Industria Minera, Química, Protección Industrial, etc.

GSE tiene a su disposición un equipo técnico y de ventas. DURA SEAL® HD está respaldado por una experiencia de 25 años en este sector aprovechándola para asesorar a nuestros clientes en la selección de sus proyectos de:

- Geomembranas
- Productos Protección Hormigón
- Productos de Arcilla (GCL)
- Productos de Drenajes y Geotextiles
- Asesoramiento en Instalación



GSE Lining Technology GmbH

Hamburg,  
Germany

+49-40-76742-0

Fax: +49-40-76742-33

[www.gseworld.com](http://www.gseworld.com)

DURA SEAL® HD

España

968.204.515

Fax: 968.237.081

[duraseal@terra.es](mailto:duraseal@terra.es)