

---

---

# MEDICIÓN DEL TRANSPORTE LITORAL MEDIANTE LA TÉCNICA DE TRAZADORES FLUORESCENTES

José Miguel Montoya Rodríguez  
Dora Luz Ávila Arzani  
Carlos Javier Quezada Luna  
Arturo Bruno Juárez León

**Publicación Técnica No. 227**  
**Sanfandila, Qro, 2003**

---

**SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES  
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE**

**Medición del transporte  
litoral mediante la técnica de  
trazadores fluorescentes**

**Publicación Técnica No. 227  
Sanfandila, Qro, 2003**

---

Esta investigación se realizó en la Coordinación de Vinculación Sectorial del Instituto Mexicano del Transporte, por el M en C José Miguel Montoya Rodríguez, y la Ing Dora Luz Ávila Arzani; con la colaboración del M en C Carlos Javier Quezada Luna, profesor investigador del Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, División de Ingenierías, Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Guadalajara, y del M en C, Arturo Bruno Juárez León, profesor de asignatura de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura del Instituto Politécnico Nacional.

Los autores dedican el presente documento, con profundo respeto y reconocimiento a la memoria del profesor Ing Josué Cornejo Velazco, quien participó de manera activa y entusiasta en la aplicación del método de trazadores fluorescentes en varios puertos de México.

# INDICE

	PAGINA
Resumen	V
Abstract	VI
Resumen ejecutivo	VII
1. Proceso en el estudio de trazadores.	1
1.1 Trabajos previos	1
1.1.1 Programación del estudio	1
1.1.2 Inspección del frente marítimo	1
1.1.3 Recopilación y tratamiento de información	2
1.1.4 Selección y ubicación del sitio en estudio	2
1.1.5 Orientación y dimensiones de la malla	3
1.1.6 Selección de puntos, y recolección de muestras	3
1.1.7 Tratamiento primario	5
1.1.8 Tratamiento secundario del trazador fluorescente	6
1.1.9 Preparación del material y equipo para la campaña de campo	9
1.2 Trabajos de campo	10
1.2.1 Preparación de los trabajos de campo	10
1.2.2 Inyección del trazador fluorescente	10
1.2.3 Rastreo del trazador fluorescente	11
1.2.4 Trabajos de correlación	13
1.2.5 Levantamiento del perfil playero	13
1.2.5.1 Medición del oleaje	14
1.2.5.2 Medición de corrientes longitudinales	15

1.2.5.3	Medición del viento	15
1.3	Estudios de gabinete	16
1.3.1	Lecturas de tarjetas y proceso en las tablas de cálculos de granos fluorescentes	16
1.3.2	Velocidad de desplazamiento del trazador fluorescente	19
1.3.3	Espesor de la capa móvil del sedimento	23
1.3.4	Calculo del transporte de sedimentos	25
1.3.5	Calibración de una fórmula de capacidad de transporte litoral	26
Anexo 1.	Consideraciones particulares y generales	27
Anexo 2.	Técnicas para la preparación de trazadores fluorescentes	35
Anexo 3.	Medición del transporte litoral, con trazadores fluorescentes en las playas Oriente y Poniente de Puerto Madero, Chis	41

# Resumen

---

El objetivo de este documento es aportar al Sector Transporte metodologías de información específica, y un ejemplo de aplicación del procedimiento de medición en campo, del transporte litoral mediante la técnica de trazadores fluorescentes.

Se presentan las metodologías para medir en campo el transporte litoral; la primera contempla el método desarrollado por Komar e Inman (1970) para calcular el transporte litoral a lo largo de la costa; y la segunda, el método descrito por Katoh, et al (1985) para medir en campo el transporte local de los sedimentos del fondo del mar. Como ejemplo se incluyen los trabajos de campo, de laboratorio y de gabinete de diversos trabajos que se llevaron a cabo para medir el transporte litoral a lo largo de la playa en las costas oriente y poniente de Puerto Madero, Chis, así como el procedimiento para determinar la calibración de las fórmulas del transporte litoral a partir de la información obtenida del método de trazadores fluorescentes, y la aplicación de dichas fórmulas para estimar con datos de oleaje medidos en el sitio de estudio, la cantidad del transporte litoral neto en una forma aproximada.

La publicación se integró tomando como referencia la información y las experiencias transmitidas a la Ingra. Dora Luz Ávila Arzani y al M en C José Miguel Montoya Rodríguez por el Dr Shoji Sato, asesor en jefe del Proyecto del Centro Hidráulico Portuario de México, celebrado de 1985 a 1990 mediante el convenio de colaboración técnica suscrito entre los gobiernos de México y de Japón, por conducto de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y la oficina en México de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón respectivamente así como en la información y experiencias transmitidas en 1986 al M en C José Miguel Montoya Rodríguez en el Littoral Drift Laboratory, por el Dr Kazumaza Katoh, actualmente Vicepresidente del Instituto de Puertos y Aeropuertos (PARI) del Ministerio de Tierra e Infraestructura del Gobierno del Japón; sin dejar de señalar la información del M en C Carlos Javier Quezada Luna, profesor investigador de la Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías; División de Ingenierías, Departamento de Ingeniería Civil, y de la brindada por el M en C Arturo Bruno Juárez León, profesor de asignatura de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, del Instituto Politécnico Nacional.

# Abstract

---

This document has as a main objective to provide information to the Transport Sector about of the methodologies remaining, the specific information and of one example of the application of the procedure of the field measurement of the alongshore transport rate by means of the fluorescent tracers technique.

In the present publication are presented two methodologies in order to measure in the breaker zone the alongshore transport rate, the first methodology correspond with the method introduced by Komar and Inman (1970) in order to calculate the alongshore transport rate, and the second methodology correspond with the method introduced by Katoh et al. (1985) in order to measure the local transport of the sea bed sediments. Also is presented as example the field works, laboratory works and other works carried out in order to measure the alongshore transport rate at the East and West coast at Madero Port, Chis., and also is presented the procedure in order to obtained the calibration of the formulas of the alongshore transport rate formulas by means of the information obtained from the application of the fluorescent tracers technique, and also are presented the application of such formulas in order to estimated the alongshore transport rate by means of the wave climate measured in the study site.

The work here reported is based on the information and the experiences transmitted to Dora Luz Avila Arzani and José Miguel Montoya Rodríguez by Dr. Shoji Sato, Chief Adviser of the Mexican Hydraulic Port Center Project developed from 1985 to 1990 by means of the technical agreement signed by the governments of Mexico and Japan by means of the Ministry of Communications and Transport and by the Mexican Office of the Japan International Cooperation Agency respectively, by means of the information and the experiences transmitted in 1986 to José Miguel Montoya Rodríguez at the Littoral drift Laboratory by Dr. Kazumaza Katoh, at present Vice President of the Port and Airport Research Institute belongs of the Ministry of Land and Infrastructure of the Japan government, and with the information provided by Carlos Javier Quezada Luna, Professor of the Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, División de Ingenierías, Departamento de Ingeniería Civil of the Universidad de Guadalajara, , and with the information provided by Arturo Bruno Juárez León, Professor of the Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura del Instituto Politécnico Nacional.

# Resumen ejecutivo

---

Las técnicas para medir el transporte litoral se pueden clasificar en cuatro categorías:

1. Realización sistemática de sondeos topográficos y batimétricos alrededor de un obstáculo, prolongado perpendicularmente desde la costa (espigón de prueba), o mediante sondeos sistemáticos en una trampa de sedimentos (dragado de prueba).
2. Mediante el uso de algún tipo de trampa de sedimentos.
3. A través de la aplicación de la técnica de trazadores fluorescentes, o de trazadores radioactivos.
4. Mediante el desarrollo de algún tipo de detector para el movimiento de sedimentos.

La primer técnica es un método efectivo, pero ordinariamente muy caro. El segundo y cuarto métodos están ahora en desarrollo. Por tanto, la aplicación del tercer método se considera el más conveniente y el más barato, particularmente hablando de los trazadores fluorescentes.

En la técnica de trazadores para la medición del transporte litoral, se tienen dos tipos; uno es el trazador radioactivo y el otro el trazador fluorescente. El radioactivo tiene muchas ventajas en comparación con el fluorescente, pero es restringido física y socialmente. El trazador fluorescente, aunque de menor eficiencia que el radioactivo en los trabajos de campo y en los análisis del laboratorio, pero puede emplearse sin algún daño en algún lugar específico.

Los trazadores radioactivos se fabrican mediante aplicación de neutrones en un reactor atómico sobre arena de vidrio, que tiene la misma densidad y distribución de tamaños de los granos de la arena natural, y contiene alguna cantidad de material radioactivo tal como cobalto ( $^{59}\text{Co}$ ). La radiactividad se controla por la cantidad y contenido del material radioactivo. El movimiento de los trazadores se detecta mediante contadores Geiger-Muller.

Por su parte los fluorescentes se hacen recubriendo la arena natural con pinturas fluorescentes, debido a que tienen menor densidad que la arena natural; la densidad de los trazadores es ligeramente menor al de la arena natural.

En este método después de la inyección de los trazadores fluorescentes, los materiales del fondo del mar se muestrean en muchos puntos alrededor del punto de inyección, y el número de granos del trazador fluorescente de la muestra se cuenta visualmente bajo la iluminación de luz ultravioleta. Es posible obtener la



concentración de los trazadores mediante la curva de correlación definida por la concentración de los trazadores, y el número de fluorescentes cuantificados obtenidos en principio.

En términos generales, las técnicas de la aplicación de pinturas fluorescentes varían, pero todas incluyen las siguientes ventajas sobre los métodos radioactivos:

1. La sedimentación natural de material grueso, de arena o de guijarros de un sitio de estudio, pueden ser fácilmente marcados.
2. La mayoría de pinturas empleadas, no presentan riesgos legales ni de salud.
3. Diferentes colores fluorescentes pueden emplearse para diferenciar sucesivas pruebas en una localidad, o para trazar el movimiento de diversos tamaños de fracciones de sedimento.
4. La solubilidad del trazador fluorescente, se puede en algunos casos ajustar de tal forma que la pintura adherida en los granos de arena permanezca por varios días o por varios años.
5. El costo de la pintura fluorescente es relativamente barata.
6. El pintado de la arena puede efectuarse en cualquier lugar y en principio, transportarse al sitio de estudio.
7. El tiempo para la pigmentación de la arena es corto; algunas veces requiere sólo algunos minutos de trabajo.
8. En la mayoría de los casos, la arena que se va a pintar no requiere de alguna preparación especial previa.
9. La sensibilidad de la técnica de trazadores fluorescentes es por lo menos un grano en  $1 \times 10^6$  granos, la cual equivale a la técnica de trazadores radiactivos.
10. La pintura no afecta las características hidráulicas de los granos de arena marcados.

El uso de trazadores de arena para cuantificar el movimiento de la arena en la zona de rompientes tiene una larga historia (Inman y Chamberlain, 1959; Ingle, 1965; Zenkovich, 1967). La técnica de trazadores es también muy útil para derivar información cualitativa, tal como la dirección del transporte litoral y las contribuciones relativas de diferentes campos (Sasaki y Sakuramoto, 1984).

El uso cuantitativo del método de trazadores de arena en zona de rompientes, fue introducido por Komar e Inman (1970), con base en desarrollos de metodologías de trazadores fluorescentes para estimar el transporte de sedimentos en ríos (Lean y Crickmore, 1963; Crickmore, 1967). Entre los experimentos tipo, más cuantitativos que utilizaron arena marcada con colores fluorescentes, se mencionan los realizados por (Komar e Inman, 1970; Knoth y Nummedal, 1977; Inman, et al, 1980; Kraus, Farinato, y Horikawa, 1981; Kraus, et al, 1982; Katoh, Tanaka, 1985).

En la aplicación del método de trazadores fluorescentes se han adaptado dos diferentes en la cuantificación de la cantidad del transporte litoral en la zona de rompientes (Inman, et al, 1980; Kraus, et al, 1982). El 1° Método de Muestreo Espacial (MME), los muestreos se obtienen en un tiempo tan cercano y simultáneamente como sea posible, en una malla horizontal del lado de abajo del punto o línea de inyección del trazador. El segundo es el llamado Método de Muestreo Temporal (MMT), en el cual las muestras se alcanzan en intervalos cortos de tiempo fijos en una línea del lado de abajo del punto de inyección del trazador.

Katoh, et al, (1985) realizó una variación del método MMT mediante el muestreo sobre un círculo alrededor del punto de inyección, mediante el cual fue posible obtener la componente del transporte litoral a lo largo de la costa y la del transporte litoral hacia el mar a partir de la velocidad de advección del trazador. Kraus, et al, compararon los resultados de los métodos MME y MMT y concluyeron que los del método MME son más exactos.

En los métodos MME y MMT, la velocidad de advección,  $V_a$ , de la arena, se determina del movimiento del centroide del trazador, y el espesor  $d$  es el espesor donde se mueve la arena; está referido al perfil vertical de la concentración del trazador tomado de las muestras, en la vertical del fondo del mar.

El valor del transporte litoral,  $q$ , por unidad de ancho de la zona de rompientes se obtiene del producto  $q = V_a * d$ ; el transporte total promedio a lo largo de la costa,  $Q$ , a través del ancho,  $X_b$ , de la zona de rompientes se estima por medio de la fórmula  $Q = q * X_b$

# 1. Proceso en el estudio de trazadores fluorescentes

---

## 1.1 Trabajos previos

### 1.1.1 Programación del estudio

Sobre la base de los objetivos del estudio, se procede a establecer el programa general donde se contemplan las actividades a realizar en campo y gabinete, teniendo implícito períodos de tiempo para el análisis, de artículos y de estudios concernientes a trazadores fluorescentes realizados por otras instituciones o empresas, nacionales e internacionales. Así como un período de capacitación al personal de reciente ingreso al laboratorio o instituto responsable de los estudios.

Dentro del contexto global del programa general, se establecen programas particulares por campaña, requiriéndose como mínimo cuatro por estudio, efectuando una por estación del año, haciendo coincidir alguna cuando haya ocurrido un norte o huracán.

### 1.1.2 Inspección del frente marítimo

Se realiza una inspección minuciosa al frente marítimo por investigadores del estudio, donde se contemplan las condiciones metereológicas, oceanográficas (tipos de rompientes, oleaje, etc, actuantes), topográficas y topohidrográficas prevalecientes, así como la presencia de deltas o lagunas costeras, que entran en relación con el transporte litoral.



Fig 1.1. Inspección del frente marítimo

### 1.1.3 Recopilación y tratamiento de información

Se recopila toda la información posible descrita en el punto precedente, así como los estudios de transporte litoral, y del frente marítimo en cuestión, en las Secretarías de Comunicaciones y Transportes, Marina, Pesca, y de paraestatales como Petróleos Mexicanos, Comisión Federal de Electricidad, Instituto Nacional de Meteorología, y empresas privadas, entre otras fuentes de información.

Posteriormente se efectúa un tratamiento estadístico propio de la información, obteniendo parámetros, como altura, dirección y períodos de la ola significativa y dominante en la rompiente y aguas profundas; velocidad, dirección e intensidad de las corrientes longitudinales y eólicas; pendiente media de la playa,  $D_m$ ,  $D_{50}$ , del sedimento, etc. Si no se contara con información total o parcial, se selecciona la propia del frente marítimo más cercano a él.

### 1.1.4 Selección y ubicación del sitio de estudio

Se determina en función de la inspección de campo; en los resultados arrojados en el tratamiento de la información del frente marítimo; el criterio del investigador responsable, y en algunas ocasiones por la presencia o posible existencia de obras costeras.

El sitio se delimita por una zona a cubrir en una malla ortogonal donde se aplicará el método de trazadores fluorescentes. Y en un área circundante o anexa al frente marítimo se obtienen ciertos parámetros oceanográficos y sedimentológicos de reafirmación, o de reforzamiento a los obtenidos en la malla del sitio de estudio (fig 1.2).

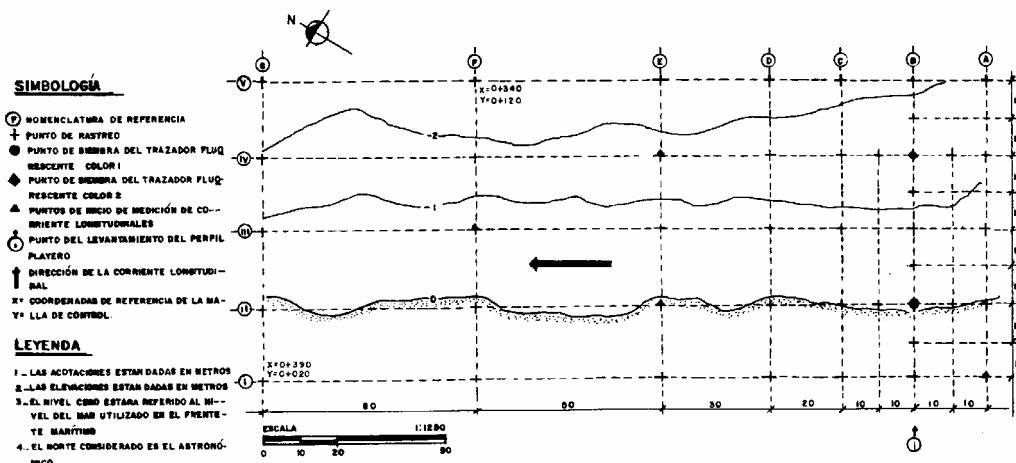


Fig 1.2. Indicaciones de trabajo de campo

### **1.1.5 Orientación y dimensiones de la malla**

La orientación y dimensionamiento se determinan por las corrientes longitudinales dominantes y los niveles del mar, definiéndose en primera instancia por la información del calendario gráfico de mareas del frente marítimo en los días en los que se llevarán a cabo las campañas de campo, y los resultados en los puntos 1.1.2 y 1.1.3 referentes a las corrientes longitudinales.

La dimensión total en el eje de las ordenadas varía desde el límite del estrán (lado tierra) hasta la única o última rompiente, y en el sentido de las abscisas en un rango que cae por lo general entre los 100 a 400 m siendo estos últimos, ejes paralelos a la línea de costa (aproximadamente), y ortogonales a los ejes ordenados, determinándose así su orientación.

Las separaciones intermedias en las ordenadas son de 15 o 20 m, y en las abscisas los transectos están separados de 15 a 20 m en los tres primeros; subsecuentemente se incrementa la distancia en 10...20...30...m.

Cada una de las intersecciones de la malla estarán referidas a la poligonal de apoyo, llevando además una nomenclatura arbitraria dada por el investigador del estudio.

En esta misma malla se representan los puntos donde se realizarán las inyecciones y rastreos del trazador fluorescente, las mediciones de oleaje y corrientes, como los transectos donde se efectuarán los levantamientos de perfiles playeros.

La representación gráfica de la malla, como las indicaciones tratadas en este punto, se harán en un plano que contenga un levantamiento batimétrico del frente marítimo en fechas recientes y período representativo. A manera de ilustración se muestra la *fig 1.2*.

### **1.1.6 Selección de puntos, y recolección de muestras**

Sobre la base del criterio del investigador se indican los puntos de recolección del sedimento de muestra, donde posteriormente se inyectará el trazador fluorescente. Siendo de manera general, los puntos a seleccionar son los siguientes:

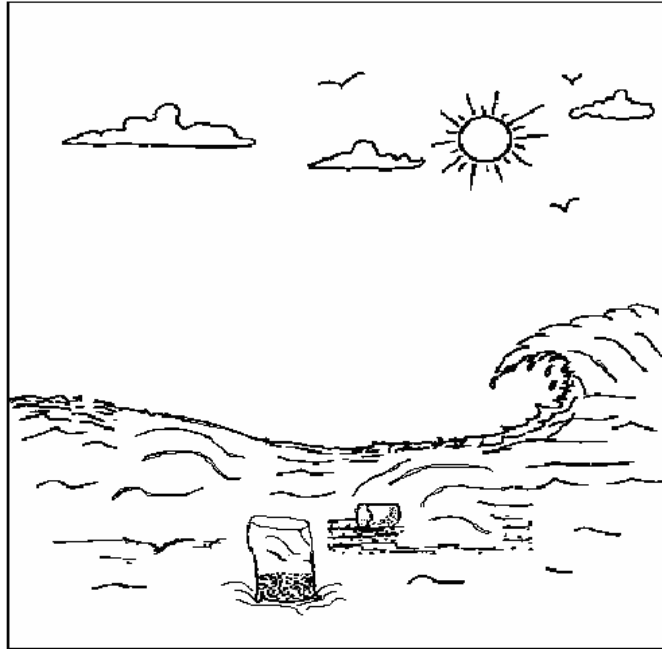
- W(1) = punto ubicado en la zona de estrán
- W(2) = punto ubicado en zona intermedia (zona entre la zona de estrán y la primera rompiente)
- W(n-1) = punto ubicado en la zona de la última rompiente
- W(n) = punto ubicado atrás de la última rompiente

Donde las muestras de W (1) a W (n-1) son para el conocimiento del transporte litoral en el sentido longitudinal a la playa, y W (n) en este estudio.

La fecha de recolección será no mayor de 15 días a la fecha programada para la campaña de campo, a fin de que las condiciones de la zona no varíen; la selección de los puntos se hace en primera instancia en gabinete, pudiendo variar a criterio del investigador la fecha de recolección.

En cada punto seleccionado, se recolecta cierta cantidad "Z", que es variable en función del tiempo, el espacio de rastreo del trazador fluorescente, y la intensidad de las corrientes longitudinales.

La recolección de la muestra se efectúa mediante un recipiente que no permita la pérdida del material fino en la operación, y dentro de la capa activa de movimiento del sedimento, vertiéndose éste en un saco. Siendo esta descripción una recolección menor que "Z" se repite como una sucesión de eventos, hasta lograr la cantidad "Z".



**Fig 1.3. Recolección de muestras**

Una vez logrado el objetivo de recolección, se etiqueta el costal en el cual se debe indicar: frente marítimo de estudio, fecha y punto de recolección, enviándose al lugar de tratamiento de las muestras. La fig 1.3 muestra el proceso descrito en este punto.

Debe tenerse precaución de no mezclarse total o parcialmente una muestra con cualquier otra, ya que son exclusivas e independientes.

### **1.1.7 Tratamiento primario**

Se vacía del saco la muestra a un recipiente limpio, donde se aplica una serie de lavados con agua dulce, con objeto de eliminar las sales que contengan los granos del sedimento; inmediatamente después se esparce el sedimento lo más ampliamente posible sobre una manta, dejándose secar al medio ambiente. Una vez seco el sedimento se extrae una cantidad aproximada de 1 kg, realizándole las pruebas de densidad de sólidos y análisis granulométrico (prueba mecánica) de acuerdo con lo especificado en las Normas de Construcción de Pruebas de Materiales. Parte II, editado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Se efectúa a la porción mayor del sedimento seco un tamizado por las mallas 40 (0.420 mm), y 200 (0.074 mm), de la US Bureau of Standard, eliminando todos los granos retenidos por la primera y los que pasan por la segunda. La arena contenida entre estas dos mallas se almacena en un saco limpio con su etiqueta respectiva, llevando el enunciado: tratamiento primario realizado, más lo contenido

en la etiqueta original. Paralelamente, o subsecuentemente se procede al mismo tratamiento a las muestras restantes.

### **1.1.8 Tratamiento secundario del trazador fluorescente**

Terminado el tratamiento primario se lleva a cabo un pintado fluorescente mediante la siguiente secuencia: se selecciona un color de pintura fluorescente, para cada muestra evitando sean repetitivas. Se calculan las cantidades a utilizar de pintura-aguarrás-arena, con base en la siguiente proporción: 1 lt/3 lt/4.17 kg respectivamente (para mayor información de otras recomendaciones refiérase al Anexo 2). Se vierte primeramente el aguarrás sobre una tina, y posteriormente la pintura fluorescente de aceite mezclándose hasta su perfecta homogeneización, y a continuación se introduce la arena en pequeñas porciones revolviéndola paulatinamente. Una vez que se tenga toda la arena en inmersión, se intensifica la acción de remoción durante 15 min aproximadamente, hasta logra la perfecta saturación de la muestra.

El secado de la arena pintada se hace en forma similar a como se indica en el punto 1.1.7, con la variante del reacomodo esporádico de la posición del tendido de los granos, con el fin de la formación mínima de grumos.

Una vez efectuado el secado se desbaratan los grumos logrados, tamizando toda la muestra por las mallas 40 y 200, en las cuales el material retenido por la 40 se vuelve a triturar y a cernir. Los granos que pasan por la malla 200 se eliminan; la arena pintada que pasó la primera malla y se retuvo en la segunda, es la que se llama trazador fluorescente, del cual se toma una pequeña porción y se aplican las pruebas de densidad de sólidos y análisis granulométrico, equiparando los resultados con los del punto 1.1.7. Se busca una similitud pero, si no se presenta se repite el proceso a partir de la trituration primaria, hasta lograr la congruencia en la comparación citada.

El trazador fluorescente se empaqueta en bolsas de plástico sumamente delgado, o papel de estraza, con peso seco de 5 y 10 kg, lavándose el trazador con agua dulce a fin de eliminar el polvo y grasas adheridos a los granos en su manejo. La bolsa se etiqueta e indica el punto donde realizarse la inyección del trazador fluorescente.





**Fig 1.4. a) Lavado, secado de la muestra, tamizado y selección del sedimento**



**Fig 1.4. b) Pruebas al sedimento**



1. Proceso en el estudio de trazadores fluorescentes.

---



**Fig 1.5. Pintado del sedimento**

### **1.1.9 Preparación del material y equipo para la campaña de campo**

Paralelamente a la ejecución de los puntos precedentes se lleva a cabo la preparación, y adquisición del material y equipo para la campaña de campo.

De acuerdo con 1.1.3 y 1.1.5, se tienen los puntos de rastreo, corrientes, niveles del mar, y altura de olas, esperados, de lo cual se desprende a calcular lo que se indica a continuación.

Material de boyeo: El número de estaciones dicta el total de boyas (botes de plástico) a utilizar, siendo necesario para boyar calcular el peso de los muertos (piedras) en función de las fuerzas de arrastre y sustentación a las cuales estarán sujetas analizando el más crítico, y de ahí por suposición determinar las demás.

Así mismo, se define la longitud del cable que va del muerto a la boya, más el necesario para la perfecta sujeción a éstos, de acuerdo con el nivel de pleamar máximo durante la campaña (tabla de marea del frente marítimo) y la profundidad registrada al nivel medio del mar (levantamiento batimétrico del frente marítimo más reciente), repitiendo el cálculo para cada estación de la malla.

Material de rastreo: El investigador responsable dictaminará el número de rastreos a realizar en la campaña de campo, presentándose dos alternativas a seleccionar.

1<sup>ra</sup> alternativa: Rastreos cada 30 min en las tres primeras horas, siguiendo tres rastreos cada hora, y un ultimo rastreo 2 h después. Se repite el ciclo para una segunda inyección en los mismos puntos del primero

2<sup>da</sup> alternativa: Rastreos cada hora en un lapso de 6 am a 8 pm, y de ahí cada 2 h en el lapso que va de 9 pm a 5 pm inclusive.

Independientemente de la opción a utilizar, de acuerdo con las condiciones oceanográficas prevalecientes en la campaña de campo se tendrá como mínimo 20 rastreos. Cada uno constará de un juego de tarjetas en igual número al de las estaciones contenidas en la malla de control.

La elaboración de las tarjetas se hace en papel ilustración de color contrastaste por los utilizados en los trazadores fluorescentes, siendo los más comunes blanco y negro. Las dimensiones son de 0.1 x 0.2 m, teniendo inscrito un cuadrado central de 0.1 m por lado, delimitando esta área con un marcador de aceite, imprimiendo en uno de sus extremos el rastreo correspondiente y, en el otro lado la nomenclatura arbitraria dada a la estación para la cual se vaya a utilizar. Se elaboran cinco juegos de tarjetas extras sin inscripciones en los extremos, por sí se requirieran en rastreos especiales o en reposición de alguna tarjeta ordinaria.

Un instrumento a fabricar son los bastones rastreadores en un número de dos a cuatro por transecto contenido en la malla. Deben ser de madera o acero, formados por una barra de 0.2 m de lado o diámetro, y un largo de 1.25 m; llevando en uno de sus extremos una base perpendicular y rígidamente unida, con un área exactamente igual a las tarjetas y un espesor de 0.01 m sí es de acero y de 0.02 m sí fuese de madera, y en el extremo de la barra un corte de 45°.

## **1.2 Trabajos de campo**

### **1.2.1 Preparación de los trabajos de campo**

Se determina la dirección y sentido de las corrientes longitudinales antes de instalar la malla, comparando los resultados con los supuestos en el punto 1.1.5. Si fueran contrarios, se abate 180° la malla, corrigiéndose posteriormente en gabinete las coordenadas de referencia de las estaciones, y se prosigue con el método, así como si resultara igual la comparación.

El procedimiento de instalación de la malla es el siguiente: por un lado, para cada una de las estaciones se introduce la piedra a un costal, el cual se sujeta a la boya mediante el cabo; el peso de la piedra y la longitud del cabo son los calculados en 1.1.9, y la boya tendrá la nomenclatura arbitraria dada en 1.1.5.

Por otro lado, simultáneamente al primero se instala un tránsito en la parte alta de la playa, ubicándolo con respecto a una mojenera de la polígona de apoyo; posteriormente se orientan las dos primeras estaciones colineales en cualquier transecto de la malla, y una estación perpendicular lo mas cercana a uno de los mencionados. Con la perfecta ubicación de estos tres primeros puntos, los demás se sitúan por medio de la alineación de balizas, y de la intersección de cadenamientos con las propias longitudes.

En el momento en que se ubique cualquier estación de la malla inclusive las primeras tres, se traslada inmediatamente e instala la boya correspondiente.

### **1.2.2 Inyección de trazador fluorescente**

Se deja transcurrir un mínimo de 12 h para instalar la malla donde realizar la inyección del trazador, a fin de que se logre el enterramiento de los muertos.

El trazador fluorescente (por color) se separa en dos porciones; una que contenga 2/3 partes del peso total para una primera inyección, y la restante para una segunda. Se dicta la alternativa a utilizar con base en las corrientes detectadas, siendo lo aconsejable, para la primera alternativa, cuando se tenga la presencia de corrientes longitudinales con velocidades menores de 0.5 m/s, y para la segunda, cuando se tengan velocidades iguales o mayores a esta, o bien ante precipitaciones pluviales previas a la campaña.

La inyección se efectúa a un metro (en el sentido de la corriente) de la boya de la estación correspondiente, donde el investigador encargado de la operación deberá colocarse en la parte anterior al punto de inyección desfondando la(s) bolsa(s), y vertiendo el trazador fluorescente lo más cerca al fondo marino sobre un área aproximada de 1 m<sup>2</sup>; terminada la inyección desalojará la zona en dirección y sentido contrario al de la corriente (primer tramo), (fig 2.2).

Cuando se realicen inyecciones de varios colores de trazadores fluorescentes en diferentes puntos, se efectuarán simultáneamente con la misma secuencia antes descrita.

### **1.2.3 Rastreo de trazador fluorescente**

Se coloca en la parte alta de la playa (15 m aproximadamente arriba del límite superior del estarán), en dirección de cada uno de los transectos contenidos en la malla de control, el siguiente equipo y material: 1 bote de vaselina; 1 regla; 1 bolsa de ligas; 2 navajas; 2 rollos de plástico egapak; plumas; marcadores de aceite; 1 bitácora, y el número de bastones designado. El personal encargado trasladará el conjunto de tarjetas correspondientes a las estaciones implícitas y anexas en cada ciclo de rastreo a realizar en el estudio, denominando a esta área “zona de preparativo”.

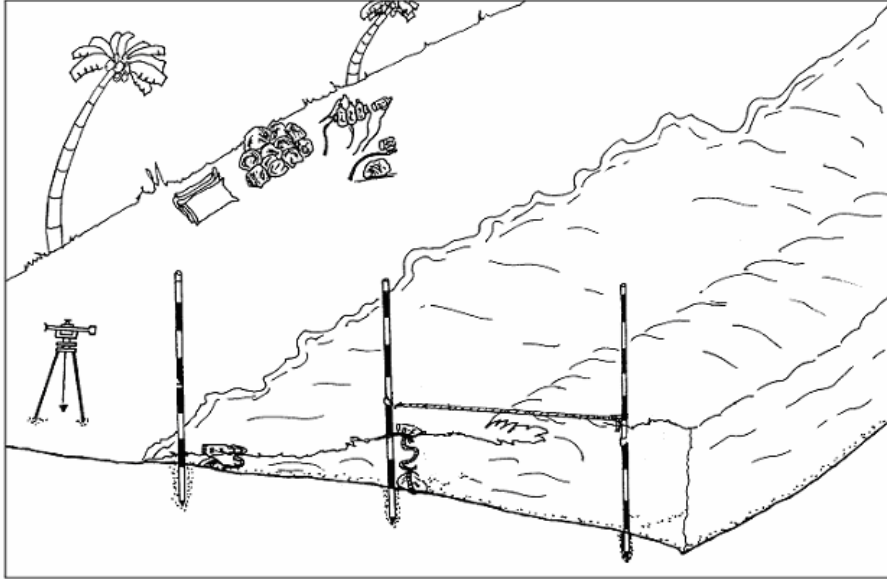
La secuencia del rastreo por estación, es la siguiente: se hinca un bastón en la arena; y sobre la base de éste, se coloca la tarjeta sujetadora fuertemente, mediante ligas (doble vuelta en los extremos de las tarjetas). El área de 1 dm<sup>2</sup> inscrita en la tarjeta se cubre con una capa delgada de vaselina, de espesor de aproximadamente al diámetro medio ( $d_m$ ) del sedimento.

Se transporta el bastón rastreador a la estación correspondiente, y sobre el fondo marino se presiona con movimientos elípticos a fin de que se adhiera a una capa uniforme de sedimentos sobre la vaselina en la tarjeta; se visualiza si se cumplió con el objetivo; si no fuese así, se vuelve a sumergir el bastón repitiendo la secuencia hasta lograr la adhesión de los granos satisfactoriamente.

Una vez logrado el objetivo, y ya ubicados en la zona de preparativos, se desprenden las ligas del rastreador y se protege la tarjeta, con una envoltura de plástico, antes de que se contamine con arena de la parte alta de la playa. Paralelamente, se anota en la bitácora la hora exacta en que se efectuó el rastreo en la estación, y se prepara otro bastón para el siguiente rastreo estacional.

Se termina el ciclo de rastreo de la zona en estudio cuando se cumple el operativo de rastreo en todas y cada una de las estaciones en la malla de control, procurando sea lo más simultáneamente posible, factor que depende del número de bastones y del personal disponible en el estudio.





**Fig 1.6. Instalación de la malla de control**



**Fig 1.7. Inyección del trazador.**

Al concluir el ciclo de rastreo se recogen todas las tarjetas, y se archivan en el tarjetero.

Se efectúa el rastreo 0 min antes de, y el rastreo 1, ½ h después de que se lleve a cabo la inyección del trazador. Los ciclos de rastreo 2, 3, 4,...n se realizan de acuerdo con los lapsos marcados en la alternativa seleccionada.

Se hace hincapié en que la toma de sedimentos en el rastreo estacional, se hace en el mismo punto en cada uno de los ciclos de rastreo en el transcurso del estudio.

Otra metodología para el rastreo del material se indica en el Anexo 3.

### **1.2.4 Trabajos de correlación**

Los trabajos que se describen a continuación sirven de apoyo y correlación entre el método de trazadores fluorescentes y fórmulas semiempíricas en la cuantificación del transporte litoral; se efectúan durante o subsecuentemente a cada rastreo (en ciclo), excepto en los que se indique en la metodología propia de cada trabajo.



**Fig 1.8. Rastreo del trazador fluorescente**

### **1.2.5 Levantamiento de perfil playero**

Se realiza un levantamiento por campaña, seleccionando los transectos en los extremos de la malla de control cuando se tenga la presencia de un perfil de invierno, y único transecto en la parte media de la malla para un perfil de verano.

La única condición en el frente marítimo durante la campaña para efectuar el levantamiento de perfiles playeros, será el, nivel de bajamar inferior. Si esta condición cae de noche, se selecciona la hora más cercana a este nivel a la luz del día.

Bajo esa condición, se coloca un tránsito en la parte alta de la playa con dirección al transecto seleccionado, nivelando el aparato y tomándose su altura; y posteriormente referirlo con una mojonera de la polígona de apoyo.

La secuencia del levantamiento del perfil playero es la siguiente: si es en el mar, con cadenamientos cada 5 m hasta la profundidad en que las condiciones oceanográficas permitan la maniobrabilidad del estadal, y señalando la disminución en las distancias a criterio de esta sección, a fin de detectar las configuraciones exactas de las formaciones costeras.

Una vez determinado el levantamiento lado mar, se prosigue inmediatamente en el lado tierra con cadenamientos cada 10 m hasta la cota +3.00 o 100 m desde el nivel medio del mar, condición que sea presente primero, detallando el levantamiento ante la presencia de dunas.

Se anotan los datos arrojados y las notas concernientes, en la bitácora de levantamientos. Terminando el proceso se traslada el tránsito a otro transecto si las condiciones topohidrográficas lo dictan (perfil de invierno), repitiéndose la secuencia mencionada.

### **1.2.5.1 Medición del oleaje**

Se realiza mediante el método de baliza, por lo cual se coloca un tránsito en la parte de la playa, y un olómetro o baliza, marcados con franjas de pintura roja y blanca con intervalos de 5 cm, y se ubicará atrás de la única o última rompiente; los parámetros a medirse son los siguientes:

Estimación de la altura y el período del oleaje: Se visualizan las lecturas sucesivas de las crestas y los valles de un tren de olas, registrándose en la bitácora de oleaje durante un lapso de 5 a 10 min; así mismo, se toman los tiempos cronometrados entre cresta y cresta, obteniéndose la altura de la ola 1, con la distancia vertical dada por la diferencia de lecturas entre la primera cresta y valle; para la ola 2, entre la segunda cresta y valle, y así sucesivamente para 3, 4 y 5 el período de la ola 1, con base en el tiempo que transcurre de la primera cresta a la segunda, obteniéndose así subsecuentemente los demás períodos de ola.

Cuando no es posible efectuar la secuencia descrita, se registran las relaciones promedio máxima y mínima observables, y por diferencia se obtiene la altura de la ola. En cuanto al período, se cronometra el tiempo en que ocurren 11 crestas dividiéndolo entre el número adimensional 10; el resultado del cociente será el período.

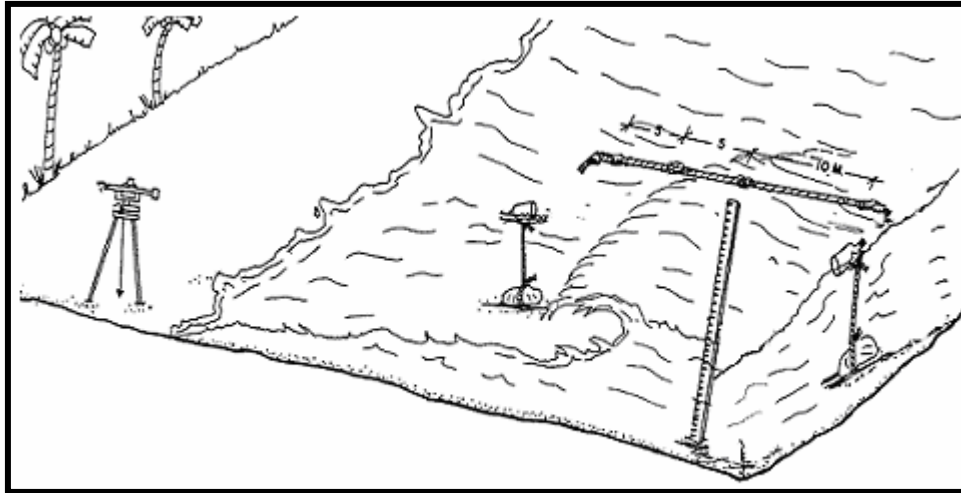
Para efectuar las mediciones con exactitud se requerirá de tres personas: el observador playero (el operador del tránsito), el cronometrista, y el apuntador.

Ángulo de incidencia: Se coloca el disco horizontal del teodolito en ceros y se mide el ángulo horizontal entre la línea de costa (colocar referencia fija), a la visual de las crestas cuando están paralelas al hilo de la retícula de tránsito.



### 1.2.5.2 Medición de corrientes longitudinales

Las mediciones se realizan mediante crucetas o flotadores, utilizando las primeras cuando se tengan velocidades muy bajas, e intensidades de viento que pudieran afectar el desplazamiento de los flotadores, o cuando se pretenda conocer la velocidad a diferentes profundidades; a diferencia de los segundos, que están limitados a determinar únicamente la superficial.

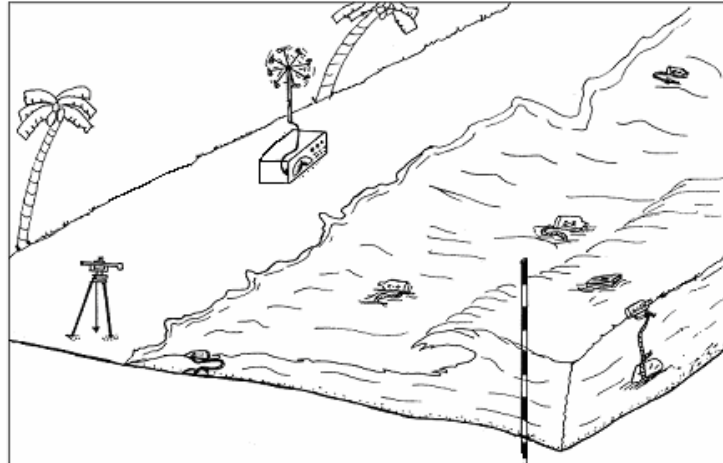


**Fig 1.9. Levantamiento del perfil playero**

Para el estudio de las corrientes longitudinales se deben efectuar mediciones simultáneas en diferentes zonas (comprendidas en la zona de deslizamiento); se realizan cronometrando el tiempo de desplazamiento del flotador, o cruceta de un punto a otro, utilizando para su localización cualquier dimensión implícita en la malla de control. Estas mediciones se dificultan con las condiciones particulares del oleaje y la excesiva turbulencia en la zona, por lo que se tendrá presente el criterio del ingeniero costero. Los resultados se registran en la bitácora de corrientes, donde se indicará la hora de medición, dirección, y sentido.

### 1.2.5.3 Medición del viento

Se efectúa a la altura de 1 y 2 m de la superficie mediante un anemocinemógrafo<sup>(14)</sup>, determinando directamente la dirección, sentido e intensidad del viento.



**Fig 1.10. Medición de oleaje, corrientes longitudinales y eólicas**

## **1.3 Estudios de gabinete**

### **1.3.1 Lecturas de tarjetas y proceso en las tablas de cálculos de granos fluorescentes**

Para los estudios de gabinete en cuanto a la lectura de tarjetas debe disponerse el ordenamiento de todas y cada una de las utilizadas en los rastreos del trazador fluorescente, contenidas en el tarjetero. Conjuntamente al ordenamiento se inicia la tabulación de las tablas de cálculo de granos fluorescentes en la zona de estudio, previamente elaboradas, conteniendo diez columnas y un número "x" de renglones.

El proceso de tabulación de las tablas en su primera etapa es la siguiente: en la columna 1 se anota la fecha en que se realizó el estudio referente a la campaña, el cual se indica en la columna 2. El número de rastreo en cuestión al número de estudio o prueba previamente indicado, se apunta en la columna 3, teniendo tantas tablas de cálculo como ciclos de rastreo se hayan realizado en los estudios de campaña. La nomenclatura arbitraria dada a las estaciones de rastreo o puntos coordenados de la maya de control por el investigador en el punto 1.1.5 y los utilizados en 1.2.2, se registran en la columna 4 en cada una de las tablas de cálculo. De las bitácoras de rastreo en el punto 1.2.4, se transcribe la hora en que se efectuó el rastreo o muestreo en cada uno de los puntos coordenados durante la campaña, registrados en la columna 8.

Terminada la primera etapa de tabulación se procede a la lectura de tarjetas de rastreo, requiriendo para tal fin un cuarto oscuro, equipado con luz ultravioleta o luz negra, lupa, mesa etc. La técnica de lectura es la siguiente:

Se toma la tarjeta en turno y se coloca por debajo de la lámpara, observándose a través de la lupa el número de granos fluorescentes contenidos dentro del  $dm^2$  de control inscrito en la tarjeta, para cada uno de los colores del trazador fluorescente utilizados en la inyección. Conviene tener presente la visualización desde todos los ángulos y posiciones, registrándose los valores en la columna 5 en su correspondiente casillero.

Esporádicamente en los rastreos estacionales primarios cercanos a la zona de inyección, las tarjetas presentan pequeñas concentraciones de granos fluorescentes, imposibilitando su lectura; en tal caso, la determinación del número de granos luminosos, se hará mediante la siguiente expresión.

$$N_G = A_c * N_g \quad (1.1)$$

$$N_g = \frac{4(dm^2)(1\text{ grano})}{\pi(D_{50})^2}$$

FECHA	PRUEBA	RASTREO	ESTACION	NÚMERO DE GRANOS		ÁREA IMPRESA %	NÚMERO DE GRANOS POR DM		HORA DE MUESTREO	FACTOR DE CORRECCIÓN $T_s/T_m$	NÚMERO DE GRANOS CORREGIDOS POR DM	
				N.	R.C.		N.	R.C.			N.	R.C.
12/06/86	I	O I	A - I	1	---	75	1	---	12:05	60/35=1.71	2	---
"	"	"	A - II	---	---	100	---	---	12:06	---	---	---
"	"	"	A - III	---	---	90	---	---	11:56	---	---	---
"	"	"	A - IV	---	---	100	---	---	11:58	---	---	---
"	"	"	A - II - B	---	---	65	---	---	12:13	---	---	---
"	"	"	A - III - B	---	---	100	---	---	12:15	---	---	---
"	"	"	B - I	---	---	100	---	---	12:02	---	---	---
"	"	"	B - I - II	---	---	100	---	---	11:58	---	---	---
"	"	"	B - II	---	50	80	---	63	11:58	60/28=2.14	---	136
"	"	"	B - II - III	236	---	99	238	---	12:10	60/38=1.58	376	---
"	"	"	B - III	52	---	99	53	---	12:10	60/38=1.58	84	---
"	"	"	B - III - IV	---	---	---	---	---	---	---	---	---
"	"	"	B - IV	---	1	85	---	1	12:10	60/40=1.50	---	2
"	"	"	B - II - C	---	2	100	---	2	12:15	60/45=1.33	---	3
"	"	"	B - III - C	5	---	65	8	---	12:10	60/40=1.50	12	---
"	"	"	C - I	---	---	100	---	---	11:55	---	---	---
"	"	"	C - II	101	43	95	106	45	11:57	60/27=2.22	235	100
"	"	"	C - III	62	---	90	---	---	11:56	60/25=2.40	153	---
"	"	"	C - IV	17	2	85	20	2	11:58	60/28=2.14	43	4
"	"	"	D - I	12	2	100	12	2	12:03	60/33=1.82	22	4
"	"	"	D - II	76	18	100	76	18	12:04	60/34=1.76	134	32
"	"	"	D - III	52	2	95	55	2	12:03	60/33=1.82	100	4
"	"	"	D - IV	9	---	98	9	---	12:05	60/35=1.71	15	---
"	"	"	E - I	2	---	99	2	---	11:55	60/25=2.40	5	---
"	"	"	E - II	35	3	98	36	3	12:20	60/50=1.20	43	4
"	"	"	E - III	25	3	95	26	3	11:59	60/29=2.07	54	6
"	"	"	E - IV	2	---	98	2	---	12:04	60/34=1.76	4	---
"	"	"	F - I	3	---	100	3	---	12:23	60/54=1.13	3	---
"	"	"	F - II	20	1	100	20	1	12:24	60/54=1.11	22	1
"	"	"	F - III	1	---	90	1	---	12:15	60/45=1.33	1	---
12/06/86	I	O I	F - IV	---	---	95	---	---	12:11	---	---	---

NOTA: La inyección se realizó a las 11:30

Fig 1.11. Tabla de cálculo de granos fluorescentes

Donde:

$N_G$  = número de granos marcados o fluorescentes

$A_c$  = área de concentración de granos marcados, (X/100%)

$N_g$  = número de granos contenidos en un  $dm^2$

$D_{50}$  = diámetro 50 de sedimento, (dm)

Así mismo, se observa el porcentaje de área de arena adherida en un  $dm^2$  considerando un 100% esta última. Se anota su valor en la columna al concluir la segunda etapa de tabulación, una vez terminada la lectura de tarjetas de toda la campaña.

Posteriormente se requiere uniformar el número de granos fluorescentes, por  $dm^2$  mediante la expresión:

$$(N_g)_{dm^2} = N_G / A_A \quad (1.2)$$

Donde.

$(N_G)_{dm^2}$  = número de granos marcados por  $dm^2$

$N_G$  = número de granos marcados

$A_A$  = área de arena adherida en  $dm^2$ , (X/100 %)

O sea en otros términos, el cociente de valor propio de la columna 5 entre el correspondiente de la 6 por cada estación de rastreo. El resultado se indica en la columna 7.

Una vez determinadas las concentraciones de números marcados por  $dm^2$ , se realiza el ajuste de tiempos de cada uno de los rastreos estacionales a un tiempo específico instantáneo, para cada ciclo de rastreo mediante el siguiente factor de corrección.

$$F_C = \frac{T_s}{T_a} \quad (1.3)$$

Donde:

$F_C$  = factor de corrección

$T_s$  = tiempo específico instantáneo a partir de la inyección del trazador, seleccionando en un lapso de tiempo que dura cada ciclo de rastreo

$T_a$  = tiempo transcurrido real de rastreo estacional, a partir de la inyección del trazador

El valor del factor correspondiente se anota en la columna 9; se finiquita el proceso de cálculo con la determinación del número de granos fluorescentes corregido por  $dm^2$ , ( $G_c$ ) para un tiempo específico, a través de la expresión:

$$G_c = F_c * (N_G)_{dm^2} \quad (1.4)$$

Indicándose estos valores en la ultima columna de la tabla de cálculo.

### 1.3.2. Velocidad de desplazamiento del trazador fluorescente

Se representa gráficamente la malla de control para cada rastreo y color de trazador fluorescente, donde para cada punto coordinado se transcribe el valor calculado del número de granos marcados corregidos por  $dm^2$  correspondiente, interpolando los valores para las curvas de isoconcentración, los que representan el comportamiento de los sedimentos del fondo marino en el espacio; el conjunto de curvas de isoconcentración de todos los ciclos de rastreo define el comportamiento sedimentológico en el tiempo que dura el experimento.

La representación gráfica de la malla deberá contar con la siguiente información adicional; un sistema coordinado cartesiano rectangular con origen en el punto de inyección, batimetrías de la zona de estudio de acuerdo con el nivel del mar de referencia del frente marítimo, y la determinación del centro geométrico de cada curva de isoconcentración por medio del método de las mediatrices.

Como siguiente paso se determina la velocidad de desplazamiento por ciclo de rastreo y color de trazador, apoyándose en la representación gráfica correspondiente. Se requiere para tal fin una tabla de cálculo bajo el nombre de cálculo del desplazamiento de la nube conformada por 15 columnas, y un número variable de renglones.

La tabulación de la citada tabla consiste en: en la columna 1 se transcriben los valores de las curvas de isoconcentración ( $c_i$ ,  $i = 1,2, \dots, n$ ), representadas en la gráfica; y de ésta, se determinará por medio de un planímetro el área ( $a_i$ ,  $i = 1,2, \dots, n$ ), bajo cada curva anotando su valor en la columna 2.

Se mide la distancia al centro geométrico ( $X_i$ ,  $Y_i$ ;  $i = 1,2, \dots, n$ ) a partir del origen del sistema coordinado tanto en la dirección de las abscisas como de las ordenadas guardando el sentido de los ejes (mediciones a realizar en la gráfica de desplazamiento de la nube); sus valores se anotan en las columnas 6 y 8 respectivamente.

Posteriormente se calculan las áreas ( $\Delta A_i$ ,  $i = 0, 1, \dots, n$ ), comprendidas entre dos curvas de isoconcentración mediante la expresión.

$$\Delta A_i = A_{i+1} - A_i, i = 1,2, \dots, n \quad (1.5)$$

1. Proceso en el estudio de trazadores fluorescentes.

El área bajo la curva mayor a  $A_i$  será la propia  $\Delta A_0$ , tabulándose los valores calculados en la columna 3 y en renglones intermedios a los utilizables para las variables anunciadas. Así mismo, las tabulaciones de las próximas columnas se realizan en estos nuevos renglones. De cada una de estas  $\Delta A_i$  se obtiene el número de granos marcados por  $\text{dm}^2$  promedio ( $G_{Ci}$ ,  $i = 0, 1, 2, \dots, n$ ) mediante:

$$\bar{G}_{Ci} = \frac{C_i + C_{i+1}}{2}, i = 1, 2, \dots, n \quad (1.6)$$

Los valores respectivos se indican en la columna 4, teniendo presente que la  $G_{C_0}$  correspondiente  $\Delta A_0$  se representa con la notación matemática  $>$  quedando así que:  $G_{C_0} = > C_i$ . Como paso siguiente se determina la concentración media por  $\text{m}^2$  ( $C_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ ) propia para cada  $\Delta A_i$ ; se obtiene con la fórmula:

$$\bar{C}_i = (\Delta A_i) * (\bar{G}_{Ci}) * (10^4), i = 0, 1, 2, \dots, n \quad (1.7)$$

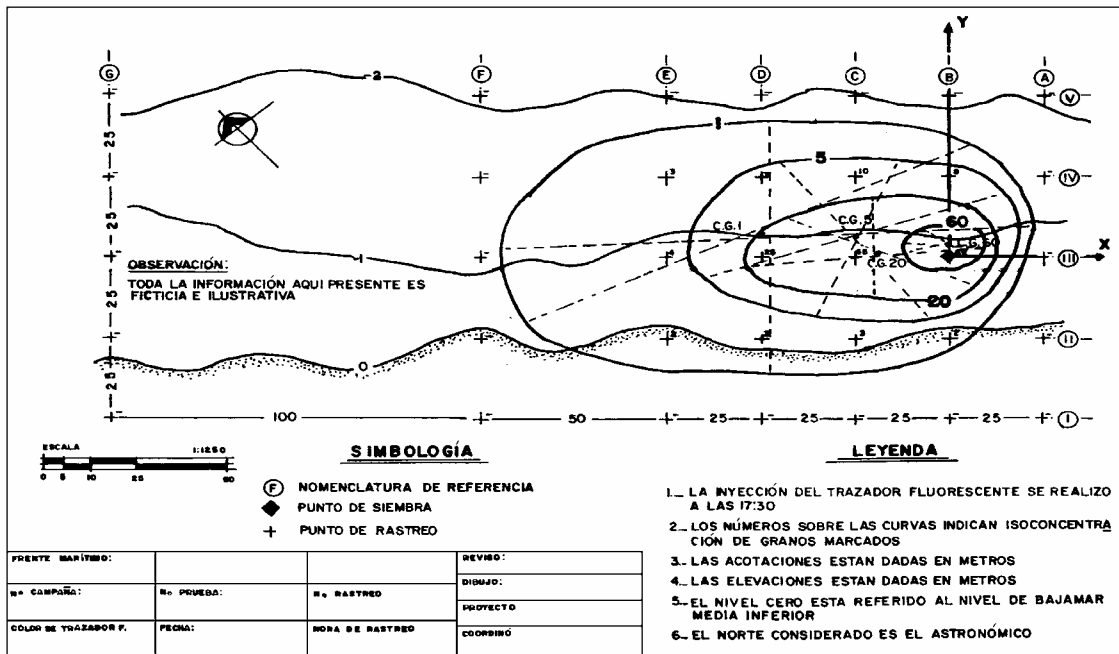


Fig 1.12. Desplazamiento de la nube fluorescente

FRENTE MARÍTIMO: \_\_\_\_\_ CAMPAÑA No. 3 ESTUDIO No. 1 RASTREO No. 1 TRAZADOR FLUORESCENTE: NARANJA

CONCENTRACION Ci	ÁREA Ai	DIF. DE ÁREA ΔAi	Gc (dm²)	Ci (10 <sup>6</sup> )	DIST. A C.G. Xi	DATOS PARA AJUSTE (Xi)				DIST. A C.G. Yi	DATOS PARA AJUSTE (Yi)				Kxi	Kyi	Xic	Yic	Xic-Ci (10 <sup>6</sup> )	Yic-Ci (10 <sup>6</sup> )
						A1	A2	LA1	LA2		B1	B2	LB1	LB2						
		53	300	159																
300	53				-3.00					-1.00										
		286	280	7.15		1800	350	800	1450		11.00	350	750	675	-4.35	-4.05	-15.35	-17.05	-109.8	-12.19
200	339				-1.00					-13.00										
		1013	150	15.20		2150	300	1500	3100		7.00	1000	1250	1250	-9.35	2.20	-33.37	-10.80	-507.2	-16.42
100	1352				-24.00					-13.00										
		1369	78	10.27		2200	100	3300	3700		350	700	2050	1775	-28.95	5.00	-57.95	-4.00	-595.2	-4.11
50	2721				-28.00					-9.00										
		2334	38	7.60		4825	100	4625	5950		250	250	2350	2250	-44.75	-0.50	-93.95	-10.00	-711.7	-7.60
10	5255				-49.50					-9.50										
<b>SUMA:</b>					41.81											-1928.8 -42.07				
<b>X̄: -46.130 M., Ȳ: -10.062 M., Δi: 60°, Vx: -76.883 cm/l, Vy: -16.770 cm/l, VT: 78.690 cm/l</b>																				

FRENTE MARÍTIMO: \_\_\_\_\_ CAMPAÑA No. 3 ESTUDIO No. 1 RASTREO No. 2 TRAZADOR FLUORESCENTE: NARANJA

CONCENTRACION Ci	ÁREA Ai	DIF. DE ÁREA ΔAi	Gc (dm²)	Ci (10 <sup>6</sup> )	DIST. A C.G. Xi	DATOS PARA AJUSTE (Xi)				DIST. A C.G. Yi	DATOS PARA AJUSTE (Yi)				Kxi	Kyi	Xic	Yic	Xic-Ci (10 <sup>6</sup> )	Yic-Ci (10 <sup>6</sup> )
						A1	A2	LA1	LA2		B1	B2	LB1	LB2						
		64	100	0.640																
100	64				-17.00					-8.00										
		202	90	1.818		900	125	1720	3000		3.00	125	750	1450	-11.45	-1.00	-38.45	-15.45	-69.9	-2.77
80	266				-27.00					-14.25										
		501	70	3.507		650	150	2375	3010		650	125	1325	1675	-15.28	-10.93	-41.28	-23.43	-144.8	-8.22
60	767				-26.00					-12.50										
		534	50	2.670		725	210	2625	3800		375	200	1950	2100	-11.82	-5.41	-44.32	-19.66	-118.3	-5.25
40	1301				-32.50					-14.25										
		1061	30	3.183		775	150	3100	4475		375	400	2100	2550	-18.72	3.00	-53.72	-11.50	-171.0	-3.66
20	2362				-35.00					-14.50										
<b>SUMA:</b>					11.818											-514.9 -204.1				
<b>X̄: -43.570 M., Ȳ: -17.270 M., Δi: 90°-60°=30°, Vx: -145.233 cm/l, Vy: -57.567 cm/l, VT: 156.226 cm/l</b>																				

CALCULO: QUEZADA LUNA CARLOS J.

Fig 1.13. Cálculo del desplazamiento de la nube

Después de tabular los valores en la columna 5, a raíz de la determinación de las concentraciones media de los toroides y la eliminación de los núcleos de áreas, se requiere conocer el ajuste del centro geométrico de cada Ci, y a través de añadir el factor K<sup>(11)</sup> en ambas direcciones de coordenadas expresado mediante los siguientes algoritmos.

$$K_{Xi} = \frac{LA_2 - n * LA_1}{i + n}$$

$$\therefore n = \frac{A_1}{A_2} \quad n = 0, 1, 2, \dots, n$$

$$K_{Yi} = \frac{LB_2 - n * LB_1}{i + m}$$

$$\therefore m = \frac{B_1}{B_2} \quad m = 0, 1, 2, \dots, n$$

(1.8)

Donde sus valores se tabulan en las columnas 10 y 11 respectivamente, y cuyas variables  $A_1, A_2, LA_1, LA_2,$  y  $B_1, B_2, LB_1, LB_2^{(11)}$  son las dimensiones geométricas que se representan en la fig 1.12, y se indican en las columnas 7 y 9.

Retomando el concepto de ajuste del centro geométrico se abunda que el nuevo valor a calcular será el centro geométrico del toroide de concentración media en cuestión. Así se tiene que:

$$\left. \begin{aligned} X_{ic} &= X_{i+1} + Kx_i \quad kx_0 = 0 \\ i &= 0,1,2 \dots n \\ Y_{ic} &= Y_{i+1} + Ky_i \quad ky_0 = 0 \end{aligned} \right\} \quad (1.9)$$

Cuyos los valores se tabulan en las columnas 12 y 13.

Con los datos precedentes y las concentraciones medias se estima la ubicación del centroide, o el desplazamiento de la nube de cada ciclo de rastreo, tanto en dirección a lo largo de la costa, como en dirección perpendicular a ella, de acuerdo con la expresión:

$$\left. \begin{aligned} \bar{x} &= \frac{\sum X_{ic} * \bar{C}_i}{\sum \bar{C}_i} \\ \bar{y} &= \frac{\sum Y_{ic} * \bar{C}_i}{\sum \bar{C}_i} \end{aligned} \right\} \quad (1.10)$$

Ambos valores se anotan al pie de la tabla de cálculo, donde  $X_{ic} * C_i$  y  $Y_{ic} * C_i$  son los momentos del primer orden, y estarán previamente tabulados en las columnas 14 y 15.

Por ultimo, se obtiene la velocidad promedio del desplazamiento del trazador dividiendo los desplazamientos calculados (X,Y) entre el intervalo de tiempo transcurrido, desde la inyección hasta el primer rastreo. Para la velocidad promedio entre dos ciclos de rastreo se tomará en cuenta el lapso entre dos ciclos. Es decir, se expresa con las fórmulas:

$$\left. \begin{aligned} V_x &= \frac{\bar{X}}{\Delta T} \\ V_y &= \frac{\bar{Y}}{\Delta T} \\ V_t &= \sqrt{V_x^2 + V_y^2} \end{aligned} \right\} \quad (1.11)$$



Donde  $\Delta T$ ,  $V_x$ ,  $V_y$ , y  $V_T$  de igual manera que  $X$  e  $Y$ , se expresarán al pie de la tabla de cálculo.

Contando con los datos precedentes por ciclo de rastreo, se procede a calcular lo propio por estudio y color fluorescente utilizado, a través de agrupar los valores citados en una tabla y acompañados con una representación gráfica del desplazamiento del sedimento como en la fig. 1.13. Los valores de la tabla se calculan mediante la siguiente expresión:

$$\begin{aligned}
 (V_x)_E &= \frac{\sum \bar{X}}{\sum \Delta T} \\
 (V_y)_E &= \frac{\sum \bar{Y}}{\sum \Delta T} \\
 (V_t) &= \sqrt{(V_x^2)_E + (V_y^2)_E}
 \end{aligned}
 \tag{1.12}$$

Realizando lo propio con los restantes colores de trazador utilizado, y demás estudios, se obtiene la velocidad promedio en la campaña, con la expresión:

$$V_c = \frac{\sum (V_t)}{n}
 \tag{1.13}$$

Nota:

Conviene enfatizar que la velocidad calculada de esta manera, representa una estimación de la velocidad promedio de todos los granos de arena desplazándose en el fondo, incluyendo las zonas de transporte nulo.

### 1.3.3 Espesor de la capa móvil del sedimento

La información relativa al espesor de la capa móvil o activa en una playa, indica al parecer que este espesor es solo unas cuantas veces el diámetro del sedimento, indicándose algunos criterios utilizados.

Para zonas, entre las de rompientes y la costa, el espesor de la capa móvil de sedimento ( $E$ ) es proporcional a la amplitud de la ola rompiente ( $H_b$ ), expresada con la ecuación:

$$E = 0.03H_b
 \tag{1.14}$$

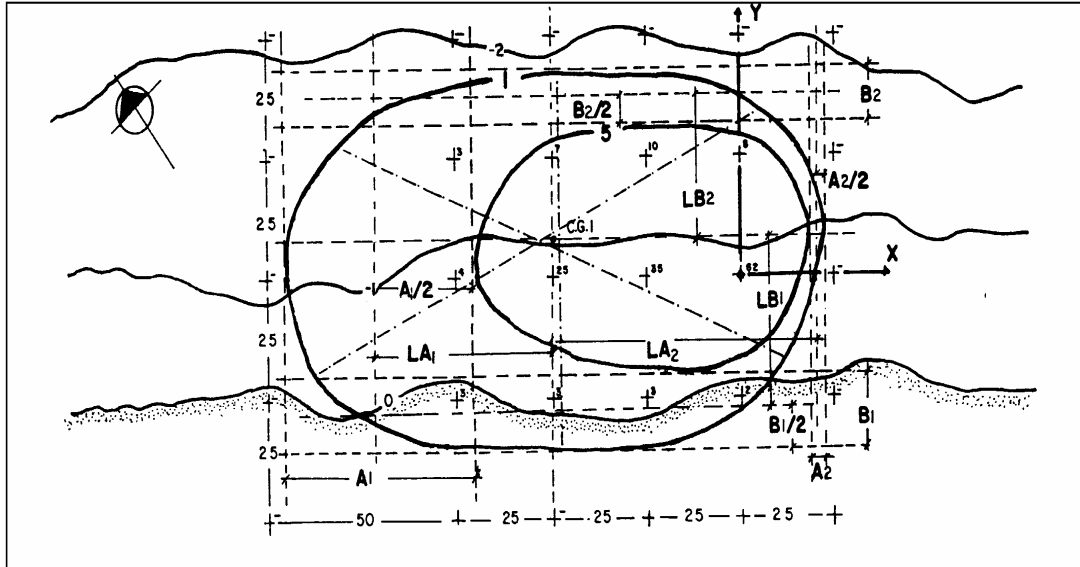


Fig 1.14. Dimensiones geométricas para el ajuste del CG

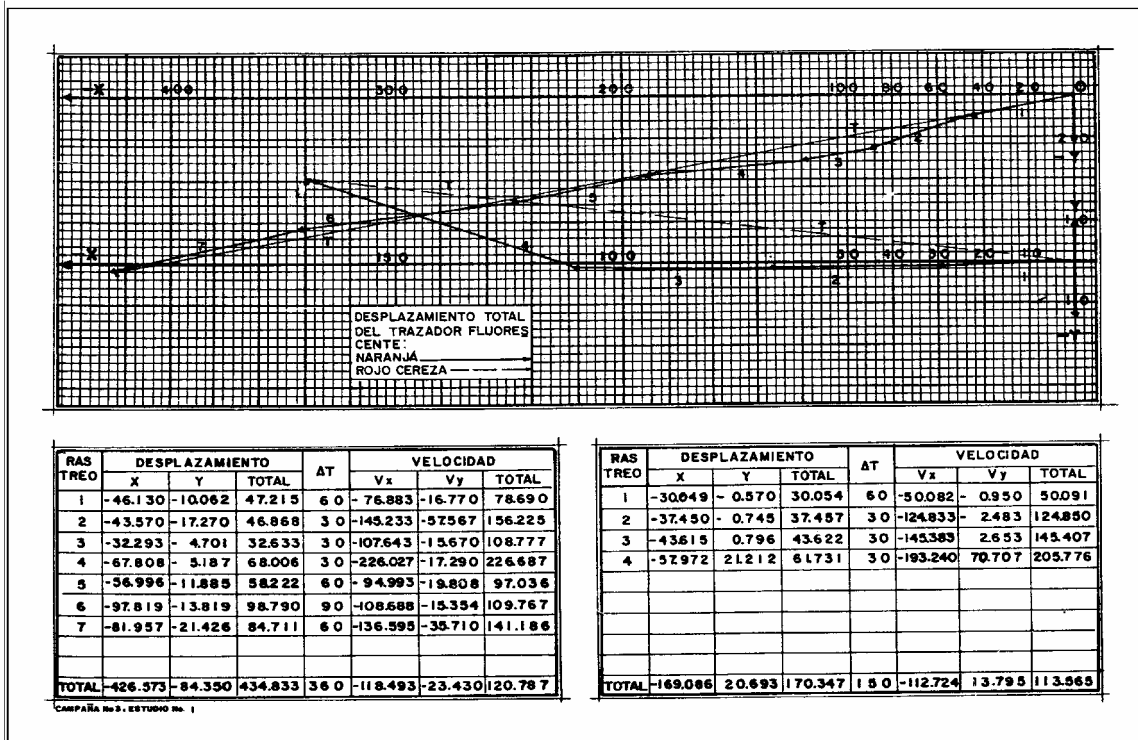


Fig 1.15. Desplazamiento y velocidad del trazador fluorescente

Si  $H_b$  se expresa en cm., y es congruente para diámetros medios del sedimento, aproximado a 0.25 mm.

Otro criterio es el aplicado a playas proporcionales al diámetro de los granos  $D_{50}$ , y al espesor de la capa móvil (E) expresada mediante la fórmula:

$$E = 37 D_{50} - 0.58 \quad (1.15)$$

Si se utiliza el sistema de unidades CGS como análisis comparativo, se tiene por otro lado el espesor de la capa activa en movimiento, obtenida mediante comparar los levantamientos de perfiles playeros consecutivos del sitio de estudio.

El valor  $D_{50}$  se tomará de los análisis granulométricos efectuados conforme el punto 1.1.7. La altura de la ola en la rompiente, así como los levantamientos del perfil playero serán los deducidos del punto 1.2.5, para las campañas de campo.

### 1.3.4 Cálculo del transporte de sedimentos

La relación lineal aparente entre el diámetro promedio de las medianas estadísticas de los granos a través de la playa, y el espesor de la capa móvil del fondo proporciona los elementos para calcular el área perpendicular a la línea de la playa, por donde se desplaza el sedimento prevaleciente durante el tiempo que dura el experimento de acuerdo con la expresión:

$$A = B * E \quad (1.16)$$

Donde:

**A** = área donde se desplaza el sedimento ( $m^2$ )

**B** = distancia de las trazas del nivel de pleamar máxima registrada en la campaña, a la última rompiente (ancho de la playa), (m)

**E** = espesor de la capa móvil de sedimentos, (m)

Aplicando esta área y la velocidad del desplazamiento del trazador fluorescente calculado en el punto 1.3.2 para la campaña, es factible estimar el transporte litoral a lo largo de la costa mediante la ecuación de continuidad expresada como:

$$Q_s = A * V_c \quad (1.17)$$

Donde:

**Q<sub>s</sub>** = gasto sólido de sedimentos por el fondo ( $m^3/min$ )

**A** = ( $m^2$ )

**V<sub>c</sub>** = velocidad del desplazamiento del trazador fluorescente en el estudio, ( $m./min$ )

Así  $Q_s$  puede expresarse en otras unidades con su respectivo factor de conversión.

### 1.3.5 Calibración de una fórmula de capacidad de transporte litoral

Teniendo presente que el transporte litoral es el fenómeno mediante el cual el sedimento (generalmente arena) se desplaza en la zona costera, bajo la influencia del oleaje y las corrientes, se selecciona un fórmula que contemple estas características de alguna forma, pudiéndose elegir la del United States Army Corps of Engineers (ver ejemplo del Anexo 3), o la del Laboratorio Central de Hidráulica de Francia, la cual aquí se expresa:

$$Q_s = \frac{KgH^2}{C} T t S E N \alpha \quad (1.18)$$

Por otra parte, contando con ciertos parámetros oceanográficos en la rompiente como; altura de ola ( $H_b$ ); período de la ola,  $T$ , y el ángulo de incidencia del oleaje con respecto a la línea de costa en la rompiente  $\alpha$ ; así como el tiempo de experimentación de la prueba,  $t$ . La fórmula precedente se transforma en:

$$Q_s = K H_b T t S E N 2 \alpha b \quad (1.19)$$

Quedando como dato a calcular la variable  $K$ , que tiene implícito las características del sedimento, por lo cual despejando la ecuación se tiene que:

$$K = \frac{Q_s}{H_b T t S E N 2 \alpha b} \quad (1.20)$$

El cual es un valor a calcular cada vez que se realicen estudios de trazadores fluorescentes (con todas sus campañas programadas), para obtener su variabilidad de acuerdo con todas las posibles combinaciones de los parámetros oceanográficos y sedimentológicos.

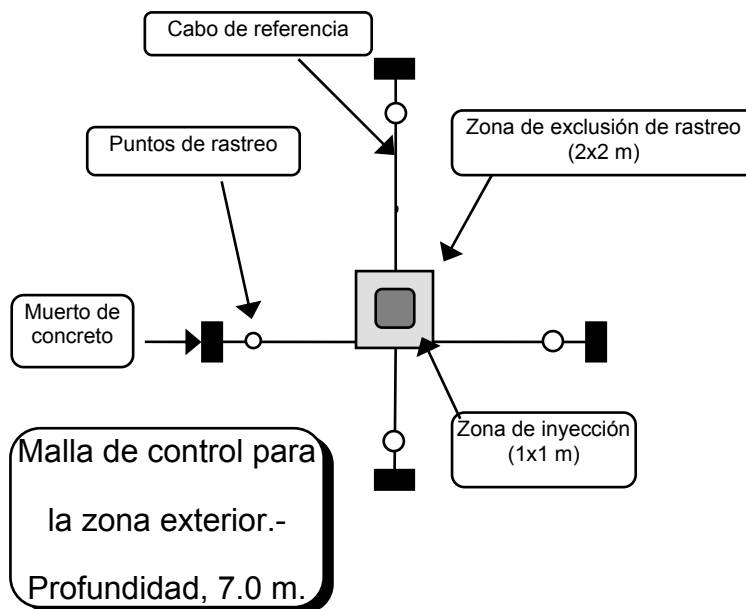
Sujetándose su aplicación por el momento a frentes marítimos con condiciones semejantes a las de deducción, retroalimentando la ec 1.19 para gastos desconocidos.

## Anexo 1 Consideraciones particulares y generales

Las consideraciones a tratar serán, por un lado particulares para cada uno de los tres subcapítulos primarios (precedentes), refiriéndose a: fuentes de información; principios a cumplir; detalles especiales en el proceso del estudio de trazadores fluorescentes. Su indicación se cita en la parte superior de la redacción, expresada mediante un número arábigo encerrado por paréntesis. Y por otro lado, las consideraciones generales referentes al comportamiento del trazador fluorescente dentro de estudios realizados por investigadores e instituciones especializadas en Ingeniería Costera.

### A1.1 Consideraciones particulares a los trabajos previos de campo

1. La representación de los puntos de inyección se indicarán una vez que se haya determinado la selección de los puntos de (inyección) recolección de la muestra en el punto 1.1.6, haciéndolos coincidir lo más cercano a alguna estación de la malla de control, dentro de la recolección correspondiente.
2. Tiene ciertas variantes en cuanto a la disposición de la malla de

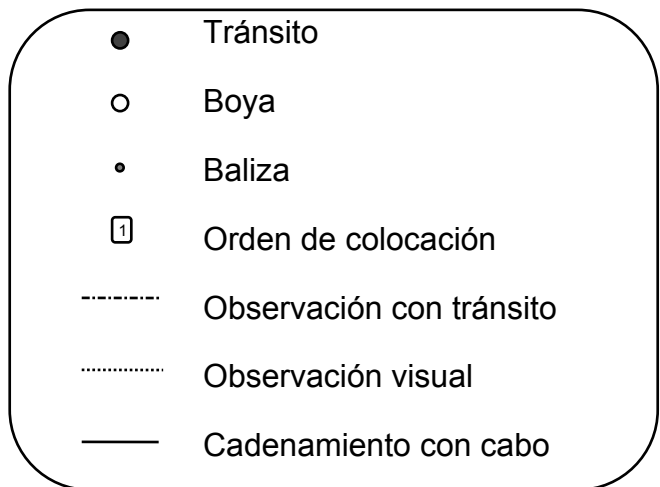
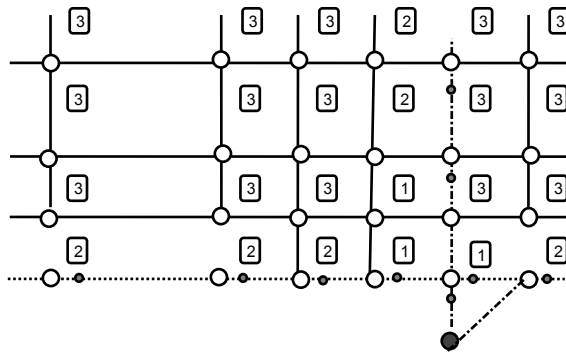


- control (punto 1.5), mostrándose como ejemplo la malla utilizada en Dos Bocas, Tab (reporte técnico por la empresa Proyectos Marinos).
3. Si los puntos de recolección varían de los seleccionados en campo, se indicará en gabinete para realizar los cambios concernientes en la malla de control (punto 1.5).
  4. A manera de ejemplo;  $Z \geq 30$  kg., para un área de control de 80 x 150 m, con un tiempo de rastreo de 24 a 36 h, y velocidad de corrientes longitudinales (medición superficial de 0.15 a 0.30 m/s)
  5. En algunas ocasiones los trámites primarios y secundarios se llevan a cabo en el mismo sitio de estudio si se cuenta con el equipo y material necesario, todo con relación al criterio del investigador.
  6. Sales que dificultan la abrasión de la pintura al grano. El peso que se pierde al eliminar las sales se compensa con los proporcionados por la capa de pintura, cumpliendo uno de los principios del método de trazadores fluorescentes.
  7. Se aconseja no utilizar otro tipo de secado, ya que alteraría ciertas propiedades físico-químicas del sedimento. Principio a cumplir en el método de trazadores fluorescentes.
  8. Las partículas finas eliminan del pintado una paupérrima fluorescencia ante la excitación de la luz ultravioleta dificultando su lectura (punto 3.12). Si en el análisis granulométrico de la arena pintada se presenta un 3% de finos, se propone su eliminación (después de la última trituración, punto 1.7)
  9. Proporción determinada por la empresa Proyectos Marinos (reporte técnico : cuantificación del transporte litoral por el método de trazadores fluorescentes en la zona de Dos Bocas, Tab). Dicha proporción elimina la posibilidad, por un lado de la formación de grandes grumos de arena/pintura; y por otro, un pintado bastante tenue.
  10. Similitud que deberá cumplir a fin de que el trazador fluorescente "variación" al sedimento marino, en su comportamiento ante la mecánica del transporte de sedimentos.
  11. Si la información proporcionada en la inspección de campo (punto 1.1) no reporta la existencia de piedras en el frente marítimo, se harán muertos de concreto (con su ancla), o con la utilización de arena del sitio (dentro del costal). El cabo será de plástico, o acero-aluminoso.
  12. Cualquier alternativa a seleccionar implica una segunda inyección de trazador fluorescente, el que se analiza como un segundo estudio e independiente del primero dentro de la campaña.

13. Los rastreos especiales son los apropiados a realizarse antes de cada inyección, o los de comparación de rastreo para una misma estación, en un mismo instante, entre otros.

### Consideraciones particulares de los trabajos de campo

1. - Los materiales faltantes serán aquellos que a juicio del investigador responsable, se puedan o deban comprar en el poblado más cercano al sitio en estudio, tales como los alimentos que se ingerirán durante los trabajos de campo.
2. Sí no se contara con la existencia de la polígona de apoyo, se utiliza una mojonera hechiza. Posteriormente se realiza lo relativo al reconocimiento de sus coordenadas, con origen en un punto ya identificado.
3. De una manera esquemática se presenta la secuencia en orden de instalación de las boyas a las estaciones de la malla de control.



4. Una vez colocado el muerto sobre el fondo marino, se empieza a producir su enterramiento con la formación de una fosa a su alrededor. Dicha fosa que altera el desplazamiento del trazador fluorescente al suscitarse el enterramiento significativo del mismo. Si a las 12 h no se ha producido el enterramiento completo, se deja transcurrir el tiempo necesario hasta que se cumpla la condición.
5. La segunda inyección se lleva a cabo una vez determinada la inexistencia del trazador fluorescente en la malla de control, mediante un rastreo especial y bajo la técnica de lectura descrita en la consideración 9 del presente punto.
6. Se tendrá la precaución de que los investigadores encargados del operativo de la inyección no se contaminen con el trazador (adhesión de granos marcados) por ningún motivo, ya que pueden ser mecanismo de desplazamiento del mismo y alterar la esencia del método. Para ello, debe mantenerse la premisa de que no deberá haber persona ajena al objeto de este punto.
7. Algunas ocasiones se acostumbra poner estaciones de rastreo intermedias y cercanas al punto de inyección, para seguir con mayor exactitud el desplazamiento del trazador fluorescente en la zona.
8. La capa de vaselina será del espesor especificado ya que si es más grande, se afecta la lectura del trazador fluorescente descrito en el punto 3.1.2, y si es más pequeña no se efectúa una adherencia de granos representativa.
9. Se realiza el rastreo "o" para el cumplimiento de la consideración 4 del presente punto. Una vez realizado el rastreo se trasladan las tarjetas a un lugar oscuro (natural o artificial), y para observarse con una lámpara portátil de luz ultravioleta y buscar la existencia de granos marcados, procedentes de estudios anteriores. Sí se contara con la presencia de éstos, se repetirá la operación de rastreo (rastreo o') 2 h después, y así sucesivamente, hasta que se tenga la certeza de no haber granos marcados en la malla de control, y dar pie al comienzo de los rastreos 1, 2, 3,.....
10. Si se va a realizar un sólo perfil, se omite el proceso, ya que conforme el punto 1.2.2, después de orientar la malla el tránsito se utiliza para el levantamiento del perfil final.
11. Los cadenamientos se efectúan mediante un cabo de 20 m, con nudos cada 5 m en los primeros 15 m y a cada metro en la longitud restante. Sí el ingeniero determina la disminución de la distancia, hará la medición con la última sección del cabo, con la debida información al anotador de lecturas (en tierra) especificando la magnitud de esta reducción o las nuevas dimensiones del cadenamiento.
12. Prácticamente y de acuerdo al Manual de Obras Civiles-Hidráulica Marítima A.2.13, CFE, la altura de la ola determinada por este camino es aproximadamente la de la ola significativa ( $H_{bs}$ ) del tren de olas.



13. Prácticamente la velocidad de la corriente longitudinal es la misma a cualquier profundidad en la zona interior de la playa, más no a su ancho.
14. En el movimiento eólico, generalmente la componente dominante del gradiente de presiones es la horizontal, por tal la única que considera el aparato para determinar la dirección e intensidad del viento.

### **Consideraciones particulares de los estudios de gabinete**

1. El lente debe contar con la suficiente potencia a fin de visualizar los granos marcados más pequeños y más tenues, en su intensidad de radiación (provocada).
2. Algunas tarjetas suelen presentar dificultad en la lectura, ante la presencia de una capa gruesa de vaselina, y tener granos marcados enterrados en ella por lo cual deberá escudriñarse a fin de hallar todos los granos luminosos en la tarjeta.
3. Frecuentemente se presentan en las tarjetas áreas de sedimento marino con o sin granos fluorescentes fuera del  $dm^2$  de control, presentándose dos opciones, una, si el  $dm^2$  no está cubierta en su totalidad (error de rastreo) se le sumarán las áreas fuera de él; si es al contrario se le restarán (segunda alternativa), bajo la premisa que nunca será mayor que el 100%, el resultado final.
4. Esto es necesario considerando que el tiempo transcurrido a partir de la inyección para el momento de obtener la muestra en cada estación dentro de un rastreo no es el mismo, se tiene que compensar el valor original por la cantidad de granos que se supone debería existir en un tiempo específico arbitrario.
5. El factor de corrección es raramente mayor de tres, y comúnmente menor de uno.
6. En la tabulación de los valores de  $N_G$  y  $G_C$  en las columnas 7 y 10 deben ser números enteros, por lo cual en su cálculo si se presentan valores decimales menores a 0.5 conviene desecharlos; pero por el contrario si fuese mayor es mejor agregar una unidad al número entero, teniendo presente la secuencia operativa en las columnas 7,9 y 10 en conjunto.
7. En la elaboración de las curvas de isoconcentración debe estar presente el criterio del investigador a fin de suprimir o alterar el valor de  $G_C$  en la malla, de acuerdo con el desplazamiento lógico dentro del ciclo de rastreo, y durante todo el análisis. Recomendándose por ello elaborar las citadas gráficas en papel transparente para facilitar la visualización del desplazamiento ante la transposición de gráficas.

8. Como camino alternativo en la determinación de las áreas y centros geométricos, se recomienda el método de las dovelas, que aunque más laborioso es más exacto.
9. Téngase presente que la expresión 1.5 es válida si únicamente  $\Delta A_i$  está contenido en  $\Delta A_i$ ; de lo contrario, será  $\Delta A_i = A_{i-1}$ , con la precaución de que  $\Delta A_n = A_n - A_i - A_{i-1}$ .
10. La expresión 3.6 carece de sentido si se presenta la consideración precedente; lo correcto sería presentarla como a continuación se indica:

$$C_i > G C_i < C_{i+1}$$

11. Debe tenerse cuidado y suficiente criterio en la determinación de estas dimensiones en presencia de protuberancias marcadas y esbeltas en la curva de isoconcentración, en relación con todo el conjunto.
12. Con base en los valores de la velocidad media de desplazamiento del trazador fluorescente, y el volumen anual de azolve acumulado en algunas estructuras ya realizadas se determina el espesor de la capa en movimiento, revirtiendo para tal fin la ec 1.17.
13. La elección se realizó bajo la justificación de que dicha fórmula es la que presenta el mayor número de características oceanográficas y sedimentológicas en función del transporte litoral.

Pudiendo ser cualquier otra fórmula e inclusive varias a la vez, y comparar su semejanza si es que la tuvieran; de lo contrario, establecer su divergencia.

Nota: Estas son algunas consideraciones particulares, existiendo muchas más pero de menor importancia en el estudio.

## 2. Consideraciones generales

1. El método de centroide, bajo la temática de Ingle Komar e Iman (base del presente método), asume tres condiciones de cuantificación del transporte litoral con base en las técnicas de rastreo durante sus investigaciones.

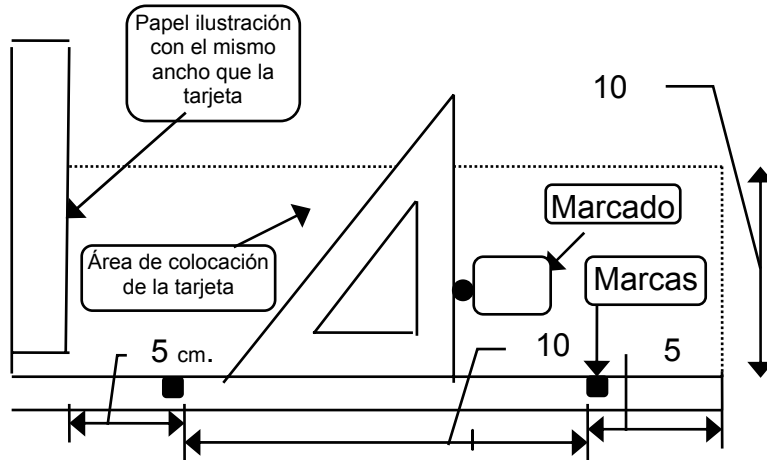
Se considera que los valores de las concentraciones, y su representación gráfica muestran claramente la concentración de la capa móvil para el intervalo de tiempo descrito.

Se considera que solamente un porcentaje muy pequeño de granos trazadores no se contaron dentro de la zona de rastreo, dado que hubo una pérdida al enterrarse en el lecho marino. Se estima que por lo menos el 90% del transporte litoral ocurre en la zona de playa.

2. Una de las conclusiones más importantes a la que han llegado varios autores a lo largo de sus estudios, es que la mayoría de los granos fluorescentes inyectados en la playa de perfil regular, tienen una fuerte tendencia a moverse a la zona exterior a lo largo de patrones casi paralelos en la línea de rompientes, y ángulo recto a los ortogonales del oleaje, hasta alcanzar la zona de rompientes. Al llegar los granos a esta última zona, estos son transportados dentro de la rompiente longitudinalmente.
3. La tendencia de un gran porcentaje de trazadores a moverse diagonalmente hacia la rompiente en forma paralela, se afecta grandemente por la corriente longitudinal cuando ésta es mayor de 30.4 cm/s (según *Ingle*); mientras que en las corrientes menores a tal velocidad deja sentir gradualmente su efecto, convirtiéndose el movimiento del trazador principalmente en perpendicular a la costa, y gobernada por las corrientes de resaca.
4. Conviene enfatizar la diferencia que existe en calcular el transporte litoral mediante ecuaciones empíricas, aplicables a la mecánica del transporte de sedimentos en forma unidireccional (como sucede en hidráulica fluvial), y el transporte real, ya que la naturaleza variable del oleaje causa irregularidades en la velocidad y dirección del flujo, llegándose a invertir la dirección de las corrientes longitudinales (algunas ocasiones). Por otra parte, se elimina la hipótesis de que el material se mueve en un flujo canalizado por la presencia de corrientes diferentes a la longitudinal en la zona interior de la costa. Así como su variabilidad de anchura, debido a las características del oleaje y los niveles del mar.

### **3. Recomendaciones**

1. Si el estudio de trazadores fluorescentes es parte integral de otro estudio costero, se recomienda que el personal de ingenieros e investigadores sean quienes siempre que ejecuten todas y cada una de las campañas y sus trabajos colaterales, para una mayor comprensión e interpretación del fenómeno costero en todas sus facetas.
2. Se aconseja se busque el mayor número de campañas y durabilidad de éstas dentro del estudio de trazadores fluorescentes, a fin de tener más exactitud en la cuantificación del transporte litoral, pero en congruencia con el presupuesto del proyecto.
3. Si se contempla la opción de una mayor cantidad en la elaboración del trazador fluorescente, se puede utilizar una revolvedora en sustitución de la tina y pintado manual.
4. En la elaboración de tarjetas se puede utilizar el siguiente equipo, a fin de facilitar el objetivo.



5. En el acarreo de los muertos se debe tener cuidado en su manejo en cuanto a daños al personal, o vehículos de transporte.
6. Tener presente una óptima alimentación y un buen descanso en los días anteriores, principalmente en la noche precedente a la campaña de campo. Así como una condición física aceptable del personal, ya que de ello depende una gran parte de la efectividad del trabajo en relación con el ritmo y duración de las actividades (de 24 a 36 h).
7. Para la colocación de la casa de campaña se deben tener presente todos los principios del campismo, principalmente en tiempo de tormentas ya que será el lugar de protección del equipo y material a utilizarse en la practica de campo.
8. Poner señalamiento de prohibición de acceso a la malla de control a personal ajeno al estudio, y de precaución al tránsito de vehículos en la zona alta de la playa del sitio en estudio (lugar donde se ubica la zona de operativos, punto 2.4), cuando se efectúe la campaña en playas turísticas, o se construya alguna obra costera

## Anexo 2. TÉCNICAS PARA LA PREPARACIÓN DE TRAZADORES FLUORESCENTES

---

Las técnicas para la preparación de los trazadores fluorescentes que se presentan se tomaron de Ingle, J C Jr, (1966.): The Movement of Beach Sand, and Analysis using Fluorescent Grains. Developments in Sedimentology 5. Elsevier Publishing Company. Amsterdam, Netherlands.

**Técnica No 1:** El procedimiento que aquí se presenta fue desarrollado por V K Matveev, y V V Patrikeev, del Instituto de Química Orgánica de la Academia de Ciencia de la URSS y usado por el Instituto de Oceanografía de la URSS (Zenkovitch, 1960; Aibulatov, *et al*, 1961).

Tintes: antraceno (verde amarillento), y “lumogen” (anaranjado rojizo)

Medio de cohesión: varias proporciones de agar-agar, pegamento, goma, almidón, azúcar y agua

Técnica (basada en el marcado de 100 Kg. de arena de playa seca):

1. La pintura (0.1 kg de antraceno, o 0.2 kg de “lumogen”) se pulveriza en un mortero, y se revuelve con 100 kg de arena seca en una revolvedora de concreto.
2. 0.1 kg de agar-agar se disuelve en 10 lt de agua caliente, y posteriormente se adicionan de 22 a35 lt de agua fría.
3. La solución se vierte en la revolvedora con la arena seca, y se mezcla por lo menos a 100 revoluciones por minuto.
4. La mezcla se esparce sobre una lona alquitranada para secarla al sol (cerca de 5 días), o se coloca en un secador eléctrico.
5. Una vez marcada la arena con pintura fluorescente, la capa fluorescente permanece sobre los granos de arena por lo menos tres meses, bajo condiciones de fuerte oleaje.

Notas:

1. La cantidad de pintura fluorescente necesaria para asegurar un buen baño (para cobertura) varía de acuerdo con el tamaño y color del sedimento. Mientras más fino sea el grano o más oscuro el color del sedimento, se requerirá mayor cantidad de pintura.
2. Es recomendable usar un medio de cohesión de goma (preparada a base de una parte de goma por 2, 000 partes de arena), y almidón (preparado a base de una parte de almidón por 4, 000 de arena), con un tinte fluorescente

(preparado a base de una parte de tinte por 1, 000 de arena). Con las proporciones señaladas resulta una capa de pintura que permanecerá sobre los granos cinco días, bajo condiciones de fuerte oleaje. Este período puede acortarse si se adicionan varias cantidades de azúcar a la mezcla, o más almidón.

3. Con almidón únicamente (preparado a base de una parte de almidón por 4, 000 de arena), resulta una capa de pintura fluorescente que permanece sobre los granos durante diez días, bajo condiciones de fuerte oleaje.

**Técnica No 2: El procedimiento que aquí se presenta, fue desarrollado por la Estación de Investigación Hidráulica de Wallingford, de Gran Bretaña, descrita por Russell (1960)**

Tintes: rodamina-B (rojo), “primulina” (azul-general de la empresa Chemical and Pharmaceutical Co, Sudbury, Gran Bretaña); “erosina” (naranja-CIBA de la empresa Clayton, Londres, de Gran Bretaña); “auramina” (amarillo-general de la empresa Chemical and Pharmaceutical Co, Sudbury, de Gran Bretaña).

Medio de cohesión: resina aerolítica CBU (resina líquida de urea), combinada con endurecedor de ácido GBQ (fabricado por la empresa CIBA Ltd. de Duxford, de Gran Bretaña).

Técnicas:

1. Para la fabricación de guijarros artificiales marcados con pintura fluorescente, se procede como sigue:
  - a) 37.5 lb de resina aerolítica se vierte en una revoladora para concreto
  - b) 0.80 lb de rodamina-B se disuelve en 3.75 lt de ácido endurecedor, y se adiciona a la resina en la revoladora para concreto, trabajando
  - c) Después de mezclado el líquido, se vacía sobre hojas enceradas y se acomodan en trozos de 0.25 a 0.37 pulg de espesor (el plástico resultante estará listo en un tiempo de 2 a 3 días)
  - d) El plástico resultante se muele en partículas que no excedan tamaños de 3 mm
  - e) Se fabrica el concreto mezclando 13 partes de cemento por 26 de dolorita de cuarzo y por una parte de plástico entintado granulado; y se dispersa en un espesor de 3 pulg para su secado
  - f) Los trozos de concreto se quiebran al diámetro requerido, utilizando un trituradora dentada, utilizándose cribas para clasificar el tamaño requerido

2. Para el marcado de guijarros naturales, se procede como sigue:
  - a) La solución de baño superficial de “araldita 985-E” se mezcla y se separa en cuatro cubetas de 0.5 lt
  - b) El tinte (rojo, azul, anaranjado y amarillo) se adiciona a la solución en cada una de las cuatro cubetas al 1 % del peso de la resina, y se mezcla
  - c) Los guijarros que se marcarán, se colocan en las cuatro cubetas, y se les adiciona suficiente tinte para cubrirlos
  - d) Las guijarros marcados con la pintura fluorescente se extienden sobre una tela metálica por 0.5 h, y luego se calientan a 160° C por 1.5 h
  
3. Para el marcado de arena natural, se procede como sigue:
  - a) En una revolvedora para concreto se vierten 37.5 lb de resina aerolítica
  - b) 0.80 lb de rodamina-B se disuelven en 3.75 lb de endurecedor de ácido, y se adicionan a la resina en la revolvedora para concreto, trabajando
  - c) 200 lb de arena seca se colocan en la solución señalada en el inciso anterior, y se mantiene trabajando la revolvedora para concreto de 3 a 4 min
  - d) Después de que todos los granos estén cubiertos con la solución, la mezcla de tinte-arena se vierte sobre hojas o tablas enceradas, formando una capa de 0.5 pulg de espesor
  - e) Después de que la arena es secada (de 2 a 3 días a 80° C), se parte en pedazos que no excedan 0.5 X 1.5 X 1.5 pulg, utilizando una trituradora dentada
  - f) Los pedazos partidos se someten a granulometría mediante medios mecánicos
  - g) El material granular que se obtiene, se clasifica a base de tamices

**Técnica No 3: El procedimiento que aquí se presenta fue desarrollado por Wright (1962) en la Universidad de Columbia, Nueva York, NY, USA**

Tinte: antraceno, grado práctico-Fisher, No 480-P (fluorescencia verde amarillenta)

Solución de entintado: 17.6 g de antraceno por 1 lt de cloroformo de grado técnico

Técnica:

1. La arena para ser marcada, se lava en una cubeta y se drena
2. La arena se vierte en la solución de antraceno-cloroformo
3. La arena marcada se drena con un filtro, y se recupera el exceso de la solución de la solución de entintado se recupera
4. La arena se seca en un área bien ventilada

Notas:

1. Se requiere aproximadamente 1/4 de la solución de antraceno-cloroformo para cubrir 35 lb de arena
2. La vida efectiva de la capa de antraceno se estima en dos semanas, aunque ha sido posible identificar algunos granos después de ese tiempo
3. Wright usó un paso adicional en el proceso de marcado de la arena; lavó la arena en alcohol desnaturalizado, previamente a la inmersión en la solución de tinción; esto con la finalidad de remover la grasa acumulada sobre los granos debido al lavado de los barcos en el puerto de Nueva York. Este paso puede omitirse en playas no contaminadas
4. El costo aproximado del marcado de la arena fue de \$ 0.05 dólares americanos por libra de arena

**Técnica No 4: El procedimiento que aquí se presenta fue desarrollado por Yasso (1962), en la Universidad de Columbia, Nueva York, NY, USA**

Solución para teñido: Yasso enlistó siete diferentes fórmulas de cobertura, usando tintes y lacas fluorescentes comerciales (las proporciones de mezclado se expresan en peso)

1. "Spray-Glo", de la empresa Craftint Manufacturing Co; disponible en bote de aerosol de 16 onzas (rango de color: magenta, verde, rojo-anaranjado, amarillo-anaranjado, rojo, anaranjado, azul, cereza y amarillo verdoso), directamente aplicado desde el bote
2. Tres partes de laca acrílica 209 Day-Glo de la empresa Switzer Bros, Inc: dos partes de solvente de tolueno (rango de color: rojo, naranja fuego, naranja resplandeciente, verde y amarillo brillante)
3. Una parte de tinte 6GF de la empresa General Dyestuff Co: 99 partes de resina Beetle 227-8 de la empresa American Cyanamid Co, cortado al 10% de sólidos en peso, usando methel ethyl keytone y solvente tolueno en proporciones iguales de peso



4. Tres partes de laca Black Light Eastern: dos partes de solvente bencina
5. Una parte de tinte 7GA de la empresa General Dyestuff Co: 99 VMCH plástico de la empresa Union Carbide Plastics Co, cortado al 10% de sólidos en peso usando methel keytone y solvente tolueno en proporciones de igual tamaño
6. Cuatro partes de laca acrílica Day-Glo 209, de la empresa Switzer Bros, Inc: cinco partes de solución de resina Beetle (ver inciso 3 anterior)
7. Tres partes laca acrílica Day-Glo 209 de la empresa Switzer Bros, Inc: cinco partes de solución VMCH (ver inciso 5 anterior)

Técnicas:

1. La mezcla de marcado 1 (ya descrita) se roció directamente sobre los granos, mientras estos se agitaban
2. La arena se colocó en una bolsa de tela de queso e inmersa en la solución de tinción elegida; posteriormente se drenó y esparció para secarse
3. La arena se puso en una charola, y se añadió la solución de teñido. Después de que la cacerola fue agitada, los granos fueron esparcidos sobre una lona para su secado

Notas:

1. El costo de teñido, con base en el punto 6 precedente fue de 0.12 dólares americanos por libra de arena (se requirieron de 0.40 lb de la mezcla para el marcado de 1.54 lb de arena)
2. La aplicación del rociado de pintura fluorescente fue la más satisfactoria para el caso de partículas mayores de 2 mm
3. El tiempo de secado del tinte, varió de 13 min, 45 s, a 40 s; el espesor de una sola capa de color pasó de 0.0003 a 0.0024 pulg; el porcentaje de pérdida de la capa debida a pruebas de abrasión en laboratorio fluctuó de 0.15 a 0.002%

**Técnica No 5: El procedimiento que aquí se presenta fue desarrollado por el Laboratorio de Ingeniería Costera de la Universidad de Florida, descrito por Bruun (1962, 1963) y por Teleki (1963)**

Tintes: rodamina-B (rojo), azul Victoria-B (azul), "Auramina" 00 (amarillo), rodamina-B y "Auramina" 00 (anaranjado), y rodamina-B y azul Victoria-B (morado)

Medio de cohesión: resina de urea formaldehído en combinación con cloruro de amonio ( $\text{NaH}_4\text{Cl}$ )

Técnica:

1. De 1 a 4 gr de tinte se disuelven en 2.5 lt de solución de cloruro de amonio al 20 %
2. Se le adicionan a la solución obtenida, 25 lb de resina de urea formaldehído
3. La resina y la solución se mezclan hasta que el color es uniforme
4. La solución catalizadora de tinte-resina se adiciona a 200 lb de arena seca y tamizada en una revolvedora para concreto, y se mezcla hasta que los granos estén cubiertos totalmente
5. La arena entintada, húmeda, se coloca sobre un plástico para su secado con el sol, y se extiende en una fina capa de 2 a 3 h: si se utiliza un horno para su secado, la arena deberá estar por 1 h, a una temperatura de 350° F
6. La arena seca se clasifica mediante tamices, para obtener una distribución de tamaños de arena de la playa original

### Anexo 3. Medición del transporte litoral con trazadores fluorescentes en las playas oriente y poniente de Puerto Madero, Chis

Puerto Madero se localiza en la costa sur del Océano Pacífico, entre el puerto de Salina Cruz, Oax y la frontera con Guatemala (fig A3.1). En dicho puerto han presentado desde el inicio de la construcción de las obras de infraestructura básica para dar forma al puerto, procesos de erosión en la costa poniente, y de azolvamiento en la costa oriente y canal de acceso. La erosión ha sido constante, a pesar de los diferentes esfuerzos para detener el proceso con varios espigones que se construyeron ya hace algunos años.

La protección de la playa poniente se complementó con una protección marginal, que ha permitido estabilizar parcialmente la línea costera en las zonas aledañas al rompeolas poniente, y la zona donde se ubica el cementerio de Puerto Madero.

Con objeto de disponer de información básica para determinar la cantidad de arena que se mueve en la costa donde se encuentra el puerto, el 22 de septiembre de 1988 el Laboratorio de Hidráulica Marítima realizó mediciones de campo en la zona de rompientes del puerto, sembrando arena fluorescente en la cara de las playas oriente y poniente con la finalidad de determinar la tasa del transporte litoral que se mueve en dichas playas. Los resultados permitieron calibrar una fórmula de transporte litoral para determinar con el régimen de oleaje medido durante el 2002 en la zona exterior del puerto, la cantidad del transporte litoral neto que se mueve en las costas oriente y poniente de Puerto Madero.

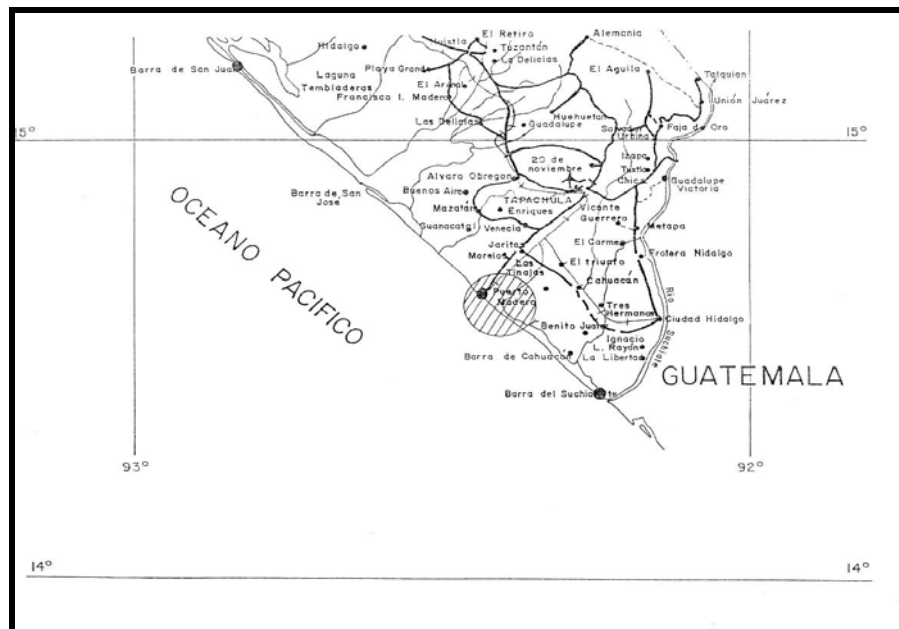


Fig A3.1. Localización de Puerto Madero, Chis

## UBICACIÓN DE LAS ZONAS DE MEDICIÓN

En la fig A3.2 se indican las dos zonas de observación donde se realizaron las mediciones del transporte litoral. En la costa oriente, las mediciones fueron en una franja de playa de 600 m de longitud a 400 m al oriente del rompeolas del mismo nombre. En la costa poniente, las mediciones se realizaron también en una franja de playa de 600 ubicada al poniente del espigón No 17.

En las figs A3.3 y A3.4 se indican las mallas de muestreo para las mediciones realizadas en las dos zonas mencionadas, en las cuales se indican con cruces los puntos de muestreo y los cadenamientos controlados con las líneas base trazadas en la parte alta de la playa.

## MÉTODO DE MARCADO DE LA ARENA DE PLAYA

Para la preparación de la arena fluorescente se colectaron 200 kg de arena de la cara de la playa de cada una de las zonas en observación, utilizando palas y cubetas. La arena extraída se lavó con agua potable con el fin de quitarle las partículas de material fino, y se extendió sobre plástico para su secado al sol. Una vez seca la arena se preparó la mezcla pintura fluorescente: arena de playa. La proporción en peso de la mezcla fue la siguiente:

**Arena de playa : pintura fluorescente**  $\longleftrightarrow$  **20kg : 800 ml**

(La densidad de la pintura fluorescente es de 1 g/ml)

Con la proporción señalada, la pintura fluorescente se mezcló con la arena de playa, y posteriormente se extendió en plásticos para su secado al sol.

## MÉTODO DE MEDICIÓN DE CAMPO

### Siembra de la arena marcada con pintura fluorescente

Para cada sitio de medición, la arena fluorescente preparada se dividió en cinco partes, colocándolas en bultos de 40 kg aproximadamente, para llevarlos a los sitios de medición en las playas oriente y poniente, sembrando a lo largo de la sección 0+000 la arena marcada con pintura fluorescente; y colocando cada parte a 0 m, a 10, a 20, a 30 y a 40 m de distancia a partir de la línea base,. Las secciones 0+000 de ambas playas se indican en las figs A3.3 y A3.4. La siembra de la arena fluorescente se efectuó vaciando los cinco costales (con 40 kg de arena de playa marcada) al mismo tiempo, en cada una de las zonas de estudio.

### Muestreo de arena de playa después de la siembra de arena marcada

Los muestreos de la arena en la malla de control se realizaron a 1, a 2 y a 24 h después de la siembra de arena de playa, marcada con pintura fluorescente, los cuales se llevaron a cabo con el siguiente procedimiento:

1. Se mete un tubo de plástico en la arena hasta 10 cm de profundidad en la playa

2. Se le coloca un tapón en la punta superior del tubo; se saca el tubo con la muestra de arena, y se coloca otro tapón en la parte inferior al tubo de plástico para evitar que se salga la muestra de arena
3. Se coloca la muestra de arena extraída por cada tubo, en una bolsa de plástico con el número de estación y punto de muestreo de donde se extrajo la muestra
4. Algunas muestras de arena se quedan en tubos cortos sin colocar la muestra en bolsa de plástico, esto con el fin de detectar el espesor del movimiento de la arena fluorescente

La localización de los puntos de muestreo de las playas estudiadas, se indican en las figs A3.3 y A3.4, donde los puntos negros indican los sitios que se muestrearon con tubo largo, colocando la arena muestreada en una bolsa de plástico; y los círculos con cruz, los sitios que se muestrearon con tubo corto, sin vaciar la muestra obtenida en una bolsa de plástico. Al muestrear la arena, la distancia entre el punto de muestreo y la línea base se midió usando la cuerda con marcas por dos personas; una colocada en tierra, y la otra en el punto de muestreo.

### **MÉTODO DE ANÁLISIS EN LABORATORIO**

Las muestras extraídas se llevaron al Laboratorio de Hidráulica Marítima, para analizarse en un cuarto oscuro con la siguiente metodología:

1. Vaciar la muestra de arena colectada en bolsa, dentro de una charola de 10 x 50 x 2 cm (fotos A3.1 y A3.2)
2. Extender la muestra de arena uniformemente en la charola (foto A3.3)
3. Contar las partículas de arena fluorescente sobre la superficie de la muestra cuando están expuestas a la luz ultravioleta, identificándolas visualmente, y con un contador mecánico para contabilizarlas (foto A3.4)
4. En el caso de las muestras colectadas en los tubos cortos, la longitud total de la muestra se dividió en partes de 1 cm de longitud. Cada una se analizó contando el número de granos de arena fluorescente para conocer la distribución vertical de partículas fluorescentes
5. Cuando la cantidad de arena de la muestra colectada no ocupa la superficie total de la charola, los granos fluorescentes en el área ocupada por la muestra se cuentan y se convierten al número de granos fluorescentes en la superficie total de la charola. Por ejemplo, si una muestra de arena ocupa  $\frac{1}{4}$  de la superficie de la charola ( $500 \text{ cm}^2$ ), y en esta muestra se cuentan diez partículas fluorescentes, la conversión del número de partículas contenidas en la muestra al total de superficie de la charola, será:  $10 \times 4 = 40$  partículas fluorescentes para  $500 \text{ cm}^2$

En la foto A3.4 se observa el método de conteo de las partículas fluorescentes en el cuarto oscuro, usando contador, charola y lámpara con luz ultravioleta.

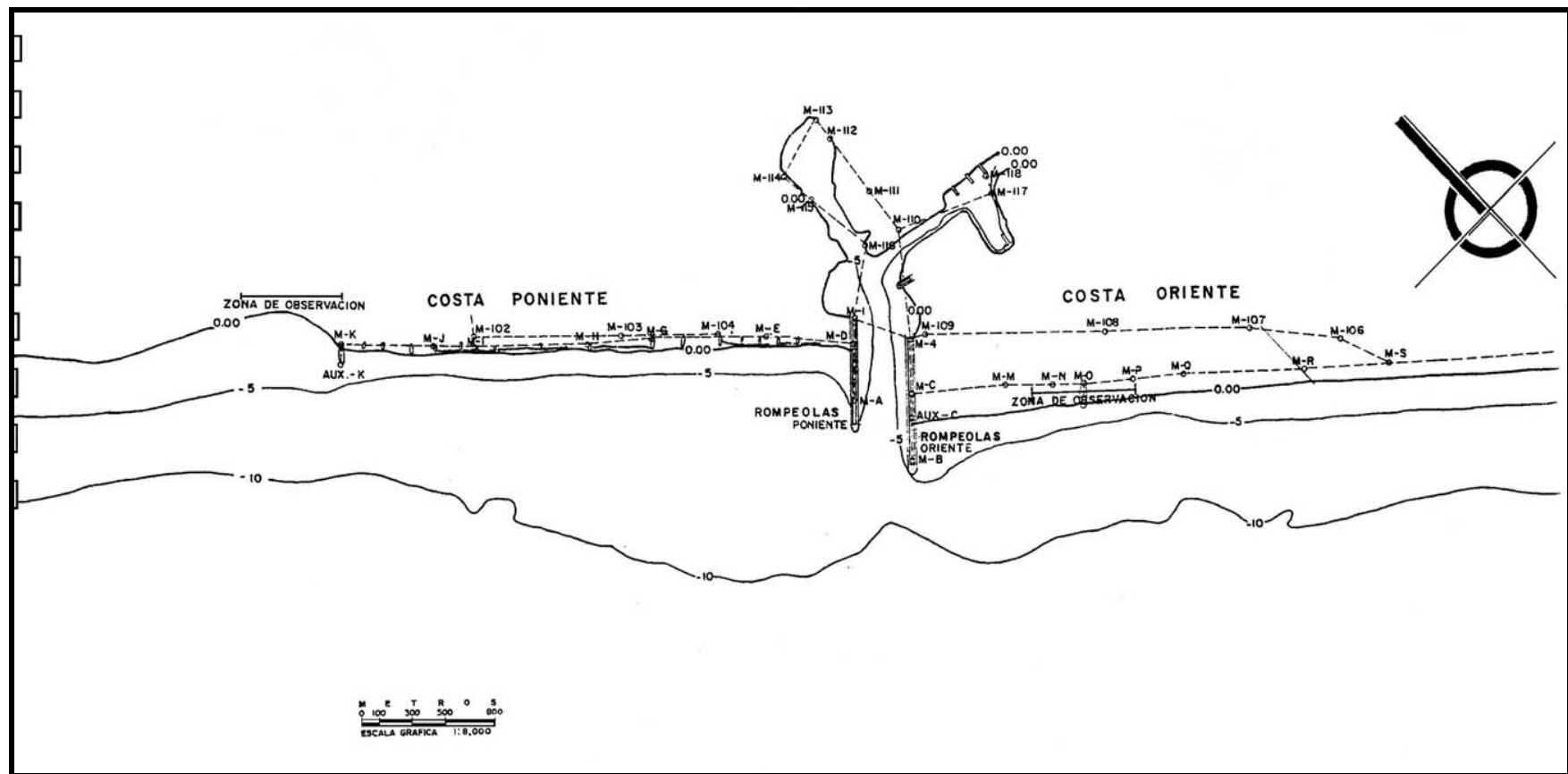


Fig A3.2. Zonas de observación para medición del transporte litoral

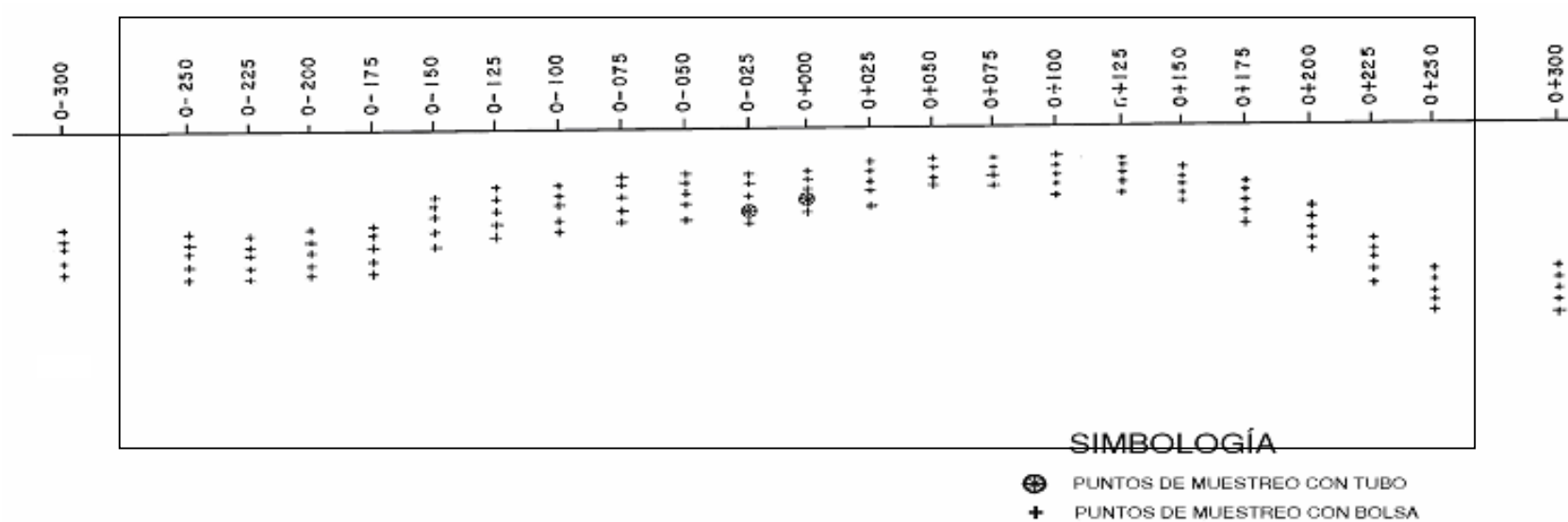


Fig A3.3. Línea base para las mediciones en la costa oriente

1. Proceso en el estudio de trazadores fluorescentes.

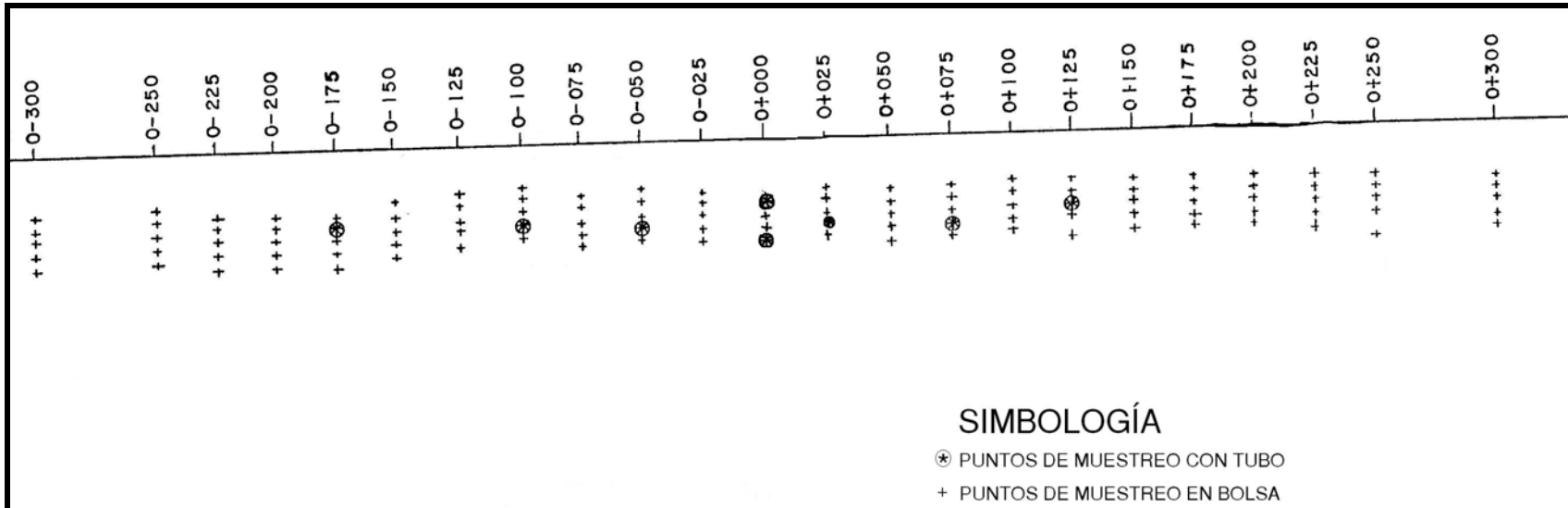


Fig A4.4. Línea base para las mediciones en la costa poniente





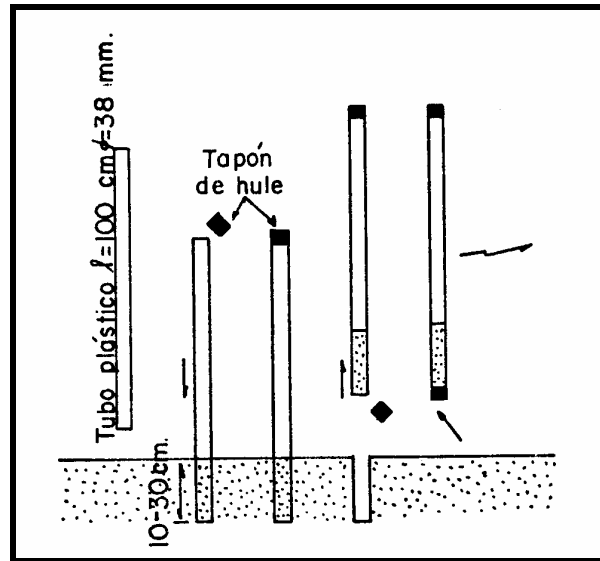


Fig A3.5. Método de muestreo de arena sobre la playa

## CUANTIFICACIÓN DEL TRANSPORTE LITORAL

En las figs A3.6 y A3.7 se muestran las distribuciones del número de partículas de arena fluorescente que se obtuvieron en las playas oriente y poniente, con el método de muestreo indicado en el capítulo anterior.

### Fórmula para calcular la cantidad del transporte litoral

La cantidad de transporte litoral al utilizar trazadores fluorescentes, se puede determinar mediante la siguiente fórmula:

$$Q = V \cdot D \cdot L \quad (A3.1)$$

Donde Q es la cantidad del transporte litoral en  $m^3/h$ ; V la velocidad del centroide de la distribución de la arena fluorescente en  $m/h$ ; D es el espesor donde se desplaza la arena fluorescente en  $m$ ; y L el ancho de playa donde se mueve la arena fluorescente.

### Cálculo de la velocidad del movimiento del centroide en la playa oriente

Para utilizar la ec (A3.1) se calculó el valor de la velocidad "V", la cual se obtiene al determinar el centroide de la distribución de la arena fluorescente para cada una de las distribuciones indicadas en las figs A3.6 y A3.7

Tiempo (horas)	Centro de distribución (m)
1	54.64
2	45.73
3	53.71
4	95.11

Los valores anteriores se graficaron en la fig A3.8 y se correlacionaron tomando como abscisa, el tiempo de muestreo y como ordenada, el centroide de la distribución. La ecuación de correlación de las cuatro horas de muestreo corresponde a la siguiente ecuación:

$$Y = 12.93x + 29.25 \quad (A3.2)$$

La velocidad del movimiento del centroide puede calcularse a partir de la derivada de la ecuación de correlación al emplear la ec A3.2 como sigue:

$$V = \frac{dy}{dx} = 12.93 \quad m/h \quad (A3.3)$$

La fig A3.9 presenta la distribución vertical de la arena, resultando el valor medio del espesor, D, de 4.25 cm.

En cuanto a figs A3.6 y A3.7 se puede observar que el ancho de playa donde se mueve la arena fluorescente es del orden de los 50 m.

### **Cálculo del transporte litoral en la playa oriente**

Al sustituir los valores señalados en la ec A3.1, la cantidad de transporte litoral en la costa oriente resulta ser de:

$$Q = 12.93 \times 0.045 \times 50 = 29.09 \quad m^3/h \quad (A3.4)$$

### **Cálculo de la velocidad del movimiento del centroide en la playa poniente**

---

En el caso de la playa poniente, las mediciones del transporte litoral dieron como resultado la siguiente ecuación de correlación de las cuatro horas de muestreo:

$$Y = 2.13x - 43.06 \quad (A3.5)$$

En la fig A3.10 se indica la recta de correlación de la ec A3.5 señalada, y en la A3.11 el cálculo el valor medio del espesor,  $D$ , resultando de 5.28 cm.

De la fig A3.7, se consideró que el ancho de la playa donde se desplaza la arena fluorescente, corresponde a 50m.

La velocidad del movimiento del centroide puede estimarse a partir de la derivada de la ecuación de correlación, usando la ec A3.5 como sigue:

$$V = \frac{dy}{dx} = 2.13 \text{ m/h} \quad (\text{A3.6})$$

### **Cálculo del transporte litoral en la playa poniente**

Sustituyendo los valores ya calculados en la ec A3.1, la cantidad de transporte litoral resulta ser:

$$Q = 2.13 \times 0.0528 \times 50 = 5.62 \text{ m}^3/\text{h} \quad (\text{A3.7})$$

### **Calibración de la ecuación del transporte litoral a lo largo de la costa**

#### **1. Calibración de la ecuación de transporte litoral en la costa oriente.**

La relación entre el transporte litoral y la energía del oleaje en la costa oriente, se puede expresar mediante la relación:

$$Q = \alpha Pl_s \quad (\text{A3.8})$$

Donde  $Q$  es el transporte litoral a largo de la costa;  $\alpha$  un coeficiente, cuyo valor se determina con mediciones de campo; y  $Pl_s$  la componente de la potencia de la energía del oleaje por unidad de ancho de playa.

Durante la campaña de mediciones, se realizaron observaciones visuales del oleaje, estimándose las siguientes características:

$h_b = 1.50 \text{ m}$  ; profundidad de la rompiente, determinada analíticamente

$H_b = 1.00 \text{ m}$  ; altura de ola rompiente

$\alpha_b = 2^\circ$  ; ángulo de incidencia del oleaje en la rompiente

$T = 8 \text{ seg.}$  ; período del oleaje

Al sustituir los valores anteriores, la componente de potencia de la energía del oleaje por unidad de ancho de playa, resulta:

$$Pl_s = \frac{\rho g}{8} (H_b)^2 C_g \text{sen} \alpha_b \text{cos} \alpha_b = 59.38 \text{ ton m/m} \quad (\text{A3.9})$$

Al sustituir en la ec A3.7 el valor anterior y el valor del transporte litoral calculado en la ec A3.4 resulta:

$$\alpha = \frac{Q}{Pl_s} = \frac{29.09}{59.38} = 0.48 \quad (\text{A3.10})$$

La ecuación de calibración del transporte litoral para la costa oriente resulta como sigue:

$$Q = 0.48 Pl_s \quad (\text{A3.11})$$

## 2. Calibración de la ecuación de transporte litoral en la costa poniente.

Durante la campaña de mediciones se realizaron observaciones visuales del oleaje, estimándose las siguientes características:

$h_b = 1.00 \text{ m}$  ; profundidad de la rompiente, determinada analíticamente

$H_b = 0.8 \text{ m}$  ; altura de ola rompiente

$\alpha_b = 3^\circ$  ; ángulo de incidencia del oleaje en la rompiente

$T = 8 \text{ seg.}$  ; período del oleaje

Al sustituir los valores anteriores, la componente de la potencia de energía del oleaje por unidad de ancho de playa, resulta:

$$Pl_s = \frac{\rho g}{8} (H_b)^2 C_g \text{sen} \alpha_b \text{cos} \alpha_b = 46.99 \text{ ton m/m} \quad (\text{A3.12})$$

Al sustituir en la ec A3.8 el valor anterior y el del transporte litoral calculado en la ec A3.8 resulta:

$$\alpha = \frac{Q}{Pl_s} = \frac{5.62}{46.99} = 0.12 \quad (\text{13})$$

$$Q = 0.12 Pl_s \quad (\text{A3.14})$$

### 3. Cálculo del transporte litoral anual

Tomando en consideración los datos de las características de oleaje registradas del 24 de abril 2001 al 23 de abril del 2003 en la zona cercana a la boya recalada, mediante un ológrafo direccional instalado por el Instituto Mexicano del Transporte, las cuales se resumen a continuación, utilizando la ec A3.15 se obtuvieron los resultados que se indican en la tabla No A3.2.

Tabla A3.1. Régimen de oleaje anual de la zona de estudio

Datos de oleaje			Playa oriente (en la profundidad de 3 m)		Playa poniente (en la profundidad de 2.50 m)	
Dirección del oleaje	% de ocurrencia	$T_{1/3}$	Dir promedio	$H_{1/3}$ (m)	Dir promedio	$H_{1/3}$ (m)
Sur	47.17	14.60	14.40	0.91	18.10	0.89
Suroeste	48.28	14.30	-10.70	0.67	-5.60	0.70
Oeste	4.55	12.90	-29.20	0.22	-24.3	0.23
<b>Total</b>	100.00					

Tabla A3.2. Transporte litoral neto anual

Dirección del transporte litoral	Transporte litoral ( $m^3/año$ )	
	Playa oriente	Playa poniente
De Oriente a poniente	993,457.84	268,746.23
De Poniente a oriente	-487,230.98	-70,889.72
<b>Transporte litoral neto anual</b>	<b>506,226.86</b>	<b>197,856.51</b>

## CONCLUSIONES

---

Las conclusiones y recomendaciones que se pueden establecer del presente trabajo, son las siguientes:

- La relación entre el transporte litoral y la energía del oleaje para la costa oriente resultó como sigue:

$$Q = 0.48 Pl_s$$

- La relación entre el transporte litoral y la energía del oleaje para la costa poniente resultó como sigue:

$$Q = 0.12 Pl_s$$

- El transporte litoral neto anual en la playa oriente es de: 506,226.86 m<sup>3</sup>/año, y en la playa poniente es de: 197,856.51 m<sup>3</sup>/año con dirección oriente a poniente en ambos casos

## NOMENCLATURA

$D$  = espesor donde se mueve la arena fluorescente, en m

$h_b$  = profundidad de la rompiente, determinada analíticamente

$H_b$  = altura de ola rompiente

$L$  = ancho de playa en donde se desplaza la arena fluorescente, en m

$Pl_s$  = componente de potencia de la energía del oleaje, por unidad de ancho de playa

$Q$  = cantidad del transporte litoral, en m<sup>3</sup>/h. Donde  $Q$  es el transporte litoral a largo de la costa

$T$  = período del oleaje

$V$  = velocidad del centroide de la distribución de la arena fluorescente, en m/h

$\alpha$  = coeficiente cuyo valor se determina de mediciones en campo

$\alpha_b$  = ángulo de incidencia del oleaje en la rompiente

1. Proceso en el estudio de trazadores fluorescentes.

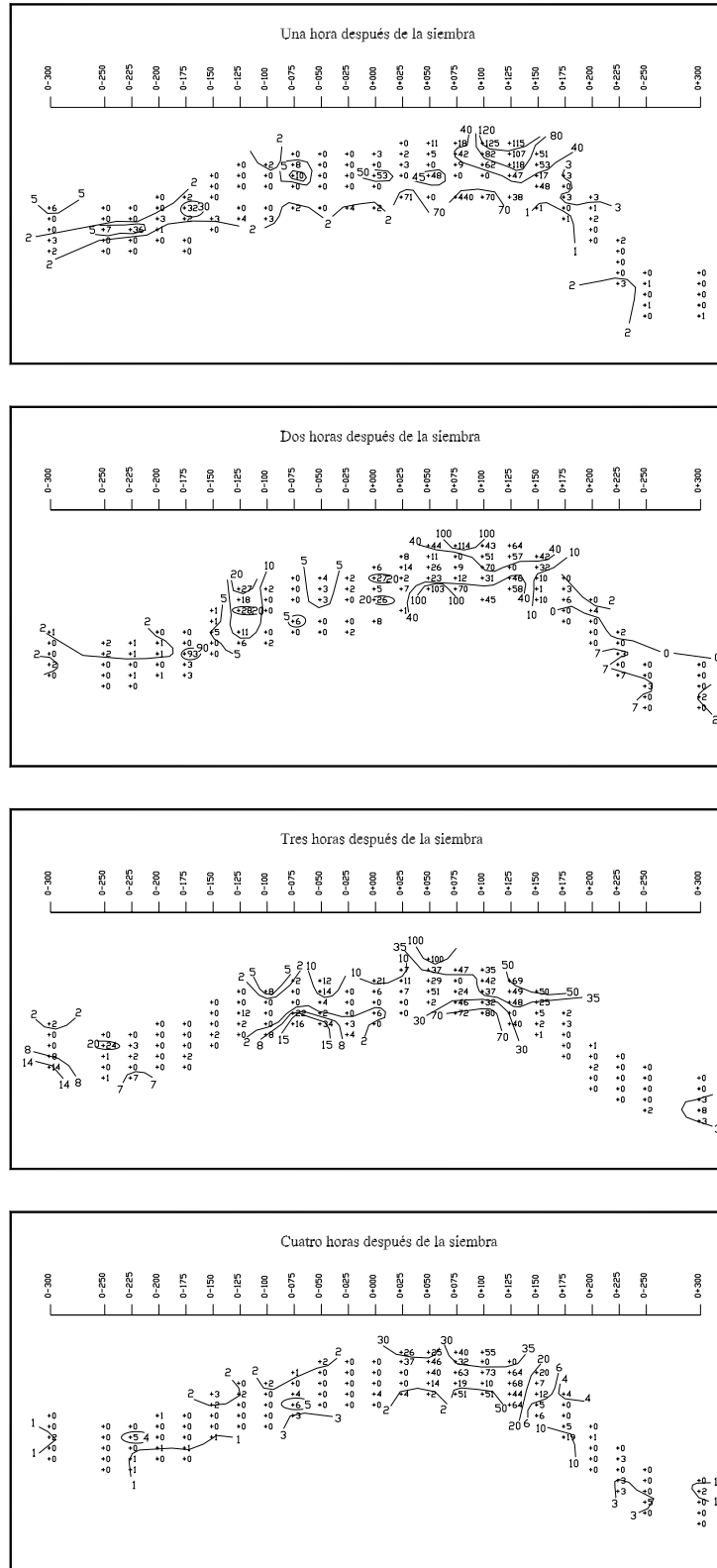


Fig A3.6. Distribución de la arena fluorescente en la playa oriente



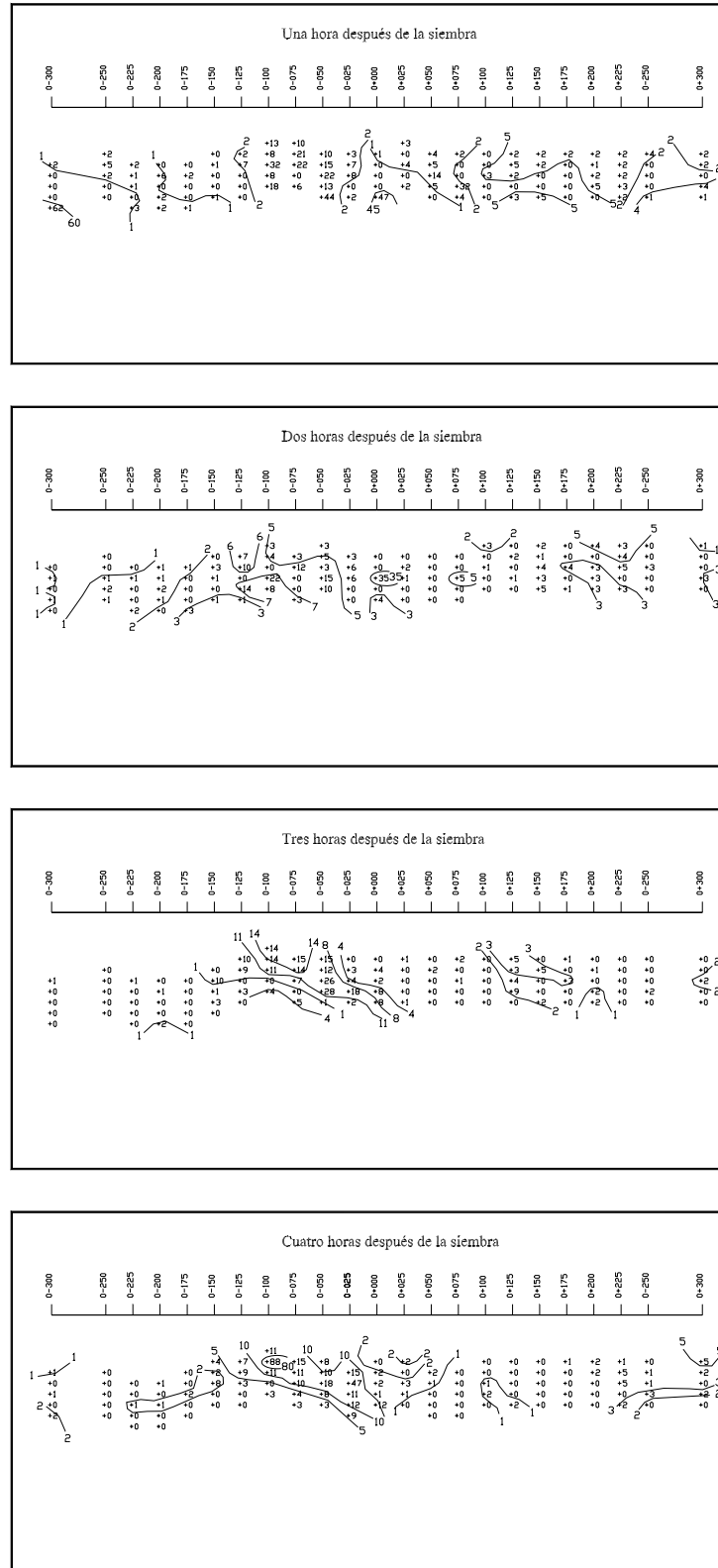


Fig A3.7. Distribución de la arena fluorescente en la playa poniente

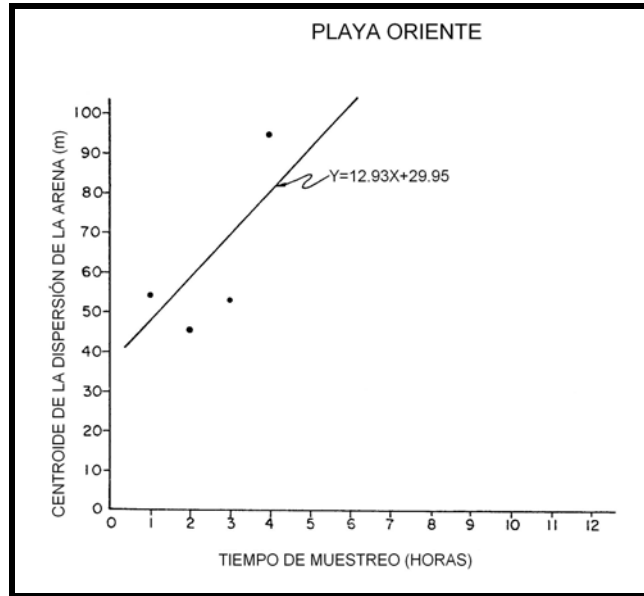


Fig A3.8. Ecuación de correlación entre el tiempo de muestreo y el centroide de la dispersión de la arena fluorescente en la costa oriente

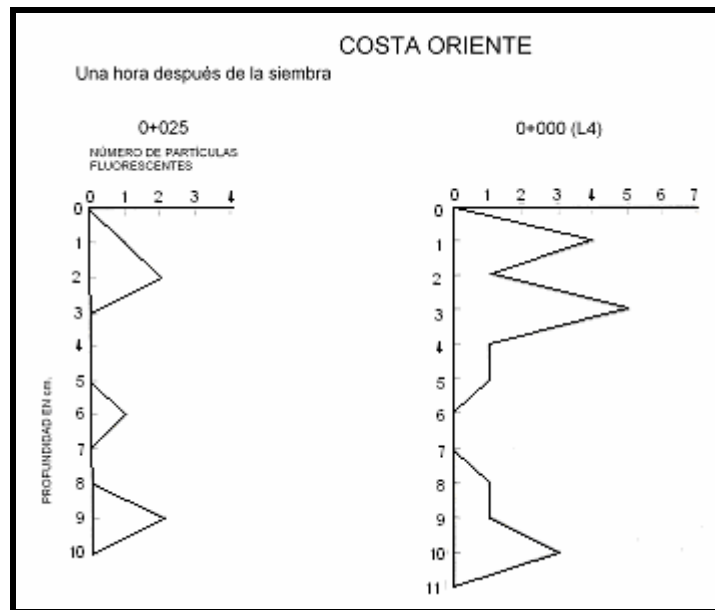


Fig A3.9. Distribución vertical de la arena fluorescente en la costa oriente

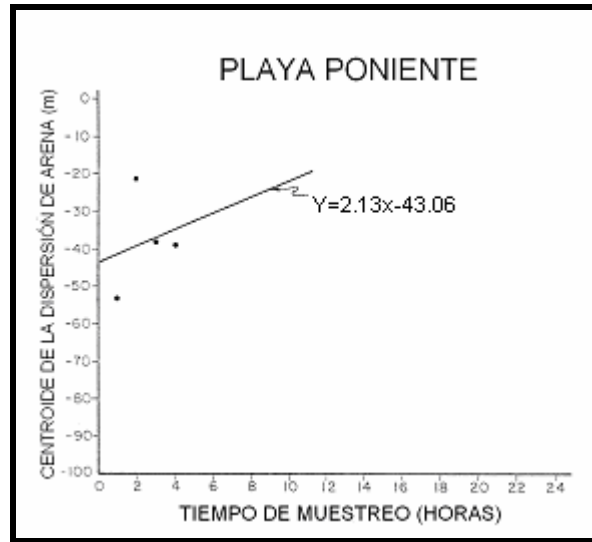


Fig A3.10. Correlación del tiempo de muestreo y del centroide de la dispersión de la arena fluorescente

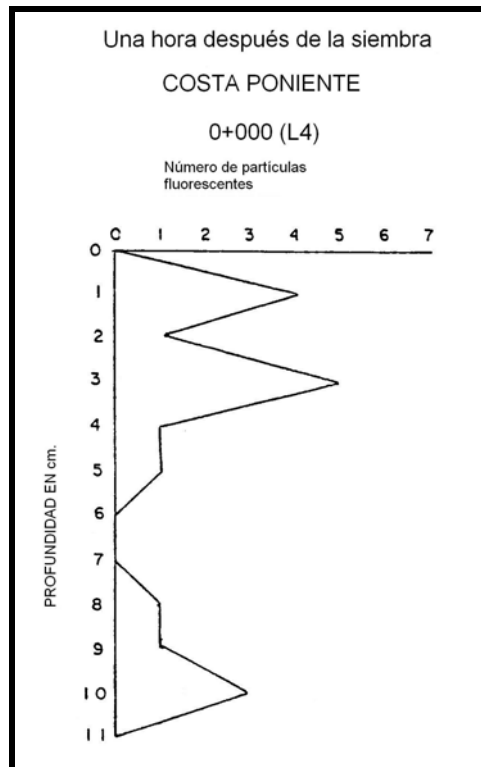


Fig A3.11. Distribución vertical de la arena fluorescente en la costa poniente

1. Proceso en el estudio de trazadores fluorescentes.

---



Foto A3.1. Análisis de la arena en el laboratorio



Foto A3.2. Vaciado de la muestra en la charola



Foto A3.3. Colocación de la arena en la charola



Foto A3.4. Cuantificación de granos de arena expuestos a la luz ultravioleta

## Bibliografía.

---

1. ClaudeMigniot: Actino des courants de la hola et du vent sur les sediments, Departament de Sedimentologie ; Du laboratorio Central d´hidraulique de France, La huille Blanche (1979).
2. Kiyoshi Horikawa : Coastal Engineering. Kiyoshi Horikawa (1978).
3. Ingle. CJ: Development in Sedimentology (1976).
4. ESIA: Diseño y construcción de Obras Marítimas. Centro de actualización Profesional (1984).
5. Ingeniería de Costas, Laboratorio de Puertos, Ramón Iribarren.
6. Department of Geology-University of South California: Longshore Sediment Transport using Fluorescent Tracer; Coastal Sediment, Department of Geology-University of South California (1977).
7. Instituto de Investigaciones Eléctricas, CFE : Manual de Diseño de Obras Civiles Hidráulica Fluvial, A2.11 (1983).
8. Instituto de Investigaciones Eléctricas, CFE: Manual de Diseño de Obras Civiles Hidráulica Marítima, A2.13 (1983).
9. Secretaria de Comunicaciones y Transportes: Normas de Construcción y Pruebas de Materiales, Parte II(1981).
10. Bruun, P: Port Engineering, Gulf Publishing Co, Houston, TX (800 pp). (1981)
11. Radioactive Methods for quantitative determination of coastal drift rate. Marine Geology, 183-206 Elsevier, Amsterdam (1969).
12. Reporte técnico. Cuantificación del transporte litoral por el método de trazadores fluorescentes en la zona Dos Bocas, Tab. Proyectos Marinos–PEMEX.
13. Cuantificación del transporte litoral por el método de trazadores fluorescentes en la zona El Ostión, Ver. Proyectos Marinos–PEMEX, Reporte técnico.
14. Coastal Engineering Research Center. Department of ARMY Waterway Experiment Station Corp. of Engineering Shore Protection Manual, Vols 1 y 2 (1976).
15. Centro de Estudios de Experimentación de Obras Públicas, Laboratorio Ramón Iribarren (1982): Trazadores fluorescentes C-4

16. Ingle, JC: The Movement of Beach Sand, and Analysis using Fluorescent Grains; Developments in Sedimentology 5. Elsevier Publishing Company. Amsterdam, Netherlands (1966.).
17. Montoya, RJM. et al. Medición del movimiento de la arena en las costas oriente, poniente, y canal de acceso en Puerto Madero, Chis. Utilizando trazadores fluorescentes, Laboratorio de Hidráulica Marítima de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (1989).
18. Montoya, RJM. Rodríguez, CA. Medición de las características hidráulicas en el puerto de Tecolutla, Ver; Primer reporte, Transporte y corriente litoral; Laboratorio de Hidráulica Marítima de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (1987).

**CIUDAD DE MEXICO**

Av. Patriotismo 683  
Col. Mixcoac  
03730, México, D. F.  
Tel (55) 56 15 35 75  
55 98 52 18  
Fax (55) 55 98 64 57

**SANFANDILA**

Km. 12+000, Carretera  
Querétaro-Galindo  
76700, Sanfandila, Qro.  
Tel (442) 2 16 97 77  
2 16 96 46  
Fax (442) 2 16 96 71

Internet: <http://www.imt.mx>  
[publicaciones@imt.mx](mailto:publicaciones@imt.mx)