

ANALISIS DE MAREAS
Y
PREDICCIÓN DE VELOCIDAD
MEDIANTE UN
MODELO UNIDIMENSIONAL
EN
BAHIA SAN QUINTIN B. C.

Tesis que para obtener el título de

O C E A N O L O G O

presenta:

FRANCISCO JAVIER OCAMPO TORRES.

Escuela Superior de Ciencias Marinas.
Universidad Autónoma de Baja California.
Ensenada Baja California, México.
Junio de 1980.

DEDICATORIA.

A Francisco y Blanca Aida, mis padres.

A Ma. Teresa Aidet, mi esposa.

A Rubén, Rosalinda, Héctor Efrén, Alberto,
Benjamín, Esmeralda, Jorge y Oscar, mis hermanos.

A mi familia.

Para realizar cualquier actividad en la vida, sencilla o difícil que sea, es necesario contar con el apoyo emocional honesto e incondicional de las personas más cercanas.

Con intención de agradecerles su apoyo, dedicación y atenciones les dedico esta tesis.

Con cariño:

Francisco Javier.

AGRADECIMIENTOS.

A las personas del grupo de Lagunas Costeras de CICESE y del Departamento de Física de UCM que colaboraron en el programa de mediciones de campo y recopilación de datos, les manifiesto mi agradecimiento.

Agradezco también el asesoramiento del Dr. Robert Ogden y el del M.C. Salvador Farreras Sáenz, y sus constructivas críticas durante la etapa de discusión de resultados y la redacción de este trabajo.

Que el comité de tesis reciba también mi agradecimiento, por su competente labor.

LISTA DE FIGURAS.

1. - LOCALIZACION DE BAHIA SAN QUINTIN, ESTACIONES, INSTRUMENTACION Y SEGMENTACION.
2. - RELACION DE VARIABLES Y SUS REGISTROS DEL PROGRAMA GLOBAL DE LAGUNAS COSTERAS DE CICESE.
3. - MAREAS RESIDUALES, OBSERVADAS Y PREDICHAS EN LA ESTACION BOCA.
4. - MAREAS RESIDUALES, OBSERVADAS Y PREDICHAS EN LA ESTACION PEDREGAL.
5. - MAREAS RESIDUALES, OBSERVADAS Y PREDICHAS EN LA ESTACION MOLINO VIEJO.
6. - MAREAS RESIDUALES, OBSERVADAS Y PREDICHAS EN LA ESTACION CABEZA.
7. - MAREAS RESIDUALES, OBSERVADAS Y PREDICHAS EN LA ESTACION MINA VIEJA.
8. - VELOCIDAD DE LA CORRIENTE TRANSVERSAL Y LONGITUDINAL EN LA ESTACION BOCA.
9. - VELOCIDAD DE LA CORRIENTE TRANSVERSAL Y LONGITUDINAL EN LA ESTACION SECCION OP.
10. - VELOCIDAD DEL VIENTO. COMPONENTES NORTE Y ESTE EN LA ESTACION MINA VIEJA.
11. - ESQUEMATIZACION DE LAS VARIABLES $A(t)$, $V(t)$, y $v(t)$ PRESENTADAS EN LA EXPRESION 3.
12. - SECCIONES Y SEGMENTOS NUMERADOS, EN BAHIA SAN QUINTIN.
13. - AREA TRANSVERSAL VS PROFUNDIDAD EN LAS SECCIONES 2, 3, 4, 5, 6 Y 7.
14. - AREA TRANSVERSAL VS PROFUNDIDAD EN LAS SECCIONES 8, 9, 10, 11, 12 Y 13.
15. - AREA TRANSVERSAL VS PROFUNDIDAD EN LAS SECCIONES 14, 15 Y 16.

16. - VOLUMEN VS PROFUNDIDAD EN LOS SEGMENTOS 2, 3, 4, 5, 6 Y 7.

17. - VOLUMEN VS PROFUNDIDAD EN LOS SEGMENTOS 8, 9, 10, 11, 12 Y 13.

18. - VOLUMEN VS PROFUNDIDAD EN LOS SEGMENTOS 14, 15 Y 16.

19. - ESPECTRO DE ENERGIA DE LAS MAREAS (DE GODIN, 1972).

20. - REPRESENTACION DE LOS VALORES DE ADMITANCIA DE LAS DIFERENTES ESTACIONES EN BAHIA SAN QUINTIN, RESPECTO A MOLINO VIEJO.

21. - PREDICCION DE VELOCIDAD LONGITUDINAL EN LAS ESTACIONES MOLINO VIEJO, SECCION OP Y BOCA.

22. - COMPARACION ENTRE PREDICCION Y OBSERVACION DE VELOCIDAD EN LA ESTACION BOCA.

23. - VELOCIDAD LONGITUDINAL RESIDUAL EN LAS ESTACIONES BOCA Y SECCION OP.

LISTA DE TABLAS.

1. - DESCRIPCION DE LOS APARATOS EMPLEADOS.
2. - RESULTADO DEL ANALISIS ARMONICO DEL REGISTRO EN LA ESTACION MOLINO VIEJO.
3. - RESULTADO DEL ANALISIS DE ADMITANCIA DE LAS ESTACIONES BOCA, PEDREGAL, CABEZA Y MINA VIEJA, RESPECTO A LA ESTACION MOLINO VIEJO.
4. - CONSTITUYENTES EMPLEADAS PARA LA PREDICCION EN LA ESTACION BOCA.
5. - CONSTITUYENTES EMPLEADAS PARA LA PREDICCION EN LA ESTACION PEDREGAL.
6. - CONSTITUYENTES EMPLEADAS PARA LA PREDICCION EN LA ESTACION MOLINO VIEJO.
7. - CONSTITUYENTES EMPLEADAS PARA LA PREDICCION EN LA ESTACION CABEZA.
8. - CONSTITUYENTES EMPLEADAS PARA LA PREDICCION EN LA ESTACION MINA VIEJA.
9. - RETRASO EN MINUTOS DE LAS CONSTITUYENTES DIURNA, SEMIDIURNA Y TERCIDIURNA ENTRE DOS ESTACIONES.
10. - ESTADISTICA DE LOS REGISTROS Y LAS PREDICCIONES DE VELOCIDAD Y SUS VALORES RESIDUALES.

INDICE

I. INTRODUCCION.....	1
II. DESCRIPCION Y LOCALIZACION DEL AREA.....	5
III. ANTECEDENTES.....	7
IV. SOBRE LAS MEDICIONES.....	11
V. EL MODELO, UNA PRIMERA APROXIMACION.....	14
VI. VOLUMENES Y AREAS.....	19
VII. MAREAS.....	21
VIII. CORRIENTES.....	34
IX. DISCUSIONES.....	40
X. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	55
XI. BIBLIOGRAFIA.....	58
FIGURAS.....	64
TABLAS.....	87

1. INTRODUCCION.

Los estudios físicos que se realizan en el medio ambiente marino y especialmente en las zonas costeras, constituyen un aporte al conocimiento hidrodinámico de éstas. Las investigaciones que se hacen con la finalidad de conocer detalladamente la hidrodinámica en los cuerpos de agua costeros, son de particular importancia para atender las necesidades que se presentan en la programación de la explotación de los recursos naturales, así como en el diseño de obras e instalaciones para ser utilizadas por industrias, turismo o maricultura.

Al comprender los fenómenos que afectan al medio ambiente que nos rodea, estamos en mejor posición con el fin de aprovechar óptima y adecuadamente los recursos naturales en existencia.

En el desarrollo de las lagunas de las costas Mexicanas se ha hecho énfasis en esta época en las actividades de maricultura. Algunos aspectos hidrodinámicos especiales es necesario conocerlos detalladamente, puesto que representan bases indispensables en estas actividades. Alvarez (1979) proyecta el estudio de atenuaciones en eventos de surgencias en la boca de Bahía San Quintín B. C. en función de las

condiciones de marea, y además proyecta el conocimiento del grado de renovación de agua durante un ciclo de marea, también en función de ésta. Una de las finalidades del programa de lagunas costeras en CICESE (Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada) es determinar sitios óptimos para colocar conjuntos de ostiones para desovar y los colectores para larvas, además de predecir dispersión de contaminantes al ser introducidos en la laguna (Pritchard, 1977).

El uso de los cuerpos de agua costeros está principalmente determinado por la economía de la región. Esta utilización introduce la necesidad de una decisión importante respecto de considerar si la laguna debe dejarse en su estado natural, o debe intervenir en sus procesos de cambio y hasta que grado en la evolución de su medio ambiente (Colombo, 1977). El desarrollo turístico, industrial o agrícola, requiere en la mayoría de los casos, una modificación en el ambiente hasta el grado, en ocasiones, de convertir una laguna costera en terrenos propios para la agricultura. En el caso en el que se intervenga sin el fin de eliminar, es indispensable realizar observaciones y diseñar controles a las alteraciones producidas.

Algunos autores defienden la importancia de

conservar las lagunas costeras sin intervención humana (al natural) como sitios propicios para la investigación y la docencia (Colombo, 1977, Nelson-Smith, 1977).

En trabajos recientes en las lagunas costeras de Baja California Norte se ha indicado la necesidad de estudios interdisciplinarios con el fin de controlar la explotación irracional de los recursos naturales (Millan, 1978) y especialmente el estudio de los fenómenos físicos que de alguna forma tienen influencia determinante en la ecología del lugar, tales como corrientes, onda de marea, vientos, evaporación, distribución de salinidad y temperatura etc. (Del Valle, 1979).

Podríamos referirnos a una lista interminable de autores que precisan la necesidad de observaciones y análisis de los procesos que ocurren en las costas para definir un control en la intervención humana producida por el desarrollo de la civilización.

El estudio de todas las variables físicas presentes en el medio ambiente que se trata, resulta por demás imposible. El aumento del número de estaciones de registro planeadas incrementa en costos el proyecto, desde adquisición de aparatos y personal para el trabajo de campo, hasta la

creación de nuevos métodos computacionales para procesar los datos obtenidos. Con el fin de obtener información conveniente a partir de datos de campo de bajos costos se ha incrementado la utilización de los modelos numéricos.

La aplicación del modelo que se describirá en el capítulo v, es el objetivo principal de este trabajo. Para conocer adecuadamente las condiciones de aplicación del modelo, y obtener resultados satisfactorios es necesario efectuar análisis previos de algunos parámetros medidos, por ejemplo de registros de mareas, de registros de viento y de corrientes.

Complementando con los resultados obtenidos por Del Valle (1979), se pretende proporcionar bases firmes e información sobre las velocidades longitudinales en diferentes estaciones de Bahía San Quintín B. C. y acerca de los efectos de las variables meteorológicas que son fundamentales, para la aplicación de modelos numéricos mas sofisticados.

II. DESCRIPCION Y LOCALIZACION DEL AREA.

El presente trabajo se ha realizado en Bahía San Quintín, cuerpo de agua localizado en la costa del Océano Pacífico de Baja California Norte entre los paralelos $30^{\circ}30'$ y $30^{\circ}23'$ de latitud norte, y entre los meridianos $116^{\circ}01'$ y $115^{\circ}56'$ de longitud oeste. Su morfología ha sido descrita brevemente por Gorsline y Stewart (1962) entre otros, que se refieren a ella como una bahía en forma de Y, con dos brazos orientados $N 40^{\circ} W$ aproximadamente, y una boca al sur permanentemente abierta al océano adyacente (figura 1). Presenta un canal principal de transporte, sinuoso y con profundidades hasta de 15 metros, referido al NMM (Nivel Medio del Mar), en la boca con disminución hacia el interior. El canal principal de transporte presenta una longitud correspondiente al primer brazo (Bahía Falsa) de 5500 mts. aproximadamente y en el segundo brazo (situado mas al oriente) de 16000 mts. (Del Valle, 1979).

En la figura 1 podemos observar las características mas sobresalientes de la bahía. Está protegida al suroeste por una larga barra de arena con orientación $N 10^{\circ} W$ aproximadamente, y al sur por otra de menor longitud.

En el margen oeste del primer brazo y en el este del segundo se observan planicies lodosas con pastos marinos. Una descripción de esta vegetación puede encontrarse en Dawson (1962).

El volumen de agua que almacena Bahía San Quintín es de 61 millones de mts. cúbicos en bajamar media inferior (BMI), de 92 millones en el nivel medio del mar (NMM) y de 124 millones en pleamar media superior (PMS). El área superficial varía desde 30 millones de mts. cuadrados en BMI a 41 millones en NMM y 53 millones en PMS. Estos datos han sido calculados como se explicará en el siguiente capítulo, mediante planimetría a partir de la carta batimétrica de Bahía San Quintín, editada por la Secretaría de la Marina Nacional (1966).

El clima de la región es semi-árido, y de poca precipitación concentrada en el invierno y con valores de 5 a 10 cms. por año (Gorsline y Stewart, 1962). El viento se presenta en el verano con una magnitud hasta de 35 Kms. por hora y con una variación predominantemente diurna, (Gorsline y Stewart, 1962).

III. ANTECEDENTES.

Bahía San Quintín fué estudiada por investigadores extranjeros bajo el proyecto nombrado "Benthic Marine Exploration of Bahia San Quintin" durante 1960 y 1961. Sus contribuciones son del tipo de estudios ecológicos del cuaternario y geología marina (Gorsline y Stewart, 1962) en los que se explica que la barra de arena que limita al oeste la bahía, es un tómbolo que conecta un cono volcánico llamado Monte Mazo con un grupo de cordilleras volcánicas al norte. Gorsline y Stewart han explicado que los sedimentos del sistema forman una secuencia continua de textura que representa el producto de sorteamiento de la contribución presente de sedimentos por el oleaje y la marea. Estudios biológicos fueron realizados por Menzies (1962) en los que se describe la fauna de isópodos en la bahía, por Dawson (1962) que hace una presentación y discusión de la vegetación marina y de marismas que se presenta y por Barnard (1962), que explica una exploración acerca de los organismos bentónicos que habitan Bahía San Quintín.

Los principales estudios recientes de investigación son los realizados por CICESE y UCM (Unidad de Ciencias Marinas, de la Universidad Autónoma de Baja California), en los cuales se observa en general una

involucracion notable de parámetros físicos como mareas, corrientes, viento etc. Chávez y Alvarez (1974) presentan y discuten distribuciones superficiales de parámetros fisicoquímicos y su variación a través de invierno y primavera de 1973, además de una descripción de la variación diurna de estos parámetros al inicio de la primavera. Lara y Alvarez (1975) investigaron el ciclo anual de la distribución superficial de pigmentos fotosintéticos e hicieron una evaluación de la fertilidad relativa de los brazos de la bahía. Alvarez, Ballesteros y Chee (1975) han realizado una complementación del estudio de algunas variables fisicoquímicas y su distribución superficial en verano, otoño e invierno de 1973-1974, donde concluyeron que los gradientes de temperatura y salinidad se correlacionan entre si, y disminuyen de la boca al interior en verano y otoño. Galindo (1980) discute resultados obtenidos, de salinidad, temperatura y oxígeno disuelto comparando la hidrología de las bocas de Bahía San Quintín y Estero Punta Banda B. C. durante otoño e invierno. Las variaciones de nivel del mar, velocidad de la corriente, temperatura, salinidad y otros parámetros fisicoquímicos y biológicos en la boca, son explicados por Lara (1979) mediante muestreos efectuados durante 18 días del verano de 1977. Las variaciones de la mayoría de éstos parámetros se relacionan con efectos de surgencias y las variaciones de la temperatura por el efecto de la marea

semidiurna. Las variables conservativas que se analizan muestran una componente semidiurna mayor que la diurna.

Finalmente se ha aplicado el modelo numérico de Harleman y Lee (1969), para calcular descargas y altura del nivel del mar en diferentes puntos de la bahía. Este modelo utiliza como datos de entrada, además de la geometría de la cuenca, parámetros de rugosidad y valores de la velocidad del viento o coeficiente de arrastre sobre la superficie del agua. Una explicación detallada del modelo y sus resultados puede encontrarse en Del Valle (1979).

El presente trabajo forma parte del programa de investigación del grupo de Hidrodinámica de Lagunas Costeras de CICESE propuesto por Pritchard (1977) para el Estero de Punta Banda y Bahía San Quintín. Las etapas finales del programa son enfocadas a la explotación conveniente de los recursos naturales de los esteros y a la determinación de decisiones respecto de la implementación de actividades de maricultura en dichas lagunas, Monreal (1980). Se puede observar la relación de variables medidas y la duración de su registro correspondiente al programa global en la figura 2.

Este trabajo de tesis forma parte de una de las etapas iniciales del programa global y comprende la

determinación del flujo unidimensional en diferentes puntos de la bahía y de flujos de intercambio entre segmentos y el mar, y la aplicación de un modelo numérico sencillo para predecirlos. Además se pretende obtener una idea de la importancia relativa de los efectos de la marea sobre la circulación respecto a otros, tales como viento, difusión, turbulencia etc.

Una determinación de la velocidad de la corriente en Bahía San Quintín por el efecto de los gradientes de densidad es considerada por Plascencia (1980).

IV. SOBRE LAS MEDICIONES.

El periodo de tiempo que comprende este trabajo es de tres meses, iniciando el primero de junio y finalizando el 31 de agosto de 1977, aunque el registro de observaciones de ciertas variables es de menor duración en algunas ocasiones. En la figura 1 se muestran las estaciones de los registros de variables utilizados en este trabajo, en la figura 2 se muestran los periodos de medición y las estaciones para todas las variables involucradas en el periodo de trabajo de campo del proyecto global. Una descripción de los aparatos utilizados se muestra en la tabla 1.

En las figuras en que se presentan datos en función del tiempo, éste será referido al inicio del mes de julio como hora cero, y se expresará en horas.

Los datos de mareas fueron colectados en las estaciones de Boca, Pedregal, Molino Viejo, Cabeza y Mina Vieja, y en forma cruda se muestran en las figuras 3, 4, 5, 6 y 7. En estas gráficas se notan los intervalos de tiempo en que no funcionaron algunos de los aparatos, y también se puede observar la presencia de registro erróneo debido a la mala calibración o a fallas mecánicas en los instrumentos. El registro de mejor calidad es el de Molino Viejo y debido a que

es una estación permanente fue posible utilizar una serie de datos de 10 meses de duración para obtener las constituyentes principales de la marea mediante análisis armónico como se explicará en el capítulo vii.

La velocidad de la corriente fue registrada en las estaciones Boca y Sección DP. Una estación instalada en Mina Vieja no funcionó adecuadamente y sus registros fueron desechados. Las profundidades a las cuales los correntímetros se instalaron fueron aproximadamente a un cuarto y a tres cuartos de profundidad, sin embargo, desafortunadamente los instalados más cerca del fondo en las dos estaciones en las que se cuenta con registro, no funcionaron adecuadamente. La duración del registro de los dos correntímetros es pequeña pero útil para los propósitos de este trabajo. Las componentes "u" (transversal) y "v" (longitudinal) de la velocidad de la corriente para las dos estaciones, se muestran en las figuras 8 y 9. La forma en que se realizó la descomposición se menciona en el capítulo viii.

El registro de la velocidad del viento se obtuvo solamente en la estación Mina Vieja y una gráfica de las componentes u y v respecto a las coordenadas geográficas se muestra en la figura 10 (después de corregir el norte magnético por el geográfico).

Se muestran los datos en forma cruda (principalmente los de marea) para hacer notar la importancia de la calibración de todos los instrumentos y de la necesidad de un mantenimiento constante y de buena calidad, puesto que de esas tareas dependerá en gran parte el éxito de la investigación.

La calibración y sincronización simultánea (origen común y velocidad de marcha uniforme) de todos los relojes de los instrumentos es de suma importancia y decisiva totalmente en el procedimiento que se ha seguido en este trabajo para obtener la complementación de los registros de marea mediante la función de admitancia (capítulo vii).

V. EL MODELO, UNA PRIMERA APROXIMACION.

Con el modelo que se aplica en este trabajo se pretende obtener una evaluación de las velocidades longitudinales en diferentes secciones de la bahía. Este modelo se basa únicamente en el principio de continuidad de volumen que se puede representar matemáticamente como:

$$Q(t) = \frac{d}{dt} V(t) \quad (1)$$

donde $Q(t)$ es el flujo neto que entra (positivo) o sale (negativo) a través de una sección transversal del estero y produce un aumento o una disminución con respecto al tiempo t , en el volumen $V(t)$.

El flujo neto $Q(t)$ a través de la sección es una suma de todas las contribuciones de volumen $V(t)$, con velocidad $v(t)$, cruzando el área $A(t)$ de la sección, de modo que podemos expresar:

$$A(t) v(t) = \frac{d}{dt} V(t) \quad (2)$$

En esta última ecuación $v(t)$ es la velocidad instantánea, necesaria para producir una variación $dV(t)$ de

volúmen en un cierto intervalo de tiempo dt , cuando el flujo atraviesa un área $A(t)$. Una evaluación de la velocidad instantánea, através de un área $A(t)$ puede entonces expresarse como:

$$v(t) = \frac{1}{A(t)} \frac{d}{dt} V(t) \quad (3)$$

entendiéndose esta velocidad como un valor único representativo en toda la sección, es decir, un promedio seccional. Un esquema para ilustrar la ecuación 3 se muestra en la figura 11.

En esta evaluación puramente advectiva de la velocidad $v(t)$ (perpendicular al área $A(t)$), se han ignorado otros procesos físicos que en la realidad influyen en la circulación de la bahía (y esto implica que influyen sobre la velocidad longitudinal).

Algunos de estos procesos son:

a) el esfuerzo del viento sobre todo el área superficial de la bahía

b) la evaporación que principalmente influye en variaciones de salinidad y temperatura que finalmente

incidirán sobre la densidad del fluido

c) difusión por flujo turbulento, que obviamente se presenta, particularmente por las variaciones abruptas en los contornos de la cuenca (fondo y paredes).

d) fricción en el fondo y en las paredes

e) fenómenos meteorológicos adicionales (además del viento) tales como variaciones de presión atmosférica, aunque es posible que su influencia sea mínima por las dimensiones de la bahía.

El proceso mas importante en la circulación es la onda de marea, que produce una variación periódica en el nivel del agua dentro de la cuenca, con respecto al tiempo. De cierta manera también consideraremos al aplicar el modelo, algo de los procesos friccionales del fondo y paredes, al tomar en cuenta constituyentes de marea del tipo de "aguas someras", que en el capítulo vii se describen con mas detalle.

Mediante la fórmula (3) se obtienen las velocidades, introduciendo valores de los volúmenes $V(t)$ que se obtienen instante a instante de una curva de mareas y la batimetría de la bahía.

El predecir velocidades de esta manera es relativamente simple y se puede considerar como una primera aproximación a la descripción del patrón de la circulación en Bahía San Quintín. Una comparación entre las velocidades predichas y las observadas, nos darán una idea de la proporción en la que el fenómeno de la marea gobierna la circulación, respecto a los procesos ignorados que se mencionaron antes.

Este tipo de modelo se ha aplicado recientemente en el Estero de Punta Banda obteniéndose una aproximación con solo un 10% de error en el cálculo de flujos (De La Paz, 1978).

Para efecto de la aplicación de este modelo unidimensional, es necesario realizar una esquematización de Bahía San Quintín que consiste en dividir la cuenca en un número conveniente de segmentos de dimensiones adecuadas.

De acuerdo a la experiencia en casos similares el criterio que se ha seguido para la esquematización consiste en tomar segmentos que presenten fronteras uniformes, y de longitud aproximadamente igual, y en número tal que su longitud no sea tan corta como para dificultar el programa de mediciones en el campo, ni tan larga como para impedir una

descripción detallada de los fenómenos, figura 1.

Esta segmentación fué la utilizada para todos los aspectos de trabajo de la investigación desarrollada por la sección de Hidrodinámica de Lagunas Costeras de CICESE en esta bahía.

Los registros de la onda de marea, que entra a Bahía San Quintín muestran que no es estacionaria y se observa un retraso entre dos estaciones cualesquiera separadas por una cierta distancia. Por esto para efectos de este análisis, se consideran diferentes ondas de marea para distintas regiones de la bahía, o bien en un caso extremo, una onda de marea diferente para cada segmento.

Uno de los principales problemas enfrentados en este trabajo consiste en obtener una complementación para llenar el registro de marea en cada una de las estaciones en que se presentan interrupciones dentro del periodo de muestreo. Esta dificultad se resolvió utilizando la técnica o método de admitancia, según se explica en el capítulo vii.

VI. VOLUMENES Y AREAS.

En este capítulo trataremos el procedimiento para obtener una representación del volumen de cada segmento y el área transversal de cada sección en función de la altura del nivel del mar.

En la figura 12 se presenta un esquema de Bahía San Quintín y la numeración de segmentos y secciones empleada en este trabajo.

Utilizando una carta batimétrica de Bahía San Quintín (S. M. 1966), se obtuvo una evaluación del área transversal por aproximación trapezoidal de cada parte de sección, para cada par de cotas sucesivas que se presentaban como isóbatas en la carta.

A continuación se realizó una interpolación spline, método descrito por Forsythe et. al. (1977), hasta obtener una curva de área transversal vs: profundidad para cada sección, con intervalos de 10.0 cms., para profundidades entre -2.50 y 2.50 mts. relativos a B.Ml., que es el rango de altura del agua correspondiente a la marea. Las gráficas de área transversal vs: profundidad para todas las secciones se muestran en las figuras 13, 14 y 15.

El procedimiento para obtener las curvas de volumen vs: profundidad presentadas en las figuras 16, 17 y 18 es similar al descrito anteriormente para las de área transversal vs: profundidad.

Se obtuvieron áreas superficiales con planímetro (Modelo Filotecnica tipo 236A) de la carta batimétrica de las Secretaría de Marina, para cada segmento y para cada cota representada por una isóbata, con las cuales se construyeron curvas de área superficial vs: profundidad. Mediante integración spline (Forsythe et. al. 1977) de la curva, desde la profundidad máxima de cada segmento, que corresponde a un área de 0.0 metros cuadrados, hasta una altura del nivel del mar de 2.50 mts. referidos a BMI, que corresponden al máximo en área superficial, se obtuvo una evaluación de la curva de volumen vs: profundidad para cada segmento. Después se procedió a interpolar esa curva, para obtener parejas de valores de profundidad y volumen cada 20.0 cms, desde -2.50 mts. hasta 2.50 mts. de profundidad para todos los segmentos, excepto aquellos en que la profundidad máxima era menor que -2.50 mts., como puede observarse en las gráficas correspondientes (segmento 7, por ejemplo).

VII. MAREAS.

En el presente capítulo se abordan temas de conceptos básicos como la definición del fenómeno de la marea, su comportamiento en aguas someras y los efectos de los procesos meteorológicos que intervienen en la variación del nivel del mar. Asimismo se explican las herramientas matemáticas utilizadas para el análisis y el procesamiento de los registros de mareas, tales como el análisis armónico y la función de admitancia. Describiremos también el procesamiento de las series de marea registradas en Bahía San Quintín, la generación de series de marea para cada segmento y algunos resultados de predicción y comparaciones con las observaciones.

La marea astronómica es un cambio temporal en la posición de la materia en una parte de un astro, causado por un cambio temporal de la fuerza gravitacional que se ejerce sobre ella (Godin, 1979) que en el océano se manifiesta como un cambio regular del nivel del mar acompañado por corrientes, y tanto las variaciones en el nivel como las corrientes asociadas son afectadas por turbulencia y efectos internos adicionales.

Se dice que un campo de fuerzas se puede derivar

de un "potencial escalar", por ejemplo $\text{PHI}(x, y, z)$ si la derivada parcial de PHI respecto a x nos da la componente en x del campo vectorial de las fuerzas, y si las derivadas apropiadas aplicadas respecto a las otras variables independientes nos dan las resultantes en esas direcciones. Todo campo de fuerzas que cumpla con esta propiedad, es conservativo por definición (Lamb, 1932).

Entonces la fuerza de marea, por provenir del campo gravitacional que es conservativo, puede ser expresada en términos del gradiente de su potencial, de hecho los primeros problemas teóricos en el estudio de las mareas consistieron en derivar el potencial de la fuerza productora de marea a partir de las observaciones astronómicas. De la solución de estos problemas teóricos se conoce la periodicidad especial del fenómeno de la marea, a tal grado que se han determinado las frecuencias del fenómeno y su asociación con los movimientos astronómicos. A estas frecuencias establecidas se les há asignado nombres convencionales por ejemplo las componentes M1 y S2 representan los movimientos diarios debidos a la luna y semidiurnos debidos al sol respectivamente.

En bahías o ríos la marea es deformada. Mientras que en el océano la marea se comporta como una onda

estacionaria, al entrar a ríos o bahías se torna de tipo progresiva.

Puesto que en cuencas es progresiva, es obvio que en cuencas pequeñas la elevación de la superficie del agua puede ser considerada la misma en cualquier punto de la cuenca. Pero en cuencas en que sus dimensiones sean comparables a la longitud de onda de cualquiera de las componentes de marea consideradas, la altura del nivel del agua obviamente será necesario considerarla una función de la posición.

La consideración del hecho que la marea presenta variaciones de amplitud con respecto a la distancia, corresponde a una mejor aproximación en el tipo de trabajos realizados en ambientes similares, como comparación con el caso del Estero Punta Banda (De La Paz, 1978) que no lo considera.

La fricción en el fondo de las cuencas producen efectos en la onda de marea tales como:

atrasar el progreso de bajamar respecto al de pleamar.

disminuir las constituyentes de frecuencias altas y permitir, río arriba, solo la presencia de las de períodos quincenales o mayores, como sucede en el golfo del Rio San Lorenzo, Canadá, (Godin, 1979) (efecto rectificador de la marea).

Existen pocas posibilidades de que el efecto rectificador de la marea ocurra en gran magnitud en Bahía San Quintín, aunque si es posible que se observe alguna variación en la energía de cada banda de frecuencia, debido a la propagación de la marea en aguas someras.

Se ha observado que en ocasiones, algunos efectos de la cuenca en la que entra la marea, son generadores de constituyentes múltiples de las frecuencias fundamentales, tales como M4 y M6, que tienen periodicidad de cuatro y seis ciclos por día y dependen de la constituyente lunar semidiurna (Filloux y Snyder, 1979).

Las mareas en aguas someras han sido definidas por Godin (1972) como la respuesta de cuerpos de agua como bahías o ríos a una excitación externa que usualmente es la marea que ocurre afuera en el océano, con el cual está en comunicación. Este tipo de mareas no son predichas por el desarrollo del potencial.

Mediante solución de las ecuaciones de movimiento, para el caso de cuencas como ríos o bahías considerando una fuerza externa excitante (la marea, por ejemplo) e incluyendo términos no lineales o friccionales como

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho u |\bar{V}| \quad (4)$$

donde u es una componente del vector velocidad \bar{V} y ρ es el coeficiente de fricción, pueden obtenerse componentes de oscilación con frecuencias mayores y menores que las de la fuerza externa.

Por ejemplo, si

$$u = u \text{ sen}(Wt) \quad (5)$$

resulta una armónica extra con frecuencia $2*W$. Y si se consideran sumas de oscilaciones externas de dos frecuencias W_1 y W_2 , la cuenca responderá con frecuencias $2*W_1$, $2*W_2$, W_1+W_2 , W_1-W_2 , (Godin, 1972).

Las constituyentes en aguas someras han sido clasificadas en "overtides" y mareas compuestas (compound tides). Mientras que las primeras tienen una frecuencia múltiplo exacto de alguna constituyente fundamental, las segundas las tienen como el resultado de suma o diferencia de dos o mas fundamentales (Schureman, 1941). Algunas de las

constituyentes mas comunes del tipo de "overtides" son: O2, N4, M4, S4, M6, S6, M7, M8, M10, M12: pero en el presente trabajo solo determinaremos algunas de estas, como se describirá mas adelante. Las constituyentes del tipo de mareas compuestas generalmente son el resultado de innumerables combinaciones, aunque las constituyentes involucradas que principalmente las producen son: M2, S2, N2, K1 y O1.

Además de las constituyentes de la marea generadas por condiciones de aguas someras y las predichas por el desarrollo del potencial, hay ciertas variaciones en el nivel del mar que tienen su origen en la variabilidad de los fenómenos meteorológicos. Variaciones en la temperatura, en la presión barométrica y en la fuerza y dirección del viento pueden causar fluctuaciones en el nivel del agua. Son pocas las fluctuaciones de este tipo que tienen frecuencias específicas para permitir su determinación como constituyentes de la marea, porque generalmente los cambios son irregulares. Algunas de las variaciones meteorológicas que son consideradas como constituyentes son las nombradas Sa, Ssa y S1, que tienen períodos de un año tropical, medio año tropical y un día solar, respectivamente. Sin embargo, tales constituyentes no han sido incluídas en el análisis armónico realizado en este trabajo, debido a su pequeña magnitud, comparada con las

componentes mencionadas anteriormente, a la corta longitud del período de muestreo y a otras dificultades del análisis que impiden separarlas o evaluarlas.

El efecto del viento sobre el nivel del mar es el de crear un apilamiento de agua en el margen opuesto de la dirección del viento (Clancy, 1968). Con respecto a las variaciones del nivel del mar producidas por agentes meteorológicos o cualquier otro que no sea considerado por el desarrollo del potencial o mediante los efectos de aguas someras, se pueden obtener mediante diferencia entre la marea registrada en una cierta estación y la marea predicha para ésta. A estas variaciones se les llama comunmente marea residual.

Se há observado que los registros de ~~mareas~~ residuales en el estuario del Río Potomac, son altamente coherentes con los del esfuerzo del viento predominante en la dirección del río (Elliot, 1976).

Ocurren también variaciones en el nivel del mar por efectos barométricos, y estos han sido explicados por Clancy (1972) y han sido observados también por Elliot (1976). Estos efectos no han sido considerados en este estudio, como lo dijimos anteriormente, por causa de las dimensiones de la

bahía.

Schureman (1941) explica que el suponer que las variaciones en el nivel del mar pueden ser expresadas matemáticamente por la suma de una serie de términos armónicos relacionados con condiciones astronómicas, es la base del análisis armónico de la marea. Pero es también cierto que el hecho de que las condiciones astronómicas sean regulares implica que el fenómeno de la marea será regular también, y esto implica a su vez que se repite y que es predecible (Godin, 1979). Por lo tanto el fenómeno periódico de la marea puede ser expresado en la forma:

$$Z(t) = Z_0 + \sum_k A(k) \cos[W(k)t - a(k)] + n(t) \quad (6)$$

donde $Z(t)$ es el nivel del mar observado en un tiempo t , Z_0 es el nivel de referencia en el lugar de observación, $A(k)$, $a(k)$ y $W(k)$ son la amplitud, fase y frecuencia de cada una de las componentes k contenidas en la marea, y $n(t)$ es el ruido presente en el registro al tiempo t .

La finalidad de aplicar el análisis armónico a un registro del nivel del mar en el tiempo, es el de evaluar la amplitud $A(k)$ y la fase $a(k)$ para la estación de observación. Mientras que las $W(k)$ son un arreglo de frecuencias

establecidas que son producto de las condiciones astronómicas (iguales para cualquier localidad), $A(k)$ y $a(k)$ dependen definitivamente de la localidad.

Para la evaluación de la amplitud y la fase de cada constituyente considerada en este trabajo, se utiliza el método explicado por Godin (1972) que es incluido en el paquete de programas de análisis armónico y predicción de marea descrito por Foreman (1977). Y se basa principalmente en la expresión (6) y un ajuste de mínimos cuadrados del registro, para obtener evaluaciones de la amplitud y fase de las constituyentes involucradas.

La función de admitancia, llamada también función de respuesta de frecuencia por Bendat y Pierson (1971), ha sido usada en general, en el análisis de registros de marea recientemente por Godin (1976 y 1975) y Godin et. al. (1976), y en especial ha sido aplicada también en Bahía San Quintín por Del Valle (1979).

Desde el punto de vista físico, la admitancia $AD(W)$ mide el enlace espectral entre dos funciones como procesos físicos específicos, y matemáticamente es definida como:

$$AD(W) = \frac{S_{xy}(W)}{X(W)} \quad (7)$$

donde $S_{xy}(W)$ representa el espectro cruzado entre la serie $x(t)$ (la entrada) y la serie $y(t)$ (la salida), las cuales poseen su espectro de frecuencia correspondiente $X(W)$ y $Y(W)$, (Godin, 1976).

A diferencia del análisis espectral puro, la función de admitancia mantiene una estabilidad tal que puede usarse con éxito sin un alto grado de resolución. Esto fundamentalmente se deriva del hecho que las principales constituyentes de la marea tienen frecuencias bien establecidas y se presentan en forma de paquetes en el espectro de frecuencia como se observa en la figura 19. Las constituyentes de un ciclo por día aparecen formando una banda, mientras que las correspondientes a dos ciclos por día aparecen en otra muy aparte.

El espectro de frecuencia $X(W)$ y el espectro cruzado $S_{xy}(W)$ en la función de admitancia, son calculados sobre un limitado número de bandas de frecuencia, cuyo ancho asegura que las estimaciones espectrales casi no tengan correlación y obedezcan a criterios de estabilidad predeterminada. Por lo cual, si tenemos un conocimiento detallado de la estructura espectral de la serie de entrada $x(t)$, se podrá obtener una buena visión de la serie de salida sin un análisis espectral directo, (Godin, 1976a).

En el presente trabajo se utilizó un registro del nivel del agua en la estación Molino Viejo con una duración de 6000 horas, correspondiente al período de tiempo entre el 23 de julio de 1977 y el 19 de marzo de 1978, y mediante el programa de análisis armónico presentado por Foreman (1977), se evaluó la amplitud y la fase para cada una de las constituyentes principales. Estos resultados se muestran en la tabla 2.

Además, utilizando el mismo registro de Molino Viejo como serie de entrada $x(t)$ se ha calculado la función de admitancia con respecto a cada uno de los registros de las demás estaciones de Boca, Pedregal, Cabeza y Mina Vieja, considerados como series de salida $y(t)$. Los resultados de estas evaluaciones aparecen en la tabla 3.

Utilizando los valores de amplitud y fase de las constituyentes del registro de Molino Viejo y los valores de admitancia y fase con los registros de las demás estaciones, se obtuvo una evaluación de la amplitud y fase de las constituyentes principales presentes en las estaciones Boca, Pedregal, Cabeza y Mina Vieja.

Con el conocimiento de amplitud y fase de las constituyentes para cada estación (tablas 4, 5, 6, 7 y 8) fué

posible una predicción de la serie de marea para cada estación, lo que se realizó para el período de tiempo correspondiente a este trabajo (Junio 1 - Agosto 30, de 1977). Gráficas de los resultados de estas predicciones se muestran en las figuras 3, 4, 5, 6 y 7.

Hemos utilizado para la predicción algunas constituyentes del tipo de "aguas someras" como las siguientes: S01, M03, S03, MK3, M4, MS4 y 2MS6.

Por la inclusión de estas constituyentes, la predicción no corresponde únicamente a una marea "astronómica pura", sino que incorpora otras armónicas además de las derivadas a partir del potencial de la fuerza de marea.

En general, las series de marea predichas parecen ser de buena calidad a simple vista. Los rangos de variación del nivel del mar son razonables. Aun así es necesario hacer una estimación de la desviación de la predicción, respecto a los valores observados. Esto se puede hacer con los segmentos de registro en cada una de las estaciones, procediendo a calcular las alturas de nivel del mar "residuales", es decir las diferencias entre las alturas observadas y las predichas. Estas mareas residuales graficadas se muestran en las figuras 3, 4, 5, 6 y 7.

Debido a que se consideraron solamente constituyentes derivadas del potencial y del tipo de aguas someras para la predicción, se puede decir que las mareas residuales se deben a los siguientes efectos secundarios posibles :

a) efectos meteorológicos (viento)

b) efectos no lineales (turbulencia, por ejemplo)

c) efectos friccionales

d) efectos de difusión, etc. que son presentes en el sistema

y aún podemos referirnos a las mareas residuales como una medida de nuestra ignorancia sobre el fenómeno (Godin, 1979).

Como se puede observar en las gráficas en que se presentan las mareas residuales, el rango de estas es aproximadamente de 50.0 cms., que corresponde a menos de un 20% del rango total de la marea registrada.

VIII. CORRIENTES.

Los desplazamientos de las partículas de fluido son tridimensionales. Podemos escoger un sistema de referencia cartesiano en que el plano xy corresponda con la superficie del mar o con otro nivel de referencia horizontal y así obtener una representación de los desplazamientos en ese plano horizontal, separados de los desplazamientos verticales.

La componente vertical medida en función del tiempo se le denomina marea vertical, la que fué descrita en el capítulo anterior. El desplazamiento horizontal de las partículas de fluido en función del tiempo es lo que entendemos por corriente. Estas corrientes en cualquier instante y posición dados, pueden obtenerse por medio de correntímetros.

Debemos hacer una consideración de la corriente en términos de sus constituyentes de marea y su parte aperiódica o residual.

Las corrientes constituyentes de marea se deben en su totalidad a las fuerzas productoras de marea, mientras que la parte residual de la corriente se asocia a todos los efectos externos que no son estas fuerzas productoras de

mareas.

Existe una diferencia muy notable entre las fluctuaciones de las corrientes de marea y las de la marea vertical. Las primeras son bastante irregulares y propicias a ser afectadas por fricción u otros efectos mientras que las segundas son bastante regulares como se mencionó antes. Las corrientes de marea pueden tener una estructura espectral muy diferente entre dos estaciones o niveles cercanos (Godin, 1979).

Simmons (1966), explica que las corrientes de marea son causadas por la elevación y el descenso en el nivel del mar debido a la marea presente en la entrada de una laguna o un estuario; entrando agua cuando sube el nivel y saliendo cuando éste desciende. En realidad el fenómeno de corrientes de marea es mas complejo, en primer lugar porque cada constituyente de la marea vertical tiene asociada también una constituyente en la velocidad de la corriente (aunque esta asociación no es necesariamente directa ni proporcional); y en segundo lugar porque los movimientos horizontales son mas influenciados por la topografía de la cuenca y otros efectos mas sutiles, mientras que los desplazamientos verticales resultan de una integración de todos los efectos presentes representados como una variación regular en el nivel del mar.

En el presente trabajo se tienen observaciones de corrientes en Bahía San Quintín en las estaciones Boca (Sección UV) y Sección OP. Mientras que el registro de Boca consta de 466 horas el de Sección OP consta de 700.

Puesto que la corriente es un vector horizontal bidimensional, se puede representar en sus componentes cartesianas "u" en dirección transversal a la dirección del canal de transporte y "v" siguiendo la dirección de éste (componente longitudinal). Para la estación Boca, la dirección longitudinal preponderante es N 25° W y la transversal es en dirección normal a ésta, y para la Sección OP la dirección longitudinal es N 21° E, (Del Valle, 1979).

Gráficas de las componentes longitudinal y transversal para la estación Boca se muestran en la figura 8 y para la sección OP en la figura 9.

La predicción de la componente longitudinal de la velocidad en cada sección de la bahía es un objetivo del presente trabajo y se logró completamente para el periodo de tiempo considerado.

Estas componentes se evalúan mediante el modelo descrito en el capítulo V y representan las corrientes de

marea producto de las constituyentes astronómicas y de aguas someras consideradas en el análisis y predicción de marea vertical.

Un ejemplo de las velocidades obtenidas para las secciones cercanas a las estaciones Molino Viejo, Boca y para la Sección OP se muestran en la figura 21. Se realizó la predicción para todas las secciones pero solo se muestran esas tres por razones de espacio.

Al igual que la predicción de marea, es necesario obtener una comparación entre el registro de corrientes y la predicción para tener una idea de la desviación entre lo que el modelo predice y la realidad. Puede observarse en la figura 22, una gráfica de velocidades observadas y predichas en la estación Boca sobrepuestas en las que se muestra que los valores mas desviados son del orden del 10% del rango total de variación de la velocidad.

La diferencia entre los valores observados y los predichos representan corrientes residuales y pueden considerarse como consecuencias de efectos externos como turbulencia, gradientes de densidad, fricción, esfuerzo del viento, etc. semejantes a los que producen las mareas residuales.

Además las observaciones de corrientes se obtuvieron en un solo punto en cada sección, así que esperaremos una diferencia entre predicción y observación por el hecho de considerar ese registro como un promedio representativo de toda la sección.

Es posible hacer una prueba para obtener una idea del efecto del viento sobre la superficie del agua, para influir en esas velocidades. Esto se sugiere hacerlo mediante evaluación de la función de correlación cruzada entre la componente longitudinal de la velocidad del viento y la componente longitudinal de la velocidad de la corriente residual para cada una de las estaciones Boca y Sección OP.

La obtención de las corrientes residuales puede interpretarse como representación de la desviación entre la predicción del modelo y la realidad.

Se presentan en la figura 23 gráficas de las corrientes residuales para las estaciones de registro Boca y Sección OP. Se observa fácilmente que son de mayor amplitud en la Sección OP que en la estación Boca.

Lo anterior porque el volumen que cruza la sección OP en un cierto intervalo de tiempo es mucho menor que el que

lo hace a través de la sección en la estación Boca.

IX. DISCUSIONES.

Discutiremos algo sobre el tema de instrumentos y registros que lo mencionamos antes como tema de vital importancia para el éxito de la investigación. Se puede observar en la columna donde se indica la precisión de cada instrumento en la tabla 1, que ésta es considerablemente buena. Pero además de esta buena precisión es necesario también un buen mantenimiento.

Las gráficas que muestran la velocidad de la corriente y la altura de marea registradas son un ejemplo útil para reconocer algunas de las deficiencias que existen en los datos crudos, causadas por fallas en los instrumentos, debidas a un mantenimiento inadecuado.

Hay otros errores e incertezas que existen en los datos crudos y no pueden ser detectados a simple vista, al inspeccionar las gráficas. Durante el procesamiento de nuestros datos hemos empleado la función de admitancia para la detección de algunos errores que principalmente se deben a problemas de calibración y sincronización de relojes.

La precisión del cálculo de volúmenes y áreas depende en primer lugar de la precisión de la carta

batimétrica utilizada y en segundo lugar de su adecuado ajuste a la situación real de la bahía, continuamente cambiante desde la fecha de su edición (1966).

Por lo anterior no es crítica la elección de un método muy preciso de integración numérica o de interpolación, y se considera que los métodos empleados son suficientemente adecuados.

El método de análisis armónico que se aplicó al registro de la estación Molino Viejo entrega una medida de la calidad de la matriz formada para el cálculo de amplitud y fase de cada constituyente. A esta medida se le llama número de la condición de la matriz o simplemente condición de la matriz y es definida por Foreman (1977).

El número de la condición de la matriz proporciona una indicación burda, de las dificultades en el redondeo asociadas con el proceso de solución de la ecuación

$$Bx = y \quad (8)$$

que resulta del desarrollo para minimizar el error cuadrático entre la observación y las componentes de marea que tratan de ajustarse.

De las propiedades de la matriz B, que contiene la

información de las frecuencias de las constituyentes empleadas, se obtiene que puede representarse como una multiplicación de vectores de n dimensiones de la forma

$$B = \begin{bmatrix} b(1) \\ \vdots \\ b(n) \end{bmatrix} [b(1) \dots b(n)] \quad (9)$$

y en particular si los vectores son normalizados $|b(i)| = 1$, el valor del determinante de B indica una idea de la independencia lineal del sistema.

Un valor cercano a 1 significa casi ortogonal y una matriz diagonal para B, por lo tanto una solución fácil. En cambio un valor cercano a cero significa que al menos dos renglones son múltiplos escalares de algún otro y ocurrirán problemas de precisión cuando se calcule la solución de la ecuación.

El número de condición de la matriz puede interpretarse también como el volumen del paralelepípedo de n-dimensiones cuyas aristas son formadas por los vectores normalizados de la matriz B.

El valor de la condición de la matriz en nuestro caso es igual a 0.58 con lo cual se puede decir que el ajuste

por mínimos cuadrados realizado es bueno (G. Godin, 1979, comunicación personal). El valor máximo posible de la condición de la matriz es la unidad, que corresponde a un ajuste perfecto. La disminución de este valor hasta 0.58 en nuestro caso posiblemente se debe al efecto de aguas someras sobre las constituyentes y a la situación de la estación mareográfica que se encuentra cercana a un espigón, cuyo estrechamiento del flujo proveniente de la cabeza de la bahía, introduce una variación en el tiempo de la amplitud y la fase de cada una de las constituyentes principales.

Una estimación de la energía puede obtenerse mediante la sumatoria de los cuadrados de las amplitudes, pero también es representativo considerar el valor de la varianza del registro de marea como una idea de la energía presente.

Mediante el cálculo de la varianza directamente del registro igual a 50.0 cms., y la raíz del valor cuadrático medio teórico, evaluado a partir de los coeficientes involucrados en el ajuste de amplitud y fase mediante mínimos cuadrados, igual a 36.83 cms., se puede conocer que un 76 por ciento de la varianza del registro empleado, es explicado por el análisis armónico al evaluar las 45 constituyentes mostradas en la tabla 2.

Una estimación del porcentaje de error de la predicción, con respecto a la varianza presente en la observación es la siguiente:

$$\text{Err} = \frac{(\text{VARpred} - \text{VARobs})}{\text{VARobs}} \quad (10)$$

El cálculo de la fracción de error por la varianza presente en la predicción es de 24 por ciento.

Puesto que las amplitudes de las constituyentes principales de la marea en Bahía San Quintín son inferidas a partir del registro de la estación Molino Viejo, el conocer la energía relativa entre predicción y observación es lógicamente una buena medida para decir algo sobre la energía relativa presente en cada estación. Es decir que podemos asumir que los valores predichos de alturas de marea en las diferentes estaciones, representan aproximadamente el 70 por ciento de la realidad.

El número total de constituyentes inferidas mediante el análisis armónico es 45, (tabla 2). Para la predicción de marea en esta estación se seleccionaron solo 23, las que presentaban amplitud mayor que 1.0 cms.

Considerando la energía de las 45 constituyentes como un 100 por ciento de la energía presente, el utilizar solo 23 constituyentes para efecto de predicción de altura de marea en diferentes puntos de la bahía es emplear el 99 por ciento de la energía total supuesta. Una idea de la energía en este caso es estimada como la sumatoria de los cuadrados de las amplitudes.

Los resultados de admitancia entre las series de marea que se sumarizan en la tabla 3, muestran que la fase (en grados) entre la estación Molino Viejo y la estación Pedregal, y entre la estación Molino Viejo y la estación Boca es negativa para las tres bandas. Esto indica que las componentes que corresponden a cada una de las tres bandas, ocurren mas temprano en la boca y en la estación Pedregal que en la estación Molino Viejo. Sucede lo contrario entre las estaciones Cabeza y Molino Viejo. Debemos recordar que las series de tiempo obtenidas en la estación Molino Viejo son utilizadas como la entrada $x(t)$, y las obtenidas en las demás estaciones como la salida $y(t)$, durante la evaluación de la función de admitancia.

Considerando el resultado de la fase entre las constituyentes que se presentan en las estaciones Molino Viejo y Mina Vieja se observa que ocurren mas temprano las de las

bandas diurna y semidiurna, en cambio las de la banda terciurna lo hacen mas tarde.

Para cada una de las bandas 1, 2 y 3 (semidiurna, diurna y terciurna) la fase en grados representa en tiempo 4.0, 2.0 y 1.3 minutos respectivamente.

Entonces las constituyentes de la banda 1 tienen un retraso entre las estaciones Boca y Molino Viejo de 55.0 minutos aproximadamente, mientras que entre las estaciones Pedregal y Molino Viejo es de 14.0 minutos solamente.

Mediante los cálculos de admitancia y fase ya explicados pueden obtenerse los intervalos de retraso entre las componentes de cada una de las bandas, para las diferentes estaciones. Este resultado se muestra en la tabla 9.

También en la tabla 9 podemos observar una representación de tiempos de retraso, considerando que las constituyentes de cada banda ocurren a tiempo cero en la estación Boca. Así podremos decir que si observamos en un cierto instante un máximo de las constituyentes diurnas en la Boca, despues de 41 minutos aproximadamente se presentará en la estación Pedregal, en cambio tardará en presentarse 55 minutos en Molino Viejo mientras que seran 103 minutos los que

transcurrirán para presentarse después en el mareógrafo de la estación Cabeza. El progreso será algo diferente hacia Bahía Falsa, presentandose tal máximo aproximadamente 31 minutos después de hacerlo en Boca, en la estación Mina Vieja.

Los intervalos entre las estaciones Pedregal y Molino para las tres bandas son menores que los que se presentan entre Boca y Pedregal y aún también que los ocurridos entre Molino Viejo y Cabeza.

Mediante los resultados de amplitud de la función de admitancia se construyo el esquema que se muestra fuera de escala en la figura 20 en el que se puede notar que las variaciones en la altura de marea entregan una interpretación de las variaciones de amplitud en las constituyentes de cada una de las bandas.

Es mi intención mostrar que un análisis de la marea debe hacerse en función de sus constituyentes, aunque un estudio de la onda de marea como una sola onda en el tiempo puede ser mas práctico, y no tiene la precisión ni entrega la cantidad de información que suministra el primero. La representación de variaciones de amplitud en cada estación explica la independencia de cada una de las bandas respecto a las demas y es obvio que un estudio riguroso de la marea en

cualquier bahía debe hacerse considerando siempre que está compuesta por constituyentes de frecuencias bien establecidas teóricamente.

Es más completo y riguroso hablar de un retraso en el tiempo, de la ocurrencia de las constituyentes de una cierta banda entre dos estaciones, que hablar del retraso de la marea en su totalidad como lo expresan Del Valle (1979) y Monreal (1980). En el caso de Bahía San Quintín, el hecho más importante es que las constituyentes presentes se conocen y como dijimos antes, sus frecuencias están teóricamente definidas, lo que permite efectuar el análisis que se presenta en este trabajo.

Los valores de fase y admitancia son estimaciones de los valores reales, por lo tanto debe hacerse una evaluación de límites de confianza, para lo cual se introduce el concepto de coherencia. La coherencia está en íntima relación con el concepto de admitancia y ha sido descrita por G. Godin (1976) y por Bendat y Pierson (1971) y definida como:

$$\text{COH}(W) = \frac{S_{xy}(W)}{[X(W) Y(W)]^{1/2}} \quad (11)$$

Donde $S_{xy}(W)$ es el espectro cruzado entre las series $x(t)$ y $y(t)$ que poseen autoespectros $X(W)$ y $Y(W)$ respectivamente.

El conocimiento del valor de la coherencia $COH(W)$, es esencial para la evaluación de los límites de confianza, puesto que el error probable en la amplitud (cms) y fase (radianes) de la admitancia $Z(W)$ esta dado por:

$$E(W) = \left| \frac{1 - COH^2(W)}{COH^2(W)} \right| \left| \frac{1}{(1-P)^{1/\Delta T}} - 1 \right|^{1/2} \quad (12)$$

donde P es la probabilidad de que el error no exceda $E(W)$, T la duración del registro empleado y Δ la resolución en frecuencia escogida, para tener así $n=2\Delta T$ grados de libertad.

Si elegimos $P=0.90$ y $\Delta=0.0417$ ciclos/hora y conocemos el número de horas en cada registro podemos calcular el límite de confianza de cada estación que resulta ser del orden de ± 0.0005 , similar a los valores que obtuvo Del Valle (1979).

La predicción de marea para cada estación se realizó incluyendo también constituyentes del tipo de aguas someras como S01, M03, S03, MK3, MS4 y 2MS6 como se muestra en las tablas 4 a 8. Estas se incluyeron por presentar amplitud mayor que 1.0 cm. en el resultado del análisis armónico del registro de la estación Molino Viejo, aunque el error estimado en el cálculo de su amplitud es generalmente ± 0.6 cms. Pero se realizó una predicción de la marea para la estación de Molino Viejo con menos constituyentes, solamente 15, cuyas amplitudes eran mayores que 1.2 cms. y el resultado en términos de marea residual fue de menor calidad que al emplear

las 23 constituyentes anteriores.

Al analizar la marea residual en la Estación Boca, se observa a simple vista un registro erróneo, que posiblemente se deba a mal funcionamiento del reloj o del aparato en si.

Me refiero al tipo de errores que muestran saltos y/o desviaciones en el registro, que debiera ser regular. Estos datos malos se observan desde las gráficas de datos crudos y se transmiten durante el procesamiento, reflejandose en saltos y/o desviaciones también en las gráficas de la marea residual.

En la marea residual de la estación Pedregal se observan errores de registro entre las horas 1344 y 1440 y otros errores similares pueden apreciarse también en la gráfica de la marea residual de la estación Mina Vieja.

Además en la estación Cabeza se observa la marea residual de mayor amplitud que la de Pedregal y que la de Molino, que son las estaciones mas cercanas.

La marea residual de Molino Viejo es la mas completa en registro, como podria esperarse. En esta se

observan "eventos" con períodos del orden de días que se distinguen como lóbulos sobre todo el registro, y claramente de 0 a 200 hrs y de 200 a 480, (figura 5). Es casi seguro que estos eventos presentan relación con algunos fenómenos meteorológicos.

Es lógico pensar que causas meteorológicas como el viento puede tener efectos mas importantes en la región de la estación Cabeza y por lo tanto obtenerse una amplitud de la marea residual mayor, tal y como lo hemos obtenido.

Los valores registrados de velocidad de la corriente son mayores en la estación Boca que en la sección OP. No solamente son mayores los valores que corresponden a la velocidad longitudinal sino tambien los que corresponden a velocidad transversal, a pesar que la seccion OP se encuentra cercana a la comunicación con Bahía Falsa mediante el canal principal de circulación.

La disminución de velocidad logitudinal, hacia el interior de la bahía es claramente predicha por el modelo, y puede observarse en la figura 21.

Lo que es interesante indicar es que la velocidad residual en la sección OP es de mayor magnitud que en la

estación Boca. Esto sugiere un aumento de la influencia del viento o de otros efectos ignorados en la predicción, sobre la velocidad hacia el interior de la bahía, mostrando en la Boca una uniformización de este efecto.

La velocidad residual en la Boca puede interpretarse como una integración del efecto del viento y otros efectos sobre la velocidad, el cual es posiblemente muy variable en el interior de la cuenca, sin contradecir lo explicado anteriormente.

En la tabla 10 se muestran valores estadísticos de las velocidades observadas, predichas y residuales para las estaciones Boca y Sección OP.

Un análisis de las estadísticas de los valores de velocidad longitudinal observados, predichos y residuales muestran que en la estación OP la varianza de la velocidad longitudinal observada esta en relación 11:8 con la varianza de la velocidad predicha. Es decir, que 30 por ciento de la varianza de la velocidad observada no es predicha, apareciendo como velocidad residual.

Los valores de varianza de velocidad observada y velocidad predicha presentan una relación 14:11 para la

estación Boca, y para la velocidad observada y la velocidad residual la presentan de 14:2 aproximadamente.

El modelo ofrece entonces un mejor ajuste en la estación Boca que en la sección OP.

En la estación Boca se puede inferir un aporte de un flujo neto hacia dentro de la bahía (signo positivo) debido a efectos no astronómicos puesto que la predicción indica una velocidad promedio de -1.05 cm/seg mientras que los valores residuales presentan promedio de 5.81 cm/seg.

Se debe hacer notar que el registro de velocidad en la boca fue solamente superficial y se ha estado comparando con la predicción de una velocidad longitudinal media en el area transversal, que se considera representativa de toda la sección.

X. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Respecto a los errores posibles introducidos en el cálculo de áreas y volúmenes, debemos referirnos con insistencia a la antigüedad de la carta batimétrica empleada y recomendar la realización de una batimetría actualizada.

En este trabajo se explica la posibilidad de la existencia de variaciones de amplitud y fase de las constituyentes principales en la estación Molino Viejo. Infiriéndolo solamente de la presencia de aguas someras, una batimetría muy irregular y el relativamente bajo valor de la condición de la matriz resultado del análisis armónico. Por este motivo se sugiere un estudio detallado del comportamiento de las constituyentes de marea dentro de la bahía, realizando análisis armónico para segmentos de registros obtenidos a diferente tiempo. El efecto del espigón presente frente a la estación Molino Viejo es de particular interés y es suficiente para decidir sobre la instalación de otra estación mareográfica alejada de tal espigón.

De los retrasos de las ocurrencias de constituyentes diurna, semidiurna y tercediurna entre Boca y Pedregal, que son mayores que los estimados entre Pedregal y Molino, se puede intuir que la bifurcación de la cuenca hacia

Bahía Falsa actua como un retrasador natural de las constituyentes en el tratamiento. Es de particular importancia el gran retraso de 69 minutos que sufren las constituyentes tercediurnas para su ocurrencia en Mina Vieja relativa a la de la estación Boca.

El espigón anteriormente mencionado, también produce un retraso considerable y notable en mayor grado en la componente diurna. Considerando que las ondas diurnas tardan aproximadamente 48 minutos en propagarse de Molino a Cabeza y las semidiurnas 21 y las tercediurnas 16 minutos, es posible decir que las constituyentes de mayor período son mas retrasadas por estrechos (por ejemplo la zona del espigón) que las de período menor.

Es posible indicar que la parte de la bahía entre Pedregal y Molino es la de batimetría mas regular y que aporta un retraso de menor escala.

El efecto del espigón (estrecho), es de particular interés observando los valores de amplitudes relativos a Molino. Es posible concluir que este afecta a las constituyentes de período corto (tercediurnas) aumentando su amplitud mientras que a las de 1 ciclo por día las disminuye.

Al analizar las gráficas de los datos de mareas residuales, especialmente en Molino Viejo, es posible distinguir eventos cuya naturaleza posiblemente proviene de la influencia del viento. Alvarez (1979) ha observado la presencia de eventos en series de tiempo de variables fisicoquímicas en la Boca de Bahía San Quintín y las atribuye a fenómenos de surgencias. Existe también la posibilidad de la presencia de estos eventos en el interior de la bahía y registrables en Molino Viejo. Respecto a esto cabe hacer una sugerencia de estudios posteriores con el fin de establecer la naturaleza de estos eventos y su posible correlación con efectos meteorológicos como el viento.

Es posible hacer una prueba para obtener una idea del efecto del viento sobre la superficie del agua, para influir en las velocidades consideradas en este trabajo. Esto se sugiere hacerlo mediante evaluación de la función de correlación cruzada entre la componente longitudinal de la velocidad del viento y la componente longitudinal de la velocidad de la corriente residual para cada una de las estaciones Boca y Sección DP.

XI. BIBLIOGRAFIA.

Alvarez B. S., (1979). Maricultura en Aguas Protegidas y Semiprotegidas de Baja California., Discusiones Internas sobre Labores de Investigación y Docencia. C. I. C. E. S. E.

Alvarez B. S., G. Ballesteros G. y A. Chee B., (1975). Estudio de Algunas Variables Fisicoquímicas Superficiales en Bahía San Quintín, en Verano, Otoño e Invierno. Ciencias Marinas vol. 2, no. 1.

Barnard. L., (1962). Benthic Marine Exploration of Bahia de San Quintin B. C. 1960 -61. vol. 3. no. 8. Pacific Naturalist.

Bendat J. S. y A. G. Piersol., (1971). Random Data: Analysis and Measurement Procedures. Wiley-Interscience., 407 pp. 228.

Chavez N. A. G. y S. Alvarez B., (1974). Hidrología de la Bahía de San Quintín, en Invierno y Primavera. Ciencias Marinas vol. 1, no. 2.

Clancy E. P., (1968). The Tides. Pulse of the

Earth. Anchor Books Doubleday and Company, Inc. pp. 228.

Colombo G., (1977). Lagoons. en The Coastline.,
Barnes ed. Wiley- Interscience publ. pp. 356.

Dawson E. Y., (1962). Marine and Marsh
Vegetation. Benthic Marine Exploration of Bahia San Quintin B.
C. 1960 -61. Pacific Naturalist.

Del Valle L. I., (1979). Aplicación de un Modelo
Numérico y Análisis de Condiciones Hidrodinámicas en Bahía San
Quintín B. C., Tesis de Maestría en Ciencias. C.I.C.E.S.E.
(sin publicar).

De La Paz V. R., (1978). Hidrodinámica y
Dispersión de Contaminantes en el Estero de Punta Banda B. C.
Tesis profesional. U.C.M. U.A.B.C.

Elliot A. J., (1976). A Study of the Effect of
Meteorological Forcing on the Circulation in the Potomac
Estuary. Chesapeake Bay Institute. ref. 76-9, sp. rep.
56.

Filloux, J. H. y R. L. Snyder., (1979). A
Study of Tides, Set Up and Bottom Friction in a Shallow Water

Semi-enclosed Basin. Part I: Field Experiment and Armonic Analysis., Journal of Physical Oceanography. vol. 9.

Foreman, M. G. G., (1977). Manual for Tidal Heights Analysis and Prediction., Pacific Marine Science Report 77-10. Institute of Ocean Sciences, Patricia Bay. Victoria, B. C.

Forsythe, G. E., M. A. Malcolm y C. B. Moler., (1977). Computer Methods for Mathematical Computations., Prentice-Hall Inc. pp. 259.

Galindo B. M. S., (1980). Hidrología Comparativa de Dos Sistemas Antiestuarinos de Baja California. Tesis Profesional. U.C.M. U.A.B.C. (sin publicar)

Godin, G., (1979). Notas del Curso Temas Selectos en Oceanografía., C. I. C. E. S. E. Semestre de Primavera. (Sin publicar).

Godin, G., (1976). The Use of Admittance Function for the Reduction and Interpretation of Tidal Records. Marine Sciences Directorate. Manucrypt Report Series no. 41.

Godin, G., (1975). The reduction of the Tidal

Observations in Chesterfield Inlet with the Help of the Admittance Function., Marine Environmental Data Service. Technical Note No. 9.

Godin, G., (1972). The Analysis of Tides. University of Toronto Press.

Godin, G., S. Eldring y R. Pinard., (1976) The Reduction of Current Observations with the Help of the Admittance Function., Fisheries and Marine Service. Technical Note No. 14.

Gorsline D. S. y R. A. Stewart., (1962). Benthic Marine Exploration of Bahia San Quintin, Baja California, 1960 -61 Marine and Quaternary Geology. vol. 3., no. 8. Pacific Naturalist.

Harleman, D. R. F. y Lee C. H., (1969). The Computations of Tides and Currents en Estuaries and Channels. Technical Bulletin No. 16. Ralph M. Parsons Laboratory. M. I. T.

Lara, J. R. L., (1979). Variability and Tidal Exchange of Ecological Properties in a Coastal Lagoon., M. Sc. Thesis. O. S. U. (sin publicar).

Lara, J. R. L. y S. Alvarez B., (1975). Ciclo Anual de Clorofilas y Producción Orgánica Primaria en Bahía San Quintín B. C., Ciencias Marinas. vol. 2, no. 1.

Lamb, H., (1932). Hydrodynamics. 6th Ed. Dover.

Menzies R. J., (1962). The Marine Isopoda Fauna of Bahia de San Quintin B. C. vol. 8., no. 3. Pacific Naturalist.

Millán N. R. (1978). Ecuaciones espectrofotométricas tricromáticas para la determinación de clorofilas a, b y c y sus productos de degradación. Tesis Profesional. U.C.M. U.A.B.C. (sin publicar).

Monreal, A., (1980). Aplicación de un Modelo de Dispersión en Bahía San Quintín. Tesis de Maestría en Ciencias. CICESE. (sin publicar).

Nelson-Smith A., (1977). Estuaries. en The Coastline., Barnes ed.

Plascencia D. R. M., (1980). Determinación de Circulación en Bahía San Quintín B. C., por Gradientes de Densidad. Tesis Profesional. U.C.M., U.A.B.C., (en

preparación).

Pritchard. D. W., (1977). Un Plan de Estudio de la Hidrografía Física de los Esteros. Discusiones Internas Sobre Labores de Investigación y Docencia. C. I. C. E. S. E.

Schureman, P., (1941). Manual of Harmonic Analysis and Prediction of Tides. U. S. Department of Commerce. Spe. Pub. no. 98.

Simmons, H. B., (1966). Field Experience in Estuaries. Estuary and Coastline Hydrodynamics., Ippen, A. T. (ed). Mc Graw-Hill Book Co. Inc.

S. M. , (1966). Carta Batimétrica de Bahía San Quintín. Gobierno de México.

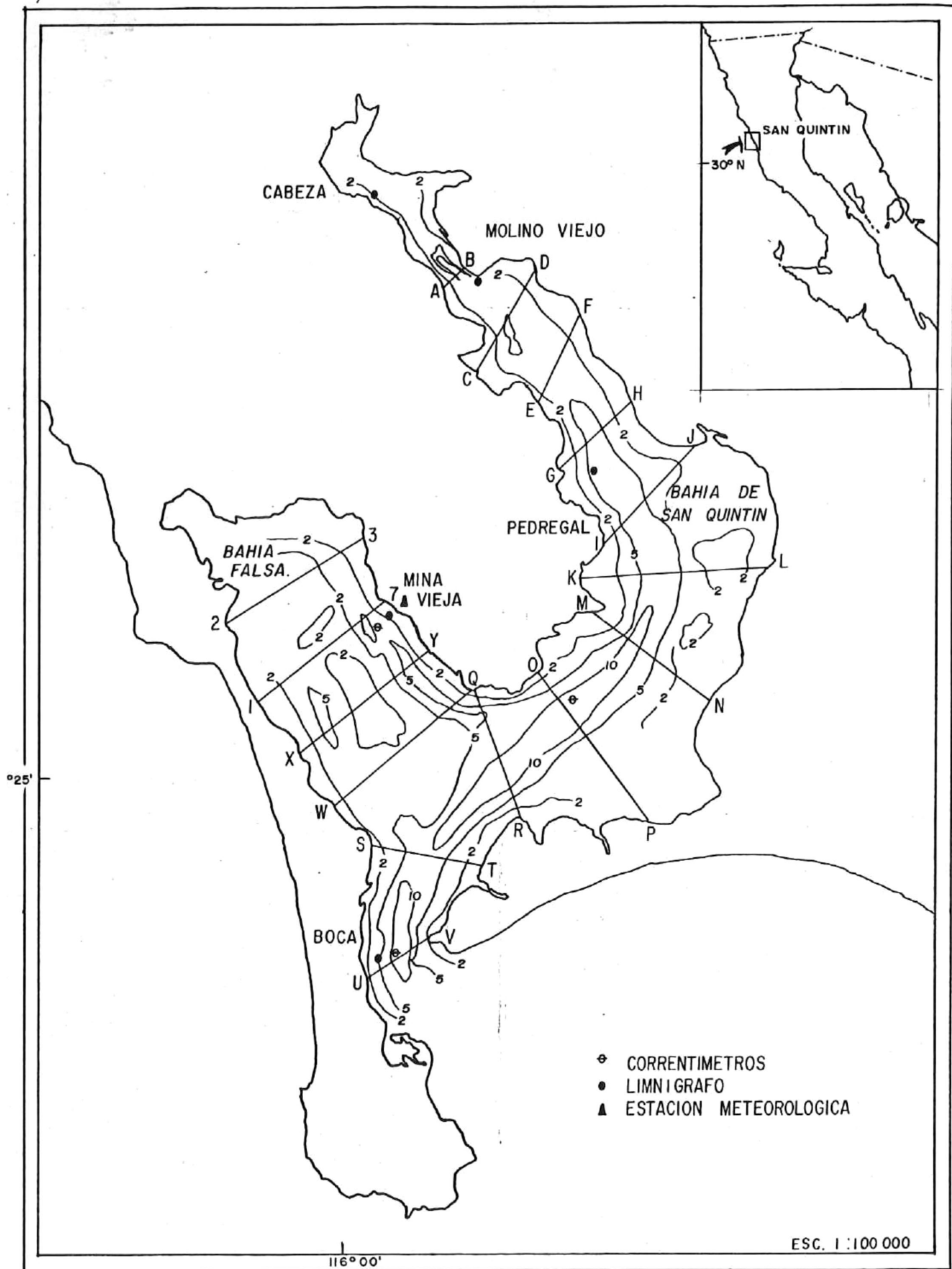
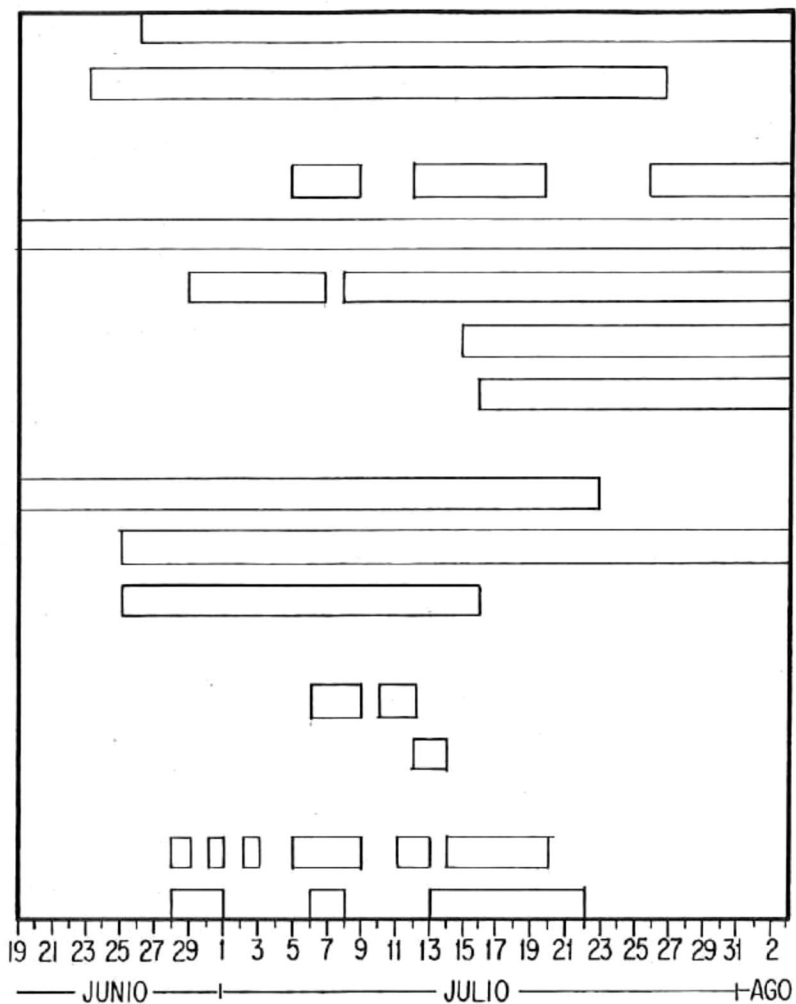


FIGURA.- I LOCALIZACION DE ESTACIONES, INSTRUMENTACION Y SEGMENTACION EN EL ESTERO DE SAN QUINTIN.



- METEOROLOGICOS
- ANEMOMETRO (mina vieja)
- HIGROTHERMOGRAFO (mina vieja)
- MAREAS
- BOCA
- MOLINO VIEJO
- MINA VIEJA
- PEDREGAL
- CABEZA
- CORRIENTES
- CORRIENTIMETRO BOCA
- CORRIENTIMETRO SECC. OP.
- CORRIENTIMETRO MINA VIEJA
- CONCENTRACION DE TINTA
- TINTA FLUORESCENTE (Bahia Falsa)
- TINTA FLUORESCENTE (Bahia San Quintin)
- SALINIDAD, TEMP, DENSIDAD.
- S‰, T °C (Bahia Falsa)
- S‰, T °C (Bahia San Quintin)

FIG.- 2 Presentacion de variables y sus registros obtenidos en Bahia San Quintin, correspondiente al programa global de la seccion de lagunas costeras del CICESE.

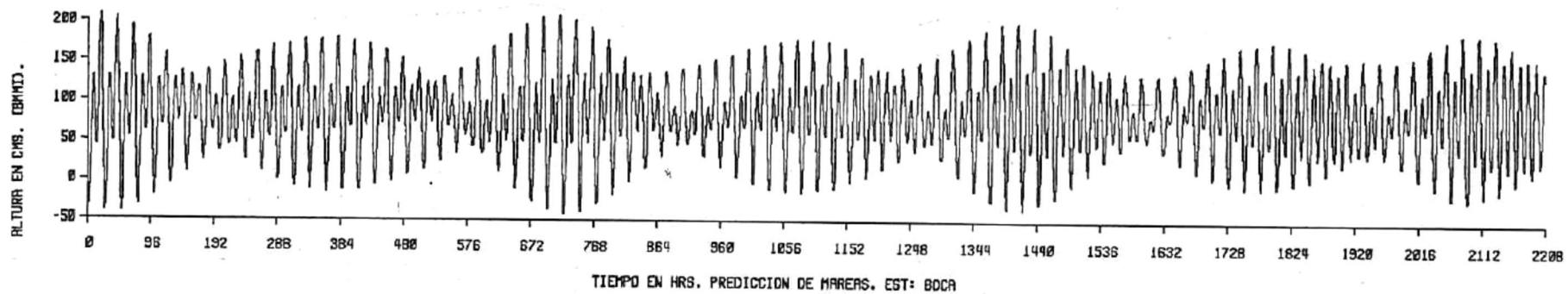
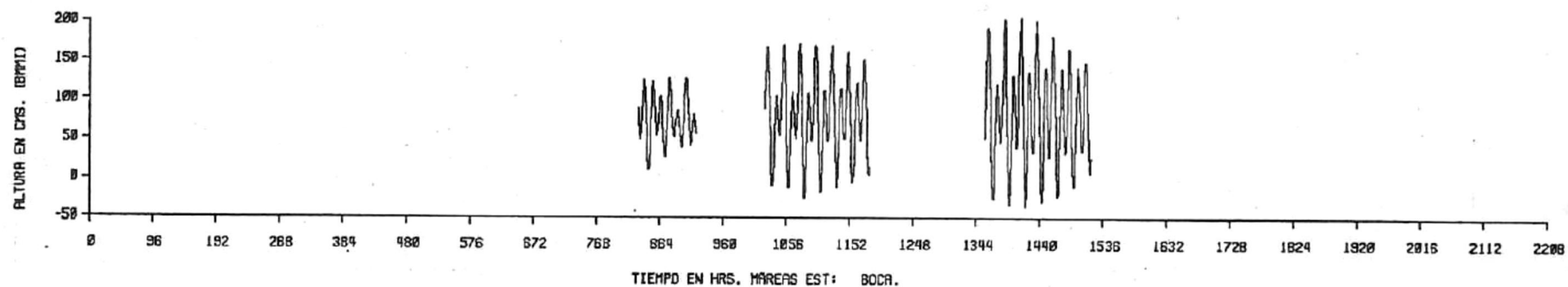
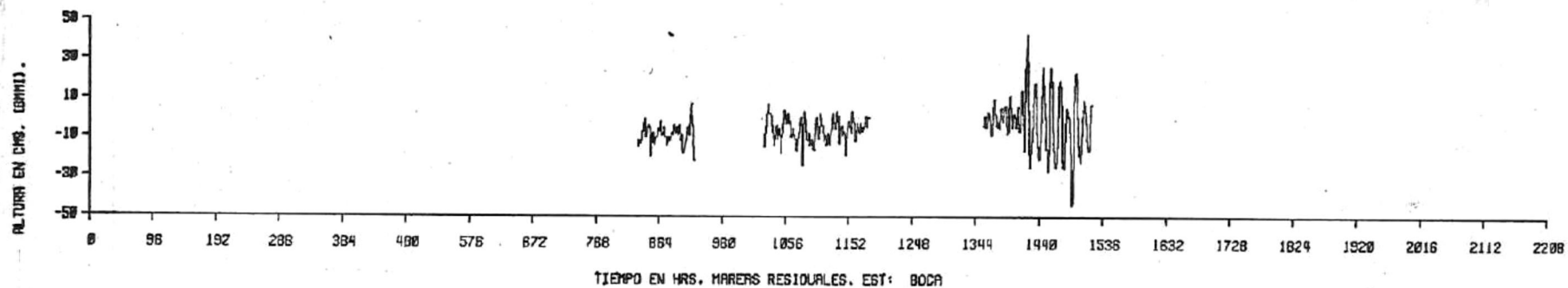


FIG. 3 MAREAS RESIDUALES, OBSERVADAS Y PREDICHAS EN LA ESTACION BOCA

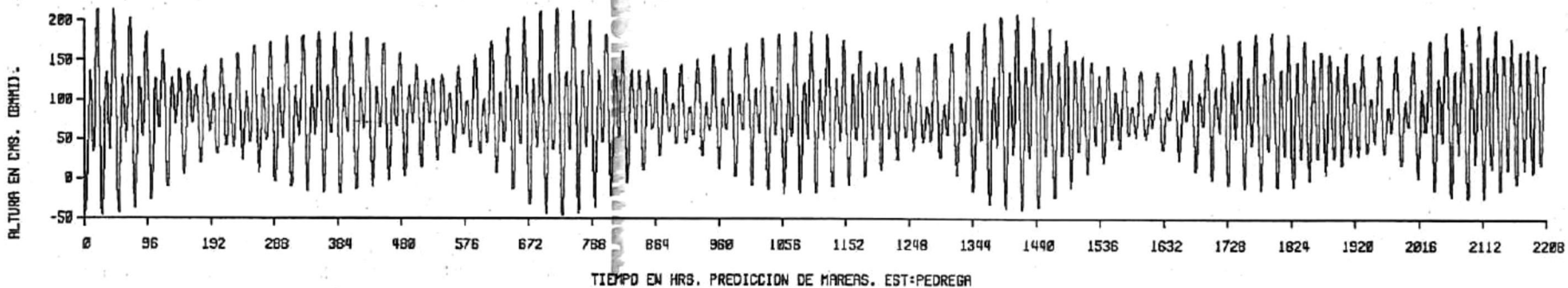
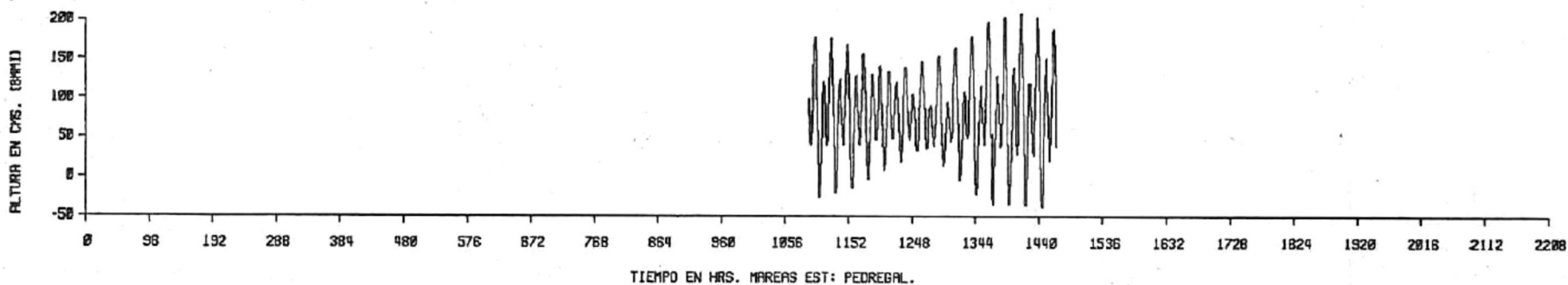
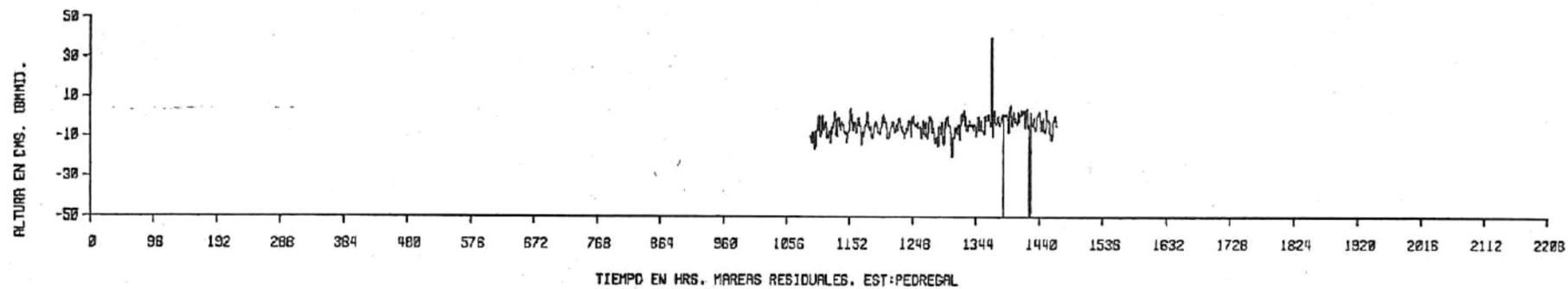


FIG. 4 MAREAS RESIDUALES, OBSERVADAS Y PREDICHAS EN LA ESTACION PEDREGAL

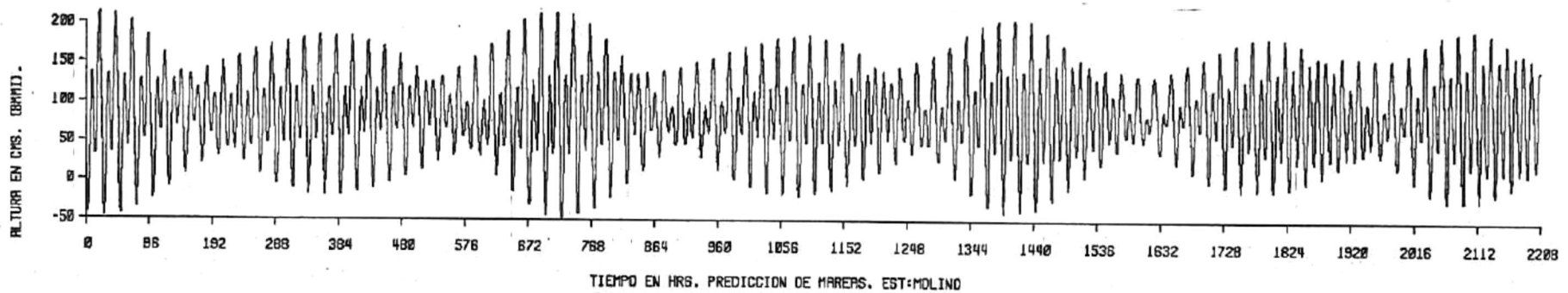
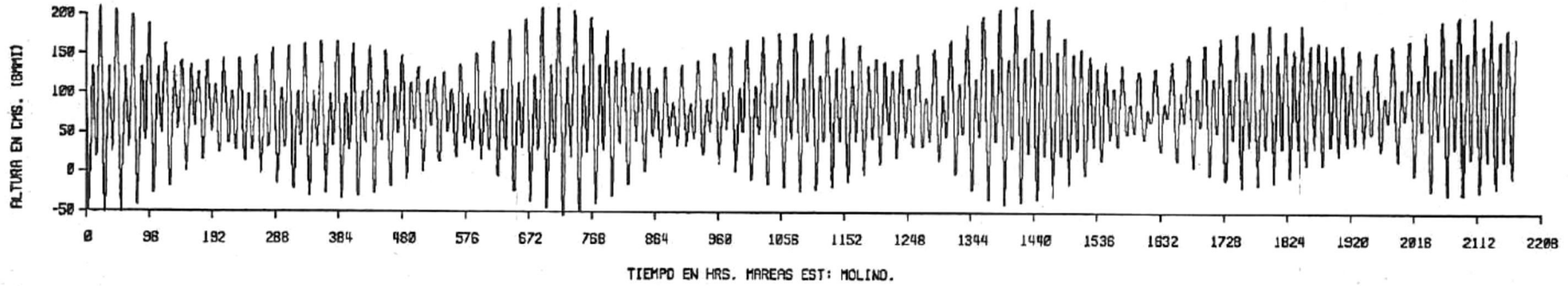
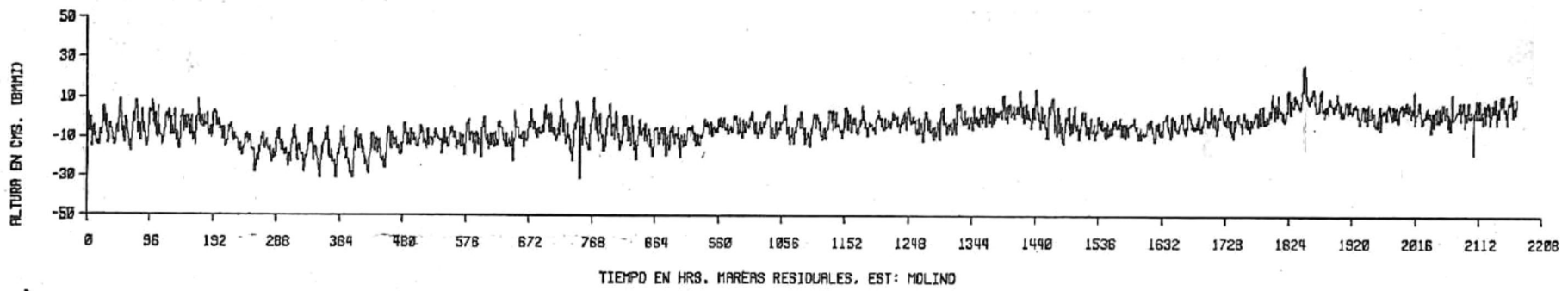


FIG. 5 MAREAS RESIDUALES, OBSERVADAS Y PREDICHAS EN LA ESTACION MOLINO VIEJO

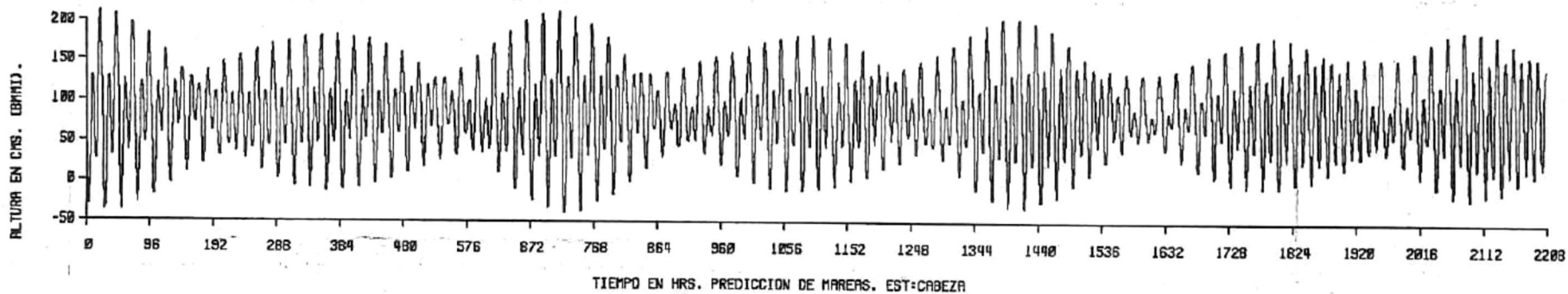
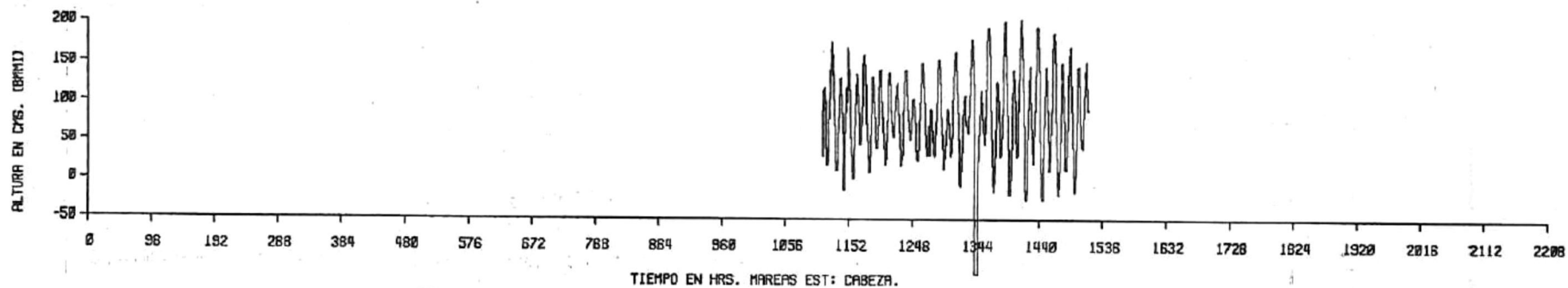
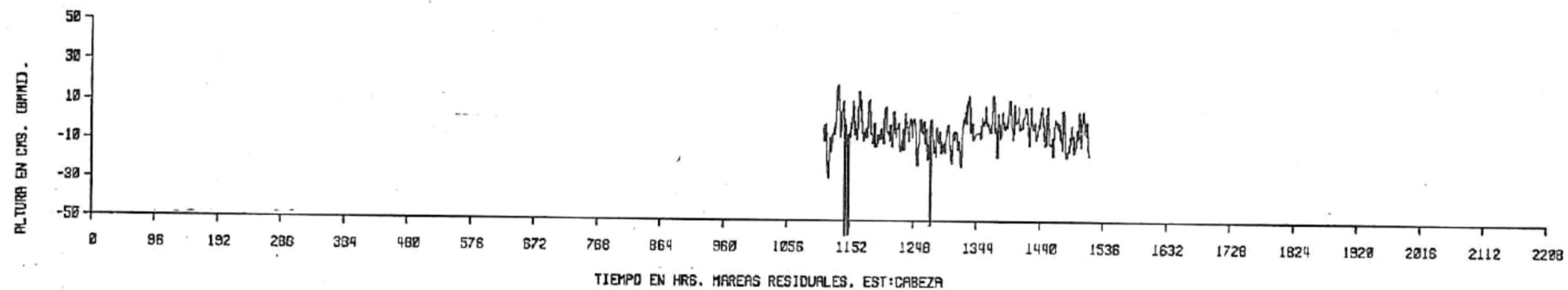


FIG. 6 MAREAS RESIDUALES, OBSERVADAS Y PREDICHAS EN LA ESTACION CABEZA

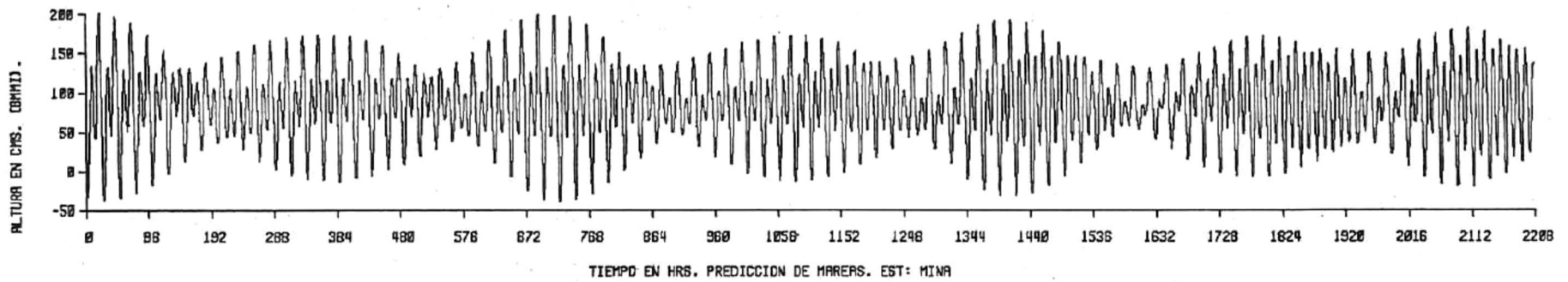
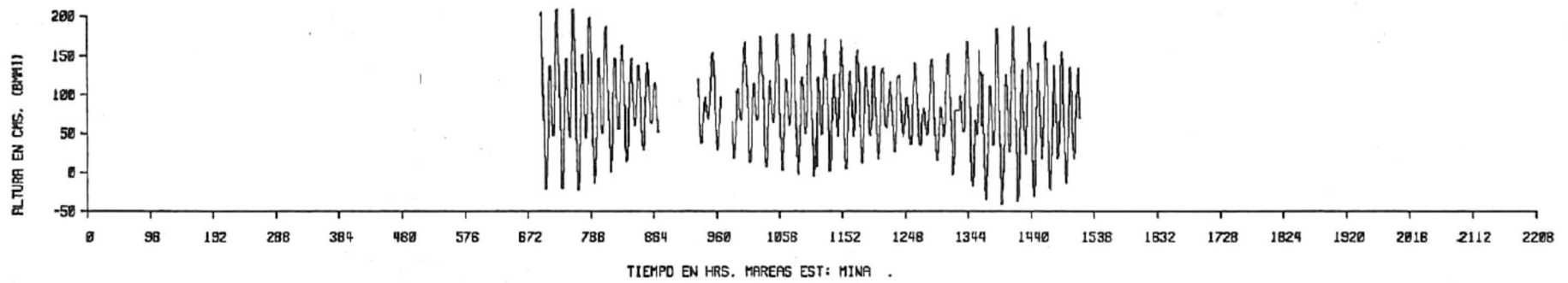
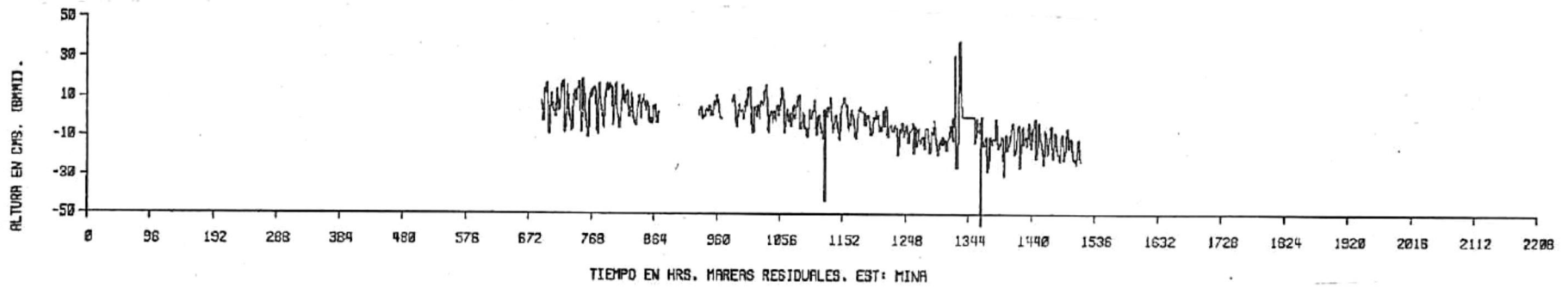


FIG. 7 MAREAS RESIDUALES, OBSERVADAS Y PREDICHAS EN LA ESTACION MINA VIEJA

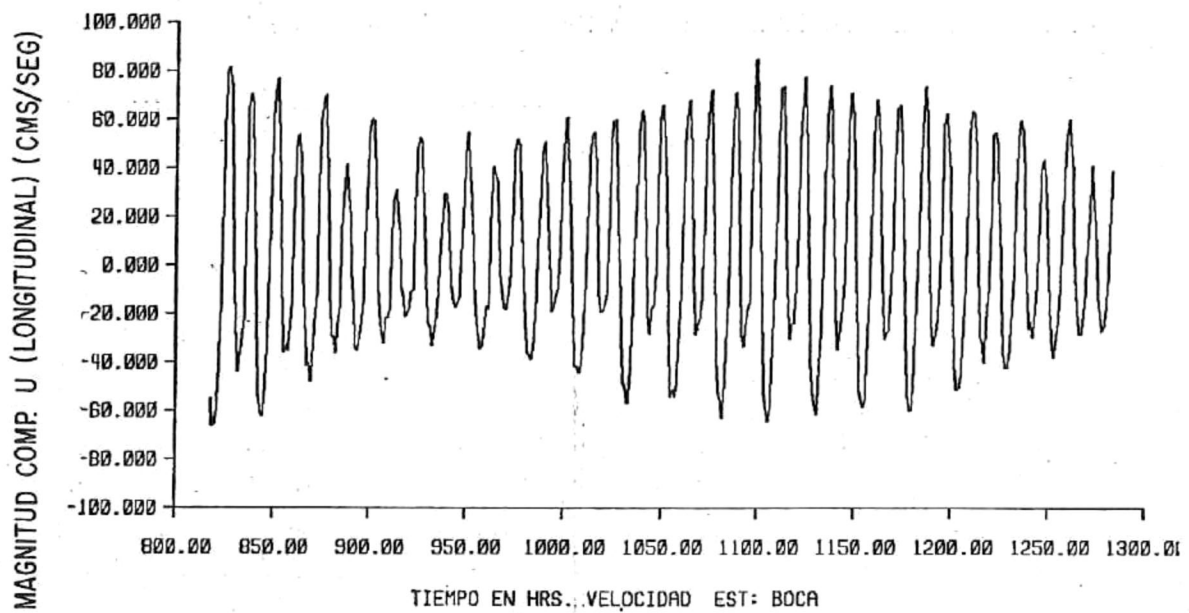
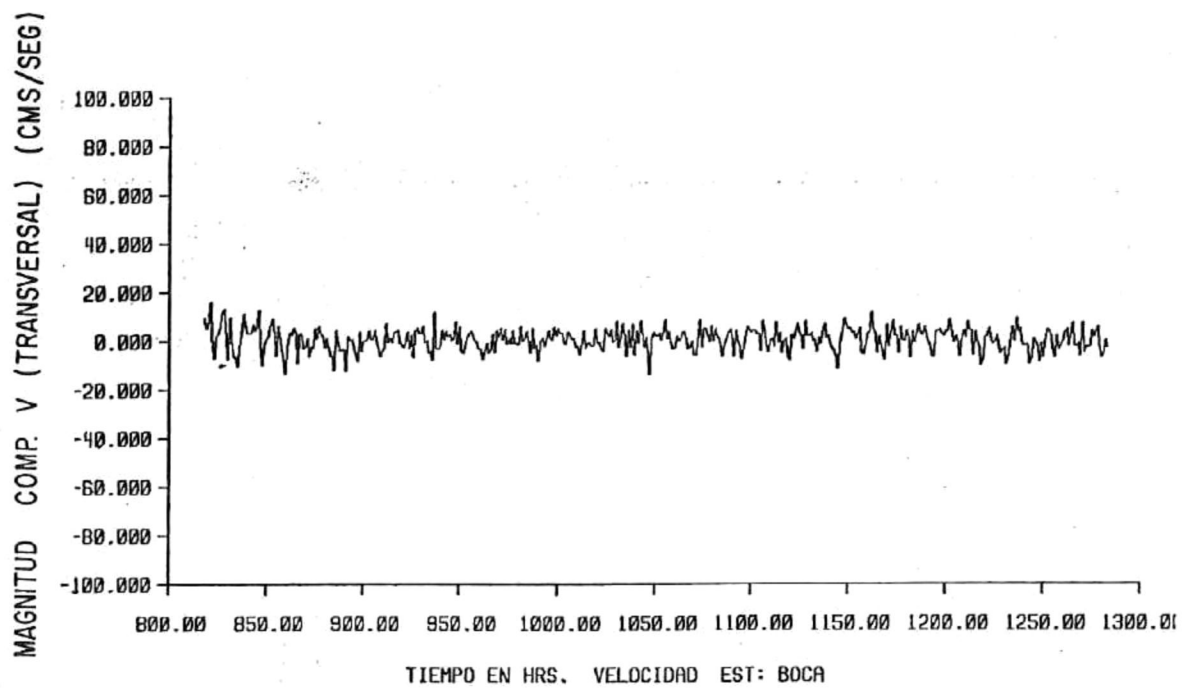


FIG.-8 Velocidad de la corriente transversal y longitudinal en la estación boca.

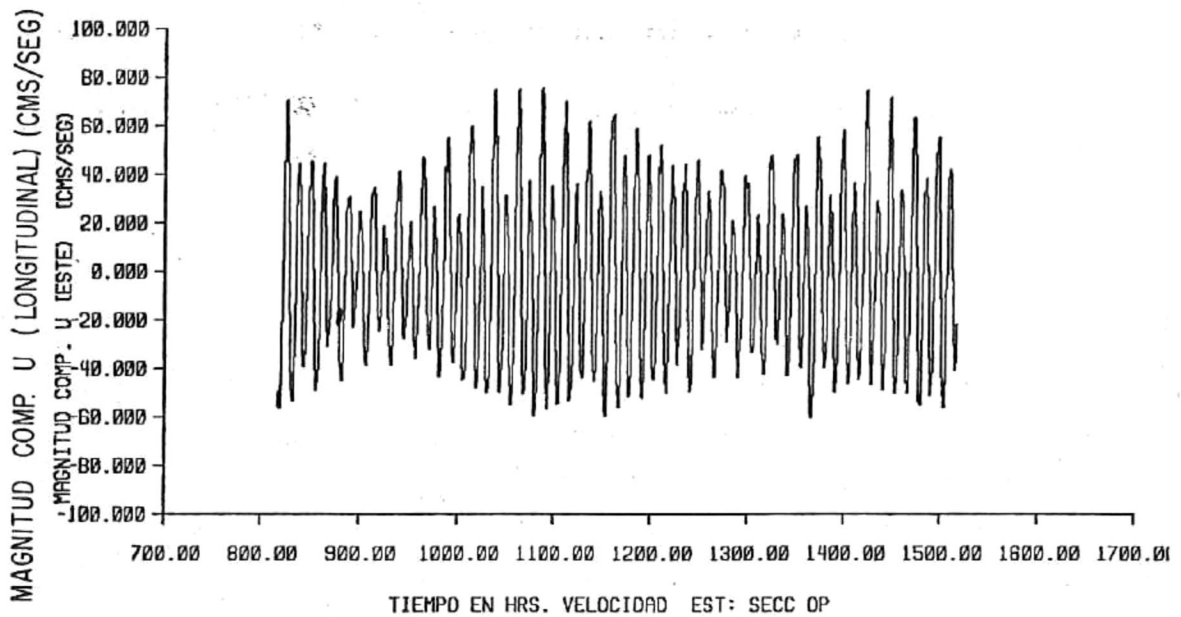
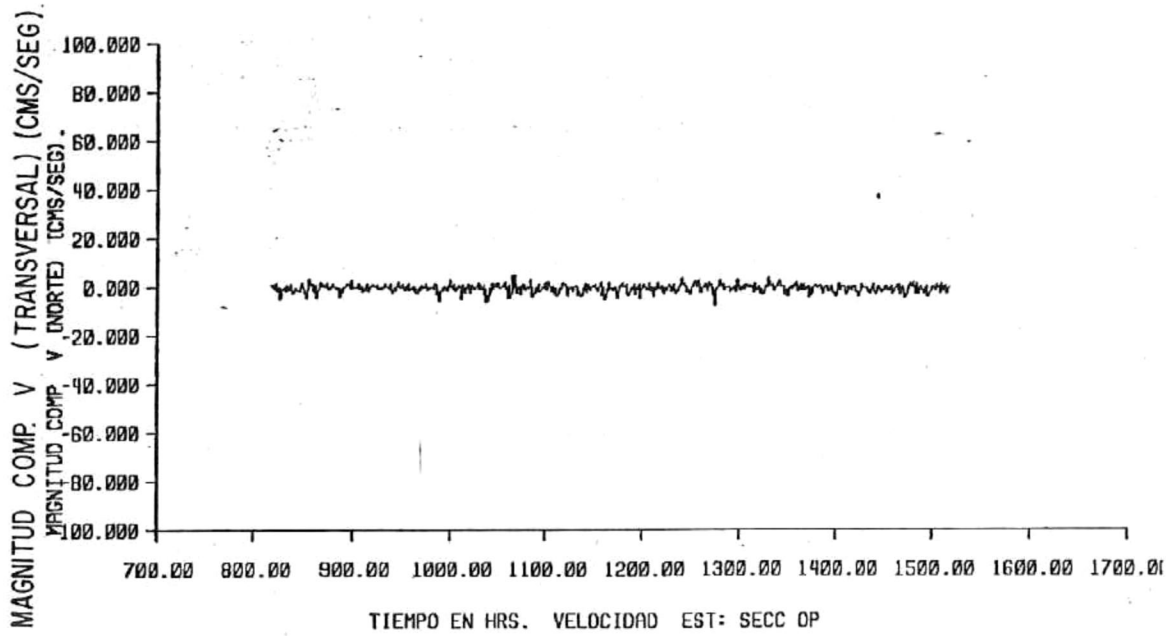


FIG.-9 Velocidad de la corriente transversal y longitudinal en la estacion Seccion OP

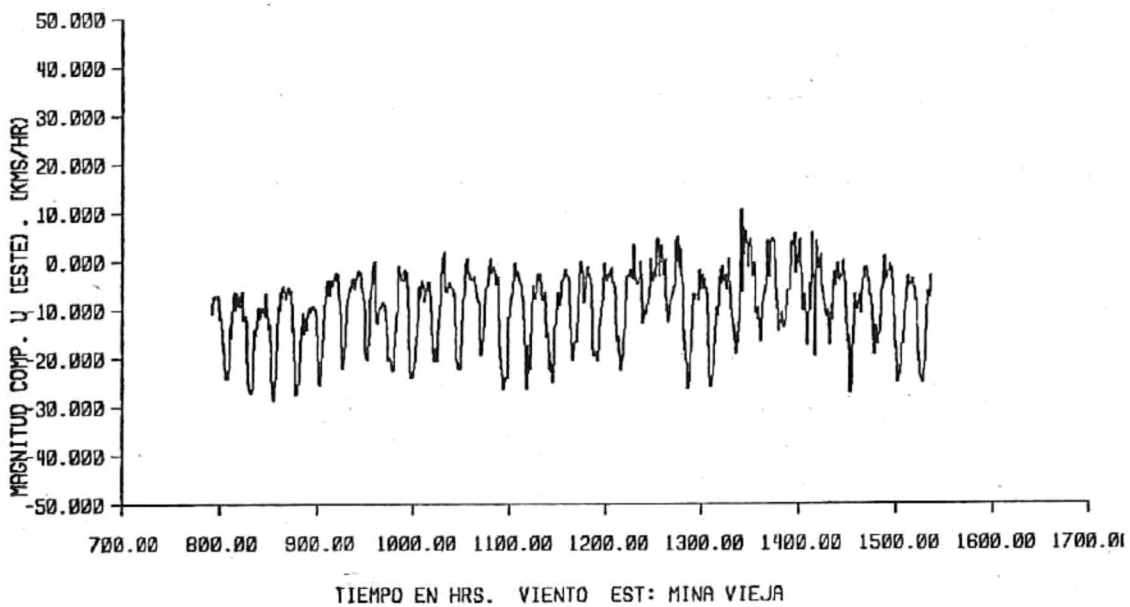
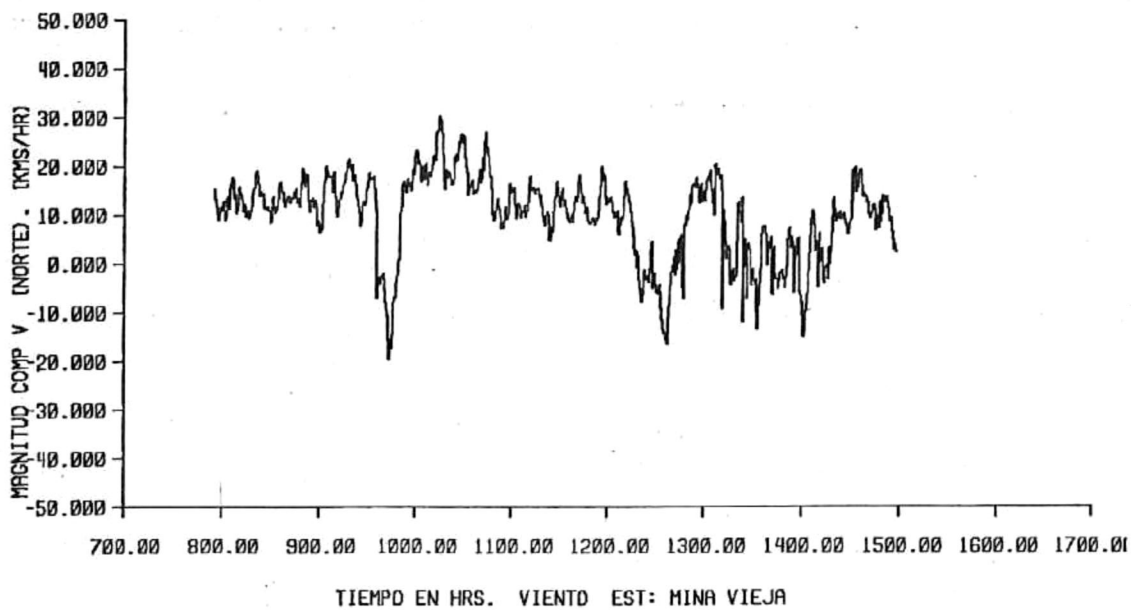


FIG.- 10 Velocidad de viento, componentes norte y este en la estación Mina Vieja.

EJEMPLO SEGMENTO 7

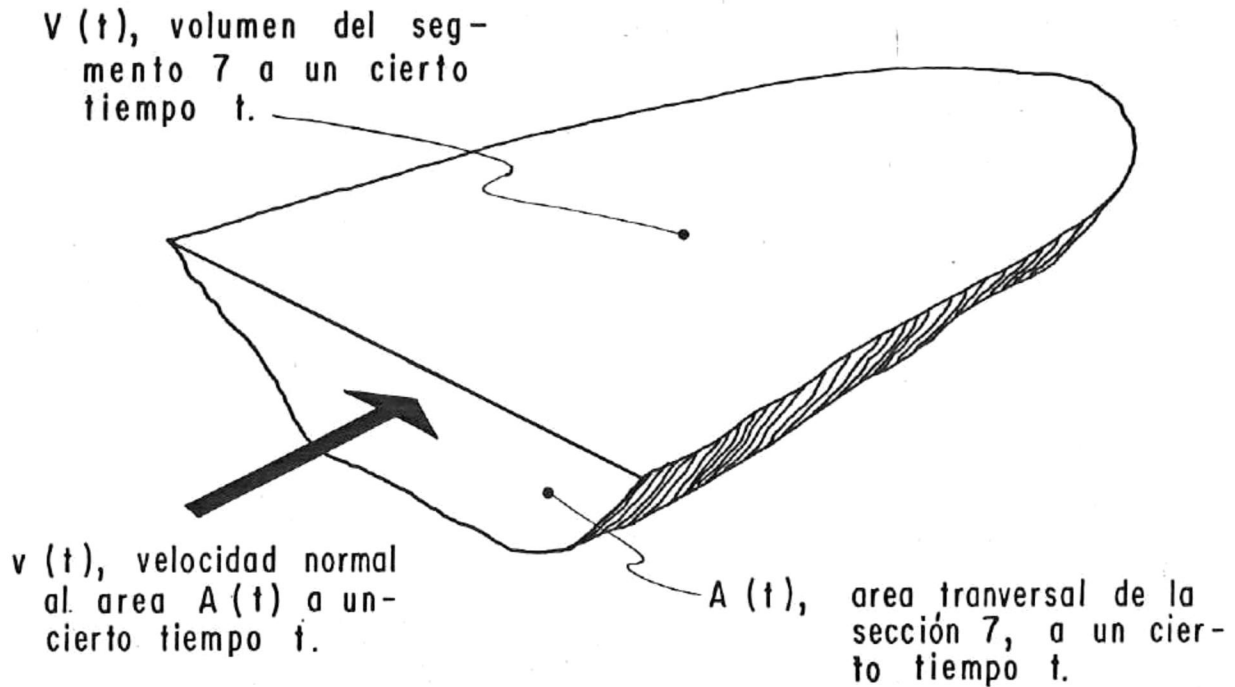


Fig. 11.- Explicación de las variables de la ecuación 3, empleada para estimar la velocidad longitudinal, $V(t)$.

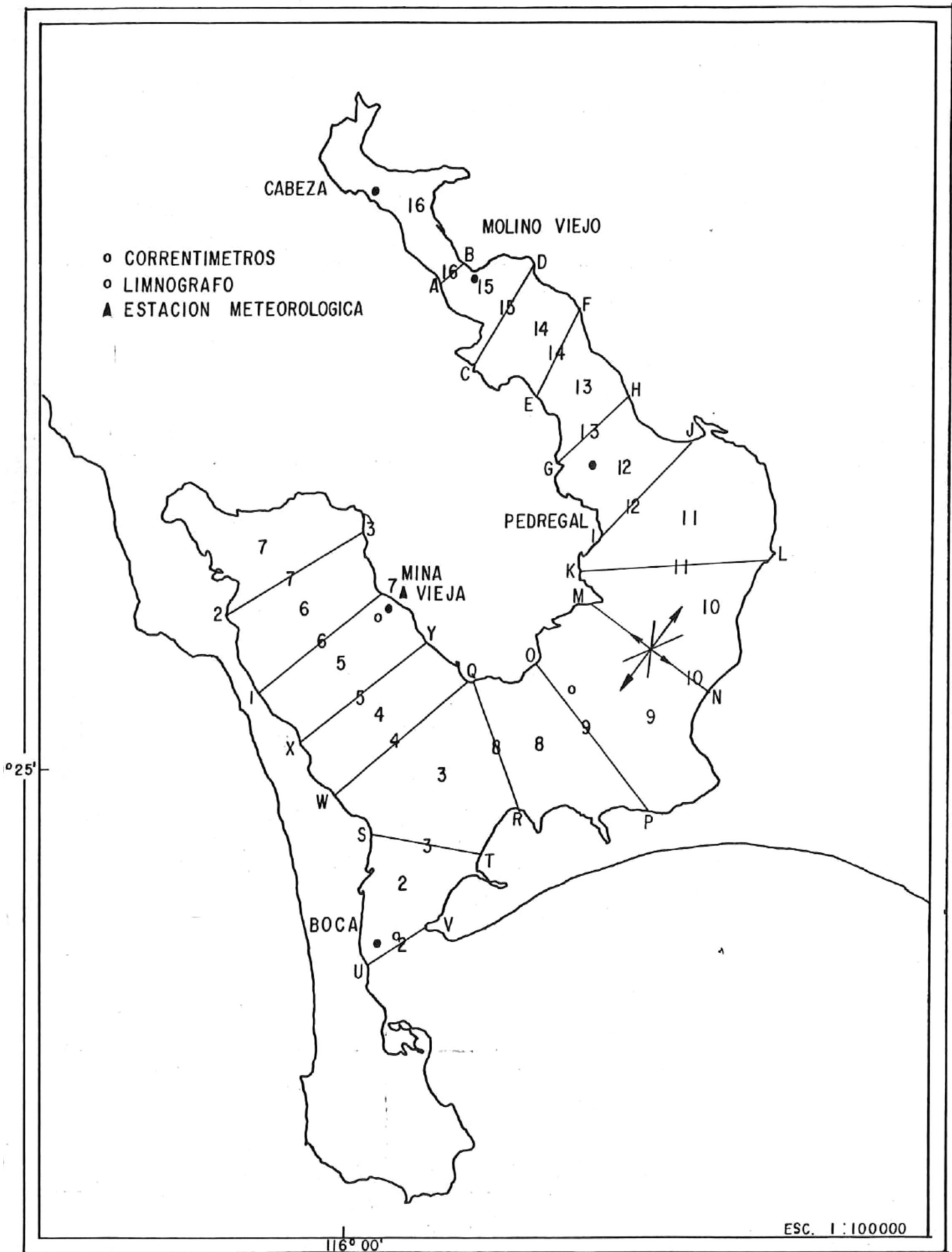


FIG.-12 LOCALIZACION DE SECCIONES Y SEGMENTOS. EJEMPLOS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES, APROXIMADAMENTE NORMALES Y PARALELOS A CADA SECCION.

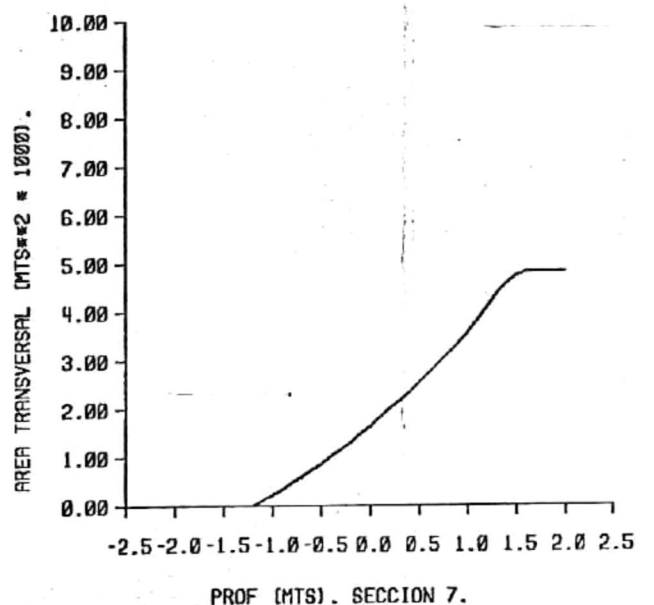
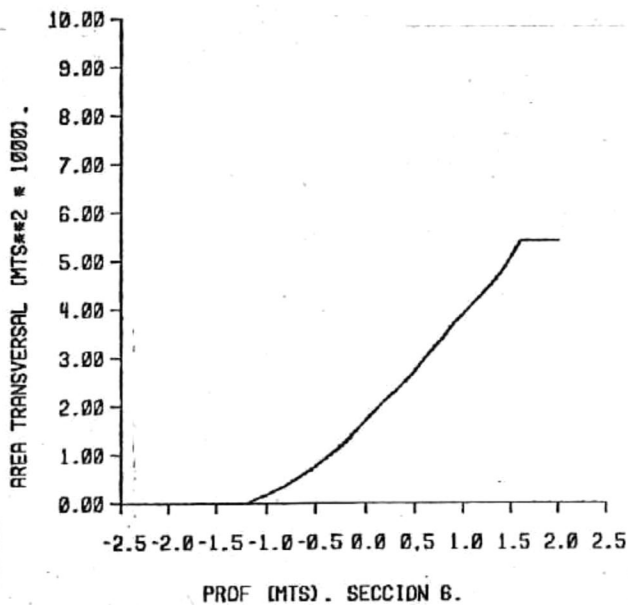
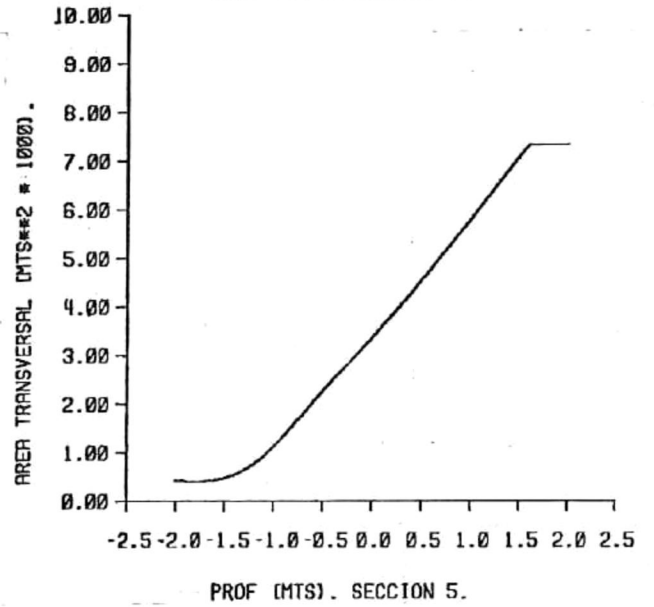
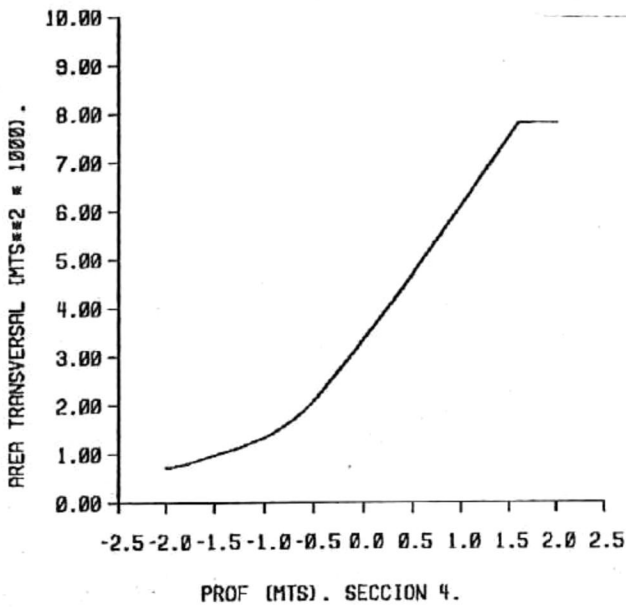
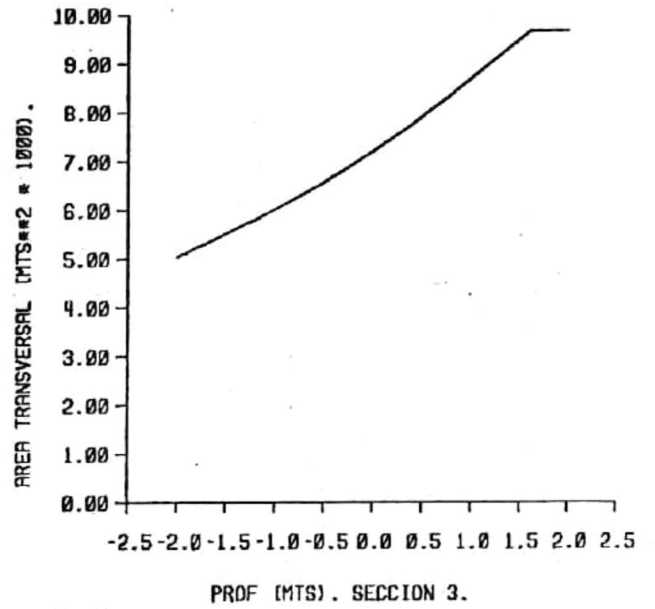
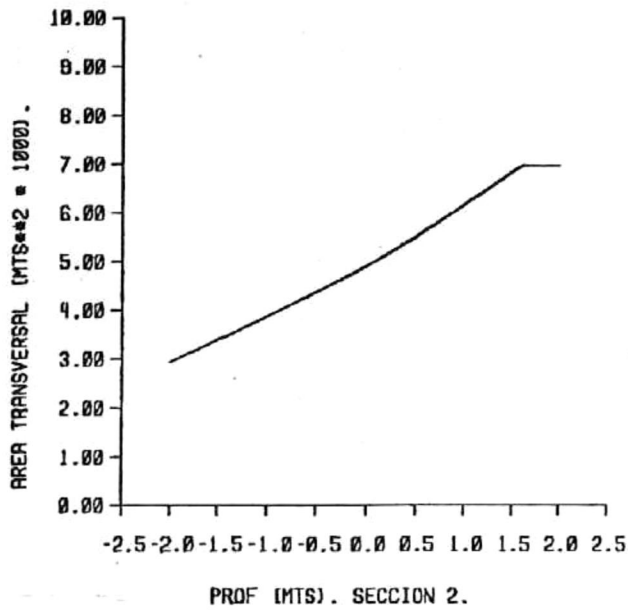


FIGURA 13. AREA TRANSVERSAL VS: PROFUNDIDAD EN LAS SECCIONES 2, 3, 4, 5, 6 Y 7.

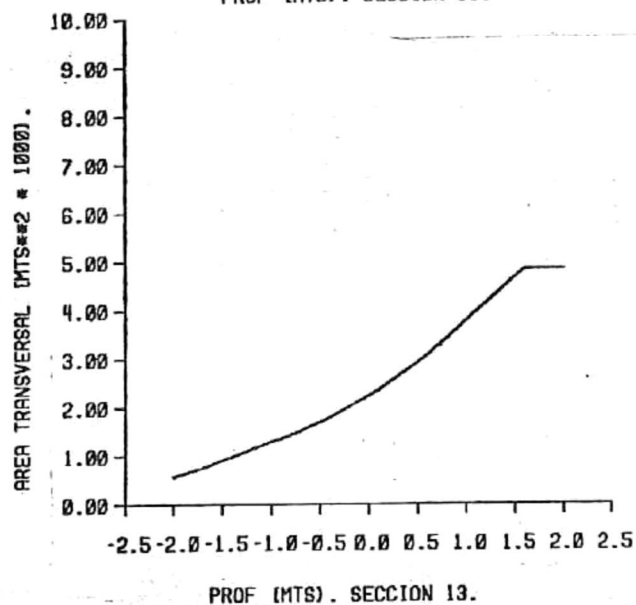
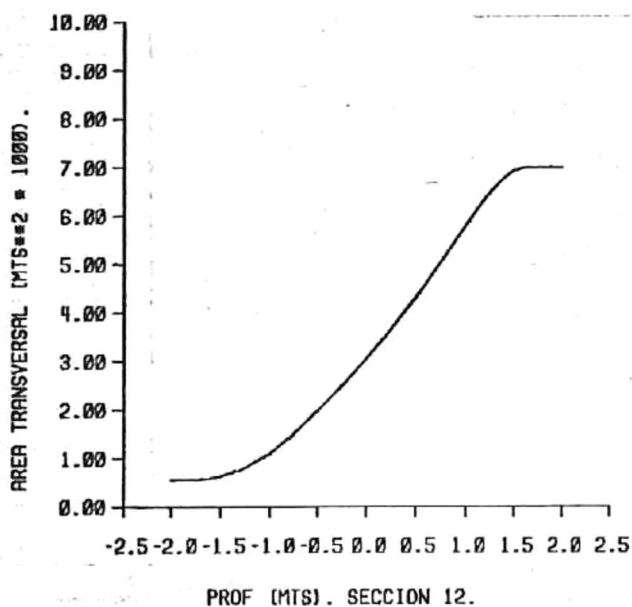
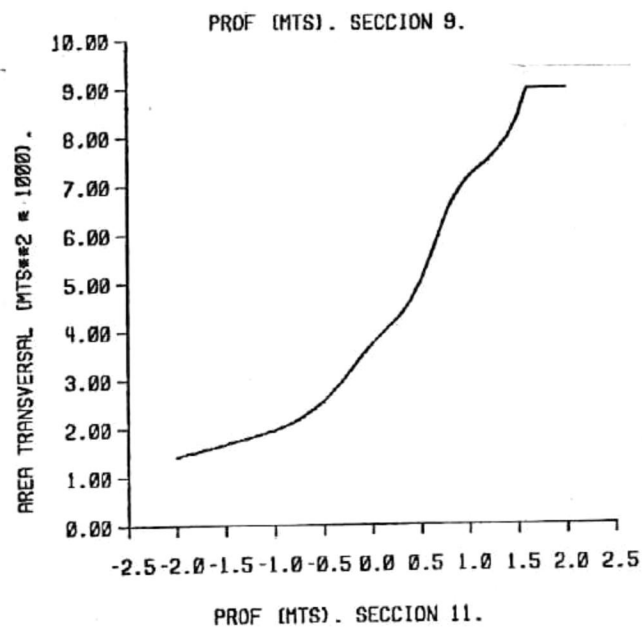
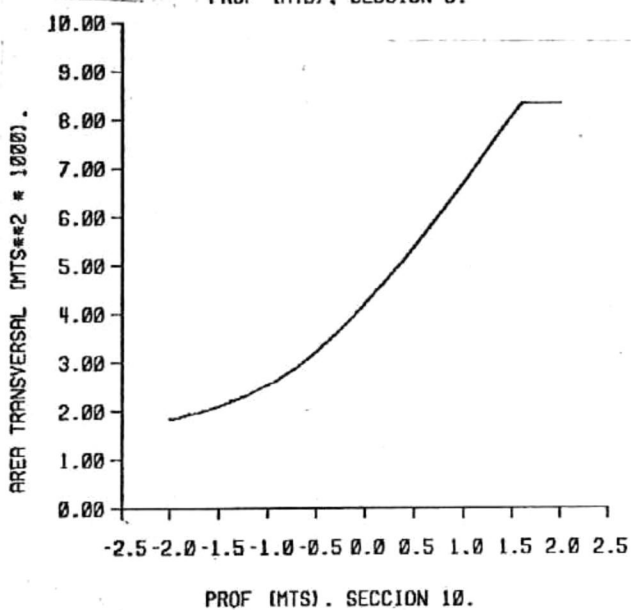
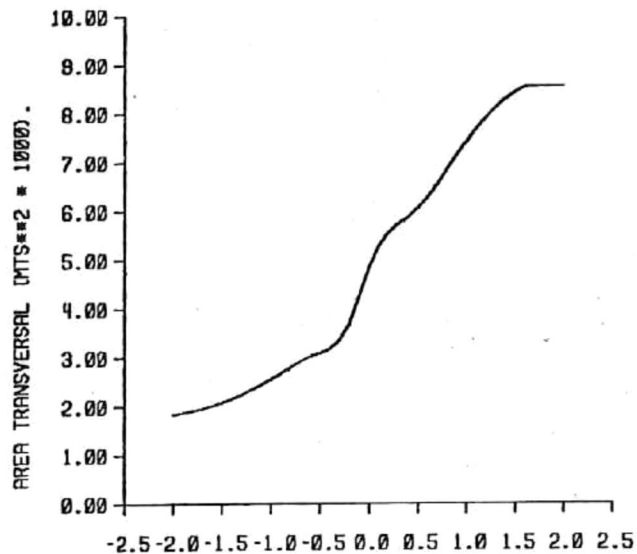
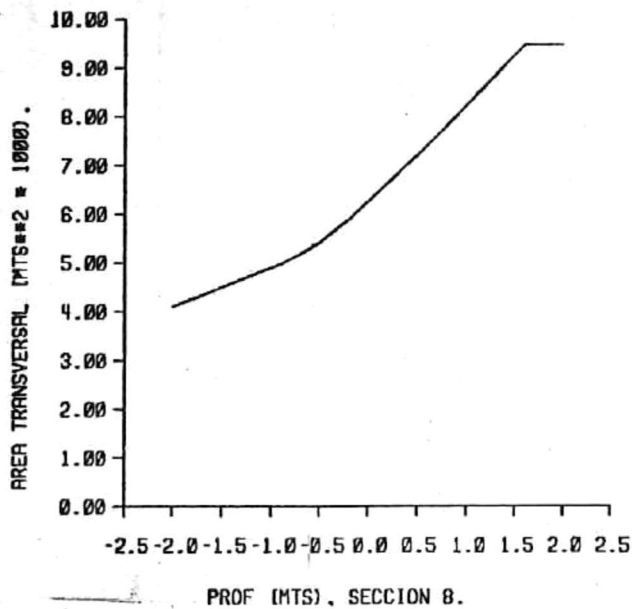


FIGURA 14. AREA TRANSVERSAL VS: PROFUNDIDAD EN LAS SECCIONES 8, 9, 10, 11, 12 Y 13.

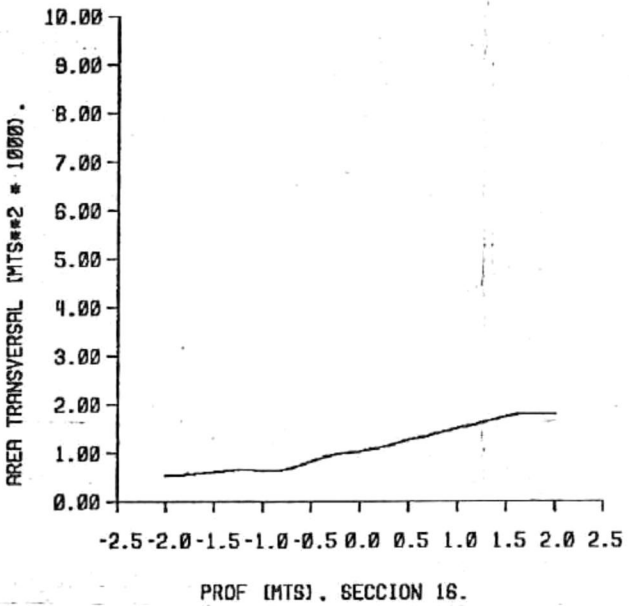
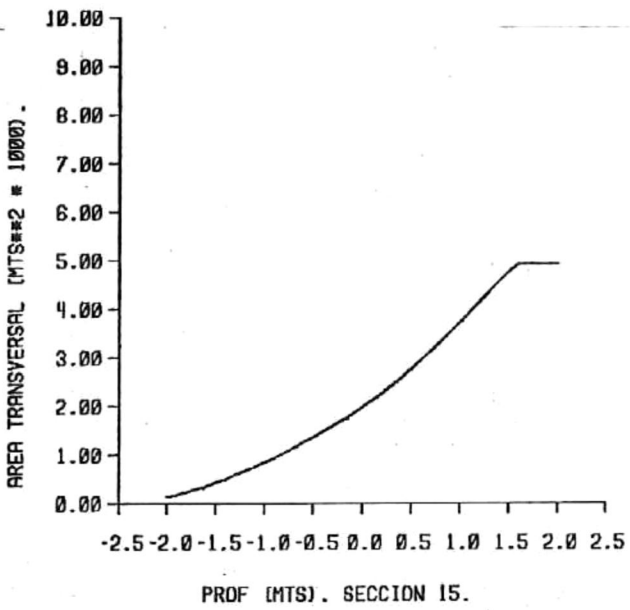
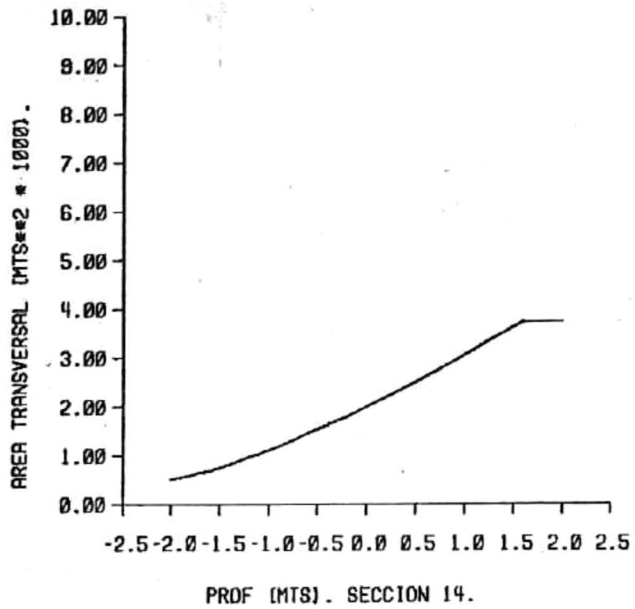
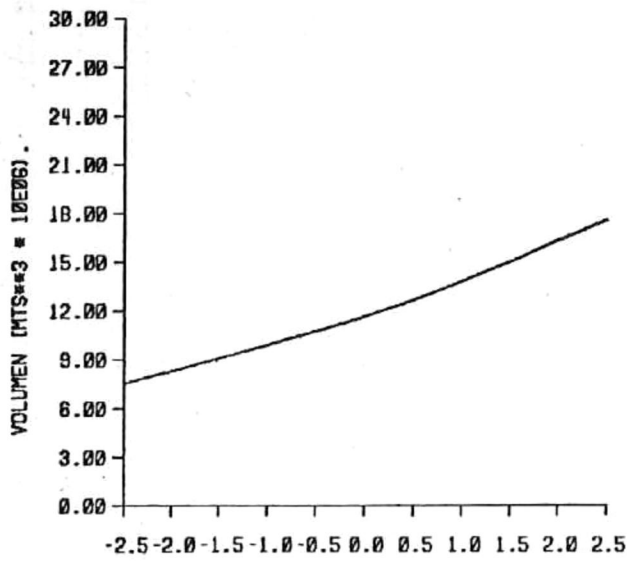
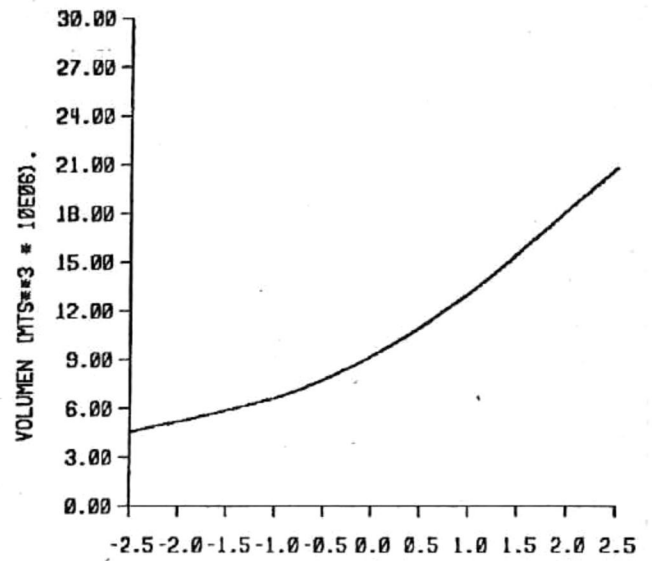


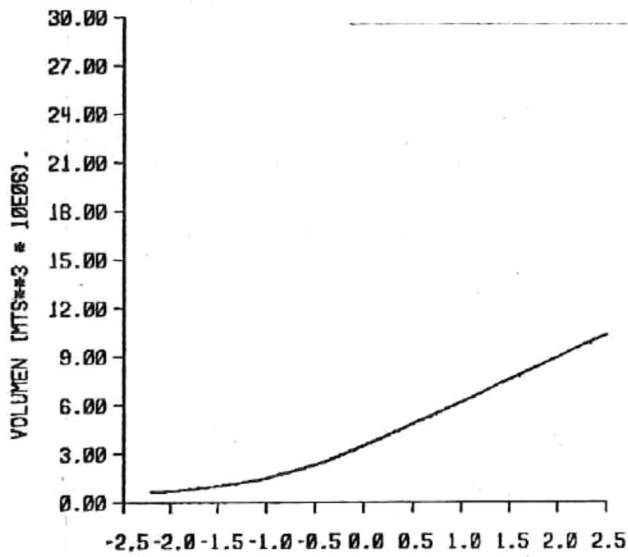
FIGURA 15. AREA TRANSVERSAL VS: PROFUNDIDAD EN LAS SECCIONES 14, 15 Y 16.



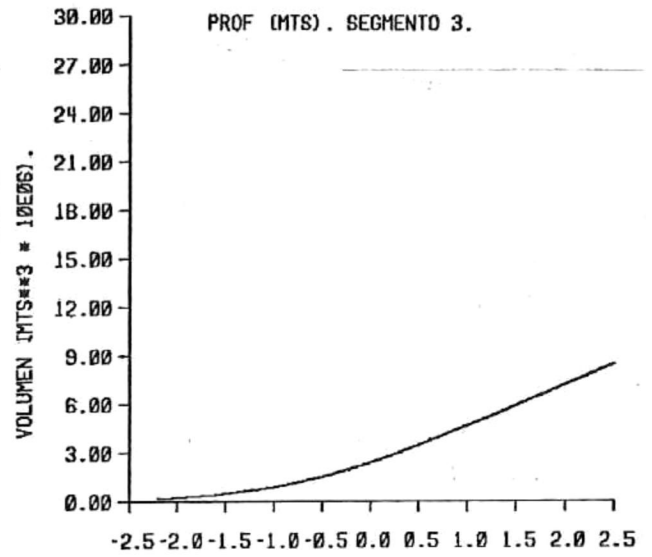
PROF (MTS). SEGMENTO 2.



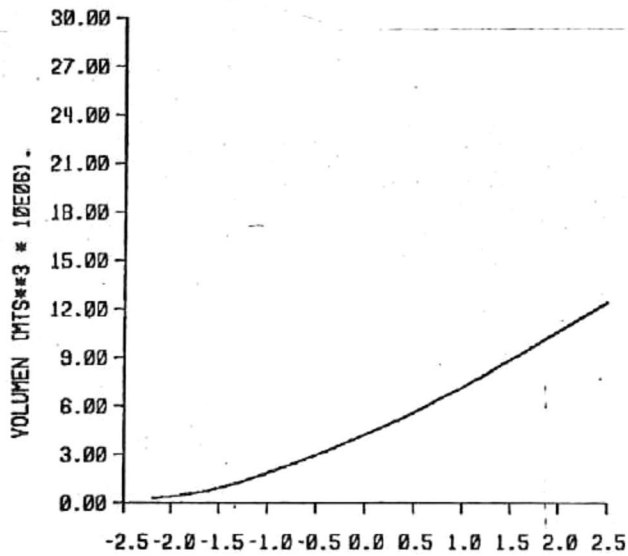
PROF (MTS). SEGMENTO 3.



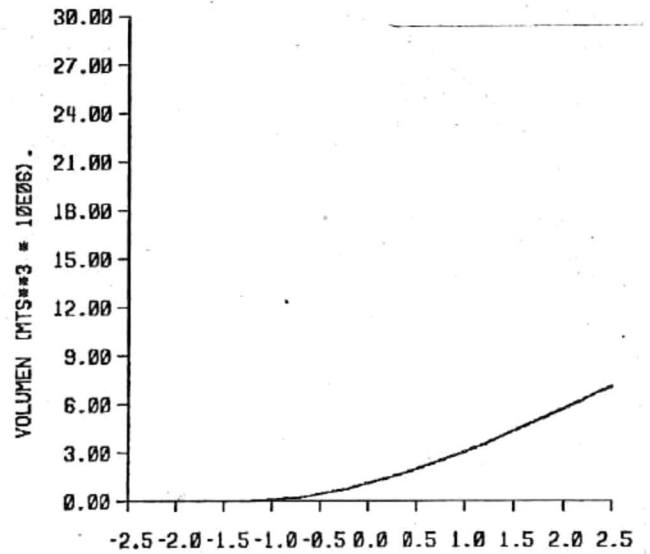
PROF (MTS). SEGMENTO 4.



PROF (MTS). SEGMENTO 5.



PROF (MTS). SEGMENTO 6.



PROF (MTS). SEGMENTO 7.

FIGURA 16. VOLUMEN VS: PROFUNDIDAD EN LOS SEGMENTOS 2, 3, 4, 5, 6 Y 7.

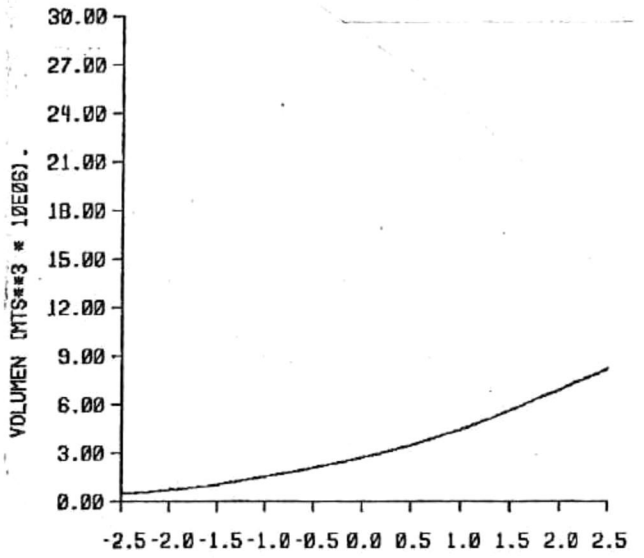
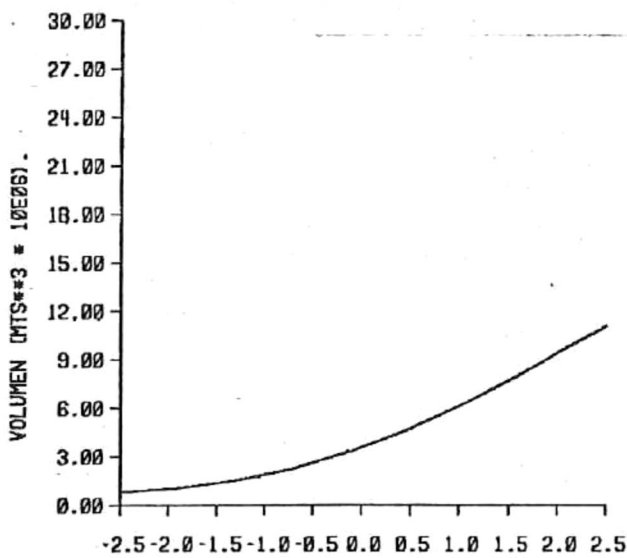
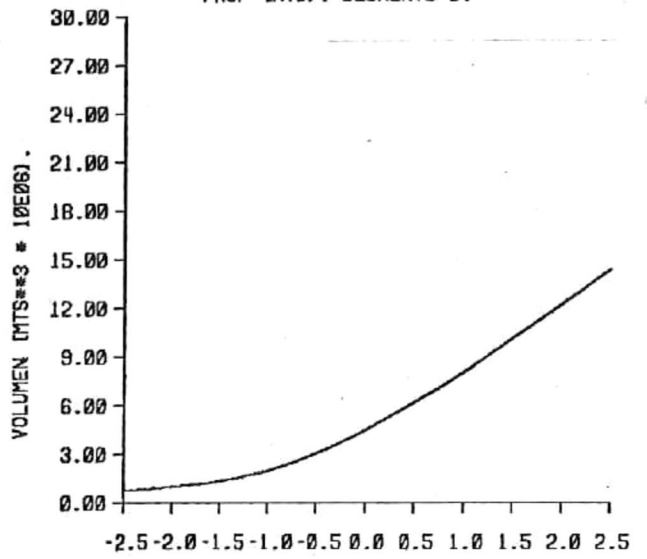
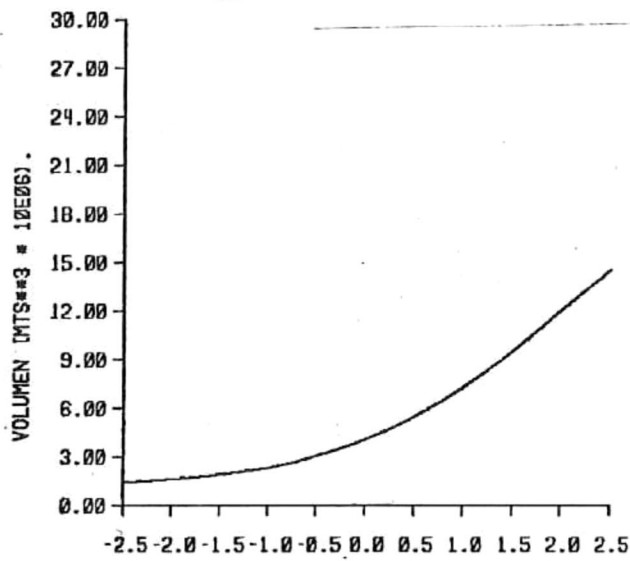
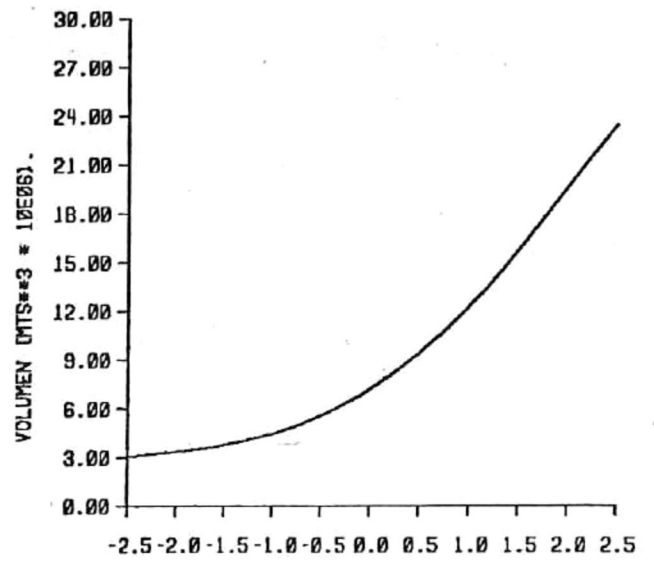
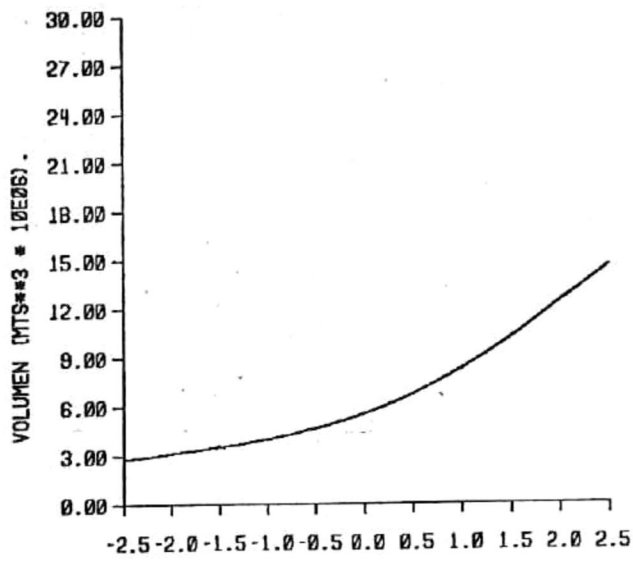


FIGURA 17. VOLUMEN VS: PROFUNDIDAD EN LOS SEGMENTOS 8, 9, 10, 11, 12 Y 13..

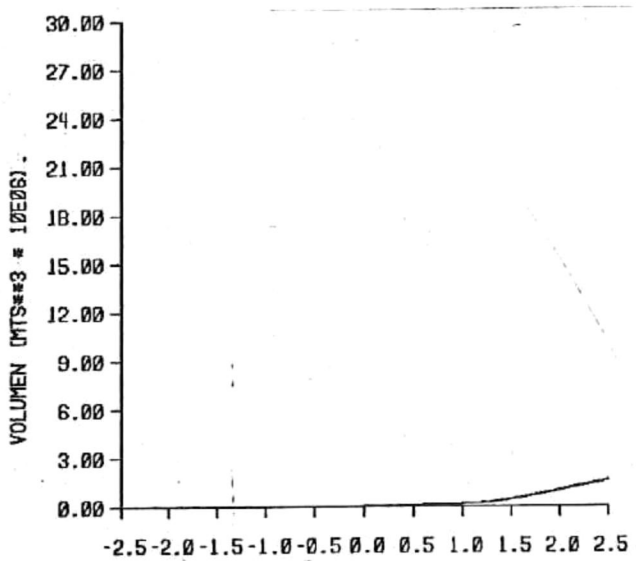
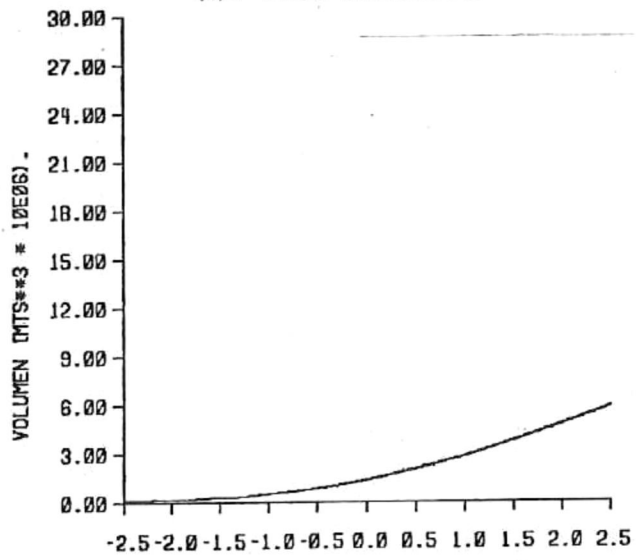
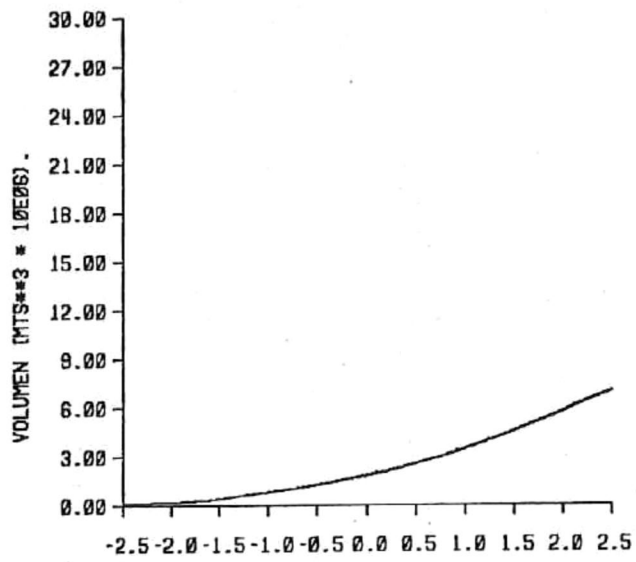


FIGURA 18. VOLUMEN VS: PROFUNDIDAD EN LOS SEGMENTOS 14, 15 Y 16.

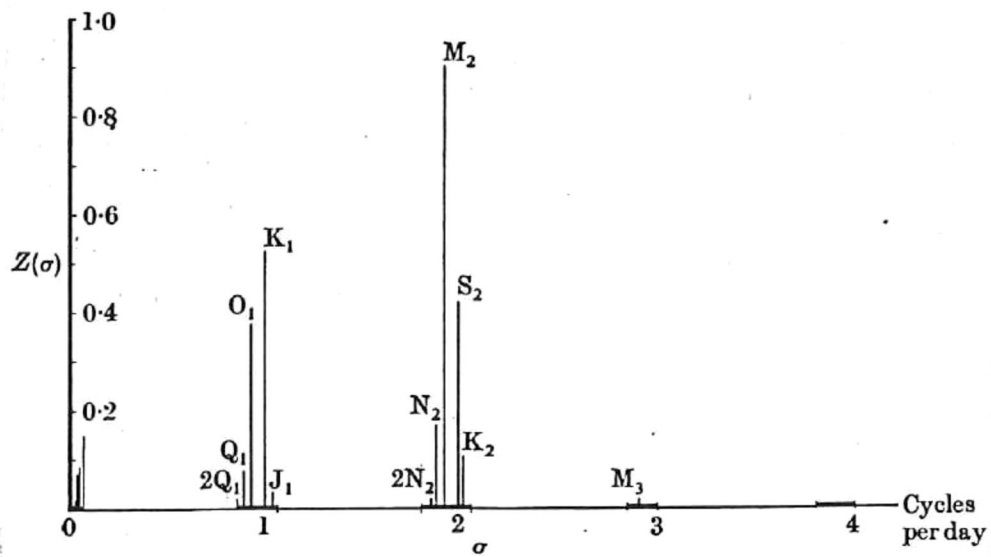


FIG. 2.1. The main lines of the spectrum of the tidal potential. The heavy lines indicate the width of the bands of frequencies which contain the various species.

FIGURA 19. ESPECTRO DE ENERGIA DE LAS MAREAS (GODIN, 1972).

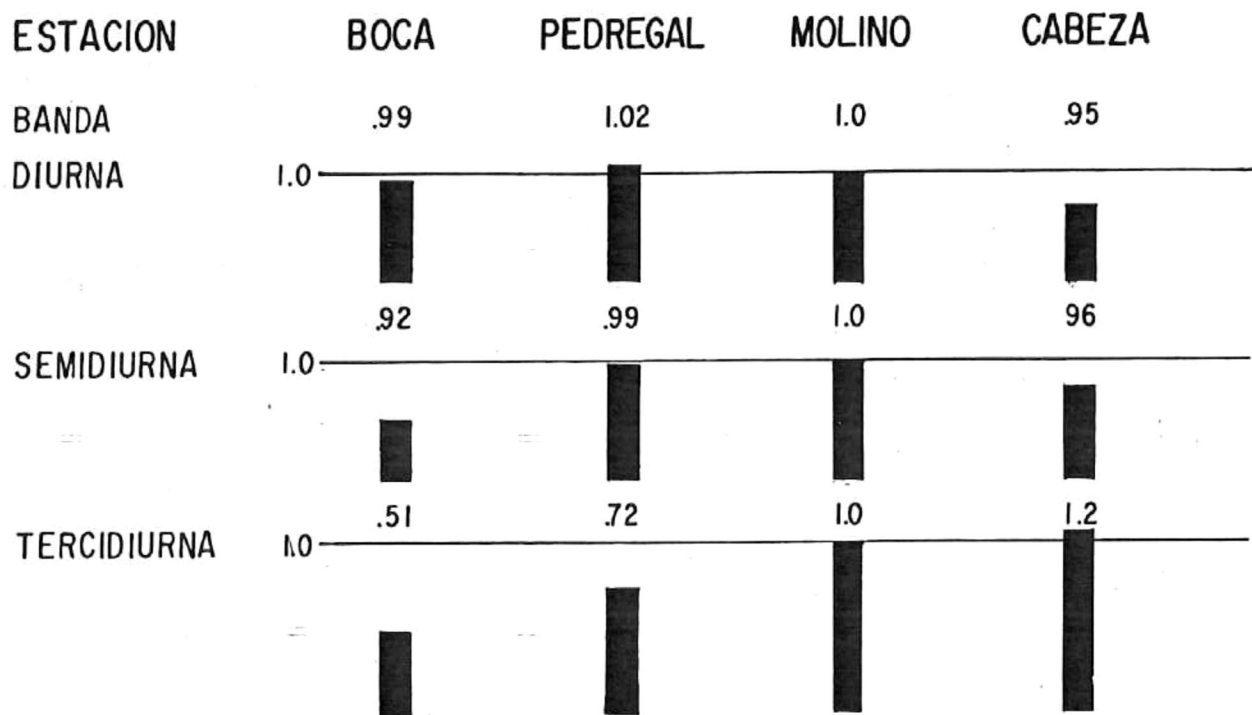


FIGURA.- 20

Representación esquemática de la amplitud de las constituyentes de marea diurna, semi-diurna y tercidial relativa a la amplitud de ellas en la estación de Molino Viejo.

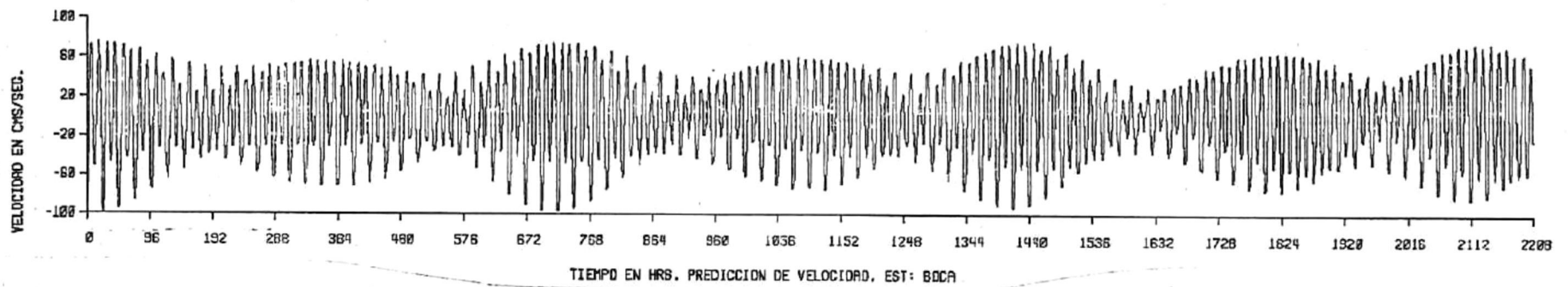
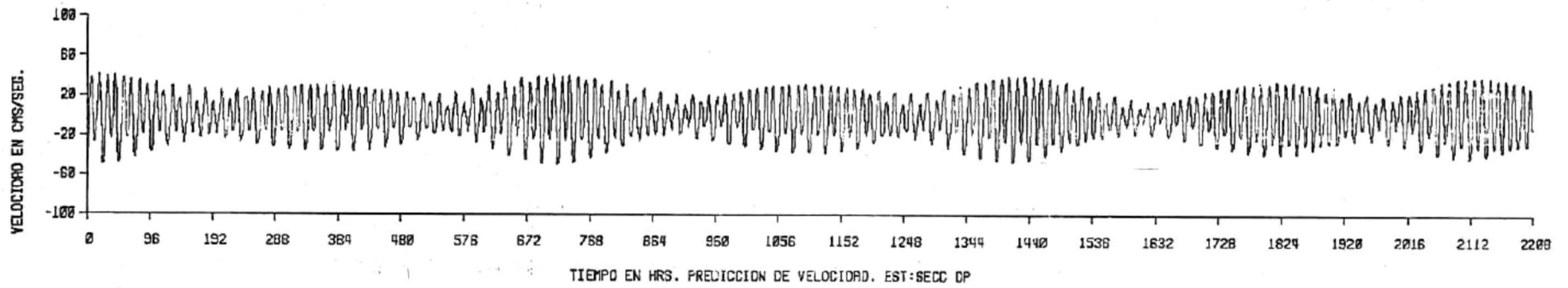
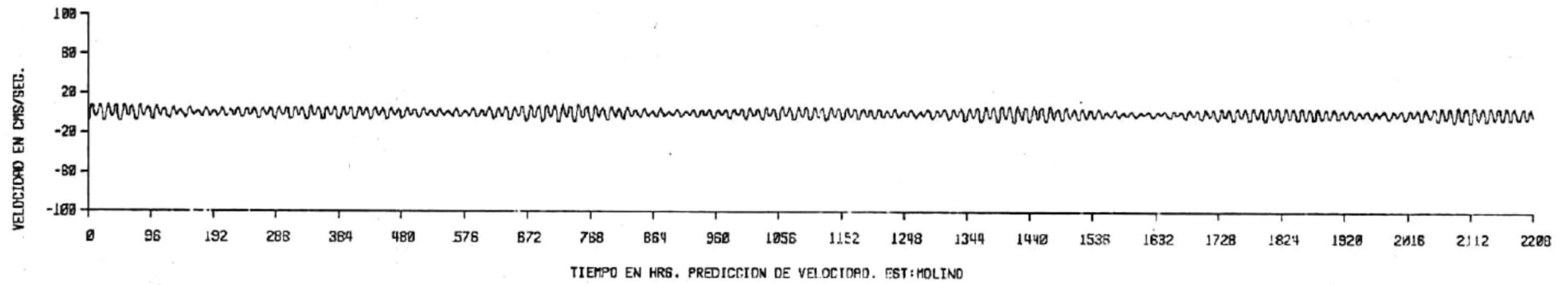


FIGURA 21. PREDICCION DE VELOCIDAD LONGITUDINAL EN LAS ESTACIONES

MOLINO VIEJO, SECCION OP Y BOCA.

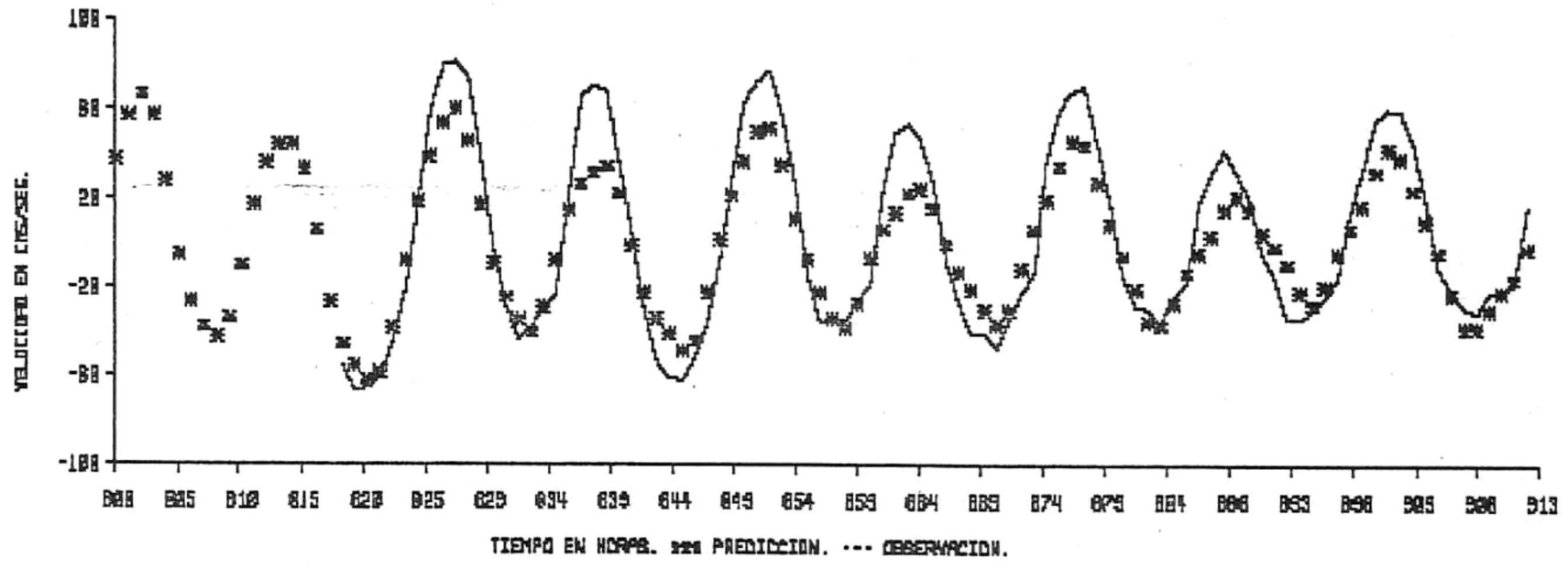


FIGURA 22. COMPARACION ENTRE PREDICION Y OBSERVACION DE VELOCIDAD
EN LA ESTACION BOCA.

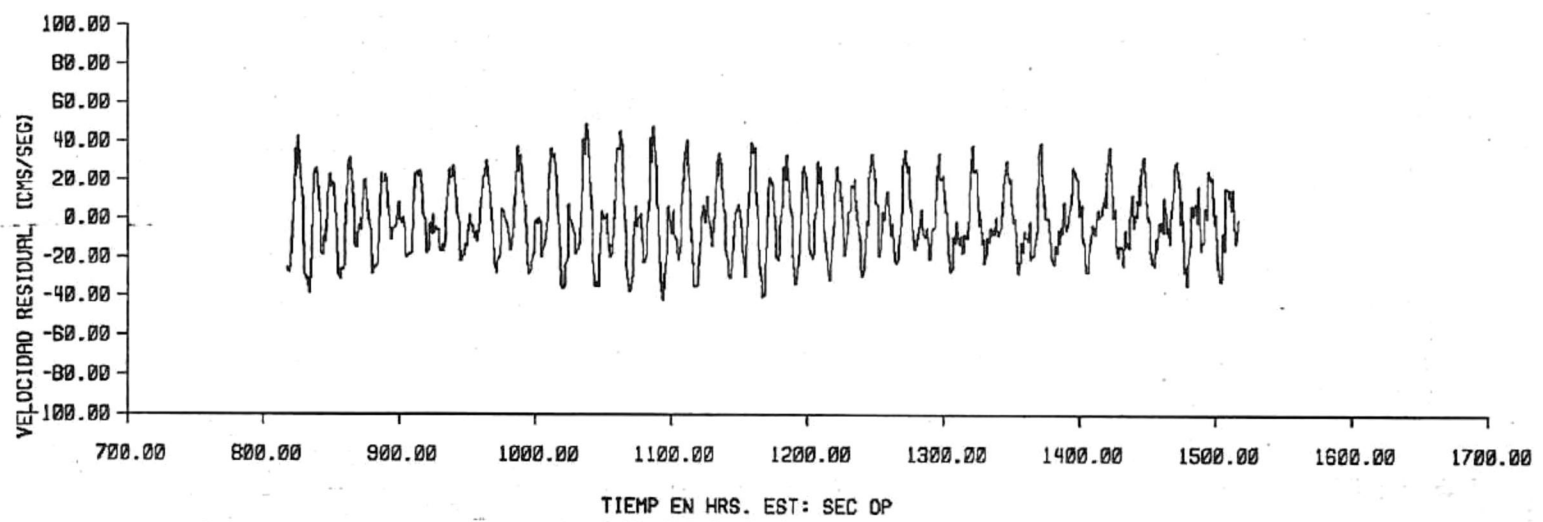
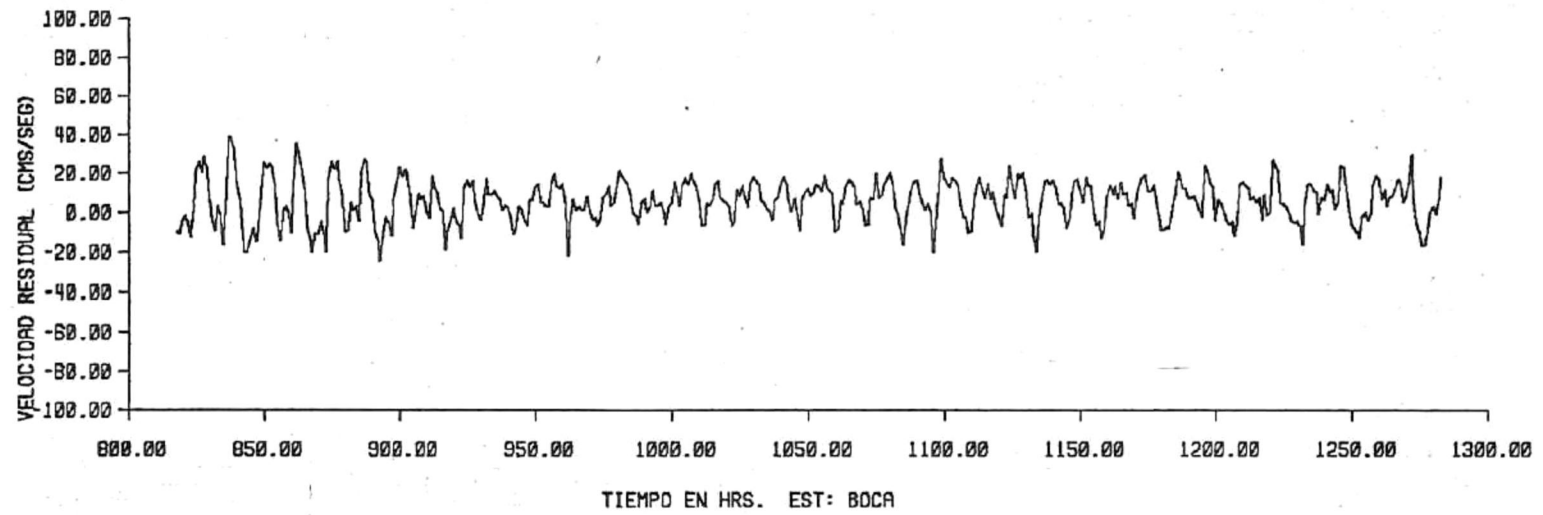


FIGURA 23. VELOCIDAD LONGITUDINAL RESIDUAL EN LAS ESTACIONES BOCA Y SECCION OP.

TABLA 1

INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN LAS MEDICIONES EN
BAHIA SAN QUINTIN, ESPECIFICACIONES Y SU UBICACION.

INSTRUMENTO	ESPECIFICACIONES	ESTACION
ANEMOMETRO	KAHLSICO 02AM300 REGISTRO CONTINUO	MINA VIEJA
MAREOGRAFO	KAHLSICO 310WA440 PRECISION: +/- 1.0 cm	BOCA
	FISHER-PORTER PRECISION: +/- 0.3 cm	MOLINO VIEJO
	BRISTOL 103X628	PEDREGAL
	BRISTOL 103X628 PRECISION: +/- 1.0 cm	CABEZA
CORRENTIMETRO	BRAICON 1381	BOCA
	ENDECO RANGO: 0-5 nudos PRECISION: +/- 3.0 % RANGO: 0-360 grados PRECISION: +/- 1.0 %	SECC OP

SAN QUINTIN 1977 ** ANALISIS ARMONICO **
 ESTACION: MOLINO VIEJO. RESULTADOS PRELIMINARES.
 ANALISIS DE DATOS HORARIOS DE MAREA
 REGISTRO DE 00 HRS 23 07 1977 A 23 HRS 19 03 1978
 SEPARACION (CRITERIO RAYLEIGH) = 1.20

NO	NOMBRE	FRECUENCIA (CIC/HORA)	AMPLITUD (CMS)	FASE (GRADOS)
1	Z0	0.00000000	190.8051	0.00
2	ZQ1	0.03570635	0.6348	70.50
3	Q1	0.03721850	3.5872	103.00
4	RHQ1	0.03742087	0.7171	119.49
5	O1	0.03873065	20.7674	103.81
6	NO1	0.04026859	1.0590	139.30
7	P1	0.04155258	11.1784	108.54
8	K1	0.04178074	31.7366	109.51
9	J1	0.04329289	1.5689	142.38
10	SD1	0.04460268	1.6843	202.26
11	OD1	0.04483084	1.0613	187.70
12	DQ2	0.07597494	0.4674	114.14
13	2N2	0.07748710	2.0405	286.90
14	MU2	0.07768945	0.5723	307.26
15	N2	0.07899924	12.7055	289.73
16	NU2	0.07920161	1.9501	281.53
17	M2	0.08051139	52.0724	305.84
18	MKS2	0.08073956	0.5364	249.80
19	LDA2	0.08182117	1.3231	289.02
20	L2	0.08202355	1.5551	268.74
21	S2	0.08333333	23.5507	302.12
22	K2	0.08356148	6.6959	301.10
23	MSN2	0.08484548	0.4658	31.13
24	MD3	0.11924204	2.0344	286.94
25	M3	0.12076709	0.4217	104.22
26	SD3	0.12206398	2.0560	297.07
27	MK3	0.12229215	1.9514	306.27
28	SK3	0.12511405	0.7454	291.41
29	MN4	0.15951064	0.5903	154.92
30	M4	0.16102278	1.0836	169.37
31	SN4	0.16233256	0.2376	154.83
32	MS4	0.16384470	1.1945	153.03
33	MK4	0.16407287	0.3359	183.13
34	S4	0.16666666	0.2479	197.46
35	SK4	0.16689482	0.2934	159.84
36	2MK5	0.20280352	0.7866	349.45
37	2SK5	0.20844740	0.0664	24.18
38	2MN6	0.24002203	0.5652	192.84
39	M6	0.24153417	0.9369	201.62
40	2MS6	0.24435613	1.3134	201.08
41	2MK6	0.24458429	0.7317	182.56
42	2SM6	0.24717805	0.4328	198.89
43	MSK6	0.24740621	0.4331	171.55
44	3MK7	0.28331494	0.1774	224.49
45	MB	0.32204556	0.0214	8.17

DATOS VALIDOS = 5999 PROMEDIO = 190.79
 VARIANZA DEL REGISTRO = 50.04 CONDICION DE LA MATRIZ = .58
 VALOR CUADRATICO MEDIO TEORICO = 33.83

TABLA # 3

VALORES DE ADMITANCIA, FASE Y COHERENCIA.

REGISTROS DE MAREAS EN SAN QUINTIN B. C.

SERIE DE ENTRADA: MOLINO

SALIDA	BANDA	ADMITANCIA	FASE (GRADOS)	COHERENCIA
BOCA	1	0.992	-13.9	0.999
BOCA	2	0.927	-20.6	0.999
BOCA	3	0.514	-26.3	0.741
PEDRE	1	01.02	-03.5	0.999
PEDRE	2	0.996	-05.2	0.999
PEDRE	3	0.716	-06.1	0.949
CABEZA	1	0.953	12.2	0.998
CABEZA	2	0.961	10.6	0.999
CABEZA	3	1.123	08.1	0.942
MINA	1	0.888	-05.4	0.998
MINA	2	0.916	-00.7	0.999
MINA	3	0.791	26.9	0.921

BANDA 1 corresponde a 1 ciclo por dia
 BANDA 2 corresponde a 2 ciclos por dia
 BANDA 3 corresponde a 3 ciclos por dia

TABLA # 4

RESULTADOS DE ANALISIS DE MAREAS. SAN QUINTIN B. C.

CONSTITUYENTES UTILIZADAS EN PREDICION EST: BOCA

CONST. (NOMBRE)	FRECUENCIA (CIC/HORA)	AMPLITUD (CMS)	FASE (GRADOS)
1 Z0	0.00000000	85.0000	0.00
2 Q1	0.03721850	3.5600	89.10
3 O1	0.03873065	20.6000	89.90
4 NO1	0.04026859	1.0500	125.40
5 P1	0.04155258	11.0900	94.60
6 K1	0.04178074	31.4800	95.60
7 J1	0.04329289	1.5600	128.50
8 SO1	0.04460268	1.6700	188.40
9 OO1	0.04483084	1.0500	174.80
10 2N2	0.07748710	1.8900	266.30
11 N2	0.07899924	11.7800	269.10
12 NU2	0.07920161	1.8100	260.90
13 M2	0.08051139	48.2700	285.20
14 LDA2	0.08182117	1.2300	268.40
15 L2	0.08202355	1.4400	248.10
16 S2	0.08333333	21.8300	281.50
17 K2	0.08356148	6.2100	280.50
18 MO3	0.11924204	1.0500	260.60
19 SO3	0.12206398	1.0600	270.80
20 MK3	0.12229215	1.0000	280.00
21 M4	0.16102278	1.0800	169.40
22 MS4	0.16384470	1.1900	153.00
23 2MS6	0.24435613	1.3100	201.00

TABLA # 5

RESULTADOS DE ANALISIS DE MAREAS. SAN QUINTIN B. C.

CONSTITUYENTES UTILIZADAS EN PREDICCIÓN EST: PEDREGAL

CONST. (NOMBRE)	FRECUENCIA (CIC/HORA)	AMPLITUD (CMS)	FASE (GRADOS)
1 Z0	0.00000000	85.0000	0.00
2 Q1	0.03721850	3.5900	99.50
3 O1	0.03873065	20.8100	100.30
4 NO1	0.04026859	1.0600	135.80
5 P1	0.04155258	11.2000	105.00
6 K1	0.04178074	31.8000	106.00
7 J1	0.04329289	1.5700	138.90
8 SO1	0.04460268	1.6900	198.80
9 OO1	0.04483084	1.0600	184.20
10 2N2	0.07748710	2.0300	281.70
11 N2	0.07899924	12.6500	284.50
12 NU2	0.07920161	1.9400	276.30
13 M2	0.08051139	51.8600	300.60
14 LDA2	0.08182117	1.3200	238.80
15 L2	0.08202355	1.5500	263.50
16 S2	0.08333333	23.4600	296.90
17 K2	0.08356148	6.6700	295.90
18 MO3	0.11924204	1.4700	280.80
19 SO3	0.12206398	1.4700	291.00
20 MK3	0.12229215	1.4000	300.20
21 M4	0.16102278	1.0800	169.40
22 MS4	0.16384470	1.1900	153.00
23 2MS6	0.24435613	1.3100	201.00

TABLA # 6

RESULTADOS DE ANALISIS DE MAREAS. SAN QUINTIN B. C.

CONSTITUYENTES UTILIZADAS EN PREDICCION EST: MOLINO

CONST. (NOMBRE)	FRECUENCIA (CIC/HORA)	AMPLITUD (CMS)	FASE (GRADOS)
1 Z0	0.00000000	85.0000	0.00
2 Q1	0.03721850	3.5872	103.00
3 O1	0.03873065	20.7674	103.81
4 NO1	0.04026859	1.0590	139.30
5 P1	0.04155258	11.1784	108.54
6 K1	0.04178074	31.7366	109.51
7 J1	0.04329289	1.5689	142.38
8 SO1	0.04460268	1.6843	202.26
9 OO1	0.04483084	1.0613	187.70
10 2N2	0.07748710	2.0405	286.90
11 N2	0.07899924	12.7055	289.73
12 NU2	0.07920161	1.9501	281.53
13 M2	0.08051139	52.0724	305.84
14 LDA2	0.08182117	1.3231	289.02
15 L2	0.08202355	1.5551	268.74
16 S2	0.08333333	23.5507	302.12
17 K2	0.08356148	6.6959	301.10
18 MO3	0.11924204	2.0344	286.94
19 SO3	0.12206398	2.0560	297.07
20 MK3	0.12229215	1.9514	306.27
21 M4	0.16102278	1.0836	169.37
22 MS4	0.16384470	1.1945	153.03
23 2MS6	0.24435613	1.3134	201.08

TABLA # 7

RESULTADOS DE ANALISIS DE MAREAS. SAN QUINTIN B. C.

CONSTITUYENTES UTILIZADAS EN PREDICION EST: CABEZA

CONST. (NOMBRE)	FRECUENCIA (CIC/HORA)	AMPLITUD (CMS)	FASE (GRADOS)
1 Z0	0.00000000	85.0000	0.00
2 Q1	0.03721850	3.4200	115.20
3 O1	0.03873065	19.8000	116.00
4 NO1	0.04026859	1.0100	151.50
5 P1	0.04155258	10.6500	120.80
6 K1	0.04178074	30.2500	121.70
7 J1	0.04329289	1.4900	154.60
8 SO1	0.04460268	1.6100	214.50
9 OO1	0.04483084	1.0100	199.90
10 2N2	0.07748710	1.9600	297.60
11 N2	0.07899924	12.2100	300.40
12 NU2	0.07920161	1.8700	292.20
13 M2	0.08051139	50.0400	316.50
14 LDA2	0.08182117	1.2700	299.70
15 L2	0.08202355	1.4900	279.40
16 S2	0.08333333	22.6300	312.78
17 K2	0.08356148	6.4300	311.80
18 MO3	0.11924204	2.2800	295.10
19 SO3	0.12206398	2.3100	305.20
20 MK3	0.12229215	2.1900	314.40
21 M4	0.16102278	1.0800	169.40
22 MS4	0.16384470	1.1900	153.00
23 2MS6	0.24435613	1.3100	201.00

TABLA # 8

RESULTADOS DE ANALISIS DE MAREAS. SAN QUINTIN B. C.

CONSTITUYENTES UTILIZADAS EN PREDICION EST: MINA

CONST. (NOMBRE)	FRECUENCIA (CIC/HORA)	AMPLITUD (CMS)	FASE (GRADOS)
1 Z0	0.00000000	85.0000	0.00
2 Q1	0.03721850	3.1900	097.60
3 O1	0.03873065	18.4400	098.40
4 NO1	0.04026859	0.9400	133.90
5 P1	0.04155258	09.9300	103.10
6 K1	0.04178074	28.1800	104.10
7 J1	0.04329289	1.3900	137.00
8 SO1	0.04460268	1.5000	196.90
9 OO1	0.04483084	0.9400	182.30
10 2N2	0.07748710	1.8700	282.20
11 N2	0.07899924	11.6400	289.00
12 NU2	0.07920161	1.7900	280.80
13 M2	0.08051139	47.7000	305.10
14 LDA2	0.08182117	1.2100	288.30
15 L2	0.08202355	1.4200	268.00
16 S2	0.08333333	21.5700	301.40
17 K2	0.08356148	6.1300	300.40
18 MO3	0.11924204	1.4600	213.80
19 SO3	0.12206398	1.4800	224.00
20 MK3	0.12229215	1.4000	333.20
21 M4	0.16102278	1.0800	169.40
22 MS4	0.16384470	1.1900	153.00
23 2MS6	0.24435613	1.3100	201.00

TABLA 9

RETRASO EN MINUTOS DE LAS CONSTITUYENTES DIURNA, SEMI DIURNA Y DE TRES CICLOS POR DIA, ESTIMADOS MEDIANTE LAS FUNCIONES DE ADMITANCIA Y FASE PARA LAS ESTACIONES - INDICADAS.

DE ESTACION BOCA A ESTACION MOLINO
 BANDA DIURNA: 055
 BANDA SEMI DIURNA: 041
 BANDA TERCI DUIRNA: 034

DE ESTACION PEDREGAL A ESTACION MOLINO
 BANDA DIURNA: 014
 BANDA SEMI DIURNA: 010
 BANDA TERCI DUIRNA: 008

DE ESTACION MOLINO A ESTACION CABEZA
 BANDA DIURNA: 048
 BANDA SEMI DIURNA: 021
 BANDA TERCI DUIRNA: 016

OCURRENCIA DE LAS CONSTITUYENTES CITADAS AL CONSIDERAR QUE SE PRESENTAN A TIEMPO CERO EN LA ESTACION BOCA. (EN MINUTOS).

BOCA	PEDREGAL	MOLINO	CABEZA	MINA
0000	0041	0055	0103	0033
0000	0031	0041	0062	0041
0000	0026	0034	0050	0069

TABLA 10

ESTADISTICA DE REGISTROS Y PREDICCIONES DE VELOCIDAD
LONGITUDINAL Y DE SUS VALORES RESIDUALES. (CMS/SEG)

REGISTRO EN ESTACION:	BOCA
NUMERO DE PUNTOS:	466
VALOR PROMEDIO:	4.76
VALOR MINIMO:	-65.82
VALOR MAXIMO:	84.61
VARIANZA:	1471.05

PREDICCION EN ESTACION:	BOCA
NUMERO DE PUNTOS:	466
VALOR PROMEDIO:	-1.05
VALOR MINIMO:	-73.36
VALOR MAXIMO:	60.74
VARIANZA:	1184.60

RESIDUAL EN ESTACION:	BOCA
NUMERO DE PUNTOS:	466
VALOR PROMEDIO:	5.81
VALOR MINIMO:	-24.67
VALOR MAXIMO:	30.11
VARIANZA:	116.47

REGISTRO EN ESTACION:	SECC OP
NUMERO DE PUNTOS:	700
VALOR PROMEDIO:	-0.98
VALOR MINIMO:	-59.81
VALOR MAXIMO:	73.31
VARIANZA:	1140.08

PREDICCION EN ESTACION:	SECC OP
NUMERO DE PUNTOS:	700
VALOR PROMEDIO:	-0.26
VALOR MINIMO:	-44.90
VALOR MAXIMO:	41.03
VARIANZA:	806.83

RESIDUAL EN ESTACION:	SECC OP
NUMERO DE PUNTOS:	700
VALOR PROMEDIO:	-0.72
VALOR MINIMO:	-31.42
VALOR MAXIMO:	37.37
VARIANZA:	347.18
