



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA 28

3

DETERMINACION DEL TRANSPORTE LITORAL
POR MEDIO DEL USO DE TRAZADORES
FLUORESCENTES

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el título de

INGENIERO CIVIL

P r e s e n t a

SERGIO ARTURO AGUILAR LOPEZ



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

Pag.

CAPITULO I. INTRODUCCION

1.1	Importancia y Aplicación de Trazadores en la Ingeniería de Puertos, Ríos y Costas.	2
1.1.1	Uso de Trazadores Como Indicadores de Velocidad.	5
1.1.2	El Trazado de Patrones y Direcciones del Transporte de Sedimentos.	6
1.1.3	Aplicación de Trazadores en el Control de la Contaminación.	7

CAPITULO II PROCESOS LITORALES

2.1	Generalidades	11
2.1.1	Origen del Transporte Litoral o Fuentes de Abastecimiento de Materiales.	12
2.1.2	Contribuciones por Transporte Litoral.	13
2.1.3	Contribuciones por Corrientes	14
2.1.4	Contribuciones por Erosión de Formaciones Costeras.	15
2.1.5	Tipos de Transporte Litoral.	16
2.2.1	Dirección del Transporte Litoral.	18
2.2.2	Análisis del Oleaje.	20
2.2.3	Medición de Corrientes.	21
2.2.4	Efectos de Azolve o Erosión en las Estructuras Existentes.	22
2.2.5	Gasto de Transporte Litoral.	23
2.3.1	Pérdidas de Material Litoral.	24

CAPITULO III METODOS RELACIONADOS CON LA INVESTIGACION DEL TRANSPORTE LITORAL

3.1	Métodos Existentes para la Obtención del Transporte.	26
3.1.1	Métodos Teóricos o de Laboratorio.	26
3.1.2	Métodos de Campo.	30
3.1.3	Espigones de Prueba.	31
3.1.4	Dragado de Prueba.	33
3.1.5	Trampas de Arena.	33
3.1.5.a	Trampas de Material que es Transportado por el Fondo.	35
3.1.5.b	Trampas Para el Material que se Transporta en Suspensión.	36
3.2.1	Uso de Trazadores.	36
3.2.2	Características de los Trazadores	37

	Pag.	
3.2.3	Trazadores Radioactivos.	38
3.2.4	Trazadores Fluorescentes.	39
3.2.5	Comparación Entre Trazado Fluorescente y Radioactivo. (Ventajas y Desventajas).	40

CAPITULO IV APLICACION DE TRAZADORES FLUORESCENTES

4.1.	Localización del Area de Trabajo.	44
4.1.1	Características Generales.	44
4.1.2	Clasificación del Sitio.	45
4.1.3	Material Trazador.	45
4.1.4	Características de los Materiales Fluorescentes.	45
4.1.5	Colorantes Empleados.	46
4.2.1	Procedimiento Empleado en el Recubrimiento.	46
4.2.2	Trabajos de Campo.	47
4.2.3	Inyección del Material Fluorescente.	47
4.2.4	Método Empleado Para el Muestreo.	48
4.2.5	Toma de Muestras.	50
4.3	Determinación de Parámetros Playeros.	51
4.3.1	Perfiles de Playa.	51
4.3.2	Medición de Corrientes.	51
4.3.3	Oleaje.	52
4.3.4	Vientos.	59
4.3.5	Granulometrías.	60

CAPITULO V DISPERSION Y CUANTIFICACION DEL ACARREO LITORAL

5.1	Análisis de las Muestras.	63
5.1.1	Elaboración de Planos de Dispersión.	63
5.1.2	Movimiento del Material Trazador a Través del Perfil de Playa.	65
5.1.3	Efecto en la Variación de la Corriente Longitudinal y el Oleaje.	66
5.1.4	Movimiento en la Zona de Vaivén.	68
5.1.5	Movimiento en una Playa con Perfil Irregular.	68
5.2.1	Efecto de las Barras.	70
5.2.2	Formación de la Barra.	71
5.2.3	Efecto de los Pliegues u Ondulaciones.	72
5.2.4	Efecto de las Corrientes de Retorno.	72
5.2.5	Cuantificación del Acarreo Litoral a Partir de los Planos de Dispersión.	73
5.3.1	Proporciones de Gasto del Material Trazador.	75

	Pag.	
5.3.2	Estimación de la Velocidad de los Granos Trazadores.	76
5.3.3	Profundidad de la Capa Móvil.	78
5.3.4	Cálculo de la Cantidad de Acarreo Litoral.	81
CAPITULO VI CONCLUSIONES		85
BIBLIOGRAFIA		115

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1 Importancia y Aplicación de Trazadores en la Ingeniería de Puertos, Ríos y Costas

Desde el punto de vista ingenieril, es importante valorar el transporte de material para tomar en cuenta las alteraciones al equilibrio costero que produce la construcción de una obra marítima (escolleras, espigones, rompeolas, muelles, puertos, canales de navegación, etc.). El no considerarlo o valorarlo incorrectamente, puede traer como consecuencia, erosiones y depósitos de material no previstos dentro y en las cercanías de la obra, inutilizando las instalaciones existentes.

Ya que el arrastre litoral es producto de la acción del oleaje y de las corrientes, éste se realizó en suspensión, rodando o saltando en el fondo y se agrupa, fundamentalmente, en transporte de fondo y suspensión.

Tomando en cuenta que en la realización de este trabajo se tiene como punto de interés la aplicación de un método para la determinación del acarreo litoral a base de trazadores y, en este caso muy especial, la aplicación de trazadores fluorescentes, podemos definir o considerar como "trazar" a la acción de rastreo de la dirección o recorrido de arenas o materiales fácilmente identificables que previamente son depositados en un lugar clave. A lo largo de varios años se han buscado métodos para poder trazar sedimentos; en tiempos pasados no fue anormal que los científicos investigaran sobre los componentes mineralógicos de los sedimentos, para determinar la pre-

sencia de algún componente o alguna relación única de varios componentes y así poder encontrar algún mineral que pudiera ser utilizado como trazador natural.

Por ejemplo, se han utilizado varias formas de los minerales hornablenda y angita, que han sido identificados y utilizados en las costas del Golfo de México y de California, respectivamente.

A lo largo del Golfo de México se encuentra hornablenda así como en el conjunto de sedimentos de los ríos Mississippi y Bravo. Sin embargo, el tipo de hornablenda que presenta cada uno de estos ríos es distinta, ya que pueden ser identificables y separados fácilmente con estudios microscópicos.

El estudio de los minerales como trazadores naturales, ha resultado útil en derivar completamente un concepto de los procesos que funcionan en un área dada. Sin embargo, se puede asegurar sin temor de equivocación, que los trazadores antes mencionados, no son típicos de la totalidad de los sedimentos. Por lo general, todos los minerales pesados, entre ellos el hornablenda y angita, se encuentran representando del 1% al 5% del total de los sedimentos. Ya que los minerales pesados tienen densidades mayores que 2.8 gr/cm^3 , o sea mayor que la del cuarzo (2.65 gr/cm^3) y de los feldespatos (2.27 gr/cm^3) que en la mayoría de los casos comprende la mayor parte del 95% restante de los sedimentos.

Debido a su mayor densidad, su velocidad de caída es mayor, y por ello las pesadas particulares de minerales sirven como una partícula más grande de

cuarzo o de feldspato.

La diferencia en la velocidad de caída demuestra la ley cerdenal del trazamiento de sedimentos, en donde la partícula de trazado marcada y el sedimento natural, deben poseer las mismas características físicas e hidráulicas al ser expuestos a las fuerzas de oleaje o de corrientes; por esta razón, los minerales pesados no son trazadores satisfactorios. Motivo por lo cual durante largo tiempo se había intentado tintar a los sedimentos, más durante los años 1950, aparecieron dos nuevos métodos de trazado del transporte de sedimentos, tratándose de la identificación de sedimentos como material fluorescente o radioactivo, observándose que la gran ventaja de los trazadores fluorescentes sobre los radioactivos se basa en el hecho de que se puede poner en operación con brevedad y pocos preparativos anteriores (lo que no puede hacerse con los radioactivos, considerando que las ventajas de éstos sobre los fluorescentes, son el método, que es aplicable a todos los tamaños de material y la posibilidad de detectar el trazador en cualquier estado de mar aún cuando haya sido enterrado).

Otra de las ventajas de los trazadores fluorescentes es que se puede variar el color de la etiqueta del trazador y se pueden llevar a cabo pruebas sucesivas en la misma área cuando se presentan cambios de condiciones rápidas sin el período de espera, que en el caso de los trazadores radioactivos se requiere.

También es posible producir trazadores tanto de larga como de corta vida,

de todos los tamaños prácticos para el trazado de grava suelta, arena, fango, y barro, de lo cual se hablará en los temas siguientes.

1.1.1 Uso de Trazadores Como Indicadores de Velocidad

Este método utiliza los trazadores solamente como indicadores de velocidad (Bruun, 1967-1969). La cantidad de material migratorio se mide en trampas instaladas en el fondo y la velocidad de los granos migratorios se mide a través de cierto período de tiempo, el cual abarca hasta que hayan pasado las concentraciones máximas, para que posteriormente se concentre la cantidad de material total en una "imaginaria capa superficial", cuyo espesor corresponde a las velocidades medias que se encuentran.

El método sólo se puede emplear en estaciones de muestreo permanentes, utilizando equipos especiales para el muestreo, así como la utilización de trazadores de colores diferentes, vertidos a diferentes distancias y reparando el espesor de la capa de acuerdo a la relación entre las concentraciones, por lo que se obtiene una imagen clara de lo que sucede.

Así, los trazadores, tanto radioactivos como los fluorescentes, ya han sido utilizados durante varios años y su aplicación está siendo ampliada con mejoras, en campos ya existentes.

El uso de estos trazadores abarca un amplio rango de campos, entre ellos la ingeniería de puertos, marítima, costera, de ríos, deriva de litorales,

tecnología de dragado, control de contaminación, etc.

1.1.2 El Trazado de Patrones y Direcciones del Transporte de Sedimentos

Esta aplicación es sumamente importante en la determinación de la localización de un canal de navegación, entrada a un puerto, muelle o atraque.

La aplicación de las técnicas de trazado podrán resultar como una mejor planeación del mantenimiento futuro de los canales de navegación, o cuando se planea un puerto en una costa con deriva de litoral, una operación de dragaje o de protección costera; los ingenieros frecuentemente se enfrentan con el problema de determinación del sentido de "deriva predominante" así como la magnitud de la deriva en ambos sentidos.

Esto se puede realizar con el efecto postrero de la acción de las olas y el cálculo de la energía de éstas en la playa, basados en datos meteorológicos si la acción de las olas es el único factor responsable en el transporte de materiales.

Ahora bien, las corrientes de mareas y otras, frecuentemente desempeñan un papel importante, y aún cuando se pueda determinar la dirección de deriva predominante a base de observación de acumulación en estructuras que se extienden dentro del mar, sigue siendo muy difícil evaluar la magnitud relativa de derivas en dos sentidos.

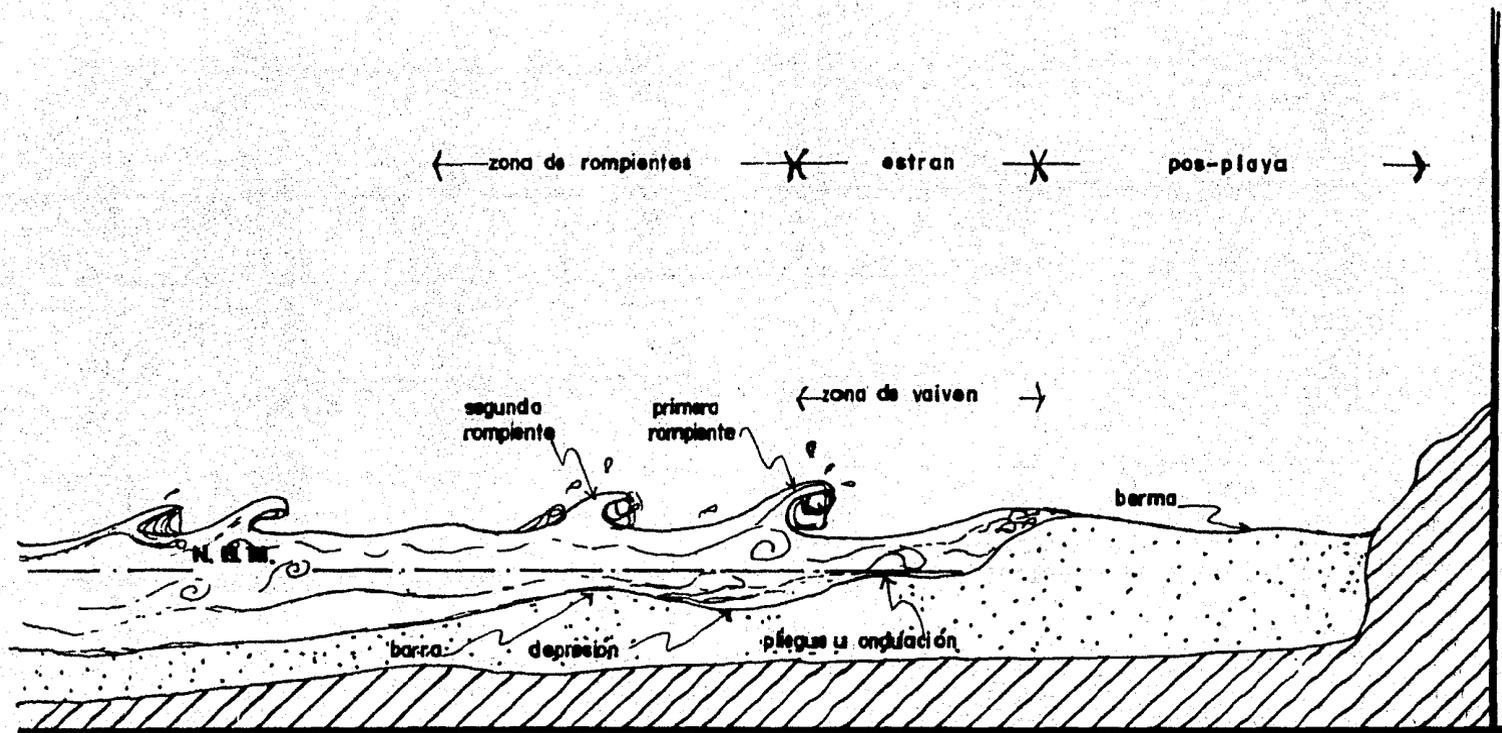
El conocimiento en esta área es de gran importancia en la determinación, lo cal l o z a c i o n y alcance de protección de diques, la dirección, la longitud relati va y tamaños de escolleras para la protección de una entrada de estuario, la localización de trampas de arena para una canal de navegación, la planea ci o n para operaciones de desviación en la nutrición de playas y otras opera ci o n e s de cam p o, como la evaluación de la profundidad a la que el transporte del sedimento trastornaría a un canal de navegación, la evaluación de las po s i b i l i d a d e er o s i o n y de la cantidad de sobredragado que se debe llevar a ca b o en áreas críticas, la evaluación de las po s i b i l i d a d e mov im i e n t o de ma ter ia l e s va c i a d o s en e l m a r o para la est ab i l i z a c i o n d e l f o n d o, así como la eva l u a c i o n d e l o s o r i g e n e s de l o s d e p o s i t o s e n e l m a r, de sedimentos mi ne ra l e s, etc.

1.1.3 Aplicación de Trazadores en el Control de la Contaminación

Los trazadores líquidos que podrían ser tintes fluorescentes o rodamina "B", podrían ser utilizados en la determinación de la mejor ubicación de estua ri o s y salidas para sistemas de agua de enframamiento y en la determinación de las tend en ci a s y magnitud de la contaminación causada por la introducción de aguas negras y/o impurezas químicas. Este problema está llegando a ser cada vez más importante, por la concentración demográfica y el enorme in cr e m e n t o de des per d i c i o s i n d u s t r i a l e s.

En lo que respecta a la realización de este trabajo de tesis, se aplicó un mé

todo práctico para tratar de evaluar cuantitativa y cualitativamente el transporte litoral en una zona de la costa sureste del país, por medio del uso de trazadores fluorescentes.



" TERMINOLOGIA DEL AMBIENTE PLAYERO "

N.B.M. = NIVEL DE BAJAMAR

Figura Nº 1

CAPITULO I I

PROCESOS LITORALES

2.1 Generalidades

Existen cuatro factores de una playa arenosa, que pueden definirse mediante el análisis del material (sedimentos) de la playa y del fondo cercano a la playa; acarreo litoral (el material que es movido en la zona litoral bajo la influencia del oleaje y de las corrientes); el transporte litoral (el movimiento del acarreo litoral) y las cantidades de abastecimiento o pérdida del acarreo litoral.

Teniéndose en cuenta que a lo largo de una determinada franja playera, deberá existir por lo menos una de las tres condiciones siguientes:

- a) Que el azolve pueda predominar sobre la erosión y la playa se agrande.
- b) Que la línea de playa sea estable y por lo tanto no predomine ni el azolve ni la erosión.
- c) Que la playa se encuentre bajo una condición de erosión en la cual las pérdidas de material excedan al abastecimiento.

Generalmente, el último inciso es de importancia, ya que éste trata con la desaparición de playas de protección natural y la consecuente destrucción de propiedades, con riesgos de pérdidas de vidas humanas.

Siendo de gran importancia definir en lo posible, el abastecimiento total, las pérdidas totales y el balance neto entre el material natural abastecido y las pérdidas.

Con el propósito de efectuar un análisis y cuantificar las condiciones de cualquier playa o región, es necesario emplear el mayor número de datos disponibles observados, referentes al acarreo litoral y su transporte.

Aunque en la generalidad no es posible obtener conclusiones bien definidas, -- en muchos casos, una investigación cuidadosa proporciona conocimientos, -- los cuales no dan lugar a conjeturas.

La información necesaria se puede dividir en tres categorías básicas, que -- son:

- 1a. - Fuentes de abastecimiento de materiales de litoral.
- 2a. - Modos y dirección del transporte litoral.
- 3a. - Gastos de abastecimientos y pérdida de material.

2.1.1 Origen del Transporte Litoral o Fuentes de Abastecimiento de Materiales

Las tres principales fuentes de abastecimiento de material para cualquier -- tramo de playa son:

- 1) Material que se desplaza dentro del área por "transporte litoral natural" desde áreas de playas adyacentes.
- 2) Contribuciones por corrientes.
- 3) Contribuciones debido a erosión en formaciones costeras diferentes a las playas, expuestas a la acción del oleaje.

Independientemente de estas tres fuentes, se puede presentar ocasionalmente algún movimiento neto de material lejano a la playa, aparte del normal estacional o de otras fluctuaciones periódicas. Esto puede ocurrir debido a cambios permanentes o de largo período en el nivel del agua.

Ahora bien, si se considera a las costas como un todo, la conservación de las playas puede lograrse a expensas de la erosión de la masa terrestre.

2.1.2 Contribuciones por Transporte Litoral

Para cualquier tramo de playa, el mayor abastecimiento de material que llega a ella, es generalmente acarreo litoral erosionado de un tramo de playa adyacente, a menos que una corriente de sedimentos mayor, entre en el tramo estudiado, o que la erosión sobre una duna, sea lo suficientemente rápida como para proveer un abastecimiento apreciable. Para determinar la fuente de abastecimiento, debe tenerse cuidado, ya que el material que constituye una playa determinada puede ser el producto de una o varias zonas de abastecimiento.

Un estudio de los alrededores de la playa, la relativa disponibilidad de material en las posibles áreas de abastecimiento, los agentes activos de erosión y las condiciones favorables para el transporte de material, desde las zonas de abastecimiento hasta el lugar de la playa, indicarán generalmente la fuente o fuentes de abastecimientos.

El análisis petrográfico de las muestras del material tanto litoral como de las posibles fuentes de abastecimiento, debe establecer una correlación en el contenido mineral.

2.1.3 Contribuciones por Corrientes

Estas contribuciones pueden determinarse por los siguientes métodos generales.

- a) Mediciones directas.
- b) Estudios de sedimentos.
- c) Cálculo de la capacidad de transporte de sedimentos de las corrientes.

En la actualidad, el único método confiable es el método de medición directa.

Una buena medición directa, debe efectuarse bajo ciertas condiciones; también es adecuado efectuar mediciones comparativas en las playas (seccionamientos), para determinar la cantidad de material con que contribuyen las corrientes que continuamente llegan a éstas, o efectuarlas por períodos largos en aquellas donde las corrientes terminan por formar canales navegables u otros depósitos naturales de sedimentos. Siendo necesario tomar en cuenta alguna corrección por sedimentos depositados fuera del canal o almacenamiento, por material que sale debido al transporte litoral natural entre cada seccionamiento, y por material removido artificialmente del área en estudio durante el mantenimiento de canales de navegación y almacena-

mientos.

Las investigaciones deberán mostrar que los orígenes de los materiales que constituyen las playas, son almacenamientos tributarios que drenan a la playa o playas consideradas; si la medición directa es difícil de obtener, se requerirá de un estudio geológico detallado de dichos almacenamientos. Un estudio como el que se menciona, debe de incluir datos de fisiografía, hidrología, petrología y sedimentología, así como el gasto de sedimentos deducido de mediciones o de valores estimados de sedimentación terrestre.

Aún existiendo datos confiables de la variación de sedimentación terrestre, puede ser muy complicado hacer una estimación de cuanto material llega a la playa.

La medición de pérdidas, deberá ser indirecta; si las corrientes están degradando o parecen estar normales, se puede suponer que todo el material llegará al final a la playa, pero si las corrientes están aumentando el fondo, deberán estimarse las variaciones de depósitos a lo largo del canal y restarse las pérdidas de la sedimentación total para determinar el abastecimiento neto de sedimentos a las playas.

2.1.4 Contribuciones por Erosión de Formaciones Costeras

La erosión de formaciones costeras, es otra fuente importante de abastecimiento de material playero.

Mientras que una berma de playa se encuentra entre la formación costera y la acción del oleaje, esta formación contribuye un poco con el abastecimiento litoral. En los lugares donde no hay berma, el mar ataca las formaciones costera, provocando serias erosiones a la línea de costa.

Pudiéndose estimar el volumen de contribuciones por erosión, solamente a través de mediciones comparativas (seccionamiento periódicos), se puede observar que las formaciones costeras con frecuencia contienen mucho material demasiado fino para permanecer sobre la playa.

La proporción del material playero abastecido, respecto al total del material erosionado, puede determinarse por un análisis de mecánica de suelos de una muestra compuesta, debiéndose estar representado cada estrato en proporción a su espesor, requiriéndose de un estudio geológico en aquellos lugares donde la erosión de formaciones costeras es de importancia.

La amplitud de los trabajos de campo e investigación, dependerá de la importancia de la erosión sobre las formaciones costeras como una fuente de abastecimiento de material litoral.

2.1.5 Tipos de Transporte Litoral

Es de suma importancia hacer un análisis sobre el arrastre de material que se efectúa en una playa, especialmente si la zona a considerar es la boca de una laguna o de un estuario, o si se planea la construcción de una obra marítima.

tima que modifique la configuración costera; aún sabiendo que las olas y las corrientes proporcionan las fuerzas necesarias para mover el material litoral, la mecánica del transporte litoral no se conoce con precisión, pero puede establecerse en general, que el movimiento de los granos de material se da en dos direcciones:

- a) Una dirección normal.
- b) Una dirección longitudinal a la playa.

Teniéndose además que la forma en que los granos del material litoral se mueve, es por alguno de los tipos básicos de transporte que se mencionan a continuación:

a) Movimiento en la zona de lavado o estrán, que generalmente es en zig-zag o diente de sierra, en dirección de la incidencia del oleaje (por arrastre), este movimiento está determinado por:

- 1. - Movimiento de arena ascendente.
- 2. - Movimiento de arena descendente por la línea de máxima pendiente.

(Ver figura No. 2).

b) Por medio de corrientes paralelas a la línea de playa, también conocidas como corrientes litorales provocadas hacia el ángulo de incidencia del oleaje (Ver figura No. 2) generándose el movimiento desde la primera línea de rompientes hasta la playa (el movimiento se produce en el fondo y por suspensión).

c) En la zona de rompientes, al producirse una gran disipación de energía,

da lugar a una gran turbulencia, motivando con ello que el material permanezca en suspensión.

d) Por corrientes de retorno (normal a la playa), este movimiento se origina para compensar el transporte de masa, que ocurre del mar a la playa, y la corriente que así se produce, es capaz de arrastrar grandes cantidades de material hacia zonas más profundas.

Tomando en cuenta que la dirección y el valor del transporte litoral depende principalmente de la dirección y energía de las olas que llegan a la playa, y sin tomar en consideración el tipo de transporte, existen algunas excepciones como en los estrechos de playa adjuntas a entradas de marea, en donde las corrientes por marea dominan.

La energía necesaria para erosionar sedimentos como son las originadas por el oleaje, la corriente litoral y la corriente por marea, debe ser expresada en función de la velocidad necesaria para erosionar partículas de una capa sedimentaria. Siendo esta energía cuantificable, ya que es la velocidad necesaria para erosionar partículas sedimentarias.

2.2.1 Dirección del Transporte Litoral

La dirección del transporte litoral, puede ser determinada mediante la observación de la configuración playera, cercana a estructuras existentes, --

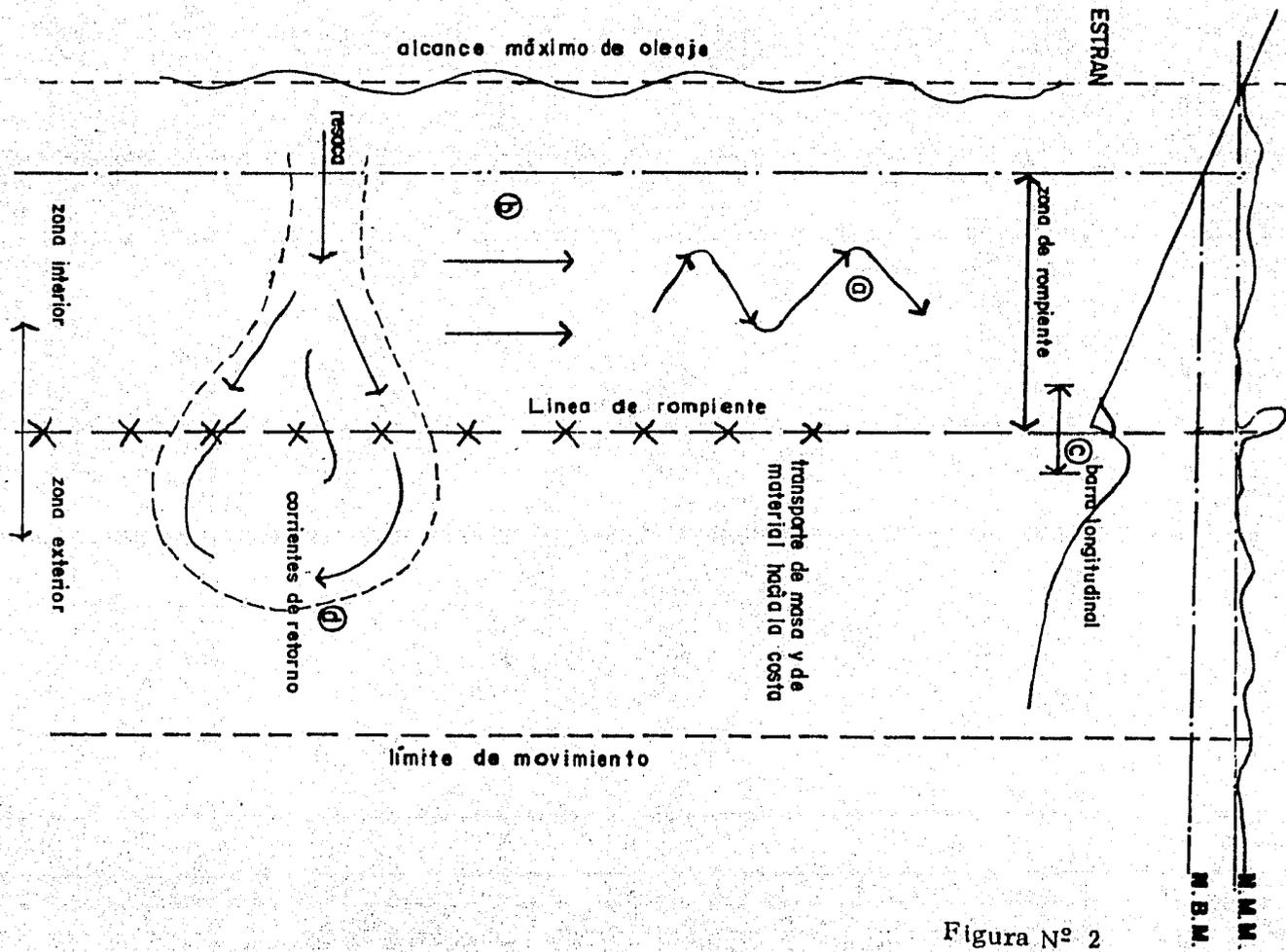


Figura Nº 2

siendo necesario conocer también la dirección predominante del transporte, sobre un ciclo climático normal, implicando esto, la construcción o localización de barreras litorales en las cuales el transporte litoral cambia de dirección.

Como los métodos que se emplean en la determinación de la dirección del transporte pueden cambiar de un lugar a otro, la obtención de las direcciones predominantes del transporte y la localización de barreras litorales, se efectúan mediante el análisis de algunos factores como son: el análisis estadístico de la energía del oleaje; la medición de corrientes y efectos de azolve o erosión en las estructuras existentes, así como algunos otros factores.

2.2.2 Análisis del Oleaje

El análisis de las componentes de la energía del oleaje que actúan sobre la zona litoral, permite hacer la deducción de la dirección y el valor de la energía de la componente que actúa a lo largo de la playa, siendo ésta la fuerza principal para el transporte litoral.

Anteriormente, no se tenían aparatos para medir satisfactoriamente la dirección del oleaje, por lo que no se podía obtener una recopilación continua de datos, los cuales pudieran usarse con este propósito. En la actualidad existen aparatos que pueden dar este tipo de información, aunque son aparatos sofisticados en los que su uso requiere mucho cuidado y en la generalidad -

son muy costosos, por lo que en la mayoría de los casos se emplean y se han empleado dos métodos para el desarrollo de datos estadísticos del oleaje. El primero, mediante reportes de embarcaciones durante largos periodos, recopilados por la Oficina Oceanográfica de los Estados Unidos y publicados con el título de "Sea and Swell Charts". El segundo método aplicado primero por Scripps Institution of Oceanography, en la costa de California, y posteriormente por Beach Erosion Board para los Grandes Lagos, una porción de la costa norte del Atlántico y la costa del Golfo, contiene la aplicación de técnicas de predicción de oleaje para producir estadísticas del oleaje a partir de cartas sinópticas del tiempo.

Ambos métodos, proporcionan datos estadísticos sobre alturas y direcciones de oleaje en aguas profundas. El segundo método proporciona también los periodos del oleaje, asociados con la altura y dirección, permitiendo la evaluación de la energía.

2.2.3 Medición de Corrientes

La medición de las corrientes litorales dan una indicación de la dirección del transporte litoral; sin embargo, estas mediciones requieren demasiado tiempo y con frecuencia son poco confiables.

Las mediciones deben hacerse en intervalos frecuentes durante un año, para que sean de algún valor; si se observan inversiones en la dirección y va-

riaciones en la velocidad del viento, dichas mediciones no pueden evaluarse en terminos de acarreo litoral. Los métodos más comunes empleados para obtener la dirección y velocidad de las corrientes son, el uso de flotadores fuera de la zona de rompientes y material colorante fluorescente o globos dentro de la zona de rompientes.

La localización de los flotadores, puede hacerse mediante intersecciones con tránsitos, a intervalos regulares. Estas mediciones se continúan generalmente a lo largo de uno o varios ciclos de marea.

Debido al corto tiempo de observación, este tipo de medición de corrientes no refleja los cambios estacionales y se puede emplear solamente en conexión con otras observaciones.

2.2.4 Efectos de Azolve o Erosión en las Estructuras Existentes

Los efectos producidos por estructuras existentes, proporcionan medios más confiables para la determinación de las características del transporte litoral, como es el caso de las evidencias que se presentan en algunos espigones construidos en diversos lugares del mundo, que sirven como indicadores de la dirección del transporte litoral, en los cuales, para poder determinar la dirección predominante, se requiere de observaciones periódicas, cuando menos durante un año, con el fin de evitar errores de interpretación debidos a efectos estacionales.

Considerando que estas evidencias también se presentan en rompeolas y escol^uleras, los volúmenes de azolve son generalmente lo suficientemente grandes, de tal manera que la condición que se observa en un determinado momento, - probablemente sea indicativa de la dirección predominante del transporte lito^ural, con incrementos variables que muestran el factor denominado "variabili^udad de dirección".

2.2.5 Gasto de Transporte Litoral

Siendo el gasto un factor importante, tanto como la dirección del movimiento del acarreo litoral para el diseño funcional y estructural de las obras de pro^utección de costas, éste puede ser medido con bastante exactitud, únicamente en una barrera litoral artificial completa.

En tales barreras, este gasto puede ser calculado midiendo a la vez el azolve en el lado del sentido del acarreo, como la erosión en el lado opuesto.

Los azolves pueden medirse en barreras parciales, ya que no se ha ideado - un método para determinar qué proporción del acarreo litoral total es atrapa^udo por una barrera parcial. Hasta que un nuevo método sea ideado, la cuanti^uficación del volumen de material atrapado por espigones o escol^uleras cortas, no es adecuado para que sirva de base para determinar el gasto de transpor^ute litoral, sin embargo, el gasto del transporte se determina midiendo la - - cantidad de azolve o erosión ocurrida durante un lapso conocido, realizando

mediciones aproximadamente cada año y en la misma época; esto es con el fin de hacer una compensación por cambios estacionales; el gasto de transporte debe expresarse siempre en volumen de acarreo por unidad de tiempo, generalmente un año.

2.3.1 Pérdidas de Material Litoral

Los procesos principales de pérdidas de material litoral desde una zona playera específica son:

- a) Movimiento del material hacia el mar en las cuales dicho material es pérdida del abastecimiento litoral.
- b) Desplazamiento del material fuera del área por medio de un movimiento lateral.
- c) Pérdida de material en fosas submarinas.
- d) Pérdida de material por deflación.

La pérdida de material por abrasión de la arena, se ha encontrado que es de poca importancia.

En las zonas donde hay playas con barreras angostas y relativamente bajas cantidades significativas de material costero, puede ser acarreado sobre las dunas durante las tormentas y depositado en la parte posterior o en las lagunas.

CAPITULO III

MÉTODOS RELACIONADOS CON LA INVESTIGACION DEL TRANSPORTE LITORAL

3.1 Métodos Existentes Para la Obtención del Transporte

En lo que respecta a la ingeniería marítima, de puertos y de costas principalmente, siempre se ha buscado el procedimiento más adecuado para poder evaluar correctamente el transporte litoral, ya que éste es de mucha importancia para el diseño de obras marítimas.

En la actualidad existen varios métodos que se han utilizado y en los cuales se ha observado que los resultados obtenidos tienen un cierto grado de confiabilidad. Estos métodos o procedimientos pueden ser de tipo teórico (laboratorio) o de campo.

Debido a que el acarreo litoral en las costas se determina por medio de una gran cantidad de parámetros, los cuales registran diferencias de una costa a otra; la aplicación de un método determinado pueden resultar un poco incierta, por lo que en base a experiencias es muy conveniente hacer la correlación de resultados en la evaluación del acarreo por los métodos teórico y práctico, ya que esto proporciona una mejor estimación de resultados en la realización del estudio.

3.1.1 Métodos Teóricos o de Laboratorio

Estos métodos se basan primordialmente en fórmulas matemáticas o en modelos a escala; el uso de estos métodos es más generalizado debido a la fácil

obtención de las variables que se utilizan en su aplicación, pero se debe tomar en cuenta que la obtención de una expresión matemática que represente el monto del transporte litoral, ha sido a base de correcciones empíricas - de coeficientes.

Las investigaciones de este tipo, así como las fórmulas obtenidas, son factibles de corregir y afinar con datos de campo, como son la determinación de levantamientos topográficos, aéreos, datos de oleaje, análisis de diagramas de refracción, mediciones de corrientes, muestreo de sedimentos, determinación de salinidad, etc., donde se aplican en un área distinta a la que originalmente fueron efectuados.

La corrección generalmente es necesaria, ya que las condiciones de tamaño de grano, estadística de la población, densidad y forma de material, régimen de oleaje y geomorfología, son diferentes.

Las diversas aproximaciones que se han logrado, varían desde las que consideran únicamente el oleaje producido localmente hasta las que consideran corriente litoral, tamaño y forma del grano, oleaje distante, etc.

Existen algunas fórmulas que evalúan el transporte, considerando solamente la energía del oleaje. Este conjunto de fórmulas consideran el transporte total sin diferenciar si es en suspensión o de fondo y, relacionan la energía del oleaje por unidad de longitud de playa con el volumen transportado en un intervalo de tiempo; estas fórmulas se desarrollaron para resolver un problema específico, algunas veces son aplicables sin hacer ajustes, pe

ro es recomendable comparar con mediciones directas del campo y ajustar los coeficientes o los exponentes.

A continuación se enumeran algunas de las fórmulas que en base a la aplicación de diversos parámetros, es posible obtener el transporte litoral.

a.1) Fórmula de Cadwell

$$Q_s = 210 E^{0.8}$$

donde "Qs" está dado en yardas cúbicas por día y

"E" está en millones de libras-pie por día y por pie de playa

Para sistema métrico:

$$Q_s = 2068 H^2 \frac{L}{T} n \sin \alpha \cos \alpha^{0.8}$$

$$Q_s = \text{en m}^3/\text{día}$$

n = 1 para aguas someras

n = 1/2 para aguas profundas

a.2) Fórmula de Coastal Engineering Research Center

El C.E.R.C. propuso originalmente una ecuación similar a la anterior:

$$Q_s = 125 E$$

en la que Qs y E están en las mismas unidades. Para sistema métrico la fórmula está dada por:

$$Q_s = 1819 H_0^2 T K r^2 \sin \alpha \cos \alpha$$

Fórmula a la que se le hicieron algunas modificaciones, quedando de la siguiente manera:

$$Q_s = 7.5 \times 10^3 P/S$$

donde P/S es el factor de flujo a lo largo de la costa (en pies-libra/segundo/ - /pie de playa) y es proporcional al flujo de energía P , calculado para una onda periódica simple (teoría senoidal)

$$P = ECg$$

donde

$$E = \text{energía específica de la ola} = \gamma H^2/8$$

$$Cg = \text{Celeridad de grupo}$$

a. 3) Fórmula de Watts

$$Q_s = 240 E^{0.9}$$

a. 4) Fórmula de Lee

$$Q_s = KE^{-0.97}$$

a. 5) Fórmula de Larras

$$Q_s = K_g H^2 T \sin 7/4 \alpha$$

donde

$$Q_s \text{ está en m}^3/\text{seg y}$$

$$K = 1.18 \times 10^{-6} D^{1/2} L_0/H_0$$

dependiendo de la esbeltez de la onda o H_0/L_0 expresada en metros y el D -- diámetro del material en milímetros.

a. 6) Fórmula de Pynchine

$$Q_s = 1.2 \times 10^{-6} H^2 L (g/D)^{1/2} \sin 2\alpha$$

donde

$$Q_s = \text{m}^3/\text{seg si } H, L \text{ y } D \text{ están en metros.}$$

Otra forma de determinar el acarreo es por medio de modelos experimentales, siendo los más usuales los tanques de olas con fondo móvil, pues en estos se puede reproducir y hasta cambiar las variables que intervienen en los procesos costeros, por lo que son de gran ayuda en investigaciones puras, - más no así en las aplicadas, ya que es sumamente difícil el reproducir todas las variables de un lugar determinado, sin embargo, se han realizado mediciones de transporte litoral por medio de modelos, los cuales han sido complementados con trabajos de campo.

3.1.2 Métodos de Campo

Los métodos directos de medición sirven para ajustar las fórmulas empíricas que se han desarrollado. La necesidad de efectuar estas mediciones se debe a las diferencias numéricas que existen cuando se aplican dichas fórmulas en sitios diferentes de donde se obtuvieron, puesto que los materiales son distintos, ya que intervienen los efectos locales, por lo que es recomendable efectuar una serie de trabajos previos, tales como batimetrías, análisis granulométrico, análisis de vientos locales, observación de oleaje, mareas y medición de corrientes, por lo que se procura obtener la cuantificación del material que se mueve en el fondo como en suspensión, a la vez que se toman mediciones de velocidad, graficando líneas de igual concentración y líneas de igual velocidad en perfiles perpendiculares a la costa. Estas mediciones deberán cubrir como mínimo un año.

Los métodos de campo para medir el arrastre litoral más utilizados son:

- A) Espigones de prueba
- B) Dragado de prueba
- C) Trampas de arena
- D) Trazadores

siendo los principales objetivos de estas mediciones:

- a) Comparar la utilidad de fórmulas existentes para conocer su rango de aplicación en el sitio y en el caso de que los resultados no fueran satisfactorios, deberán corregirse mediante coeficientes y/o exponentes, o bien de desarrollar una nueva expresión.
- b) Completar la calibración de un modelo físico o de uno matemático que representen la zona en estudio. Con estos modelos se puede predecir el comportamiento probable de la zona en la que se construye una obra.
- c) Obtener en un ciclo completo de mediciones (un año mínimo), la distribución de gastos sólidos, gráficas con curvas de igual concentración de material en suspensión y curvas de igual velocidad de corriente a lo largo de un perfil perpendicular a la costa, conociendo, además, el intervalo de tiempo durante el cual prevalecieron esas mismas condiciones.

3.1.3 Espigones de Prueba

Este método de predicción consiste en construir una barrera artificial (cualquiera que sea, aunque son más usuales los espigones perpendiculares a la costa), que impida el paso de material y, en obtener batimetrías periódicas

una antes de construirlo, otras durante su construcción y varias más durante la vida útil del espigón.

Los espigones, aunque en el campo no se construyen completamente impermeables, se puede lograr que casi lo sean en un corto tiempo, ya que los orificios del espigón se obstruyen con los primeros granos de arena que llegan. La altura debe ser tal que garantice que el material no pase por arriba de él, aún en tormentas. La longitud comprende de la línea de costa hacia el mar adentro como hacia tierra, y con ella se debe garantizar que el material no pase por ninguno de sus extremos. La longitud hacia el mar debe abarcar toda la zona de rompientes y la longitud hacia tierra depende del tipo de costa.

La obtención de las batimetrías, se hace generalmente del lado del espigón, donde se acumula material, aunque en ocasiones se hace en ambos lados. Una vez obtenidas las batimetrías, por comparación de volumen, se obtienen las cantidades de material acumulado de un lado y el erosionado del otro. Estas batimetrías se obtienen mensualmente, quincenalmente o por días, dependiendo de la exactitud requerida y de la variación estacional del perfil, esto es, la intensidad del transporte litoral.

Este método es costoso y tiene la desventaja de que altera las condiciones naturales del equilibrio y sólo es aplicable y económico si pasa a formar parte de una escollera que se construya en dicho lugar.

Con la aplicación de este método, es posible conocer los volúmenes netos

de material que son arrastrados en intervalos de tiempos grandes (un mes, seis meses, un año), y difícilmente sirven para obtener fórmulas de arrastre.

3.1.4 Dragado de Prueba

Este método es análogo al anterior, ya que la barrera artificial la constituye una fosa en el fondo. Este método tiene más desventaja que el anterior cuando se aplica en playas, pues la fosa le llega arena de todas direcciones. Además presenta serias dificultades durante la excavación y no siempre es un método económico. Se utiliza con ventaja en la entrada de puertos, de esteros o en canales de navegación, cuando hay una dirección principal de arrastre.

Se recomienda utilizarlo en obras ya construidas, ya que ayuda a definir criterios de dragado y sirve como comprobación de los resultados obtenidos en estudios previos.

3.1.5 Trampas de Arena

Las trampas de arena son dispositivos en los que se trata de obtener una muestra que represente las características del transporte litoral sin que éste se vea afectado por la presencia de las mismas. Existen trampas para material en suspensión y para material de fondo; su efectividad dependerá de la eficiencia de la captura, sin alterar las condiciones existentes. Las

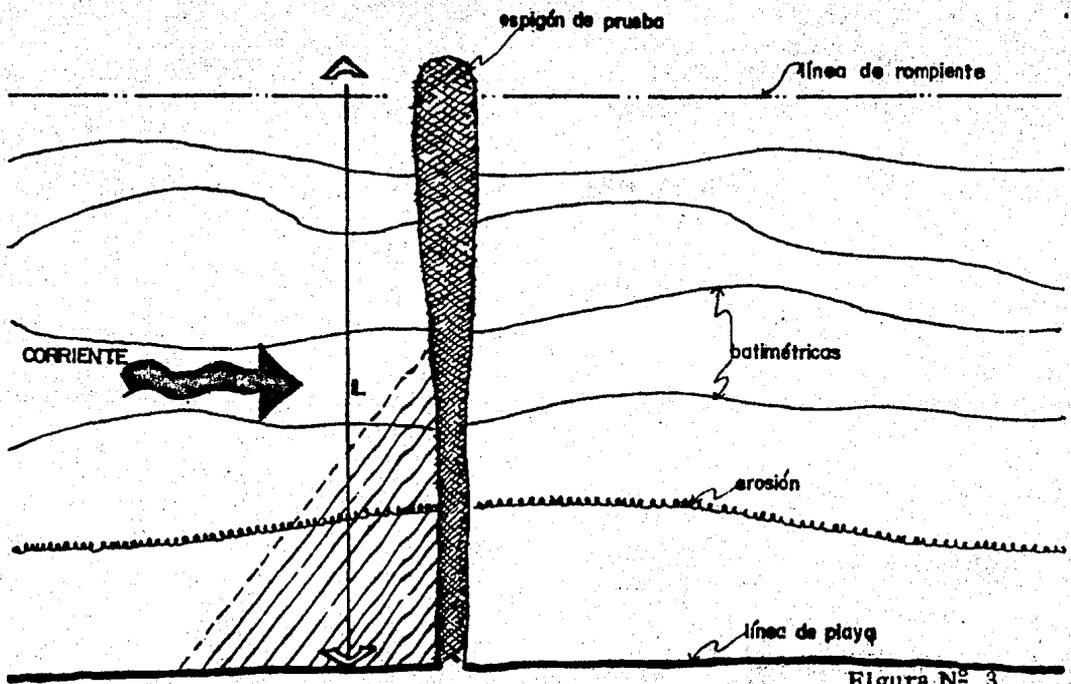


Figura N^o 3

trampas para material de fondo consisten principalmente de un recipiente en terrado en el fondo, mientras que las trampas para material en suspensión se colocan entre el fondo y la superficie libre.

3.1.5.a Trampas de Material que es Transportado por el Fondo

Existen muchos diseños diferentes de trampas de arena para materiales que son arrastrados en el fondo. Los que han sido utilizados en el Instituto de In geniería consisten en recipientes circulares con capacidad aproximada de -- 60 a 200 lt, los cuales van enterrados a lo largo de la línea perpendicular a la playa, separados a una distancia constante entre 10 y 100 m, dependiendo del perfil playero. Una vez enterrados, se deja abierta la capa superior, la cual queda ligeramente abajo del fondo de la playa.

Si en la trampa se garantiza que el material que entra no tiene oportunidad de salir, entonces el material atrapado corresponde a una muestra repre - sentativa del transporte litoral; si por el contrario, el material puede salir formando parte del material en suspensión, el material atrapado correspon de a una muestra del arrastrado por el fondo.

El método de muestreo consiste en tomar el tiempo que tarda en llenarse - cada trampa o en estimar el volumen de arena atrapada en diferentes inter - valos de tiempo.

En forma independiente, es necesario observar la dirección predominante - de donde viene el material. Conociendo el volumen depositado, el tiempo --

transcurrido y la dirección de donde viene el material, se obtiene el gasto sólido, ya sea el total o por el fondo, que se pueden asociar a unas determinadas condiciones oceánicas.

Al estudiar los volúmenes almacenados en todas las trampas de una sección, se conocerá el gasto a todo lo ancho de la playa.

3. 1. 5. b Trampas Para el Material que se Transporta en Suspensión

Estas trampas son dispositivos de forma muy variable, que se colocan a diferentes profundidades; con ellas se trata de relacionar la cantidad de material que atrapen con la cantidad de material en suspensión en movimiento, - este último dato, con las características medias de oleaje y corrientes.

- a) Muestreador tipo Bambú
- b) Recipientes Van Dorn
- c) Tubería de Succión.

3. 2. 1 Uso de Trazadores

Como se mencionó en el primer capítulo, durante muchos años se han buscado métodos para trazar a los sedimentos, pues se hacían investigaciones sobre los componentes mineralógicos de éstos y así poder determinar la presencia de algún componente o encontrar alguna relación única de varios componentes, con el fin de obtener un material mineral que pudiera ser empleado como trazador natural.

En la generalidad de los casos, los trazadores son partículas de arena obtenidas del lugar de estudio, mismas que se marcan para poder seguir su trayectoria, ya que éstos son efectivos para informar la dirección del transporte y algunas veces la cantidad del mismo.

El marcado de estas arenas puede hacerse mediante métodos radioactivos o fluorescentes.

La técnica consiste en sembrar los granos marcados y colectarlos a tiempos prefijados, obteniendo así líneas de concentración. La recolección puede ser superficial usando tarjetas con algún aditivo, las cuales son apoyadas en el fondo para fijar el material, o haciendo núcleos en los que se analizan los trazadores por capas. El conteo se hace para los fluorescentes visualmente, y para los radioactivos, mediante contador geiger.

Con estos dos métodos se pueden realizar siembras simultáneas, cambiando el color en unos y en otros la longitud de emisión de ondas gamma.

3.2.2 Características de los Trazadores

Sabiendo que el material a utilizar como trazador puede ser marcado por medio de radioactividad o por medio de algún elemento fluorescente, deben reunir ciertos requerimientos como son:

- a) Una partícula marcada y otra partícula no marcado, deben reaccionar de la misma forma a las fuerzas responsables del movimiento de sedimentos.

- b) Las propiedades físicas y químicas de las partículas trazadoras, deben -- ser distinguibles y/o defectables con equipo apropiado.

Dependiendo de la precisión deseada de los datos y de la sensibilidad de -- los dispositivos de medición, la cantidad de material trazador debe ser -- seleccionada.

- c) El trazador en la partícula sólida debe ser durable, durante un mínimo de tiempo o sobre el cual se requiera o dure el experimento.
- d) El trazador no debe ser peligroso o nocivo para el ambiente biológico.
- e) El costo de producción de partículas trazadas, debe ser económico.

3.2.3 Trazadores Radioactivos

La identificación de las partículas sólidas con un trazado radioactivo, puede ser obtenida de maneras diferentes.

Un método es de irradiación, en el que se supone existe un isótopo inactivo -- en una partícula natural o artificial; por medio de este método en un reactor nuclear, este isótopo podrá ser activado para después emitir una radiación -- detectable. La fabricación de sedimentos artificiales es a base de vidrio, ya que este tiene la misma densidad que el cuarzo. A este cristal (vidrio), se -- le incorpora un isótopo inactivo, al vidrio se le muele y clasifica, seleccio -- nando una distribución de tamaños que iguale al sedimento por investigarse. El cristal molido es irradiado inmediatamente antes de hacer la prueba. En --

el fondo del mar se hace una inyección puntual de material radioactivo; cierto tiempo después se efectúa el muestreo en la zona con un contador de actividad radioactiva, que completada en su ubicación con base en el apoyo terrestre, permite obtener curvas de isoconteo.

En este tipo de trabajo se debe tomar en cuenta ciertas precauciones:

- a) Limitar la cantidad del material radioactivo en el medio en que se va a trabajar, de tal forma que no exceda el límite máximo admisible de radiación.
- b) Proteger cuidadosamente el material radioactivo en su manejo, transporación y colocación, para evitar cualquier derrame de dicho material.
- c) Garantizar la seguridad del personal que intervendrá en el experimento, así como dotarlo del equipo indispensable de trabajo como monitores portátiles de radiación, dosímetros individuales, ropa de protección adecuada, herramientas, equipo para instrumentos contaminados y de descontaminación.

3.2.4 Trazadores Fluorescentes

Los trazadores fluorescentes consisten en granos de arena pintados con pintura de color fluorescente, los cuales pueden ser identificados al exponerlos a la luz ultravioleta.

En el lugar donde se llevará a cabo el experimento, se debe localizar pre -

viamente los puntos de inyección y de muestreo, los cuales son señalados a decuadamente con la ayuda de una cinta y un tránsito.

Antes de realizar la prueba, se debe recolectar arena de los sitios donde se va a depositar para posteriormente marcarla. El inicio de la prueba - - principia con la inyección del material marcado en puntos ya establecidos, efectuándose a continuación muestreos en todos estos puntos, a intervalos de tiempo fijados con anterioridad, dependiendo de las condiciones de co - rriente y oleaje en el sitio. Si la corriente litoral es fuerte, los muestreos se hacen más seguidos y las secciones de muestreo se separan.

3.2.5 Comparación Entre Trazado Fluorescente y Radioactivo; Ventajas y Desventajas

Producción de trazado fluorescente. - Estos se pueden producir en cual -- quier lugar que se necesite, sin riesgo de afectar la salud.

Producción de trazador radioactivo. - El proceso de irradiación debe efec - tuarse en instalaciones especiales, en las que se requieren varias medidas de seguridad.

Tipos de trazado fluorescente. - Existe una amplia variedad y pocos son los colores principales.

Tipos de trazado radioactivo. - Se prefieren emisores de gran variedad - - con duración media.

Costos de trazado fluorescente. - Relativamente económico.

Costos de trazado radioactivo. - Generalmente alto, por el costo de los isótopos y toda clase de medidas de seguridad, estrictamente aplicadas por las agencias gubernamentales.

Embarque y almacenamiento de trazado fluorescente. - No existen problemas.

Embarque y almacenamiento de trazado radioactivo. - Se requiere de salvaguardas, recipientes y requerimientos de almacenamiento especiales.

Inyección en el trazado fluorescente. - No existen problemas.

Inyección en el trazado radioactivo. - Difícil por las precauciones de seguridad.

Tiempo de trazado fluorescente. - Los trazadores son muy duraderos cuando se utiliza algún tipo de resina, pero pueden contaminar las áreas de inyección durante años, existiendo otros de duración limitada, dependiendo de la exposición y del tipo de colorante empleado.

Tiempo de trazado radioactivo. - Existe cierto número de trazadores con vida media para emisión de rayos, desde algunos días hasta seis meses o más, generalmente es posible escoger un trazador con vida media, adecuada para cada propósito en particular.

Muestreo de trazado fluorescente. - Es necesario recoger muestras de superficie, secarlas y analizarlas en laboratorio.

Muestreo en el trazado radioactivo. - Es necesario trazar mediante un instrumento de fondo, por ejemplo un contador geiger o centellador.

Análisis en el trazado fluorescente. - El conteo de partículas es por observación visual, utilizando una lámpara ultravioleta.

Análisis en el trazado radioactivo. - La lectura en el contador geiger o analizador, da el resultado directamente y ocasionalmente se requiere de calibración a base de pruebas.

Exactitud en el trazado fluorescente. - Depende del número de muestra y de la exactitud del mismo procedimiento de análisis, ya que es difícil que el ojo humano cuente más de 3 ó 4 trazadores en una sola muestra. Las muestras deben estar completamente secas antes de analizarlas.

Exactitud en el trazado radioactivo. - Depende de la profundidad del disturbio o los arreglos del material en el fondo; para conseguir datos más confiables después de sacar las lecturas de la superficie, podría ser necesario sacar corazones y someterlos a análisis de laboratorio; la calibración a base de pruebas es posible bajo condiciones simplificadas.

Escala de utilización en el trazado fluorescente. - Funcionan mejor en baja escala.

Escala de utilización en el trazado radioactivo. - Funcionan mejor en gran escala.

CAPITULO IV

APLICACION DE TRAZADORES FLUORESCENTES

4.1 Localización del Area de Trabajo

El sitio donde se efectuó esta prueba, se localiza aproximadamente entre las latitudes $20^{\circ}45' N$ y la $20^{\circ}57' N$, en la zona costera del estado de Veracruz, siendo la superficie que cubre el lugar de 240 km^2 aproximadamente, lo que corresponde a una longitud de costa de 20 km y una franja de 12 km de ancho, esta área se conecta al norte con la desembocadura del Río Tuxpam y hacia el sur 6 km aproximadamente antes de la desembocadura del Río Cazones.

El sitio específico en donde se realizó la prueba fue en la poligonal playera en el kilómetro 10 + 000 y a 100 m al norte y al sur de éste, en donde se determinó la localización del canal de acceso al puerto.

4.1.1 Características Generales

En el estado de Veracruz y específicamente en Tuxpam, lugar donde se realizó este trabajo, se tiene un clima cálido tropical, con lluvias en verano; la temperatura promedio anual es de $26^{\circ} C$; el lugar en estudio está rodeado por esteros, algunas zonas están cubiertas por manglares, otras por bosques o montes bajos, y mar adentro se encuentran algunos arrecifes, así como varios bajos.

4.1.2 Clasificación del Sitio

En el lugar de prueba se encuentra una playa arenosa, en la que las principales características de esta arena, son las de ser fina, mal graduada y de color café claro grisáceo, teniéndose también que la zona de rompientes -- presenta varios frentes y en la generalidad nunca bien definidos, por lo que se dificultó la determinación del lugar exacto de inyección en los diferentes transectos localizados antes de realizar las pruebas.

4.1.3 Material Trazador

El elemento más importante en la determinación del acarreo litoral, por -- medio de trazadores fluorescentes, es el tipo de material empleado. En -- ocasiones se ha recurrido a la utilización del material artificial como es el caso del concreto triturado, el cual es igualado en lo que respecta a granulometría al del sitio; en la generalidad de los casos, como en el nuestro, -- se emplea el material natural.

4.1.4 Características de los Materiales Fluorescentes

Un requerimiento básico en el material que va a ser usado, es que tenga -- las mismas características físicas del material "in situ", con el cual se va a mezclar, siendo así parte integral del sustrato para poder dispersarse -- en forma similar; otra de las características, es que el material trazador_

se distinguirá sólo por su luminiscencia, siendo de importancia que los granos sean fácilmente identificables, esto es, que se pueda distinguir aproximadamente uno entre un millón de granos sin marcar.

4.1.5 Colorantes Empleados

En esta prueba se empleó como colorante una pintura "fluorescente" de tipo comercial, la cual resultó muy efectiva para el teñido del material; sin embargo, se tuvo el inconveniente del exceso de grasa en éste, dado que la pintura se rebajó con aguarrás, lo que ocasionó que el material quedara en esas condiciones. El problema fue resuelto lavando varias veces el material ya teñido con agua común y detergente.

4.2.1 Procedimiento Empleado en el Recubrimiento

Una vez obtenidas las muestras del material que se emplearon como elemento trazador, se procedió a realizar el secado de éste colocándolo sobre tiras de plástico expuesto a los rayos solares durante dos días (50 kg de arena), con el fin de eliminar lo más posible la humedad. Durante el tiempo del secado, el material se removió cada 45 o 60 minutos, con el propósito de lograr un secado uniforme; realizado este trabajo, se colocaron 10 kg del material en una tinaja de aproximadamente 40 lt de capacidad, al cual se le agregaron 2.4 lt de pintura rebajada, en una proporción de una parte

de pintura por tres de aguarrás; la mezcla arena-pintura se revolvió con las manos hasta observar que todos los granos quedaran pintados. Una vez obtenidos esto, se secó la arena en forma similar a la mencionada anteriormente y se pasó por un tamiz, con el fin de separar la conchilla y granos que pudiesen haberse formado durante la acción, finalmente se formaron grupos de 5 kg de material y se empacaron en bolsas de plástico, quedando así listas para la inyección.

4.2.2 Trabajos de Campo

Estos trabajos fueron realizados en la parte de la playa donde se planea ubicar el canal de acceso del puerto, los cuales se efectuaron en el mes de marzo de 1982; el proceso de recubrimiento de la arena se efectuó cerca del lugar de prueba, para así tener la seguridad de utilizar el tamaño de granos predominante para el tiempo en que se iba a realizar la inyección, ya que el diámetro medio de los granos, a lo largo de un perfil de playa, cambia con el transcurso del tiempo.

4.2.3 Inyección del Material Fluorescente

Existen diferentes métodos para la inyección del material trazador, uno de ellos es por medio de bolsas solubles de plástico, otro es mediante la dispersión del material en alguna zona del estrán o mediante los diferentes

aparatos utilizados para inyecciones de material radioactivo.

En nuestro caso, la inyección se hizo con bolsas de plástico con 5 kg de material trazador; dicho material se humedeció con agua de la zona de inyección y muestreo con el fin de lograr las mismas condiciones del material del sitio.

Las bolsas fueron colocadas directamente en la superficie del lecho y cortadas a un tiempo, tratando con esto de evitar la suspensión de granos, ya que serían transportados a una velocidad anormal, hasta que alcanzaran a sedimentarse nuevamente. Para esta prueba se emplearon 40 kg de material, repartidos de la siguiente manera:

10 kg en la zona de estrán, 10 colocadas entre la zona de estrán y la primera rompiente, 10 kg en la primera rompiente y las 10 restantes aproximadamente entre la primera y segunda rompiente.

4.2.4 Método Empleado Para el Muestreo

Existen también diferentes métodos de muestreo desarrollados en los trabajos de trazadores, como es el caso de pequeñas dragas Petersen, por observación directa de la superficie de la playa, con lámpara de rayos ultravioleta o el método en que se toma la muestra con un volumen constante -- (trampas), con pequeños cilindros de metal que penetran en la arena, -- siempre a una profundidad dada, o por el sistema de tarjetas cubiertas -- con vaselina.

En nuestro muestreo se empleó el sistema de tarjetas, que consiste en colocar una tarjeta de dimensiones conocidas, fijada con ligas a un muestreador que consta de una base de madera, al cual se le coloca una estaca.

El funcionamiento de este muestreador es muy simple, ya que sólo hay que presionar sobre la superficie de la arena, de tal forma que se obtenga un área impresa de la muestra de material inyectado, pudiéndose determinar dicha área.

Las dimensiones de las tarjetas fueron de un decímetro cuadrado, mismas que se cubrieron con vaselina, teniendo cuidado de que la capa de vaselina no fuese muy delgada o muy gruesa, ya que si ocurriera lo primero, se observarían una impresión poco uniforme y en el caso de una capa muy gruesa, se observarían grandes concentraciones de material, lo que dificultaría la detección de los granos fluorescentes existentes, en este caso y dado el clima imperante en la región, la vaselina fue transportada en una hielera con el fin de evitar que se licuara. Posteriormente, a las tarjetas le fueron anotadas la fecha, hora y lugar de muestreo (con un plumón indeleble), con el propósito de llevar un orden y facilitar la identificación de las zonas muestreadas.

Una vez marcadas y envaselinadas, fueron colocadas en un tablero muestreador, diseñado para colgar 20 tarjetas, teniendo este tablero un tamaño adecuado para facilitar así su transportación al sitio de muestreo.

4. 2. 5 Toma de Muestras

El arreglo de estaciones se decidió previamente en gabinete, en lugar de esperar a conocer la dirección de la corriente litoral, pues ésta podría obtenerse minutos antes de hacer la inyección y efectuar los muestreos.

Considerando esto, se pensó que se carecería de información al realizar los muestreos, lo cual se vio reflejado en la elaboración de los planos de dispersión.

Una vez localizadas las estaciones de muestreo, éstas se marcaban por medio de dos varillas, cada una con una bandera de color para poder facilitar su identificación; estas marcas se colocaron sólo en las dos primeras estaciones de cada transecto, localizando las demás por medio de una cuerda y alineándose con las dos banderas, a continuación se procedió a tomar la muestra en los puntos ya establecidos de la siguiente forma:

Una persona manejaba el muestreador, otra preparaba el siguiente con la nueva tarjeta; conjuntamente existían dos personas más, una que se alineaba y fijaba el nuevo punto a muestrear y otra que se encargaba de colocar las tarjetas ya marcadas en el tablero. Una vez que todas las tarjetas marcadas quedaban en el tablero, se procedía a colocarlas en una caja en el orden en que habían sido tomadas las muestras. El número de estaciones dentro de la zona de muestreo en esta prueba, fue de 20; la primera toma de muestras o ciclo, se inició aproximadamente una hora después de la inyección, dejándose pasar de 45 a 60 minutos, para continuar con el siguiente y así --

sucesivamente; el tiempo entre ciclo y ciclo se aprovechaba para cubrir de vaselina y marcar las tarjetas, así como de medir la corriente longitudinal y temperatura ambiental.

4.3 Determinación de Parámetros Playeros

Para poder tener una interpretación adecuada del resultado de la trayectoria de los trazadores, se obtuvieron durante la prueba ciertos factores que afectan el movimiento de las arenas, como son: perfiles de playa, medición de corrientes, oleaje, vientos y granulometrias.

4.3.1 Perfiles de Playa

Antes de realizarse la prueba, se efectuó un perfil de playa a lo largo de ésta, en cinco puntos diferentes; estos puntos fueron localizados a 50 y 100 metros al norte del eje del canal, en el eje y a 50 y 100 m al sur del eje; en cada levantamiento se consideraron hacia tierra de 10 a 15 m detrás de la mojonera de referencia y hacia el mar, aproximadamente hasta la batimétrica (-1), este levantamiento se realizó con nivel y cinta.

4.3.2 Medición de Corrientes

Como se mencionó anteriormente, la medición de corrientes da una indica

ción de la dirección del transporte, en el caso de las corrientes marinas, - generalmente son de efecto débil en la costa; las corrientes de marea de -- las lagunas litorales con acceso al mar y las corrientes de los ríos en los _ estuarios, ocasionan perturbaciones importantes en el régimen de acarreo de una costa, pues al romper la continuidad litoral y oponerse a la acción - del oleaje, pueden provocar fuertes depósitos y la formación de barras lito_ rales.

En el sitio de estudio, se midieron las corrientes por medio de flotadores, colocados entre la primera y segunda rompientes, los cuales fueron ras _ treados con dos tránsitos durante un tiempo determinado, obteniendo así el sentido y la velocidad de la corriente.

4.3.3 Oleaje

Se acepta que el oleaje provoca, en aguas profundas, un movimiento de las partículas de agua según trayectorias circulares de diámetro decreciente - con la profundidad, hasta desaparecer el movimiento, teóricamente en pro_ fundidad infinita.

Ahora bien, en el momento en que el tren de ondas empieza a sentir el - -- efecto del fondo, para una profundidad $d \approx L/2$ las trayectorias de las par_ tículas pasan de circulares a elípticas, como antes, las amplitudes del mo_ vimiento decrecen con la profundidad, pero con la particularidad de que en el fondo, si bien desaparece la componente vertical del movimiento, subsis_

te una componente horizontal, produciendo un movimiento alternativo de las partículas de agua cerca del fondo. Este movimiento es transmitido a los materiales que forman el fondo a través de la capa límite.

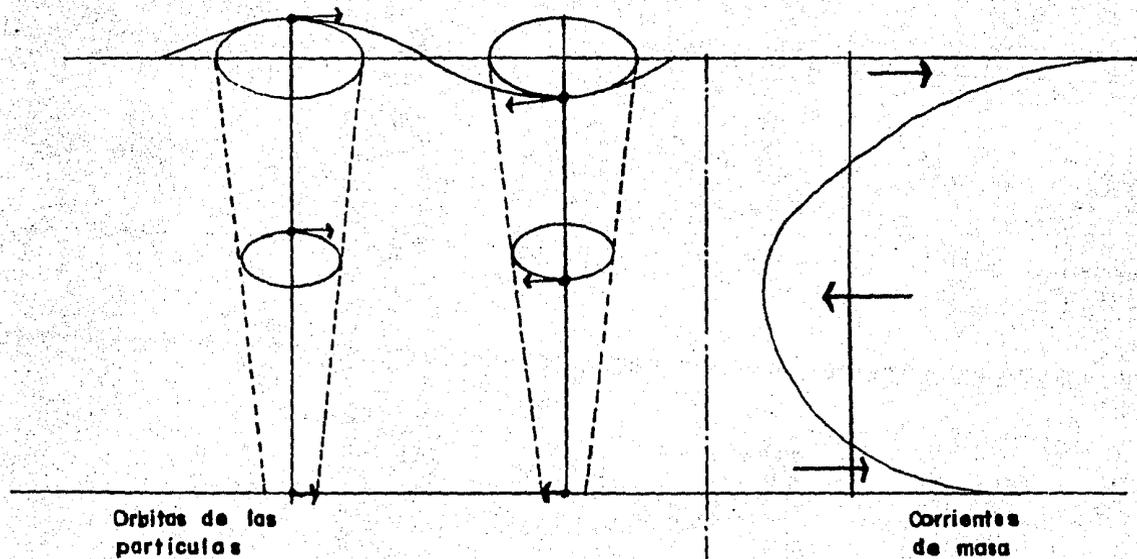
Asimismo, se ha comprobado que las trayectorias que siguen las partículas de agua, no son perfectamente cerradas, provocando en consecuencia un transporte de masa del agua hacia la costa.

Estas dos acciones del oleaje que se mencionan —efecto directo sobre el fondo y transporte de masa— intervienen en forma importante en el movimiento de sedimentos, por lo que se mencionan con más detalle a continuación.

a) Efecto directo sobre el fondo. - En el momento de su aparición, el movimiento provocado por el oleaje sobre el fondo, puede semejarse a un movimiento armónico simple, conservando las partículas de agua aproximadamente la misma posición media. Sin embargo, el movimiento no es estrictamente armónico, sino que empleando la segunda aproximación de la función potencial de Stokes para el oleaje en aguas reducidas, se obtiene una velocidad horizontal resultante, orientada hacia la costa; esta velocidad resultante aumenta a medida que disminuye la profundidad y es la causa directa del movimiento de los materiales de fondo hacia la costa.

Ahora bien, este movimiento no se transmite directamente a los materiales superficiales del fondo, ya que las partículas de sedimento se encuentran dentro de la capa viscosa formada en la superficie de contacto fondo-agua.

PROPAGACION DE LA ONDA



Orbitas de las partículas

Corrientes de masa

Figura N° 4

Figura N° 5

Esta capa puede visualizarse con aquella en que la velocidad de fondo -- provocada por el oleaje, disminuye a cero por efecto de viscosidad, -- amortiguando en consecuencia, el efecto del oleaje sobre el fondo. Así, el espesor de la capa depende de las características del oleaje.

La capa límite tenderá a seguir a las partículas de agua libre en su movimiento, y es importante determinar si el flujo en ésta es laminar o -- turbulento, ya que el estado de flujo afectará al movimiento de los sedimentos.

Así, una capa límite laminar, se puede desprejar el empuje vertical -- del agua y plantear el equilibrio de la partícula sólida en función de las -- fuerzas horizontales: fricción y cortante laminar sobre el grano. En -- cambio, en capa límite turbulenta, habrá que tomar en cuenta fuerzas -- verticales que pondrán en suspensión una cierta cantidad de material fi no y afectarán además la velocidad límite del movimiento.

Entonces, si consideramos un grano sólido sobre el fondo, que estará -- sujeto a la acción de un sistema de fuerzas constituido por su peso, la -- fricción contra las partículas vecinas y las fuerzas que le transmite el -- oleaje a través de la capa límite, o sea, un empuje horizontal y un empuje vertical hacia arriba.

A medida que son más intensas las acciones del oleaje antes mencionadas, el material del fondo atraviesa varias etapas de movimiento:

1. a) Movimiento Inicial. - Es el movimiento de unas cuantas partículas que sobresalen del fondo. El efecto del oleaje todavía es débil.
1. b) Movimiento General. - Se mueve una capa superficial de partículas sobre el fondo.
1. c) Formación de ondulaciones en el fondo. - Debe notarse que es a - - partir de esta etapa que se opina puede existir un transporte de material considerable; esta etapa implica además la existencia de una capa límite turbulenta.
1. d) Finalmente, si se llegan a producir velocidades mayores, desaparecen las ondulaciones y se observa el movimiento de una capa de material en suspensión sobre el fondo.

Cada una de estas etapas se iniciará para una determinada velocidad límite de movimiento sobre el fondo, calculada considerando la acción sobre los granos de las fuerzas enumeradas anteriormente.

Hasta el momento, se ha considerado el problema de transporte como - bidimensional en el plano normal al frente de la onda; sin embargo, en el caso más general de oleaje incidiendo oblicuo a la línea de costa, la ola al romper introduce una tercera dimensión al problema en conjunto, pues produce dos corrientes: una, en el plano antes considerado, que -- arrastra el material hacia la parte alta de la playa, regresando éste -- por efecto de gravedad, según la línea máxima pendiente hasta recibir el

el impulso del frente que sigue, resultando un transporte en "diente de sierra", y la segunda, paralela a la línea de rompientes, que puede visualizarse como un movimiento helicoidal de paso pequeño, transportando los sedimentos finos puestos en suspensión por la ola al romper, haciendo hincapié en la importancia de este aspecto del transporte, ya que para los problemas de acarreo litoral, es usual considerar como primera aproximación, que el transporte principal de materiales se lleva a cabo entre la línea de rompientes y el punto de alcance máximo del diente de sierra.

- b) Corrientes de masa. - El transporte de masa cerca de la costa, se manifiesta por corrientes dirigidas hacia la playa en las partes superior e inferior de la masa de agua, y por una corriente en sentido contrario - en la parte central de ésta. Estas corrientes son de pequeña intensidad, sin embargo, pueden transportar los sedimentos finos puestos en suspensión en régimen turbulento.

Se observará que si estos sedimentos llegan a la zona central de la masa líquida, pueden, incluso, ser transportados hacia aguas profundas.

Teniéndose en cuenta lo anterior, en la realización de esta prueba de transporte, el oleaje fue medido con un nivel colocado en la parte más alta de la playa, y un estadal que se encontraba alrededor de la batimétrica 1 a 1.5, en el cual se hicieron lecturas de cresta y valle después del muestreo durante tiempos determinados (cada 5 minutos durante - -

ETAPAS EN EL ACARREO DE SEDIMENTOS POR EL OLAJE

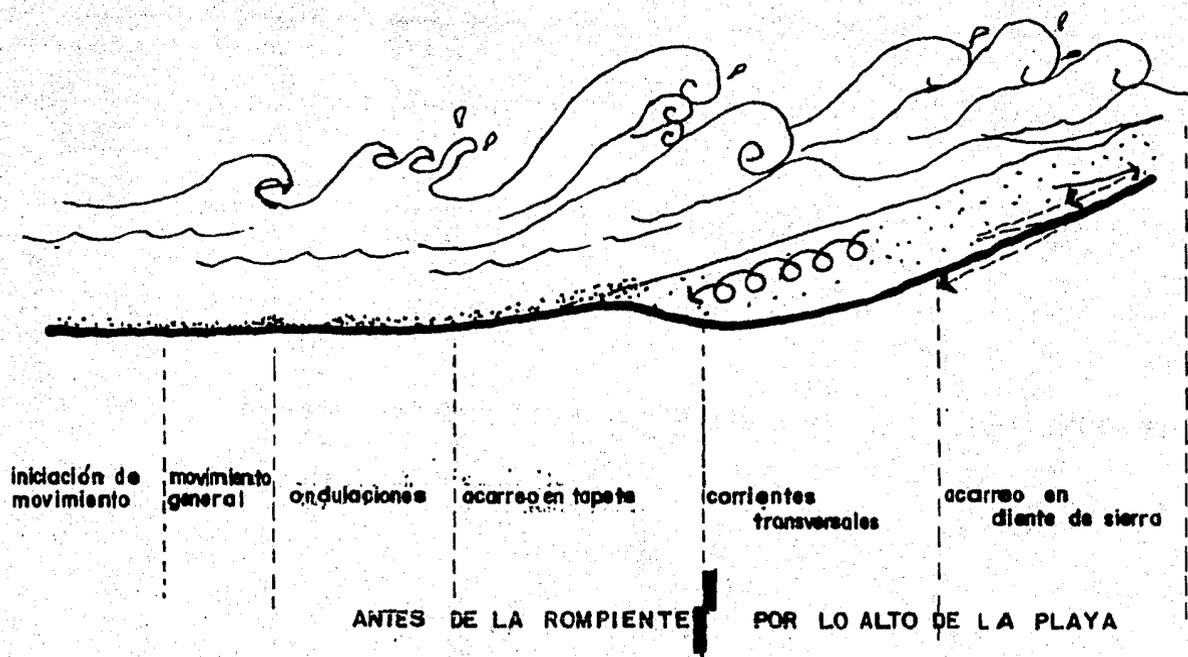


Figura N° 6

una hora), de tal forma que se obtuvo un promedio de alturas; el período se calculó mediante el registro del tiempo que tardaba en pasar un tren de determinado número de olas, dividiéndose estos tiempos entre el número de olas menos uno, para así obtener un período representativo, de los cuales se obtenía un promedio. El ángulo de incidencia se midió por medio de un tránsito colocado en uno de los puntos más elevados de la playa, teniéndose como referencia otro punto, que era de la poligonal playera, éste se encontraba alineado y distante del primero. Una vez definidos estos puntos, uno como estación y otro como punto visado, se procedió a obtener el ángulo, girando el aparato y haciendo coincidir el hilo central horizontal de la retícula con la cresta de ola.

4.3.4 Vientos

El efecto indirecto del viento, será evidentemente la generación del oleaje, teniendo además dos efectos directos importantes.

1. - Al soplar el viento sobre el mar, cerca de la costa, produce una aceleración del movimiento de las partículas de agua hacia la costa en su superficie, y simultáneamente una corriente de fondo en sentido contrario. La presencia de esta corriente puede modificar extensamente las condiciones de acarreo producidas por el oleaje. Se han llegado a observar fuertes erosiones del fondo por este efecto.
2. - El viento, al erosionar el material de la playa, puede constituir un --

agente de aporte de material al mar y también a las lagunas y accesos litorales, a los que tiende a azolvar.

Así pues, en la realización de esta prueba, los vientos se registraron por medio de un anemómetro, durante todo el día, observándose una variación en el valor de la velocidad, pero sin cambios en la dirección.

4.3.5 Granulometrias

Una vez obtenidos los resultados de las granulometrias efectuadas al material teñido y sin teñir, se realizó un análisis comparativo, observándose una gran similitud entre ambas, ya que la diferencia en peso entre las dos muestras fue del 1.5%, lo cual se consideró despreciable para efectos del estudio, por lo que se adoptó el procedimiento de teñido con pintura fluorescente, debido a que los resultados obtenidos fueron satisfactorios.

PUERTO INDUSTRIAL TUXPAM
TUXPAM VERACRUZ

*** ANALISIS GRANULOMETRICO ***

PRIMERA CAMPA&A

LOCALIZACION DE LA MUESTRA: 10+000 ESTRAN

MACLLA #	PESO RETENIDO (GR)	RETENIDO PARCIAL (%)	MATERIAL QUEPASA (%)
10	0.00	0.00	100.00
20	0.40	0.21	99.79
40	4.10	2.20	97.58
60	34.10	18.30	79.28
100	133.90	71.87	7.41
200	13.70	7.35	0.05
PASA200	0.10	0.05	
	SUMA 186.30		

DIAMETROS

5	0.143
10	0.156
15	0.164
20	0.172
25	0.178
30	0.185
35	0.190
40	0.196
45	0.202
50	0.208
55	0.214
60	0.220
65	0.227
70	0.234
75	0.242
80	0.251
85	0.262
90	0.277
95	0.301

CU=1.413
CC=0.995

ARENAS=99.95
FINOS =0.05

DES EST=1.25

CLASIFICACION Y DESCRIPCION DEL MATERIAL

ARENA FINA MAL GRADUADA COLOR CAFE CLARO GRISACEO

DENSIDAD=2.75

CAPITULO V

V. - DISPERSION Y CUANTIFICACION DEL ACARREO LITORAL

5.1 Análisis de las Muestras

El procedimiento empleado para el conteo de granos fluorescentes en esta prueba, fue por medio de la utilización de una lámpara de rayos ultravioleta, un juego de micas reticuladas (una por tarjeta, con dimensiones de un decímetro cuadrado) y de un cuarto completamente oscuro, éste último con el fin de poder detectar la más mínima fluorescencia presentada en los granos más pequeños contenidos en una tarjeta; durante esta actividad, se tuvo especial cuidado en el orden de conteo de los granos, con el propósito de evitar equivocaciones como contar dos o más veces el mismo grano o no contar algunos; al mismo tiempo se hizo una estimación del área impresa (en porcentaje para un área total de 1 dm^2), para posteriormente convertir la cantidad correspondiente al área total de la tarjeta.

En diversos países como Alemania, Estados Unidos y Rusia, se han desarrollado métodos más sofisticados para determinar la cantidad de material fluorescente en una muestra, como son los métodos mecánicos o electro-ópticos.

5.1.1 Elaboración de Planos de Dispersión

Cuando se tuvieron las cantidades correspondientes de granos por dm^2 de cada estación, fue necesario compensar estos valores convirtiéndolos en --

otro valor que los relacionara con un tiempo determinado.

Esta conversión fue necesaria debido a que se tomó en consideración que el tiempo transcurrido a partir de la inyección, hasta el momento de obtener la muestra en cada una de las estaciones, no era el mismo, por lo que se tuvo que cambiar el valor original por el número de granos que supuestamente debería existir para un tiempo arbitrario.

Esto se obtuvo multiplicando el valor de la cantidad de granos obtenidos en un dm^2 , por un factor que representa el valor de la división del tiempo supuesto arbitrariamente, entre el tiempo transcurrido desde la inyección hasta el momento de tomar la muestra, siendo ésto igual a:

$$\frac{T_s}{T_a} G_a = G_c \quad (a)$$

donde T_s es igual al tiempo estándar escogido arbitrariamente; T_a es igual al tiempo transcurrido hasta que la muestra se colectó:

G_a = Valor de la concentración de granos fluorescentes por dm^2

G_c = Concentración compensada.

Por lo que el tiempo T_s/T_a tiende a incrementar o decrecer el valor de la concentración. (Ver Anexo "A").

Posteriormente se elaboró un plano de la zona en estudio y se localizaron los valores de las concentraciones compensadas para cada ciclo de muestreo en cada estación, uniendo los puntos que presentaban igual cantidad de

granos por dm^2 ; con las isopleas ya agrupadas, se vio la forma en que se dispersó el material trazador. (Figura Anexo I. II).

Nota: Ingle describe que después de haber soltado el material fluorescente, se puede esperar recobrar solamente algunas partículas para determinados sitios adelante de la fuente, y solamente para algunos casos en el tiempo; así, la localización en el espacio y tiempo del gran porcentaje de granos soltados, deberá ser deducido a partir de la muy relativa concentración absoluta determinada.

También indica que después de la inyección se establece un gradiente en la concentración del material trazador a partir de la línea de fuente; gradiente que se forma, como es de esperarse, en sentido de la corriente longitudinal. La pendiente de dicho gradiente (una función del promedio de velocidad de los granos, el número total de granos soltados y el tiempo transcurrido), indica que para alguna distancia a partir de la línea de fuente, la dilución de los granos trazadores con el material natural, será tal, como para evitar la detección de las partículas marcadas.

5.1.2 Movimiento del Material Trazador a Través del Perfil de Playa

De las conclusiones más significantes a las que llegó Ingle a lo largo de su estudio, fue que la mayoría de los granos fluorescentes soltados en una pla

ya de perfil regular, se observaba una fuerte tendencia a moverse hacia afuera de la costa, a lo largo de patrones casi paralelos con la línea de rompientes (por lo tanto en ángulo recto a las ortogonales del oleaje), hasta alcanzar la zona de rompientes. Una vez alcanzada esta zona, los granos de arena -- eran transportados dentro de la rompiente, longitudinalmente.

Cuando se carece de una batimetría irregular, los tres principales factores que determinan la dirección y proporción del movimiento del material en una playa, son: el carácter de la rompiente (altura, período, incidencia); la corriente longitudinal resultante y el grado de pendiente de la playa.

La predominancia de transporte hacia afuera de la costa dentro de la zona de derrame, reportada por Ingle, se debe posiblemente en respuesta a un retorno de flujo de agua a lo largo del fondo, observado por otros investigadores. Ingle encontró que la mayor concentración de granos trazadores, ocurría en la zona de rompientes, aunque un porcentaje también considerable se presentaba en la zona de vaivén y deduce que por lo menos un 50% del total del transporte se desarrolla dentro de una zona, constituyendo únicamente un 30 a 35% del área de la playa.

5.1.3 Efecto en la Variación de la Corriente Longitudinal y el Oleaje

La tendencia de un gran porcentaje de material trazador a moverse diagonalmente hacia la rompiente en forma paralela o subparalela, en muchos casos

era modificada por la corriente longitudinal. Ingle encontró que, comúnmente, una velocidad máxima de la corriente longitudinal mayor de 30.4 cm/seg afectaba significativamente la dirección del trazador, mientras que las corrientes bajo esta velocidad no tenían o tenían un pequeño efecto en la dirección de éste.

Así, bajo condiciones de una corriente longitudinal ligera, el movimiento del material es principalmente perpendicular a la costa. Este movimiento de material es entonces gobernado por el flujo de agua que va de la costa hacia afuera, asociado con el oleaje que rompe las ondas de translación formadas y la corriente de resaca, junto con el efecto de gravedad (pendiente de la playa).

En respuesta a las fuerzas hidrodinámicas que actúan en una playa, Ingle encontró a través de un análisis estadístico, que existe un porcentaje de granos moviéndose en una dirección, otro porcentaje en otra y así hasta el total de granos considerados.

A estas tendencias de movimiento, las denominó vectores de movimiento de los granos. A partir de estos vectores, construyó diagramas que muestran el comportamiento dominante de los vectores resultantes del movimiento de material trazador, bajo tres condiciones diferentes.

Estos vectores representan la dirección significativa de un conjunto particular de granos en movimiento. Se asume que la dirección del vector repre -

senta un porcentaje de granos que poseen en común, un conjunto de características físicas (diámetro, esfericidad, etc.), respondiendo al ambiente hidrodinámico para el tiempo del análisis. (Figura N° 7).

5.1.4 Movimiento en la Zona de Vaivén

La zona de vaivén se define como la zona comprendida entre el límite superior de alcance del agua, producido por la embestida y el punto de transición. El movimiento de material en esta zona, se produce en forma de zigzag a lo largo de la playa.

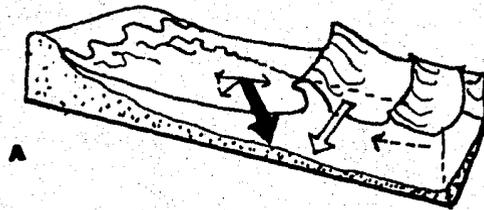
El punto o zona de transición se puede considerar como una zona de gran turbulencia, debido al choque de dos masas de agua, una incidiendo (ola de translación) y otra retrocediendo (ola de retroceso).

La zona de transición está localizada entre la zona de vaivén y la zona de derrame. También es considerada como una zona que está caracterizada por poseer altos valores de energía; por lo que en un ambiente playero se pueden definir dos puntos de máxima energía: el punto de ruptura en la zona de rompientes y la zona de transición.

5.1.5 Movimiento en una Playa con Perfil Irregular

Muchas playas cuentan con irregularidades a través de su perfil, estas irregularidades, además de complicar los patrones de transporte, propor

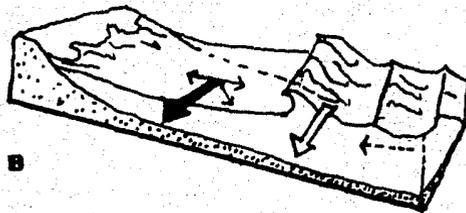
Figura N° 7



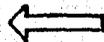
A



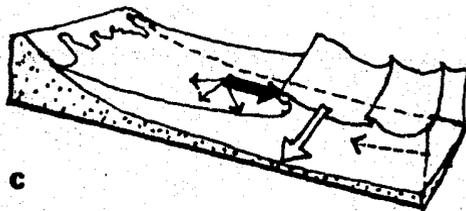
Patrón dominante y secundario para los granos de arena localizados en el estrón.



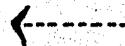
B



Patrón para los granos de arena localizados bajo la ola en voluta.



C



Patrón para los granos de arena localizados mar adentro de la línea de rompiente

Diagramas de patrones o vectores dominantes del movimiento de los granos de arena en una playa bajo tres condiciones diferentes de oleaje. "A" representa el movimiento de los granos bajo condiciones donde la corriente longitudinal y el oleaje ejercen la misma influencia. "B" es el movimiento de los granos cuando existe una fuerte corriente longitudinal (con velocidades mayores de 60 cm/seg.). "C" representa el movimiento de los granos cuando la velocidad de la corriente longitudinal es menor a 30 cm/seg.

Los tres diagramas representan un promedio cualitativo de todas las pruebas desarrolladas con trazadores fluorescentes por Inglé.

cionan un mayor número de variables que afectan el acarreo de los sedimentos a lo largo de la playa. Varios son los investigadores que han trabajado tratando de determinar las principales características de dichas playas.

Dentro de las principales características de una playa con perfil irregular, se pueden mencionar las barras, los pliegues u ondulaciones, con sus correspondientes depresiones o canales y los canales producidos por las corrientes de retorno.

5.2.1 Efecto de las Barras

Ingle en acuerdo con el resultado de otros investigadores, llegó a la conclusión de que el mayor transporte de material en una playa, se produce sobre la cresta de las barras. Esta conclusión mostró que la velocidad orbital era mayor sobre la cresta de la barra, como consecuencia de la rotura de la ola.

En muchos casos, la presencia de una barra trae como consecuencia la formación de una rompiente secundaria. Por lo tanto, la formación de esta segunda rompiente, produce una tercera zona de máximo transporte a lo largo de la playa.

5.2.2 Formación de la Barra

La formación de la barra se debe, fundamentalmente, a las acciones antagónicas del oleaje y las corrientes de marea. La barra que aparece al entrar los frentes de ondas a una discontinuidad en la costa, como es la entrada de una bahía.

Al penetrar el oleaje a esta zona de mayores profundidades, pierde una gran parte de su capacidad de transporte, que es función inversa de la profundidad; la corriente de arena acarreada por el oleaje se interrumpe, y el material tiende a depositarse en la boca de la bahía. En esta forma, el oleaje trata de hacer desaparecer la discontinuidad y restablecer el transporte interrumpido.

Al empezar a azolverse la entrada de la bahía, las corrientes de marea se concentran, formando uno o más canales a través del obstáculo. El material que se deposita frente al canal, lo toma la corriente de llenante y parte será resedimentado en el interior de la bahía, el resto será nuevamente transportado hacia el mar por la corriente de vaciante. Así se depositará, formando una barra nueva secundaria, frente al canal. A medida que crece la barra, se inicia un nuevo ciclo, abriéndose paso las corrientes a través de los azolves. De esta forma evoluciona el canal, cambiando su sección y su longitud a medida que las corrientes de marea obligan a la barra a emigrar hacia mar adentro; recíprocamente, el oleaje hará que el canal cambie de dirección, desviándolo en el sentido del transporte dominante.

Este proceso tiene, evidentemente, un límite. Al aumentar la longitud del canal sin un correspondiente incremento de gasto, la boca de éste se azolvirá definitivamente, produciéndose una difusión de la corriente de marea sobre una zona de bajos más o menos grande. El canal también puede azolverse y desaparecer completamente.

5.2.3 Efecto de los Pliegues u Ondulaciones

Estos pliegues u ondulaciones, son definidos por algunos autores como los mos de playa o pliegues, los cuales son expuestos durante los periodos de bajamar.

Probablemente la característica más prominente de los pliegues, es su depresión o canal. Este canal es formado por corrientes longitudinales formadas durante periodos prolongados de pleamar.

En el sitio de prueba y durante ésta, se observó la presencia de dichas ondulaciones, en donde la depresión del pliegue se caracterizó por la presencia de material suelto.

5.2.4 Efecto de las Corrientes de Retorno

Las corrientes de retorno se forman debido al acumulamiento de agua contra la costa que produce el oleaje. Las corrientes de retorno pueden alcan

zar velocidades hasta de 125 cm./seg durante varios minutos, convirtiéndose en importantes agentes para el transporte del material.

Es importante considerar las corrientes de retorno dentro de un estudio de carácter cuantitativo. La posición de las corrientes de retorno varían constantemente a lo largo de la playa. Tanto estas corrientes como las corrientes alimentadoras, ejercen un efecto considerable en el transporte de materiales en un ambiente playero.

5.2.5 Cuantificación del Acarreo Litoral a Partir de los Planos de Dispersión

El método en que se basó este trabajo, es el realizado por Ingle, que consiste en considerar tres aspectos importantes en la cuantificación de transporte en base a las técnicas de muestreo usadas durante la investigación. Dichos aspectos son los siguientes:

- a) Se consideró que los valores de concentración obtenidos a través de las correcciones hechas a las isopletras, representan claramente las concentraciones dentro de la capa móvil para el intervalo de tiempo descrito.
- b) Se tomó en cuenta que sólo un pequeño porcentaje de granos trazadores no se contó dentro de la zona de muestreos, dado que hubo una pérdida de material al enterrarse bajo el lecho.

c) Se considera que por lo menos el 90% del transporte litoral ocurre dentro de la zona de playa.

Ingle enfatiza la diferencia que existe en estimar el transporte litoral por medio de ecuaciones empíricas, aplicables a la mecánica de transporte de sedimentos en forma de flujo unidireccional y, al transporte real existente en una playa, para lo cual enumera tres analogías elaboradas por Einstein.

- 1) Aunque las zonas de mayor transporte litoral (zona de rompientes y zona de derrame), puedan ser vagamente consideradas como flujo canalizado, la anchura del "canal" cambia diariamente, así como la zona de rompientes avanza y retrocede a través de la playa en respuesta a las mareas.
- 2) La mayoría de los perfiles de playa son sigmoidales más que cóncavos; el perfil sigmoidal junto con el movimiento de agua hacia afuera de la costa, crea un área irregular de flujo.
- 3) La naturaleza variable del oleaje incidiendo en las costas, causa irregularidades en la velocidad y dirección del flujo de material, inclusive, la dirección de la corriente longitudinal puede ser invertida.

Teniéndose así, que mientras no se desarrollen instrumentos capaces de definir cuantitativamente un ambiente playero, los intentos para cuantificar el transporte litoral, serán relativos.

5.3.1 Proporciones de Gasto del Material Trazador

Lo primero que se realizó para la determinación de las proporciones de gas to, fue la cuantificación de la cantidad de granos contenidos en el material - que fue inyectado; para ésto se emplearon relaciones muy usuales en "Mecá - nica de Suelos", con el fin de obtener ciertos parámetros que ayudaran a de - terminar los valores buscados. (Ver Anexo I.I).

Una vez que se obtuvo la cantidad de granos liberados en la inyección, se -- realizaron análisis planimétricos para cada gráfica de dispersión elaborada, en las cuales se midió el área comprendida entre dos isopletas, misma que - se multiplicó por el valor de la isopleta promedio de las dos anteriores, de tal forma que se obtuvo el número aproximado de granos trazadores conteni dos entre las isopletas existentes.

Posteriormente, se sumaron los totales de granos de cada isopleta, de ma - nera que el gran total mostró el número de granos existentes en la zona de - muestreo para el tiempo determinado en la gráfica. (Ver Anexo I.II).

El siguiente paso fue el de sustraer a la cantidad total de granos inyectados, el número de granos permanentes dentro de la zona de muestreo, dividiéndo - se entre el tiempo indicado en cada gráfica, donde se encontraban represen - tadas las isopletas, obteniéndose de esta forma el número de granos que de - jaba la zona de muestreo por minuto. Siendo estos valores de gasto repre - sentados en porcentos del total del material en la zona de muestreo para - cualquier tiempo, por medio de una curva que se considera de gasto o pér -

dida de partículas hacia afuera de la zona de muestreo, debido al transporte longitudinal. (Ver figura 8). Observando la curva de gastos lograda, se puede apreciar que el punto de inflexión resulta muy abrupto, de lo que se pudo deducir que una gran parte del material fue puesto en suspensión al inyectarse, por lo que muchos granos fueron transportados en forma inadecuada.

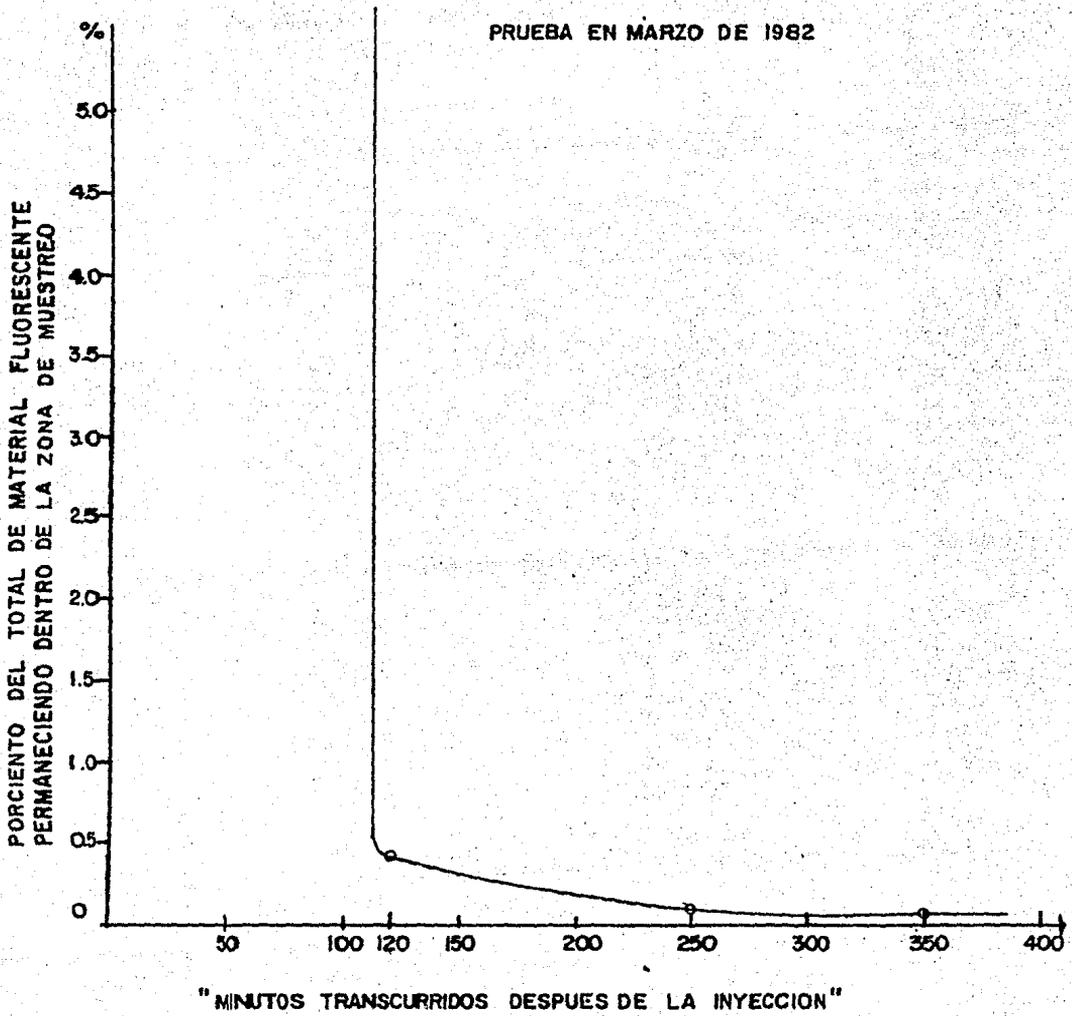
5.3.2 Estimación de la Velocidad de los Granos Trazadores

Para el cálculo de la velocidad promedio representativa de los granos, se determinó la distancia que recorrieron los granos antes de salir de la zona de muestreo, midiéndose directamente de la gráfica de dispersión, la longitud de la trayectoria predominante que describió el material; esta distancia se obtuvo para cada gráfica, según el tiempo marcado, encontrándose un valor al que se denominó "distancia promedio de viaje", el cual resultó del promedio de la suma de los valores obtenidos para cada gráfica.

Con éste valor, con la conversión de las proporciones promedio de gasto en granos por minuto y con el número de granos liberados, se pudo calcular la velocidad de los granos, para así obtener una media de la velocidad de éstos. En el cálculo se consideró sólo la mitad del total de los granos soltados y se empleó la fórmula utilizada por Ingle, que relaciona los datos de la siguiente manera:

Figura N° 8

PRUEBA EN MARZO DE 1982



Grafica de Gasto.- La curva desarrollada representa la cantidad promedio de material fluorescente que abandona la zona de muestreo por minuto.

$$t_{50} = \frac{N^2 G}{Pp}^{\frac{1}{2}} \quad \text{y} \quad Vg = \frac{Lp}{t_{50}} \quad (\text{Anexo I. III})$$

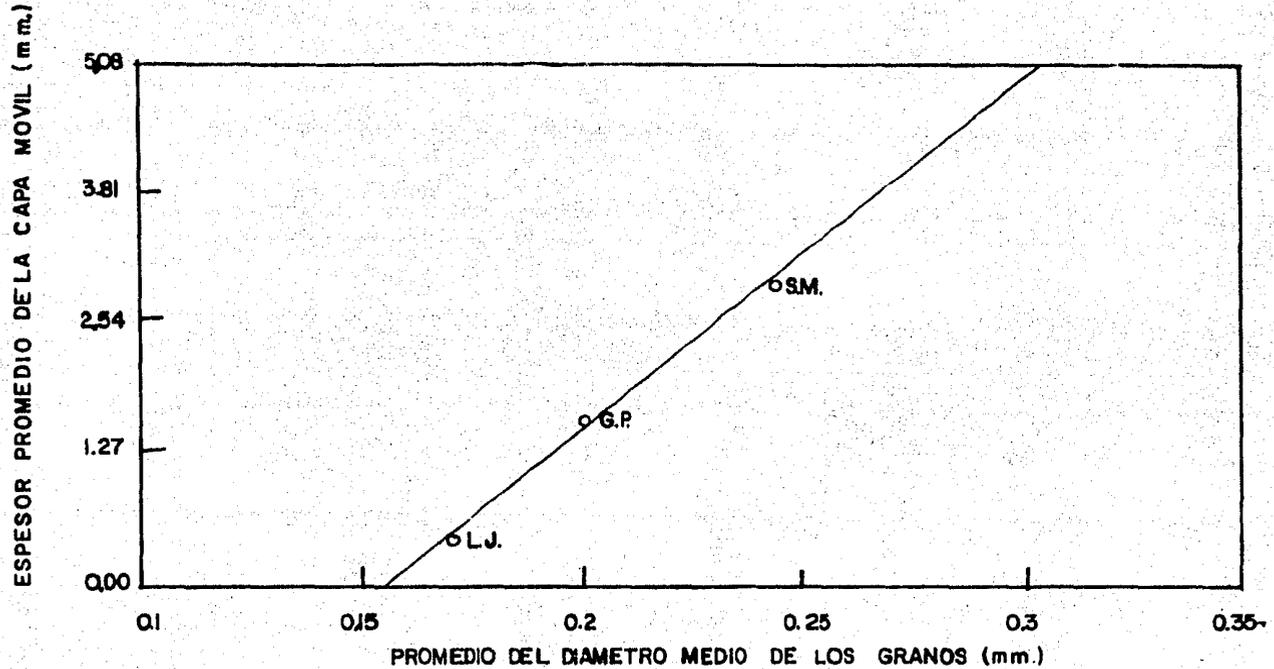
5. 3. 3 Profundidad de la Capa Móvil

Un elemento que es necesario determinar para poder calcular la cantidad de transporte litoral, es el espesor de la capa móvil. A pesar de que éste es un elemento que no se puede determinar con exactitud, existen algunos métodos descritos por diversos autores un tanto sofisticados, por lo que no fueron empleados en este estudio.

Tomando en cuenta que el espesor de la capa móvil depende primordialmente de la energía del oleaje y del peso del grano, se obtienen pequeños valores en la velocidad promedio de los granos, y esto nos hace pensar que los granos se mueven por tracción más que en suspensión; debido a esto, se cree que el espesor de la capa móvil en una playa, es de solamente algunos diámetros de grano a excepción de las zonas de rompientes y de transición de la playa; por lo que para estimar el espesor de la capa se utilizaron dos métodos diferentes:

Un método fue el empleo de la gráfica propuesta por Ingle, gráfica que obtuvo, mediante el empleo de la velocidad promedio de la curva de gasto del trazador y la cantidad anual de depositación en algunos espigones, logrando determinar una relación directa con el diámetro medio de los granos de la playa y el espesor promedio de la capa móvil. (Ver figura N° 9).

Figura N° 9



Relación entre el promedio del diámetro medio de arena, a lo largo del perfil de playa y el espesor de la capa móvil. La curva fue derivada en forma negativa a partir de la cantidad anual de deposición sobre tres espigones. Los puntos en la curva representan valores derivados por Ingle, a partir de tres espigones: Santa Mónica (S.M.) Goleta Point (G.P.) y La Jolla (L.J.)

Para ésto, tomó en consideración valores de transporte litoral anual, determinado por la depositación medida en tres espigones, localizados cerca de las playas donde realizó el estudio; el promedio anual de la velocidad de los granos, el promedio anual del ancho de playa y una constante arbitraria de longitud de playa de un metro, los cuales fueron relacionados con la siguiente fórmula:

$$U_{ga} \times A \times B = Q_s \quad (1)$$

de donde

$$B = 100 \frac{Q_s}{U_{ga} A} \quad (2)$$

donde U_{ga} es igual al promedio anual de la velocidad de los granos.

A es igual a la unidad anual promedio de transporte (promedio anual de anchura de playa por un metro).

B es igual a la profundidad de la capa móvil.

Q_s es igual al promedio anual de transporte litoral ($m^3/día$).

De esta manera, Ing'e determinó la relación entre el diámetro medio de los granos y la profundidad de la capa móvil. En la prueba realizada en este estudio, el espesor de la capa móvil fue determinado a partir de dicha relación, representada gráficamente.

El otro método empleado fue el propuesto por Einstein, que consiste en multiplicar como mínimo dos a tres veces el diámetro medio para determinar la carga del fondo, basándose en el tamaño de los granos que lo forman.

El concepto básico de este método es que el material del fondo siempre se mueve de acuerdo con la capacidad de la corriente. Pueden calcularse las variaciones de capacidad de una corriente para mover material del fondo por fórmulas, las cuales fueron desarrolladas para permitir la predicción de variaciones individuales de cargas de fondo de los diferentes componentes del mismo, en términos del gasto de la corriente.

Estos dos métodos fueron aplicados con el objeto de comparar cuantitativamente los resultados obtenidos en el volumen del material transportado.

5.3.4 Cálculo de la Cantidad de Acarreo Litoral

La determinación de la profundidad de la capa móvil, es el último de los valores que se necesita para conocer la cantidad de transporte en una playa.

El cálculo de unidad de volumen de arena transportada en la playa, se realizó utilizando el ancho de ésta, la profundidad estimada de la capa móvil y una constante de longitud de playa de un metro, siendo estos elementos relacionados de la siguiente manera:

$$V = K \times A_p \times E_c$$

Donde:

K = constante de longitud de playa de 1.00 m.

A_p = ancho de playa.

E_c = espesor de capa móvil

V = unidad de volumen de arena transportada.

Utilizando la unidad de volumen de arena transportada, se obtuvo la cantidad de transporte litoral a partir de la siguiente expresión:

$$Q_s = V \cdot V_g \cdot 1,140$$

Siendo:

V = unidad de volumen de material transportado (m^3)

V_g = velocidad promedio de los granos (m/min)

Q_s = cantidad de transporte (m^3 /día)

Con este procedimiento se obtuvieron dos resultados diferentes, ya que para la obtención de la capa móvil se tomaron en consideración los dos métodos mencionados; el propuesto por Ingle y por Einstein. (Anexo I. III), y con el fin de hacer un análisis comparativo de oleaje y sedimentos, se obtuvieron otros resultados por medio de la aplicación de las ecuaciones de Larras, Cadwell y Rychkine, mencionados en el capítulo III, cuyos valores son representados en el Anexo I. IV.

Tomándose en cuenta que la energía del oleaje es el principal factor en la iniciación del movimiento de los sedimentos, y que en conjunto con la incidencia del oleaje, crean la componente longitudinal de energía del mismo, que transporta los sedimentos a lo largo de la playa; y si se conside-

ra que ésto es la base en la que se apoyan todos los métodos para determinar el transporte litoral, se puede expresar de la siguiente forma:

$$Q_s = K \cdot E_i$$

donde:

E_i = energía incidente (ft - Lb/día/ft. de playa)

Q_s = material transportado (yardas cúbicas/día)

K = función adimensional que depende de la relación de esbeltez y de las características del material playero.

NOTA: En este caso se trabajó con unidades fundamentales del sistema métrico decimal.

CAPITULO VI

VI CONCLUSIONES

El hecho de querer cuantificar el transporte litoral a través de la aplicación del método descrito en este trabajo (método de trazadores fluorescentes), proporciona un procedimiento más para poder determinar en forma aproximada, los parámetros que intervienen en esta problemática e importante actividad natural dentro de la Ingeniería Oceánica.

El procedimiento se basó prácticamente en el efectuado por Ingle, el cual consiste en emplear material playero hidrodinámicamente semejante al del sitio en estudio, siendo cubierto este material con una capa de pintura o colorante fluorescente, con el fin de introducirlo al mar y así poder seguir o rastrear su comportamiento, en base al cual, los resultados obtenidos y el procedimiento empleado para su obtención, se mencionan a continuación en forma resumida, así como las recomendaciones pertinentes o sugerencias, con el fin de obtener resultados más aproximados a la realidad, en la práctica de pruebas futuras, mediante la aplicación de este método.

6.1

Para poder marcar el material colectado, se empleó pintura fluorescente de tipo comercial, con la cual se produjeron buenos resultados, teniéndose como único inconveniente, que el material, después de ser marcado, presentara residuos grasosos, los cuales pudieran alterar las características

de los granos y su comportamiento fuera distinto a los del lugar de prueba; - éste inconveniente fue eliminado lavando cuidadosamente el material con detergente.

6.2

Dentro de los problemas que se encontraron en la realización de la prueba, - se tuvo uno muy importante: el método de inyección del material marcado, - que consistió en depositar el material en bolsas de plástico, las cuales fueron colocadas en la superficie del punto ya establecido para la prueba, e inmediatamente rasgadas manualmente. Este procedimiento ocasionó problemas en las zonas de inyección, donde el tirante de agua oscilaba entre 50 y 100 cm, ya que era extremadamente complicado poder mantener inmóvil la bolsa en el lecho y rasgarla, debido al oleaje y a las corrientes que se formaban en el lugar, lo que ocasionaba que una parte del material quedara en suspensión.

El sistema de muestreo que se empleó fue satisfactorio, a pesar de ser tan simple, recomendándose únicamente tener cuidado en la uniformidad referente al espesor de la capa de vaselina untada en las tarjetas, para así poder lograr una impresión total de material en cada una de éstas, durante el muestreo.

6.3

En lo referente a las estaciones de muestreo, se recomienda efectuar primeramente una investigación en donde se pueda definir cual es la dirección de la corriente, y así obtener más información durante los muestreos; ésta investigación se puede hacer minutos antes de iniciar la inyección de material y el muestreo, mediante el empleo de algún colorante, vaciándolo en la superficie del agua, el cual indicará la dirección de la corriente, pudiendo así definir un área comprendida en dirección de ésta, con la cual se pueda localizar un número determinado de estaciones de muestreo, dentro de esa área.

Se observó que en la realización de la prueba, toma de muestras y al elaborar las curvas isopietas, existía una gran concentración de granos en la 1a. y 2da. sección a la izquierda del eje del canal de acceso, mientras que en la 1a. y 2da. sección a la derecha del eje, se presentaba el caso contrario, para las gráficas de 120 min, 250 min y 350 min, teniéndose además que las mayores concentraciones se localizaban en la zona de estrán y en la zona comprendida entre la 1a. y 2da. rompiente, en todos los casos representados gráficamente, por lo que no se descarta la posibilidad de haber podido encontrar más granos durante el muestreo en más secciones a la izquierda del eje del canal, si se hubiese considerado la dirección de la corriente.

6.4

En cuanto a la obtención de los parámetros playeros, éstos son de mucha utilidad para el mejor desarrollo del método, siendo uno de estos parámetros la determinación del registro del oleaje y sus características, como son: altura de ola, período e incidencia, los cuales se obtuvieron durante el desarrollo de la prueba y son aplicados en la correlación, con el valor de la cantidad de transporte obtenido a través del método, siendo el oleaje el factor más importante en el control de transporte en las costas.

Así mismo, durante el desarrollo de la prueba, se obtuvo un registro de vientos, corrientes por medio de flotadores y perfiles playeros, así como la obtención de granulometrias en laboratorio, siendo éste último un parámetro muy importante, ya que los resultados obtenidos sirvieron para la determinación del espesor de la capa móvil, así como en la cuantificación de la cantidad de arena inyectada.

6.5

Al efectuar la correlación con los resultados obtenidos en el valor del transporte por medio de trazadores y por medio de los diferentes criterios empleados, se pudo apreciar una gran diferencia entre éstos, de tal modo que se deduce que la diferencia estriba primordialmente en que algunas fórmulas empleadas, parte de las condiciones de oleaje consideradas en éstas,

no fueron constantes durante el desarrollo de las pruebas, o tal vez la relación de valores que se presentan en algunas otras, se obtuvieron a partir de un promedio de los valores del transporte y no sólo de una prueba como en este caso, con lo cual se consideró que los valores obtenidos en la realización de esta prueba, fueron razonables a pesar de los inconvenientes presentados durante ésta, principalmente durante la inyección del material.

Es notorio que en la realización de este trabajo, se presentaron problemas tanto en el método de inyección como en el de cuantificación; en lo que respecta a la obtención de parámetros básicos, que son empleados en la determinación del transporte litoral, en el cual se consideró que uno de los principales parámetros que podría determinar la precisión en el método en un 40% o 45%, es la determinación del espesor de la capa móvil; con lo cual surgió el problema de emplear el método para poder calcular dicho parámetro, ya que existen varios métodos de cálculo, de los cuales, en este trabajo, dos de ellos fueron aplicados: el método propuesto por Einstein y el propuesto por Ingle.

Algunos autores consideran como bueno el criterio de Einstein si se desprecia la resuspensión, y si la determinación de la capacidad de acarreo de la corriente, fuese de gran importancia y no pudiera determinarse por medición directa o en base a recopilaciones históricas.

En lo que respecta al método empleado por Ingle, también es considerado como bueno por varios autores, debido a que la relación "diámetro medio

de grano" vs. "espesor de capa", fueron obtenidos en base a mediciones directas, efectuadas anualmente, presentándose en este método un inconveniente, que es el rango del diámetro medio del grano, ya que éste oscila entre 0.10 y 0.35 mm, pudiendo aplicar el método de Ingle en la realización de la prueba, debido a que el diámetro estaba comprendido entre los valores mencionados.

Considerándose como buena la aplicación de cualquiera de los dos métodos para el cálculo del espesor de la capa móvil, teniéndose en cuenta que la obtención del transporte en este caso, así como la obtención de las curvas isopleas y las zonas de mayor concentración, sirvieron principalmente para determinar la dirección del transporte, debido a que sólo se efectuó una sola prueba, y el hecho de comparar los valores obtenidos en la prueba con los obtenidos por fórmulas, fueron considerados como no representativos, debido a la restricción de haber efectuado sólo una prueba; por lo que se recomienda realizar más pruebas durante un tiempo considerable, proponiéndose efectuar tres pruebas en cada una de las estaciones del año, con lo cual se pueden obtener datos más representativos, los cuales pueden ser comparados con los valores obtenidos por fórmulas, sean éstas las que consideran solamente la energía del oleaje o fórmulas en donde se consideran las corrientes playeras, y así poder formarse un criterio para poder decidir que valores del transporte considerar como bueno en la aplicación del método.

Durante la campaña, también debe preverse la medición de los parámetros

tros oceanográficos, que dan origen a los valores obtenidos (con la mayor - precisión posible), para efectuar la adecuada correlación y afinar los coefi - cientes de los modelos matemáticos empleados.

En cuanto al método de inyección de material, se propone la utilización de - bolsas solubles en agua, para poder resolver el problema que se presentó - en la realización de la prueba, pero se debe considerar que dicho problema puede presentarse nuevamente, aún con las bolsas solubles, debido a que és - tas pueden moverse del lecho donde sean colocadas y flotar una parte del - - tiempo que tardan en disolverse, por lo que se recomienda en este caso, - - contar con algún aditamento que sirva para poder mantener inmóviles las - bolsas durante el tiempo de dilución y así lograr una inyección de material l - más efectiva.

Otra solución a este problema, puede ser el diseñar una especie de dosifica - dor de material, en donde este fuera vertido en el dosificador y a su vez - - fuera depositado en el lecho del punto fijado para el muestreo, con lo cual - pudiera evitarse el poner un gran porcentaje de material en suspensión, rea - lizándose este trabajo de inyección, así como el muestreo, con las medidas de precaución correspondientes.

Por lo tanto, se puede concluir que el uso del método de trazadores fluore - scentes, para la determinación del transporte litoral es una medida más, - para poder cuantificar este elemento tan importante de la Ingeniería Coste - ra, tomándose en cuenta que la cuantificación será siempre más exacta - -

mientras mayor sea el número de pruebas que se realicen a lo largo del - año, así como el tomar las precauciones necesarias para la realización de cada uno de los pasos a seguir durante la aplicación del método, la conside ración en los cambios que existen en el oleaje y las corrientes de un lugar determinado, durante los diferentes cambios estacionales del año.

ANEXOS

UNIDADES FLUORESCENTES POR DECIMETRO CUADRADO

ESTACION	No GRANOS	% AREA IMPRESA	No. GRANOS/ Dm ²	HORA DE MUESTREO	Ts/Ta	No. GRANOS CORREGIDOS Dm ²
9.90-E	94	60	157	13:27	120/84 = 1.43	224
9.90-M	3	50	6	13:30	120/87 = 1.38	8
9.90-1	3	60	5	13:33	120/90 = 1.33	7
9.90-2	4	50	8	13:36	120/93 = 1.29	10
9.95-E	9	45	20	13:15	120/72 = 1.67	33
9.95-M	6	57	11	13:18	120/75 = 1.60	18
9.95-1	3	70	4	13:21	120/78 = 1.54	6
9.95-2	59	32	184	13:24	120/81 = 1.48	272
10.00-E	0	-	-	-	-	-
10.00-M	1	61	2	13:06	120/63 = 1.90	4
10.00-1	8	52	15	13:09	120/66 = 1.82	27
10.00-2	5	34	15	13:12	120/69 = 1.74	26
10.05-E	0	-	-	-	-	-
10.05-M	0	-	-	-	-	-
10.05-1	0	-	-	-	-	-
10.05-2	0	-	-	-	-	-
10.10-E	0	-	-	-	-	-
10.10-M	0	-	-	-	-	-
10.10-1	0	-	-	-	-	-
10.10-2	0	-	-	-	-	-
9.90-E	5	54	9	16:18	250/198 = 1.26	11
9.90-M	2	58	3	16:21	250/201 = 1.24	4
9.90-1	0	-	-	-	-	-
9.90-2	0	-	-	-	-	-

UNIDADES FLUORESCENTES POR DECIMETRO CUADRADO

ESTACION	No GRANOS	% AREA IMPRESA	No. GRANOS/ Dm ²	HORA DE MUESTREO	Ts/Ta	No. GRANOS CORREGIDOS Dm ²
9.95-E	1	54	2	16:06	250/186 = 1.34	3
9.95-M	3	62	5	16:09	250/189 = 1.32	7
9.95-1	0	-	-	-	-	-
9.95-2	1	53	2	16:15	250/195 = 1.28	3
10.00-E	1	54	2	15:54	250/174 = 1.44	3
10.00-M	0	-	-	-	-	-
10.00-1	0	-	-	-	-	-
10.00-2	0	-	-	-	-	-
10.05-E	0	-	-	-	-	-
10.05-M	1	64	2	15:45	250/165 = 1.52	3
10.05-1	1	45	2	15:48	250/168 = 1.49	3
10.05-2	0	-	-	-	-	-
10.10-E	0	-	-	-	-	-
10.10-M	3	57	5	15:33	250/153 = 1.63	8
10.10-1	0	-	-	-	-	-
10.10-2	1	55	2	15:39	250/159 = 1.57	3
9.90-E	3	60	5	17:30	350/270 = 1.30	6
9.90-M	4	54	7	17:33	350/273 = 1.28	9
9.90-1	2	66	3	17:36	350/276 = 1.27	4
9.90-2	1	90	1	17:39	350/279 = 1.25	1
9.95-E	0	-	-	-	-	-
9.95-M	1	73	1	17:45	350/285 = 1.23	1
9.95-1	0	-	-	-	-	-
9.95-2	1	55	2	17:51	350/291 = 1.20	2

UNIDADES FLUORESCENTES POR DECIMETRO CUADRADO

ESTACION	No GRANOS	% AREA IMPRESA	No. GRANOS/ Dm ²	HORA DE MUESTREO	Ts/Ta	No. GRANOS CORREGIDOS Dm ²
10.00-E	7	58	12	17:54	350/294 = 1.19	14
10.00-M	0	-	-	-	-	-
10.00-1	1	60	2	18:00	350/300 = 1.17	2
10.00-2	1	58	2	18:03	350/303 = 1.16	2
10.05-E	0	-	-	-	-	-
10.05-M	3	60	5	18:09	350/308 = 1.14	6
10.05-1	3	42	7	18:12	350/311 = 1.13	8
10.05-2	0	-	-	-	-	-
10.10-E	2	67	3	18:18	350/317 = 1.10	3
10.10-M	0	-	-	-	-	-
10.10-1	1	60	2	18:24	350/323 = 1.08	2
10.10-2	1	60	2	18:27	350/326 = 1.07	2
9.90-E	1	62	2	14:18	1500/1488 = 1.01	2
9.90-M	0	-	-	-	-	-
9.90-1	0	-	-	-	-	-
9.90-2	0	-	-	-	-	-
9.95-E	2	60	3	14:06	1500/1476 = 1.01	3
9.95-M	2	60	3	14:09	1500/1479 = 1.01	3
9.95-1	0	-	-	-	-	-
9.95-2	0	-	-	-	-	-
10.00-E	1	56	2	13:54	1500/1464 = 1.02	2
10.00-M	2	57	4	13:57	1500/1467 = 1.02	4
10.00-1	0	-	-	-	-	-
10.00-2	0	-	-	-	-	-

UNIDADES FLUORESCENTES POR DECIMETRO CUADRADO

ESTACION	No GRANOS	AREA % IMPRESA	No. GRANOS/ Dm ²	HORA DE MUESTREO	Ts/Ta	No. GRANOS CORREGIDOS Dm ²
10.05-E	0	-	-	-	-	-
10.05-M	0	-	-	-	-	-
10.05-1	0	-	-	-	-	-
10.05-2	0	-	-	-	-	-
10.10-E	0	-	-	-	-	-
10.10-M	1	50	2	13:33	1500/1443= 1.04	2
10.10-1	1	56	2	13:36	1500/1446= 1.04	2
10.10-2	1	57	2	13:39	1500/1449= 1.04	2

A NEXO I.1

Cálculo de Transporte Litoral a Partir de Trazadores Fluorescentes

Dada una muestra de material, se calculó la cantidad de granos contenidos en ésta, mediante la obtención de los siguientes parámetros:

V_m = volumen de la muestra; $V_m = V_s + V_v$

W_m = peso de la muestra

γ_m = peso específico de la masa de suelo (muestra) $\gamma_m = W_m/V_m$

V_s = volumen de sólidos

V_u = volumen de vacíos

n = porosidad; $n = V_v/V_m$

D_{50} = diámetro medio (de muestra)

V = volumen de esfera (con diámetro igual a D_{50})

De donde los valores de cada uno de estos parámetros son los siguientes:

$V_m = 0.00025 \text{ m}^3$

$W_m = 0.3788 \text{ kg}$

$V_s = 0.00015 \text{ m}^3$

$V_v = 0.0001 \text{ m}^3$

$W_s = 0.3780 \text{ kg}$ (peso de sólidos)

$n = 0.0001/0.00025 = 0.4$

$\gamma_m = 1.5 \text{ ton/m}^3$

$$D_{50} = 0.208 \text{ mm}$$

$$V = \frac{\pi \times D_{50}^3}{6} = 0.5236 (0.208)^3 = 0.0047 \text{ mm}^3$$

1 kg de arena = 0.67 Hs. de arena.

Por lo que para obtener el número de granos contenidos en el volumen de la muestra y en un kilogramo, se debe recurrir a la siguiente expresión:

$$N^{\circ} \text{ G/Vm} = \frac{150,000 \text{ mm}^3}{0.0047 \text{ mm}^3} = 32.0 \times 10^6 \text{ granos.}$$

Por lo tanto, si para un $W_s = 0.378 \text{ kg}$, existen 32×10^6 granos, en un kilogramo existirán 84.7×10^6 granos, observándose que el número total — aproximado para 40 kg de material recolectado será de: 3386×10^6 granos.

ANEXO I. II

DATOS PLANIMETRICOS

GRAFICA 120 minutos

ISOPLETA	AREA m ²	Nº DE GRANOS
0.5	2,646	132,300
3.0	553	165,900
7.5	1,678	1'258,500
17.5	1,251	2'189,250
37.5	743	2'786,250
75.0	386	2'895,000
15.0	283	4'245,000
225.0	60	1'350,000
TOTAL	7,600	15'022,200

Porcentaje del total del material soltado = 0.4436%

ANEXO I,II

DATOS PLANIMETRICOS

GRAFICA 250 minutos

ISOPL ETA	AREA m ²	Nº DE GRANOS
0.5	2,633	131,650
1.5	1,359	203,850
2.5	1,116	279,000
4.0	1,252	500,800
6.5	421	273,650
7.5	781.5	586,125
10.5	37.5	39,375
TOTAL	7,600.0	2'014,450

Porcentaje del total de material soldado = 0.0595%

ANEXO I. II

DATOS PLANIMETRICOS

GRAFICA 350 minutos

ISOPLETA	AREA m ²	Nº DE GRANOS
0.5	2,137.5	106,875
1.0	55	5,500
1.5	1,572.5	235,875
2.0	90.43	18,086
2.5	1,690	422,000
4.0	1,050	420,000
6.5	655	425,750
7.5	525.5	188,805
12.0	97.76	117,316
TOTAL	7,600	1'940,707

Porcentaje del total de material soltado = 0.0573%

ANEXO I. II

DATOS PLANIMETRICOS

GRAFICA 1500 minutos

ISOPLETA	AREA m ²	Nº DE GRANOS
0.5	4,254.72	212.736
1.5	1,522.37	228,356,
2.5	1,041.36	260,341
3.5	782.50	273,875
TOTAL	7,600.00	975,309

Porcentaje del total de material soltado = 0.0288%

NOTAS;

SIMBOLOGIA

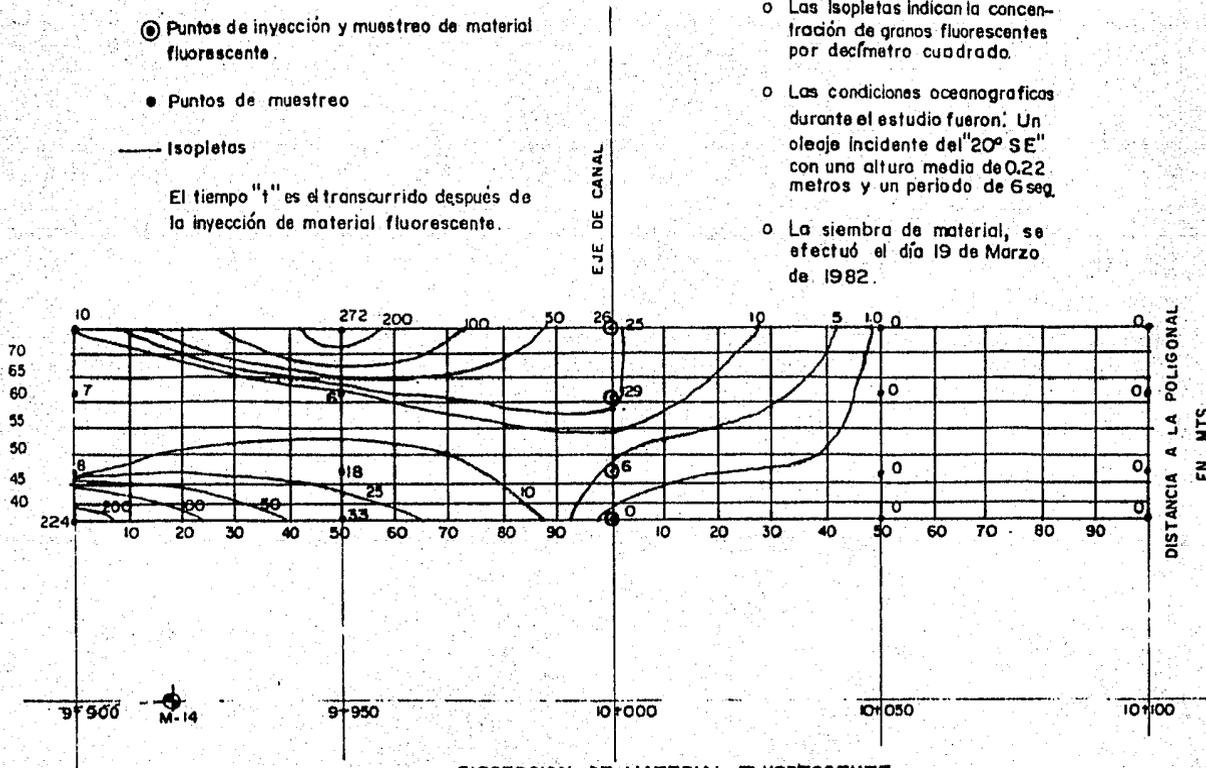
⊙ Puntos de inyección y muestreo de material fluorescente.

● Puntos de muestreo

— Isoplefas

El tiempo "t" es el transcurrido después de la inyección de material fluorescente.

- Las acotaciones en metros.
- Las isoplefas indican la concentración de granos fluorescentes por decímetro cuadrado.
- Las condiciones oceanográficas durante el estudio fueron: Un oleaje incidente del "20° SE" con una altura media de 0.22 metros y un período de 6 seg.
- La siembra de material, se efectuó el día 19 de Marzo de 1982.



DISPERSION DE MATERIAL FLUORESCENTE
 Diagrama de isoplefas para un tiempo
 t = 120 min.

Figura I. II. a

NOTAS:

SIMBOLOGIA

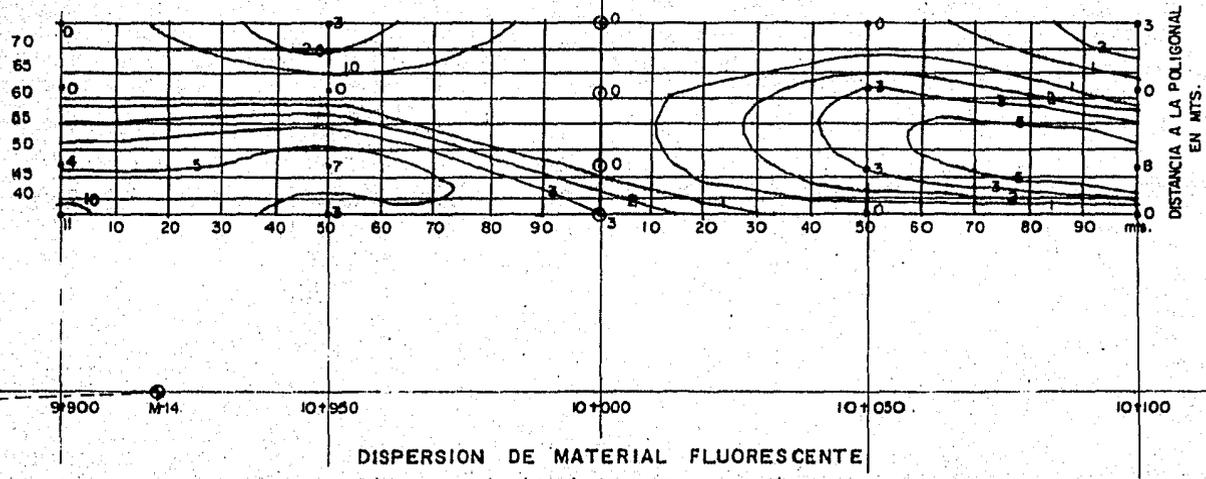
⊙ Puntos de inyección y muestreo de material fluorescente.

● Puntos de muestreo

— Isoplefas

El tiempo "t" es el transcurrido después de la inyección de material fluorescente.

- Las acotaciones en metros.
- Las isoplefas indican la concentración de granos fluorescentes por decímetro cuadrado.
- Las condiciones oceanográficas durante el estudio fueron: Un oleaje incidente del "20° SE" con una altura media de 0,22 metros y un periodo de 6 seg.
- La siembra de material, se efectuó el día 19 de Marzo de 1982.



DISPERSION DE MATERIAL FLUORESCENTE
Diagrama de isoplefas para un tiempo

t = 250 min.

Figura I. II. b

NOTAS:

SIMBOLOGÍA

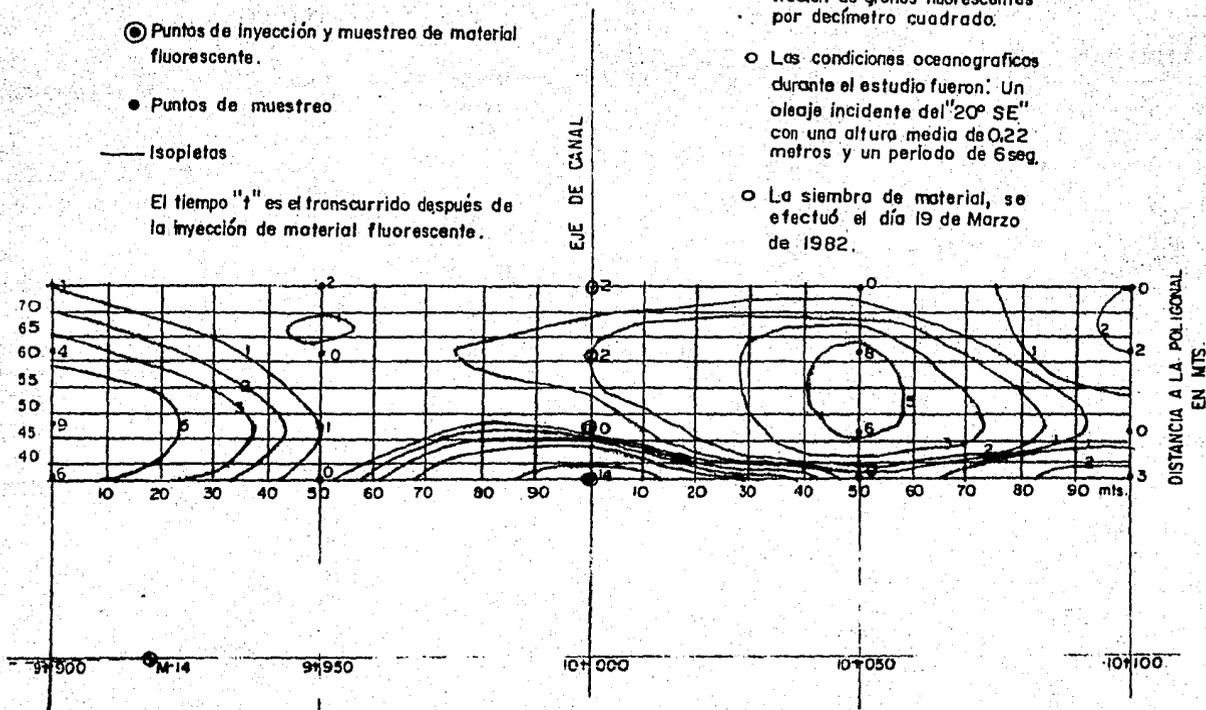
⊙ Puntos de inyección y muestreo de material fluorescente.

● Puntos de muestreo

— Isopletas

El tiempo "t" es el transcurrido después de la inyección de material fluorescente.

- Las acotaciones en metros.
- Las isopletas indican la concentración de granos fluorescentes por decímetro cuadrado.
- Las condiciones oceanográficas durante el estudio fueron: Un oleaje incidente del "20° SE" con una altura media de 0,22 metros y un periodo de 6seg.
- La siembra de material, se efectuó el día 19 de Marzo de 1982.



DISPEPSION DE MATERIAL FLUORESCENTE

Diagrama de isopletas para un tiempo

t = 350 min.

Figura I. II. c

SIMBOLOGIA

○ Puntos de inyección y muestreo de material fluorescente.

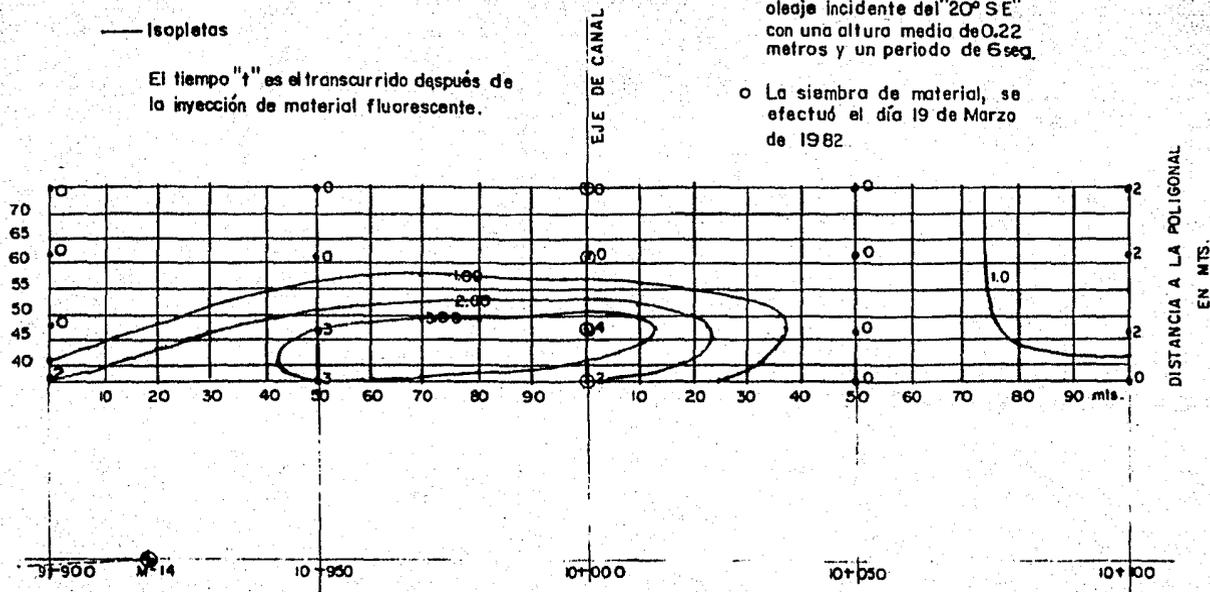
● Puntos de muestreo

— Isopletas

El tiempo "t" es el transcurrido después de la inyección de material fluorescente.

NOTAS;

- Las acotaciones en metros.
- Las isopletas indican la concentración de granos fluorescentes por decímetro cuadrado.
- Las condiciones oceanograficas durante el estudio fueron: Un oleaje incidente del "20° SE" con una altura media de 0.22 metros y un periodo de 6 seg.
- La siembra de material, se efectuó el día 19 de Marzo de 1982.



DISPERSION DE MATERIAL FLUORESCENTE
 Diagrama de isoplefas para un tiempo
 t = 1500 min.

Figura 1. II. d

ANEXO I. III

Cálculo de la Cantidad de Material Transportado

Para poder calcular la cantidad de material transportado, fue necesario -- emplear las siguientes expresiones:

P_p = Proporción promedio de flujo en minutos (granos/min)

t_{50} = Tiempo para la mitad de los granos soltados en dejar la zona de --
muestreo (minutos)

$N^{\circ}G$ = Cantidad total de granos soltados

V_g = Velocidad promedio de los granos (m/min)

L_p = Longitud promedio de viaje de los granos (m)

V = Unidad de volumen de material en transporte (m^3)

K = Constante de longitud de playa de 1 m.

A_p = Anchura de playa (m)

E_c = Espesor de la capa móvil (m)

Q_s = Cantidad de transporte (m^3 /día)

Si consideramos en base a las gráficas obtenidas en el anexo 1.2, un tiem
po promedio de 240 min y un punto promedio de gasto aproximado de 0.2%,
al cual multiplicamos por la cantidad total de granos soltados ($3,386 \times 10^6$),
se obtiene el número de granos que permanecen en el área a los 240 min, -
siendo este número igual a 6.772×10^6 , y si a su vez esta cantidad es res-
tada al número total de granos y el resultado es dividido entre el tiempo --

promedio, se obtiene una proporción promedio de flujo en minutos igual a:

$$P_p = \frac{3,386 \times 10^6 - 6.772 \times 10^6}{240}$$

$$P_p = 14.08 \times 10^6 \text{ granos/min}$$

y en donde $t = \frac{(N^2 G) 0.5}{P_p} = 120.24 \text{ min.}$

$$L_p = 94.70 \text{ m}$$

$$V_g = \frac{L_p}{t_{50}} = 0.8 \text{ m/min}$$

Si se considera el espesor de la capa móvil igual a dos veces el D_{50} se tiene que:

$$E_c = 0.416 \text{ mm } \text{ ó } E_c = 0.000416 \text{ m.}$$

Por lo que se obtiene un valor de volumen de material en transporte de acuerdo a la fórmula $V = K \times A_p \times E_c$ igual a:

$$V = (1)(38)(0.000416) = 0.0158 \text{ m}^3$$

De donde: $Q_s = V \times V_g \times 1,140$

$$Q_s = (0.0158)(0.8)(1,140)$$

$$Q_s = 14.41 \text{ m}^3/\text{día}$$

pero si se considera la gráfica de Ingle, se obtiene un valor de la capa móvil de 1.27 mm ó 0.00127 m, por lo que el volumen de material en transporte y gasto, serían igual a:

$$V = (1)(38)(0.00127) = 0.0483 \text{ m}^3$$

de donde: $Q_s = (0.0483)(0.8)(1,140)$

$$Q_s = 44.05 \text{ m}^3/\text{día.}$$

ANEXO I. IV

Correlación de Transporte Litoral por Medio de la Aplicación de Expresiones Obtenidas en Laboratorio.

Aplicando la fórmula de Larras se tiene que:

$$Q_s = K_g H^2 T \sin^2 \alpha$$

de donde:

Q_s = cantidad de transporte.

K = función adimensional que depende de la esbeltez y de las características del material playero.

g = aceleración de la gravedad.

T = período.

α = ángulo de incidencia del oleaje.

d_o = diámetro del material playero.

H = altura de la ola en la rompiente.

Teniéndose que los valores de los parámetros que intervienen en la expresión dada son:

$$K = 1.8 \times 10^{-6} d^{-1/2} \frac{L_o}{H_o}$$

$$L_o = \frac{g}{2\pi} T^2; T = 6 \text{ seg.}$$

$$H_o = 0.22 \text{ m}; H = 0.22 \text{ m}$$

$$d_o = 0.208 \text{ mm}$$

$$\alpha = 20^\circ$$

Por lo que al sustituirlos, se obtiene que el valor del gasto "Qs" es igual a:

$$K = 1.8 \times 10^{-6} (0.208)^{1/2} \frac{56.16}{0.22} = 1.007 \times 10^{-3}$$

$$Q_s = 1.007 \times 10^{-3} (9.81)(0.22)^2 (6) \sin \frac{1}{4} 20^\circ$$

$$Q_s = 1.645 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$Q_s = 142.13 \text{ m}^3/\text{día.}$$

Pero si se considera que el valor de K es igual a:

$$K = 1.18 \times 10^{-6} (0.208)^{1/2} \frac{56.16}{0.22} = 6.604 \times 10^{-4}$$

Se obtiene un valor del gasto "Qs" igual a:

$$Q_s = 6.604 \times 10^{-4} (9.81)(0.22)^2 (6) \sin \frac{1}{4} 20^\circ$$

$$Q_s = 1.079 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$Q_s = 93.23 \text{ m}^3/\text{día}$$

El cual difiere del primer resultado en un 34.4%, debido a la variación del valor del coeficiente K en diversos textos, en los cuales se aplica la expresión obtenida por Larras.

Al aplicar las expresiones obtenidas por Cadwell y Pychkine, respectivamente, se obtienen dos valores distintos para "Qs", los cuales difieren entre sí en un porcentaje elevado.

Fórmula de Cadwell:

$$Q_w = 2068 \left(H^2 \frac{L}{H} n \sin \alpha \cos \right)^{0.9}$$

- de donde: Q_s = cantidad de transporte ($m^3/d\dot{f}a$)
 H = altura de ola en el punto de observación
 T = período
 α = ángulo de incidencia del oleaje
 L = longitud de onda en el punto de observación = 14.6 m
 n = factor adimensional igual a 1

Sustituyendo los valores de cada uno de los parámetros en la expresión, se obtiene que el valor de " Q_s " es igual a:

$$Q_s = 2068 \left((0.22)^2 \frac{14.6}{6} (1) \sin 20^\circ \cos 20^\circ \right)^{0.8}$$

Por lo tanto $Q_s = 150.67 m^3/d\dot{f}a$.

Fórmula de Pychkine:

$$Q_s = 1.2 \times 10^{-6} H^2 L (g/d) \frac{1}{2} \sin 2\alpha$$

Sustituyendo valores en " Q_s " igual a:

$$Q_s = 1.2 \times 10^{-6} (0.22)^2 (14.6) (9.81/0.000208)^{1/2} \sin 2(20^\circ)$$

$$Q_s = 1.183 \times 10^{-4} m^3/seg$$

$$Q_s = 10.22 m^3/d\dot{f}a$$

NOTA: El valor de " L " se obtuvo por medio de la gráfica presentada en la figura N° 10, la cual relaciona el tirante, el período y la longitud de onda en el punto de observación " L ", donde:

d = tirante

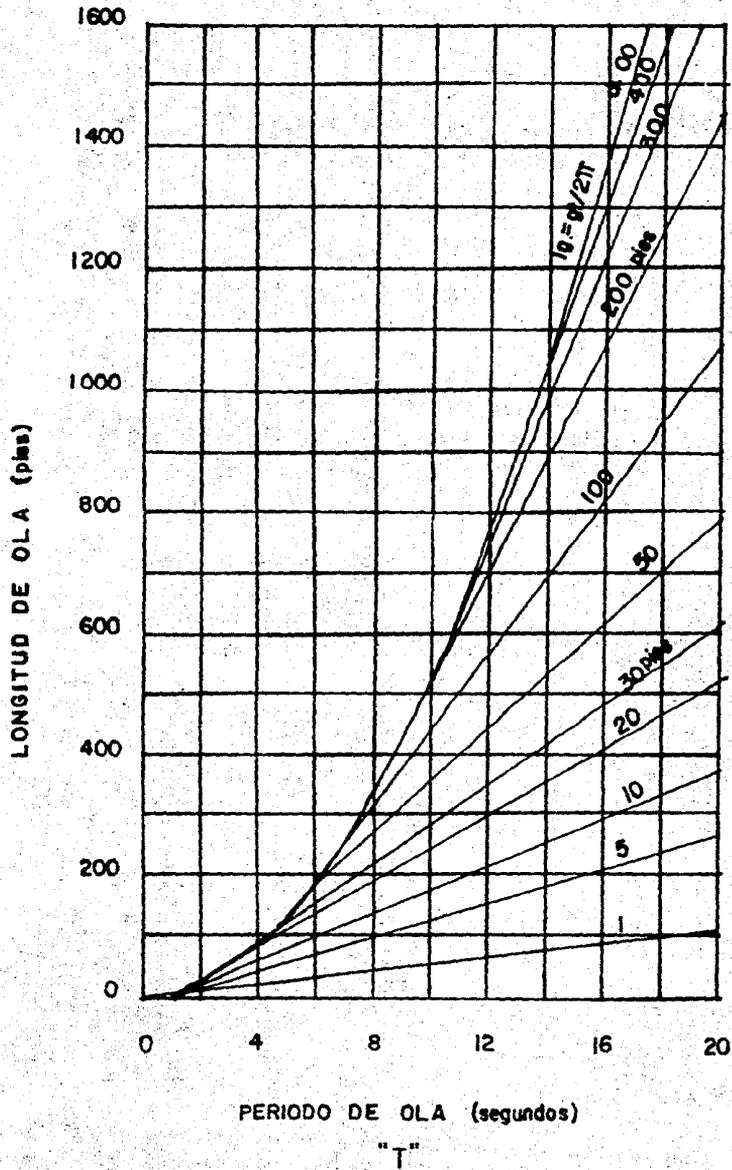
$$d = 0.97 m = 3.2 \text{ pies}$$

$$T = 6 \text{ segundos}$$

$$L = 14.6 m = 48 \text{ pies}$$

Figura N° 10

RELACION ENTRE LONGITUD DE OLA Y PERIODO DE OLA



BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

1. - Tesis Profesional.
Estudio General del Acceso al Puerto de Topolobampo, Sinaloa.
Aplicación de Trazadores Radioactivos.
Pedro Alberto de Alba López. México 1965.
2. - Tesis Profesional
Apuntes de Apoyo Para la Asignatura Ingeniería Marítima, que se imparte en la Facultad de Ingeniería, "UNAM".
Santillán, Sánchez, Vázquez -México 1982-.
3. - Hydraulics of Sediment Transport
W.H. Graf Mc. Graw -Hill.
4. - Use of Tracers in harbor, coastal and ocean engineering "Engineering Geology Amsterdam", Elsevier Publishing Company.
Bruun P. 1970.
5. - Protección de Costas, Planificación y Diseño.
(Ingeniería de Costas, Tomo I).
Secretaría de Marina. Dirección General de Obras Marítimas.
6. - Protección de Costas, Planificación y Diseño.
Ejército de los E.E.U.U.
Centro de Investigación de Ingeniería de Costas. 1966.
7. - Tesis Profesional.
Determinación del Acarreo Litoral por Medio de Trazadores Fluorescentes en la Laguna de Agua Brava, Nay.
Rafael García Krasovsky -Baja California, 1973-.
8. - Apuntes de Apoyo Técnico para el Curso de Ingeniería Oceánica, organizado por la División de Educación Continua de la Facultad de Ingeniería. U.N.A.M. -Marzo 1982-.
9. - Apuntes de la Asignatura Rios y Costas del Ing. E. Camargo.
Profesor titular de la asignatura, Facultad de Ingeniería.
U.N.A.M.