

SANTA FE, Enero de 1994

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL  
FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS HIDRICAS

TOMO 1 : INGENIERIA FLUVIAL

INFORME FINAL

FACILIDAD TECNICO ECONOMICA PARA LA NAVEGACION  
CON ULTRAMARINOS EN EL TRAMO SANTA FE PUERTO SAN  
MARTIN DEL RIO PARANA

CONTRATO Nº 2515

GOBIERNO DE LA PROVINCIA DE SANTA FE  
CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

39014

01/4/35  
729  
v. rec.  
III



Ministerio de Cultura y Educación  
Universidad Nacional del Litoral

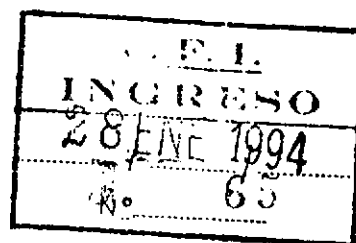
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Y CIENCIAS HÍDRICAS  
Ciudad Universitaria

Nº 1

Expte N°

Santa Fe, 14 de enero 1994.

Sr. Secretario General  
Consejo Federal de Inversiones  
Ing. JUAN JOSÉ CIACERA



De nuestra mayor consideración:

Nos dirigimos a Ud. con el objeto de elevar el Informe correspondiente al "ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICO ECONÓMICA PARA EXTENDER LA NAVEGACIÓN CON ULTRAMARINOS EN EL TRAMO SANTA FE - PUERTO SAN MARTIN DEL RIO PARANA", que la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas está desarrollando para la Provincia de Santa Fe a través de un convenio con el Consejo Federal de Inversiones (Expte. Nº 2515 del 18 de mayo de 1993).

Saludamos muy atte.

Sin otro particular, lo

Ing. JULIO CESAR THEILER  
DECANO

**FACTIBILIDAD TECNICO ECONOMICA PARA LA NAVEGACION CON  
ULTRAMARINOS EN EL TRAMO SANTA FE PUERTO SAN MARTIN DEL RIO  
PARANA**

INFORME FINAL (ENERO/94)

INDICE

**1.5 OPTIMIZACION DEL MANTENIMIENTO.**

1.5.1 METODOLOGIA DE CALCULO DEL MANTENIMIENTO OPTIMIZADO.

1.5.2 VOLUMENES DE MANTENIMIENTO OPTIMIZADO.

1.5.3 VOLUMENES DE MANTENIMIENTO PARA OTROS PASOS.

1.5.4 UBICACION DEL MATERIAL EXTRAIDO.

1.5.5 MANTENIMIENTO DEL CANAL DE ACCESO AL PUERTO DE SANTA FE.

1.5.5.1 Introducci3n.

1.5.5.2 Obtenci3n y tratamiento de la informaci3n de campo.

1.5.5.3 Estimaci3n de los vol3menes de sedimentaci3n.

1.5.5.3.1 Tramo Exterior.

1.5.5.3.2 Canal de Acceso.

1.5.5.3.3 Vol3menes totales de sedimentaci3n.

1.5.5.4 An3lisis de la influencia de una obra de correcci3n  
sobre los vol3menes sedimentados en el Tramo Exterior.

1.5.5.5 Conclusiones y recomendaciones.

**1.6 INCREMENTO DE LOS VOLUMENES DE MANTENIMIENTO.**

1.6.1 ESTIMACION DE LAS ALTURAS Y LONGITUDES DE DUNAS.

1.6.2 RESULTADOS OBTENIDOS Y CONCLUSIONES.

**1.7 VOLUMENES DE CONSTRUCCION.**

1.7.1 PASOS ACTUALES.

1.7.2 OTROS PASOS PARA CALADOS MAS PROFUNDOS.

1.7.3 CANAL DE ACCESO AL PUERTO DE SANTA FE.

**1.8 CONCLUSIONES**

1.8.1 CALADOS ESPERABLES

1.8.2 COSTOS DE DRAGADO TOTALES DE LA RUTA

1.8.3 OBRAS DE INGENIERIA

## INDICE DE FIGURAS PLANOS Y TABLAS

### Figuras

- 1.5.1.1 Oportunidad del dragado Paso Tragadero.
- 1.5.1.2 Optimización dragado inicial 34' Paso Tragadero.
- 1.5.2 Profundidad náutica Paso Abajo Correntoso.
- 1.5.3 Profundidad náutica dragado inicial Paso Abajo Correntoso.
- 1.5.4 Volumen de sedimentación anual Paso Abajo Correntoso.
- 1.5.5 Profundidad náutica Paso Paranacito.
- 1.5.6 Profundidad náutica dragado inicial Paso Paranacito.
- 1.5.7 Volumen de sedimentación anual Paso Paranacito.
- 1.5.8 Profundidad náutica Paso Abajo Tacuaní.
- 1.5.9 Profundidad náutica dragado inicial Paso Abajo Tacuaní.
- 1.5.10 Volumen de sedimentación anual Paso Abajo Tacuaní.
- 1.5.11 Profundidad náutica Paso Tacuaní (Km 509-512).
- 1.5.12 Profundidad náutica dragado inicial Paso Tacuaní (Km 509-512).
- 1.5.13 Volumen de sedimentación anual Paso Tacuaní (Km 509-512).
- 1.5.14 Profundidad náutica Paso Tacuaní (Km 515-513).
- 1.5.15 Profundidad náutica dragado inicial Paso Tacuaní (Km 515-513).
- 1.5.16 Volumen de sedimentación anual Paso Tacuaní (Km 515-513).
- 1.5.17 Profundidad náutica Paso Abajo Diamante.
- 1.5.18 Profundidad náutica dragado inicial Paso Abajo Diamante.
- 1.5.19 Volumen de sedimentación anual Paso Abajo Diamante.
- 1.5.20 Profundidad náutica Paso Vinculación Tragadero Animas.
- 1.5.21 Profundidad náutica dragado inicial Paso Vinculación Tragadero Animas.
- 1.5.22 Volumen de sedimentación anual Paso Vinculación Tragadero Animas.

- 1.5.23 Profundidad náutica Paso Tragadero.
- 1.5.24 Profundidad náutica dragado inicial Paso Tragadero.
- 1.5.25 Volumen de sedimentación anual Paso Tragadero.
- 1.5.26 Granulometría material del lecho Canal de Acceso muestra F1.
- 1.5.27 Granulometría material del lecho Canal de Acceso muestra F2.
- 1.5.28 Granulometría material del lecho Canal de Acceso muestra F3.
- 1.5.29 Granulometría material del lecho Canal de Acceso muestra F4.
- 1.5.30 Granulometría material del lecho Canal de Acceso muestra F5.
- 1.5.31 Granulometría material del lecho Canal de Acceso muestra F6.
- 1.5.32 Granulometría material del lecho Canal de Acceso muestra F7.
- 1.5.33 Granulometría material del lecho Canal de Acceso muestra F8.
- 1.5.34 Granulometría material del lecho Canal de Acceso muestra F9.
- 1.5.35 Granulometría material del lecho Canal de Acceso muestra F10.
- 1.5.36 Granulometría material del lecho Canal de Acceso muestra F11.
- 1.5.37 Granulometría material del lecho Canal de Acceso muestra F12.
- 1.5.38 Granulometría material del lecho Canal de Acceso muestra F13.
- 1.5.39 Granulometría material del lecho Canal de Acceso muestra F14.
- 1.5.40 Granulometría material del lecho Canal de Acceso muestra F15.
- 1.5.41 Granulometría material del lecho Canal de Acceso muestra F16.
- 1.5.42 Granulometría material del lecho Canal de Acceso muestra F17.
- 1.5.43 Granulometría material en suspensión Tramo Exterior.

- 1.5.44 Granulometría material en suspensión Canal de Acceso.
- 1.5.45 Curva de distribución de caudales y áreas Río Colastiné Sección 1.
- 1.5.46 Curva de distribución de caudales y áreas Río Colastiné Sección 2.
- 1.5.47 Curva de distribución de caudales y áreas Río Colastiné Sección 3.
- 1.5.48 Relación de volúmenes.
- 1.7.1 Volumen de construcción Paso Abajo Correntoso.
- 1.7.2 Volumen de construcción Paso Paranacito.
- 1.7.3 Volumen de construcción Paso Abajo Tacuaní.
- 1.7.4 Volumen de construcción Paso Tacuaní (Km 509-512).
- 1.7.5 Volumen de construcción Paso Tacuaní (Km 515-513).
- 1.7.6 Volumen de construcción Paso Abajo Diamante.
- 1.7.7 Volumen de construcción Paso Vinculación Tragadero Animas.
- 1.7.8 Volumen de construcción Paso Tragadero.
- 1.8.1 Calado esperable en el tramo mes de enero.
- 1.8.2 Calado esperable en el tramo mes de febrero.
- 1.8.3 Calado esperable en el tramo mes de marzo.
- 1.8.4 Calado esperable en el tramo mes de abril.
- 1.8.5 Calado esperable en el tramo mes de mayo.
- 1.8.6 Calado esperable en el tramo mes de junio.
- 1.8.7 Calado esperable en el tramo mes de julio.
- 1.8.8 Calado esperable en el tramo mes de agosto.
- 1.8.9 Calado esperable en el tramo mes de setiembre.
- 1.8.10 Calado esperable en el tramo mes de octubre.
- 1.8.11 Calado esperable en el tramo mes de noviembre.
- 1.8.12 Calado esperable en el tramo mes de diciembre.
- 1.8.13 Volumen de sedimentación anual Paso Vinculación Tragadero Animas con obra.

## Tablas

- 1.5.1 Volumen de mantenimiento sin dunas.
- 1.5.2 Volumen de mantenimiento para otros Pasos.
- 1.5.3 Síntesis de las mediciones efectuadas Canal de Acceso.
- 1.5.4 Concentración de sedimento en suspensión Canal de Acceso.
- 1.5.5 Estimación del volumen depositado - método de Owen Camp Curva granulométrica correspondiente a muestra 6.
- 1.5.6 Estimación del volumen depositado - método de Owen Camp Granulometría promedio Tramo Exterior.
- 1.5.7 Estimación del volumen depositado - método de Owen Camp Curva granulométrica sedimento en suspensión.
- 1.5.8 Estimación de volúmenes sedimentados - Tramo Exterior.
- 1.5.9 Estimación del volumen depositado - método de Owen Camp Canal de Acceso.
- 1.6.1 Estimación de velocidades medias a partir de la geometría de dunas - método de Van Rijn.
- 1.6.2 Predicción de alturas y longitudes de dunas en el Río Paraná - Tramo Santa Fe Puerto San Martín.
- 1.6.3 Volumen de mantenimiento con dunas.
- 1.7.1 Volúmenes de construcción.
- 1.7.2 Volúmenes de construcción de otros Pasos.
- 1.7.3 Volúmenes de construcción Canal de Acceso.
- 1.8.1 Calado esperable en el tramo.
- 1.8.2 Costos totales y calados esperables del tramo.
- 1.8.3 Costos de construcción Canal de Acceso.

## Planos

- 1.5.1 Ubicación del material extraído Paso Abajo Correntoso.
- 1.5.2 Ubicación del material extraído Paso Tacuaní.
- 1.5.3 Ubicación del material extraído - Obra analizada Paso Vinculación Tragadero Animas.
- 1.5.4 Ubicación del material extraído Paso Tragadero.
- 1.5.5 Obra analizada. Toma de muestras. Tramo Exterior Canal



de Acceso.

1.5.6 Toma de muestras. Canal de Acceso.

1.5.7 Toma de muestras. Boca interior Canal de Acceso.

## **1.5 OPTIMIZACION DEL MANTENIMIENTO**

En el punto 1.4 (Segundo Informe de Avance) se presentaron los resultados de volúmenes sedimentados obtenidos mediante modelo matemático para diferentes profundidades iniciales de dragado en cada Paso.

Como puede observarse para calados de diseño profundos, mayores a 24 pies, son necesarios dragados iniciales con profundidades de corte, variables para cada Paso, pero en la mayoría de los casos superiores a los 6 o 7 pies. Esto se debe a la gran capacidad de sedimentación que el río tiene en forma natural. Este hecho hace que los volúmenes sedimentados anuales, para estas alternativas de calado profundo crezcan exponencialmente, con lo cual se puede notar que las posibilidades de amortizar dicho mantenimiento a partir de los volúmenes de carga de los Puertos de Santa Fe y Diamante se torna muy dificultosa.

Esta primera interpretación de los resultados hace que prevalezca la utilización de una metodología de optimización de mantenimiento que se adecuó fundamentalmente para los calados de diseño menos profundos.

Observando los volúmenes de sedimentación anuales obtenidos para las condiciones de calado menos profundas, si bien son estos importante no justifican la técnica de más de una operación de dragado anual, esta apreciación se fundamenta en la experiencia

recogida durante el desarrollo de los trabajos de optimización de mantenimiento para el tramo Inferior del Río Paraná (Km 460-232). Por este motivo se considera que la optimización del volumen de mantenimiento para estas condiciones de calado de la ruta consisten fundamentalmente en determinar el momento oportuno de realizar la operación de dragado.

#### 1.5.1 METODOLOGIA DE CALCULO DEL MANTENIMIENTO OPTIMIZADO

Cuando se considera un limnigrama anual poco variable o río regulado la optimización consiste en determinar la frecuencia de dragados anuales que minimicen los costos. Esta metodología tiene sentido de aplicación solo para volúmenes de mantenimiento importantes, de lo contrario los costos producidos por el desplazamiento de los equipos no compensan el ahorro del volumen de dragado.

Al considerarse un limnigrama medio anual variable, con períodos de crecida y estiajes, aparece otra posibilidad de minimizar dragados de mantenimiento consistente en determinar el momento más oportuno de realizar la obra. En esta nueva situación, caso del Río Paraná en condiciones actuales, la presencia de crecidas ordinarias limita considerablemente la técnica de efectuar varios mantenimientos anuales debido a que durante las mismas el río tiene una gran capacidad de reponer el sedimento extraído artificialmente.

Adicionalmente, las nuevas condiciones de diseño de la ruta (Pliego licitatorio) que establecen calados a mantener y nó

niveles del lecho, fundamentan aún más la necesidad de optimizar el mantenimiento a través de seleccionar el momento oportuno de efectuarlo.

El conjunto de consideraciones expuestas induce a pensar que un aumento de frecuencia de dragado de mantenimiento anual solo mejoraría escasamente los volúmenes de mantenimientos para calados profundos, con muchas limitaciones; mientras que la selección del momento oportuno de hacer un único mantenimiento anual optimizaría los costos de mantenimiento para todas las alternativas de calado, especialmente para las menos profundas, que son las de mayor interés en este caso.

El procedimiento de cálculo empleado fué el siguiente:

a) Se confeccionó un gráfico de profundidad náutica disponible, considerando el limnigrama medio anual adoptado y corregido según la posición del Paso, a partir de las condiciones morfológicas o determinante actual.

b) Luego del pico de la crecida, durante el período de descenso, cuando se produce la falla de la profundidad náutica se selecciona el primer intento de oportunidad de dragado de mantenimiento.

c) Se efectúan para este momento varias alternativas de dragados iniciales a diferentes profundidades homogéneas de corte, y mediante modelo matemático se simula el recrecimiento

del perfil longitudinal del lecho en el Paso; computando el valor del determinante mes a mes y el volumen total sedimentado al cabo del año.

d) De esta manera se obtiene un juego de gráficos donde a cada calado de diseño le corresponde un dragado inicial y en consecuencia un volumen sedimentado anual para este primer intento de oportunidad de dragado.

e) A continuación se efectúan cálculos análogos al descrito pero desplazando el momento de oportunidad de dragado hacia atrás y adelante en el tiempo, en intervalos regulares de un mes.

f) De esta manera se obtienen los volúmenes de sedimentación anuales para cada variante de oportunidad de dragado, eligiéndose en consecuencia aquella operación que minimice los costos.

Como puede observarse en el ejemplo utilizado, el mantenimiento en el mes de junio (mes 0) optimiza la operación ya que hacerlo en el mes mayo (mes -1) aumento el volumen a dragar y en el mes julio (mes +1) prácticamente no ahorra volumen y pero no mantiene el calado diseñado (Figs. 1.5.1.1 y 1.5.1.2).

Este procedimiento de cálculo fue empleado para cada uno de los Pasos y alternativas de calado, seleccionandose en cada caso la operación óptima.

Para los calados menores y medios el momento oportuno de

efectuar la obra osciló entre el mes junio y mayo, mientras que para calados mayores en algunos casos fue necesario efectuar el mantenimiento 2 meses anticipados.

#### **1.5.2 VOLUMENES DE MANTENIMIENTO OPTIMIZADO**

Según el procedimiento de cálculo descrito en 1.5.1 fue posible calcular los volúmenes de mantenimiento optimizados para los Pasos en los cuales se aplicó el modelo matemático. Estos son:

Abajo Correntoso (Figs. 1.5.2 a 1.5.4)

Paranacito (Figs. 1.5.5 a 1.5.7)

Abajo Tacuaní (Figs. 1.5.8 a 1.5.10)

Tacuaní (Km 509-512) (Figs. 1.5.11 a 1.5.13)

Tacuaní (km 513-515) (Figs. 1.5.14 a 1.5.16)

Abajo Diamante (Figs. 1.5.17 a 1.5.19)

Vinculación Tragadero Animas (Figs. 1.5.20 a 1.5.22)

Tragadero (Figs. 1.5.23 a 1.5.25)

Para cada calado de diseño se sumaron los volúmenes de mantenimiento de cada Paso, obteniéndose en consecuencia el volumen total para el tramo sin efecto de dunas. Los resultados obtenidos se presentan en Tabla Nº 1.5.1.

#### **1.5.3 VOLUMENES DE MANTENIMIENTO PARA OTROS PASOS**

A medida que se aumenta el calado de diseño de la ruta aparecen nuevos Pasos que actualmente, para la condición de calados menores, no presentan problemas.

Estos han sido determinados del relevamiento longitudinal por el eje del canal realizado por la FICH durante la campaña de Agosto de 1993.

Para la alternativa de calado más profunda analizada (28 pies) aparecen como posibilidades de nuevos Pasos, con dragados de mantenimiento, los siguientes lugares:

- Arriba Tacuaní (Km 519-524) con un determinante de 22,3 pies al 80 %
- Abajo Raigones A (Km 542-544) con un determinante de 25,6 pies al 80 %
- Abajo Raigones B (Km 546,7-552) con un determinante de 24,8 pies al 80 %
- Raigones (Km 554,8-562,5) con un determinante de 27,2 pies al 80 %
- Arriba Alvear (Km 565,5-568,5) con un determinante de 23,3 pies al 80 %
- Animas Paracao (Km 571,5-577) con un determinante de 23,3 pies al 80 %

Como puede observarse estos lugares con problemas de calado no son nuevos para los registros de la DNCPyVN, ya que en algún momento atrás en el tiempo han requerido un cierto mantenimiento.

Para calcular los volúmenes de mantenimiento anuales necesarios para estos Pasos se procedió de la siguiente manera:

- Se supuso que el perfil longitudinal relevado por el eje del canal se mantendría sin variaciones importantes hacia ambos veriles, esto involucra poca variaciones de profundidad en el sentido transversal, siempre dentro del ancho del canal (116 m).

- Para cada alternativa de calado de diseño se construyeron curvas de volúmenes de dragado de apertura o construcción cuya metodología se explica en el punto 1.7.2.

- En base a los volúmenes de mantenimiento resultados de la aplicación del modelo matemático para los ocho Pasos actuales (punto 1.5.2), y cálculo de volúmenes de construcción para dichos Pasos (punto 1.7.1), incluyendo en ambos casos los efectos de las formas de fondo (punto 1.6) se construyó el gráfico 1.5.48. En el mismo se presenta una relación entre volúmenes de mantenimiento y volúmenes de construcción, para toda la ruta, variable a medida que aumenta el calado.

En base a este gráfico se ajustó una relación por el método de mínimos cuadrados, expresión que fue utilizada para calcular el volumen de mantenimiento para los Pasos restantes sin modelo matemático, a partir del volumen de construcción necesario para cada alternativa analizada.

Esta metodología implica una extrapolación de la relación de volumen entre mantenimiento y construcción obtenido por modelo matemático para los ocho Pasos actuales, al resto de la ruta.



Para asignar los volúmenes de mantenimiento así obtenidos a cada calado de diseño se supuso que el perfil longitudinal del lecho en cada Paso recrece, en cada progresiva, manteniendo la forma original del predragado; o sea en una proporción equivalente a la relación de volúmenes entre mantenimiento y construcción.

Esta hipótesis implica que el determinante en cada uno de estos nuevos Pasos, no cambia de posición para todas las alternativas de calado analizadas.

Los resultados obtenidos de este procedimiento de cálculo se sintetizan en la tabla 1.5.2.

#### **1.5.4 UBICACION DEL MATERIAL EXTRAIDO**

Debido a las importantes variaciones morfológicas que presenta la ruta a través del tiempo, no es posible determinar a priori la ubicación del material extraído para toda la vida útil de la misma.

No obstante, para la etapa de construcción y primeros años de mantenimiento, partiendo de la base que los cambios morfológicos generales continúan con la misma tendencia actual observada, se eligieron zonas consideradas como neutras y/o favorables para el depósito del material extraído.

Para ello se tuvo en cuenta las características de los actuales equipos de dragado que dispone la DNCPyVN.

En los Planos 1.5.1 a 1.5.4, se marcaron para algunos Paso las zonas consideradas convenientes para ubicar el material extraído.

#### **1.5.5 MANTENIMIENTO CANAL DE ACCESO AL PUERTO DE SANTA FE**

##### **1.5.5.1 INTRODUCCION**

En el Segundo Informe de Avance, Octubre de 1993, se llevo a cabo una primera estimación de los volúmenes de sedimentación esperables en el tramo Exterior y Canal de Acceso al Puerto de Santa Fe. Las dificultades involucradas en el problema y la falta de una metodología de cálculo debidamente verificada aconsejó, en esa oportunidad, evaluar la depositación en el tramo a partir de distintas fuentes de información y procedimientos de cálculos. Los resultados obtenidos si bien presentaron un cierto grado de dispersión, inevitable en este tipo de evaluaciones, permitieron establecer un rango de valores esperables como montos promedios de sedimentación en el tramo Exterior y Canal de Acceso. Este rango tuvo como límite inferior un volumen medio anual de 300000 m<sup>3</sup>/año.

La falta de una base de información apropiada impidió en aquellas circunstancias una validación de las metodologías de cálculo, que respaldasen los valores obtenidos, como así la coherencia de los resultados logrados con metodologías diferentes. A raíz de ello surgió como conclusión de aquel Informe la necesidad de realizar una serie de mediciones de características tales que brindaran tanto la información de base

para la aplicación del procedimiento, como así también datos que permitieran la verificación de los resultados.

De esta manera, el presente Informe se planteo como una continuidad del anterior, cuyo objetivos es presentar un cálculo mas ajustado de los volúmenes de sedimentación esperables para las condiciones actuales, y analizar, en forma somera, alternativas de obras que pudieran reducir los costos del dragado de mantenimiento del Canal de Acceso.

En cumplimiento de los objetivos planteados, en el Cap. 1.5.5 del estudio se detallan las tareas de campo realizadas, tanto a nivel de la obtención del dato como de su posterior tratamiento.

La información analizada y depurada en el punto 1.5.5.2 conformó la base de datos que permitieron la aplicación de diferentes procedimientos de cálculos que evalúan la sedimentación en el canal. Estos aspectos constituyen el punto 1.5.5.3 del Informe en el cual se describe la aplicación y verificación del método de Owen Cam y el análisis de sedimentación en el Tramo Exterior, a partir de evaluar la capacidad de transporte sobre el banco.

El punto 1.5.5.4 analiza la incidencia que sobre los volúmenes de sedimentación tendría la realización de un terraplén continuo que permita afirmar el banco existente en el extremo de la Isla La Tona. Se analizó aquí, sobre la base de una serie de

supuestos, los volúmenes de arena que sedimentarían en la embocadura del canal. La comparación de estos valores con los obtenidos en el punto 1.5.5.3 permitieron determinar las reducciones esperables en los volúmenes de mantenimiento por efecto de la obra en consideración.

Por último en el punto 1.5.5.5 se brindan las conclusiones del estudio, poniendo énfasis en la necesidad de profundizar el estudio de las posibles alternativas de obras, dado que, a los fines de poder definir, con adecuada precisión, las reducciones en los volúmenes sedimentados como consecuencia de las distintas alternativas de obras propuestas, se requiere el empleo de herramientas de modelación que estan fuera del alcance de este estudio.

#### **1.5.5.2 OBTENCION Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACION DE CAMPO**

La continuidad del estudio comprometió el desarrollo de tareas de campo que posibilitaran disponer de una información mas completa sobre las características hidráulicas y sedimentologicas del Canal de Acceso al Puerto de Santa Fe. A tal fin se llevaron a cabo dos campañas de mediciones cuyas fechas de realización y síntesis de las tareas efectuadas se describe en la Tabla 1.5.3.

#### **Relevamiento batimétrico**

El plan de tareas correspondiente a la campaña del 4/11/93 incluyó el relevamiento batimétrico general del Canal de Acceso entre los Km. 586 y Km. 592,5. Las determinaciones de profundidad

se efectuaron con sonda ecografa de registro continuo, mientras que, simultáneamente un posicionador satelital GPS determinaba la ubicación de la embarcación. El recorrido efectuado durante la navegación fue similar al descrito en el Segundo Informe de Avance con relación al relevamiento de los Pasos de Navegación en el río Paraná. Los resultado del relevamiento se presentan en los Planos 1.5.5 1.5.6 y 1.5.7.

### Velocidades en el canal

En ambas campañas se efectuaron mediciones expeditivas de velocidad de acuerdo al siguiente detalle:

Fecha	Prog. de ubicación	Técnica de medición	Nº de ptos muestreo	V (m/s)	A (m2)	Q m3/s
04/11/93	Km 587,6	minimolinete	3	0,50	1190	595
04/11/93	Km 585,5	minimolinete	3	0,56	1051	591
18/11/93	Km 587	flotadores	3	0,26	1192	310
18/11/93	Colastiné s/banco	flotadores	1			

### Muestras de material de fondo

El proceso de sedimentación que se produce a lo largo del Canal de Acceso se vincula directamente a las características del material de fondo presente en el mismo. En efecto, las tareas de campo en este sentido consistieron en un muestreo de material de fondo a lo largo del Canal de Acceso.

En los Planos 1.5.5 a 1.5.7 se detalla la ubicación de las

diferentes muestras obtenidas para cada una de las campañas realizadas.

El muestreo de material del fondo se efectuó con el mismo equipamiento que el empleado para igual fin en el Río Paraná.

Las muestras obtenidas fueron analizadas en el Laboratorio de Sedimentología de la FICH. Las curvas granulométricas resultantes se muestran en las Figs. 1.5.26 a 1.5.44

#### **Muestras del sedimento en suspensión**

La concentración de depositación, variable fundamental en la determinación de los volúmenes sedimentados en el Canal de Acceso, surge como resultado de un balance del transporte de sedimento en suspensión a lo largo del canal. En este sentido las tareas de campo previeron el muestreo de sedimento en suspensión en diferentes puntos a lo largo del tramo de análisis. Se obtuvieron dos tipos de muestras.

- \* Superficiales

- \* Integradas en profundidad

En los Planos 1.5.5 a 1.5.7 se ubicaron los diferentes puntos de muestreo efectuados en la campaña del 18/11/93.

Las muestras obtenidas fueron analizadas en el Laboratorio de Sedimentología de la FICH. Las determinaciones efectuadas

fueron las siguientes.

\* Concentración: Se determinó para cada una de las muestras la concentración total del sedimento. Para ello se dejó en reposo las muestras por un período de 10 días de manera de garantizar que decanten partículas tan pequeñas como 0,5 micrones. Luego de ésto se eliminó el líquido sobrenadante, procediéndose al secado de la muestra, la cual una vez seca fue pesada, determinándose su concentración como la relación entre este peso y el volumen conocido de la muestra. En el caso de muestras integradas en profundidad, en donde se pudo comprobar la presencia de arenas, luego de eliminado el líquido sobrenadante, se pasó la muestra por el tamiz 230 efectuándose una discriminación entre la concentración de arena y la de sedimento fino.

En la Tabla 1.5.2 se detallan las concentraciones totales y de la fracción arena de las distintas muestras analizadas.

\* Granulometría: Sobre la base de muestras integradas en profundidad se determinó la granulometría del material fino presente en las mismas. La reducida cantidad de material presente en las muestras impidió establecer la granulometría de cada una de las muestras. En su defecto se hizo una integración de las mismas en base al siguiente criterio de ubicación.

- Tramo Exterior
- Canal de Acceso

Resultaron así dos muestras integradas de sedimento fino que fueron analizadas mediante la técnica del tubo de extracción de fondo (Ref. 1) las curvas resultantes se muestran en las Figs. 1.5.43 y 1.5.44. La granulometría de la fracción de arena no pudo ser conocida dado que la cantidad de material no fue suficiente para su análisis por el método de tamizado, no siendo aconsejable para este rango de tamaños la aplicación del tubo de extracción de fondo.

Los resultados obtenidos a partir de las tareas de campo conformaron los datos de partida para la aplicación de las metodologías de cálculo que estiman los volúmenes de sedimentación esperable en el Canal de Acceso. Asimismo los datos de concentración obtenidos permitieron la verificación de los métodos propuestos mediante su contraste con los datos observados.

#### **1.5.5.3 ESTIMACION DE LOS VOLUMENES DE SEDIMENTACION**

##### **1.5.5.3.1 Tramo Exterior**

Método de Owen Camp: Información utilizada y resultados obtenidos

En el Informe de Avance Nº 2 se evaluó, en forma preliminar, la sedimentación en el Tramo Exterior del Canal de Acceso empleando para ello los siguientes procedimientos de cálculo.



\* Comparación de batimetrías

\* Método de sedimentación de Owen Camp (Ref. 3)

Los cálculos resultantes arrojaron valores de volúmenes anuales de sedimentación que oscilaron entre 200000 y 300000 m<sup>3</sup>/año, según el método de cálculo empleado.

La metodología de Owen Camp, desarrollada para el diseño de decantadores, se consideró factible de aplicar al Canal de Acceso dadas las características particulares que éste presenta. Sin embargo quedó perfectamente establecido en dicho Informe de Avance que los valores resultantes de la aplicación de este método debían ser considerados solo tentativos debido a los supuestos introducidos en el cálculo.

Las tareas de campo descritas en el punto 1.5.5.2, y un análisis más detallado de la información existente permitieron disponer de datos más completos y confiables que posibiliten recalcular los volúmenes sedimentados a partir de este método. En este sentido dos situaciones se plantearon para el análisis:

a) Cálculo de los volúmenes sedimentados a partir de datos promedios del Estudio del Sistema Fluvial Paraná Santa Fe (Ref. 6).

b) Cálculo de los volúmenes de sedimentación a partir de los datos obtenidos de la campaña del 18/11/93 realizada para este estudio.

a) Los datos proporcionados en Ref. 6 son sin lugar a dudas la información mas completa y detallada que se ha relevado sobre los aspectos hidráulicos y sedimentológicos del Canal de Acceso al Puerto de Santa Fe. Si bien es cierto que los cambios observados en el régimen hidrológico podrían introducir un cierto grado de desactualización en esta información, las particularidades de los procesos de sedimentación en el Canal de Acceso, los cuales están más sujetos a variaciones locales que a cambios generales del sistema, sumado al hecho de ser la única información obtenida en forma sistemática a lo largo de varios años, aconsejó su empleo a nivel de valores promedio para el período analizado.

Los datos hidráulicos empleados corresponden a las mediciones de caudal efectuadas entre el 29/01/71 y el 26/03/73. De un total de treinta observaciones realizadas en dicho período se obtuvieron los siguientes valores promedios, correspondientes a un rango de niveles hidrométricos en Puerto Santa Fe entre 1,10 m y 5,50 m.

Parámetro	Media	Desvío
Q(m <sup>3</sup> /s)	412,8	165,4
Area (m <sup>2</sup> )	1039,0	227,0
Veloc. (m/s)	0,4	0,13
Ancho (m)	153,6	19,9
Tirante (m)	6,8	0,73

Los datos considerados fueron obtenidos tanto en las secciones de aforo de la Boca Exterior como en la Boca interior; la similitud entre los parámetros observados en una y otra sección en igual fecha hizo innecesario la discriminación de

resultados.

El valor de tirante hidráulico promedio se corresponde con una cota media de fondo, en un ancho de 150 m, de -3,3 m al cero del hidrómetro del Puerto de Santa Fe (Ref. 6).

Los valores de concentración de sedimento en suspensión al ingreso al canal de acceso fueron obtenidos a partir de mediciones efectuadas en dos secciones del Río Colastiné (Ref. 6). El promedio de 16 observaciones arrojó un valor de concentración media de:

$$C_o = 150 \text{ mg/l} \quad \sigma_{C_o} = 36 \text{ mg/l}$$

Los parámetros hidráulicos antes determinados sirvieron como información de entrada para la aplicación del método de Van Rijn (Ref. 9) a través del cual se pudo calcular la velocidad de corte ( $U^*$ ), dato fundamental para el cálculo de sedimentación a través del método de Owen Camp; la aplicación de la metodología antes citada arrojó los siguientes resultados.

$C'$  (Coef. de Chezy debido a resist. sup. contorno liso): 99,2

$U^*$  (velocidad de corte): 0,0148 m/s

$I$  (pendiente):  $3,18 \cdot 10^{-6}$

El aspecto que mayores dificultades presentó para la estimación de la sedimentación a partir del método de Owen Camp fue la determinación de la curva granulométrica del sedimento suspendido entrante al tramo. La información de Ref. 6 no incluyó este dato. Al respecto, aunque teniendo presente las

imprecisiones que esto acarrea, se decidió aplicar la metodología a partir de la granulometría del sedimento de fondo. Para ello se consideraron dos situaciones.

\* Se seleccionó la granulometría de una muestra de material de fondo ubicada aproximadamente en coincidencia con el sector conocido como Vuelta del Pacu (muestra N° 6 en Ref. 6). Se consideró que dicha muestra contaría con tamaños tales que se podrían considerar representativos de aquellos que estarían en suspensión al ingreso del Tramo Exterior. Los resultados alcanzados sobre la base de esta granulometría se muestra en Tabla 1.5.5.

\* Se seleccionó como granulometria representativa del sedimento en suspensión una curva promedio de las muestras de material de fondo tomadas en el Tramo Exterior de acuerdo a Ref. 6; los resultados así obtenidos se muestra en Tabla 1.5.5.

Se observa una diferencia muy importante en las concentraciones depositadas según se considere una u otra curva granulométrica. En el caso que se seleccione la curva granulométrica mas fina (muestra N°6, Ref 6), el volumen resultante a nivel anual fue de:

Vol. anual= 263512 m<sup>3</sup>       $\delta d = 1,9 \text{ tn/m}^3$

que se enmarca adecuadamente dentro de los valores obtenidos en el Segundo Informe de Avance. Para el caso en que se empleó la curva granulométrica promedio del material de fondo del Tramo Exterior, el volumen resultante fue:

Vol. anual= 630142 m<sup>3</sup>       $\delta d = 1,9 \text{ tn/m}^3$

Este valor se considera exagerado, y se debe probablemente al hecho de estar incluyendo tamaños de arena en proporciones que no reflejan adecuadamente la granulometría del sedimento en suspensión; ya que las mismas se estarían trasladando para esas condiciones hidráulicas como carga de fondo. Este efecto no incluido en el análisis de Owen Camp es evaluado mas adelante.

b) Las tareas de campo desarrolladas durante el mes de noviembre tuvieron como finalidad disponer del conjunto de los datos hidráulicos y sedimentológicos, necesarios para llevar a cabo la aplicación de los métodos de estimación con un mínimo de supuestos a introducir. Si bien es cierto que los resultados así obtenidos corresponden a una situación puntual la posibilidad de verificar el método de cálculo brindaría una mayor confiabilidad en su aplicación a condiciones promedios.

Los datos hidráulicos a emplear surgieron del aforo realizado mediante flotadores el 18/11/93. Este aforo se realizó a la altura del Km 587 del Canal de Acceso, arrojando un caudal de:

$$Q = 310 \text{ m}^3/\text{s}$$

La velocidad media (V) en el tramo Exterior se obtuvo a partir del caudal antes citado y el área promedio (Am) de las secciones consideradas en dicho sector:

$$V = 0,38 \text{ m/s} \quad A_m = 823,5 \text{ m}^2$$

La profundidad media (h) se obtuvo a partir de la batimetría relevada en el tramo, tomando como nivel del pelo de agua el

registro de altura hidrométrica de la fecha del relevamiento.

$$h = 9 \text{ m}$$

Con los datos descritos y la granulometría del sedimento de fondo se aplicó el método de Van Rijn (Ref. 9), correspondiente a contorno hidráulicamente liso, con el fin de obtener el valor de la velocidad de corte  $U^*$ , a emplear en el cálculo. Los valores resultantes de este procedimiento fueron los siguientes:

$$C' = 100,5$$

$$U^* = 0,0118$$

$$I = 3,22 \cdot 10^{-6}$$

La concentración de ingreso ( $C_0$ ) fue obtenida a partir de la muestra de sedimento en suspensión integrada en la vertical, la cual fue tomada en el Río Colastiné, aguas arriba del Tramo Exterior.

$$C_0 = 90,2 \text{ mg/l}$$

A diferencia de la información proporcionada en Ref. 6, en este caso se contó con la granulometría del sedimento en suspensión. Información raramente disponible y de gran valor en estudios de estas características. Sin embargo la obtención de este dato requirió salvar una serie de dificultades. En efecto la reducida cantidad de material presente en las muestras impidió conocer la granulometría de cada una de ellas en forma individual. En su defecto se decidió integrar más de una muestra a los fines de poder disponer de valores promedios por sectores. En este sentido se conformaron dos grupos que reunían las muestras tomadas en:

\* Tramo Exterior

\* Canal de Acceso.

En ambos casos la curva granulométrica resultante de la aplicación del método del tubo de extracción de fondo solo describió los tamaños de sedimentos finos presentes, no pudiéndose determinar la granulometría de arenas dado la insuficiente cantidad de muestras, aún cuando fueron integradas, para la aplicación de la técnica del tamizado. Sí se pudo conocer en cada caso la fracción de arena presente en la muestra. Con este dato y en el supuesto que solo estuvieran en suspensión tamaños no superiores al límite de las arenas muy finas. Se pudo completar la totalidad de la curva granulométrica del sedimento en suspensión; sobre cuya base se desarrollo las estimaciones de sedimentación a partir del método de Owen Camp. En la Tabla 1.5.7 se detallan los valores resultantes.

#### **Análisis de los resultados, validación del método**

La posibilidad de disponer de datos de concentración integrados en la vertical a lo largo del Tramo Exterior y Canal de Acceso brindaron una excelente oportunidad de contrastar los resultados brindados por el método de Owen Camp.

Del análisis de la Tabla 1.5.7 surge que la concentración total depositada a lo largo del tramo Exterior en una longitud de aproximadamente 500 m fue de

$$Cd = 33.89 \text{ gr/m}^3$$

Este valor se correspondió adecuadamente con los tenores de

concentración resultantes de las muestras efectuadas a lo largo del Tramo Exterior. Se observa en la Tabla 1.5.4 (Plano 1.5.5) que apenas la corriente ingresa en el tramo se produce el grueso de la depositación con valores de  $C_d = 26,6 \text{ gr/m}^3$ . Este valor crece paulatinamente hasta alcanzar en la muestra S5 (Plano 1.5.6) una concentración de depositación de

$$C_d = 33,4 \text{ gr/m}^3$$

apenas un 2 % menor que lo calculado.

El análisis de Owen Camp. muestra que la deposición de arenas es predominante en el tramo, teniendo una contribución a la sedimentación total del 93 % con lo que la concentración del depósito de arenas en el tramo exterior sería de:

$$C_{d\text{arena}} = 31.8 \text{ gr/m}^3$$

Este valor se corresponde con el observado a partir de la diferencia de concentraciones de arena entre las muestras S1 y S5 (Tabla 1.5.4). En efecto de acuerdo al porcentaje de arena presente se tiene

$$C_{S1 \text{ arena}} = 41.13 \text{ gr/m}^3$$

$$C_{S5 \text{ arena}} = 11.36 \text{ gr/m}^3$$

$$C_d \text{ arena} = 29.8 \text{ gr/m}^3$$

resultando una diferencia con el valor calculado del 6 %.

Se debe recordar en este análisis que la muestra S5 considerada como ubicada en el límite del Tramo Exterior involucra una longitud de desarrollo, respecto de la posición de la muestra S2, de aproximadamente 1000 m, lo que duplica el valor de 500 m considerado en el cálculo. Sin embargo este valor de



longitud tal como lo concibe el método no es posible de determinar con precisión en este caso, pues para ello sería necesario conocer con todo detalle la distribución de líneas de corriente ingresando al canal. A los fines de acotar la influencia en las variaciones de este parámetro se efectuó un nuevo cálculo en el supuesto de una longitud de decantación de 1000 m. Los resultados se muestran en la Tabla 1.5.7. se observa un incremento de la concentración de depositación calculada de aproximadamente un 20 % con lo cual, para esta longitud de decantación, los valores calculados sobreestimarían a los observados en aproximadamente un 23 %. En el cuadro siguiente se resumen los resultados alcanzados.

L (m)	Calculado		Observado		Error (%)	
	Cdtotal (gr/m <sup>3</sup> )	Cd arena (gr/m <sup>3</sup> )	Cdtotal (gr/m <sup>3</sup> )	Cd arena (gr/m <sup>3</sup> )	Cdtotal	Cdarena
500	33.9	31.8	33.4	29.8	1.5	6.7
1000	40.9	36.9	33.4	29.8	22.5	23.8

Se considera que los resultados alcanzados son altamente satisfactorios si se consideran las imprecisiones involucradas habitualmente en este tipo de cálculos.

Del análisis de la Tabla 1.5.7 se desprende que entre un 80 % y un 90 % de la arena que ingresa al canal se depositaría en el Tramo Exterior. Este valor se corresponde bien con los datos obtenidos a partir de las muestras de sedimento en suspensión, pero no así con los porcentajes de arena presentes en las

muestras de fondo, los cuales oscilaron entre un 30 y un 70 %. Sin embargo estos datos deben ser considerados con reserva dado que las muestras fueron obtenidas durante el desarrollo de tareas de dragado en dicho sector.

Si bien los resultados obtenidos a partir de la información de campo relevada a los fines de este estudio deben considerarse como un valor puntual, resulta notorio la coincidencia de resultados con los valores obtenidos a partir de los datos promedios de Ref. 6. De adoptarse los valores calculados de la concentración de depositación, como promedio representativo a nivel anual, los volúmenes resultantes para un caudal circulante por el canal de 400 m<sup>3</sup>/s serían los siguientes:

L (m)	Cd total (gr/m <sup>3</sup> )	Cd arena (gr/m <sup>3</sup> )	Vol. total (m <sup>3</sup> )	Vol. arena (m <sup>3</sup> )
500	33.9	31.8	225000	211000
1000	40.9	36.9	272000	245000

#### **Estimación del aporte de arenas mediante balance de transporte.**

Si bien el método de Owen Camp. tuvo un principio de verificación a partir de lo descrito, se creyó de interés evaluar los volúmenes esperables de sedimentación de arenas a partir de una metodología de cálculo diferente, tal es el balance de la capacidad de transporte de la corriente en diferentes secciones. Para ello se emplearan ecuaciones de transporte de sedimento cuyo uso ya registro antecedentes en ríos de la region. El hecho que

los resultados obtenidos por el método de Owen Camp, muestren que el grueso del depósito en el Tramo Exterior corresponde a arenas, validan la aplicación de este procedimiento empleado únicamente para carga de lecho.

A los fines de este cálculo se adoptó como caudal líquido aquel que tiene una probabilidad del 60% de no ser alcanzado, ya que este sería el que produce el caudal sólido medio anual (Ref. 7). Para el cálculo de dicho caudal en el río Colastiné se empleó la siguiente curva de descarga.

$$Q = 3,69 * e^{Hp} + 403,43 Hp + 716,31$$

donde Hp altura del hidrómetro en Puerto Paraná.

$$Hp_{60\%} = 3,62 \text{ m} \quad Q_{60\%} = 2314,50 \text{ m}^3/\text{s}$$

Los planos batimétricos relevados en el tramo Exterior muestran que la conformación de las secciones del Río Colastiné en su aproximación al Canal de Acceso presentan dos sectores claramente diferenciados. Un cauce principal de ancho aproximadamente constante y una zona de banco de ancho creciente a medida que se aproxima al Canal. Esta característica de las secciones del río en este sector se traducen en un quiebre en la curva de distribución de caudales que muestra el progresivo incremento del ancho del banco (Figs. 1.5.45 a 1.5.47).

La Fig. 1.5.47 muestra la curva de distribución de caudales en una sección ubicada inmediatamente aguas arriba del Tramo Exterior (Sección 3). Sobre la base de esta curva se cuantifico

el porcentaje de caudal que escurre sobre el banco el cual se consideró como el responsable del aporte de sedimento al Tramo Exterior. Este porcentaje de caudal se reprodujo en las curvas de distribución de caudales de otras dos secciones sobre el río Colastiné ubicadas 1000 y 500 m aguas arriba de la Sección 3 (Figs. 1.5.45 y 1.5.46). De esta manera se delimitó el tubo de corriente que escurre sobre el banco, calculándose el transporte de sedimentos al comienzo de éste (Sección 1, Fig. 1.5.45). La evaluación del transporte total se hizo empleando la fórmula de Engelund Hasen (Ref. 5) con un diámetro característico de sedimento obtenido a partir de una muestra de fondo extraída sobre el banco (Plano 1.5.5) que mostró un  $d_{50} = 0,165$  mm.

El procedimiento de cálculo descrito determinó que un 40% del caudal pasara sobre el banco. Sobre la base de este dato y conocida la geometría de la sección se calcularon los siguientes parámetros hidráulicos.

Velocidad media  $V = 0,62$  m/s

Profundidad media  $h_m = 5,5$  m

Velocidad de corte  $U^* = 0,034$  m/s

Tensión de corte adimensional  $\tau^* = 0,436$

Con esta información de entrada y mediante la aplicación de la ecuación de Engelung Hansen se obtuvo un volumen anual de transporte aportado al banco de :

Volumen anual = 247.000 m<sup>3</sup>

La fracción mayoritaria de este volumen quedaría retenida

en la zona del banco, en función de la diferencia en la capacidad de transporte entre las secciones 1 y 3. Sin embargo el material sería finalmente arrastrado dentro del canal durante el pasaje de las crecidas, permitiendo de este modo una situación de equilibrio sobre el banco.

Se observa que el volumen así calculado coincide con el resultante de la aplicación del método de Owen Camp para una longitud de decantación de 1000 m. Se debe señalar sin embargo que el volumen calculado a partir de la fórmula de Engelung Hansen incluye la depositación debido a variaciones del transporte de fondo, situación no evaluada en la metodología de Owen Camp. Por dicho motivo se decidió cuantificar en forma separada este efecto empleando para tal fin la fórmula propuesta por Engelung Fredsøe (Ref. 4).

Para ello se desarrolló un procedimiento idéntico al empleado para el cálculo del transporte total sobre el banco. Resultó así un volumen anual de transporte de fondo aportado al banco de

$$\text{Vol} = 21.000 \text{ m}^3$$

A los fines de comparar los resultados alcanzados mediante esta metodología con los hallados empleando Owen Camp, se obtuvo el volumen aportado de sedimento en suspensión como la diferencia entre el transporte total y el de fondo.

$$\text{Vol. anual} = 247.000 - 21.000 = 226.000 \text{ m}^3$$

El valor obtenido prácticamente promedia a los volúmenes de arena obtenidos por Owen Camp para las longitudes de decantación

de 500 y 1000 m.

La convergencia de resultados obtenidos y la verificación efectuada a partir de observaciones de campo respalda el empleo de la metodología a de Owen Camp para la estimación de los volúmenes sedimentados en el Tramo Exterior del Canal de Acceso, siendo necesario para ello conocer las características hidráulicas del escurrimiento en el canal y la concentración y granulometría del sedimento suspendido en el río Colastiné en las proximidades de la embocadura del Tramo Exterior.

En la Tabla 1.5.8 se resumen los resultados obtenidos a partir de las diferentes metodologías de cálculo bajo los supuestos descriptos.

#### **1.5.5.3.2 Canal de Acceso**

Aplicación del método de Owen Camp. Información utilizada y resultados obtenidos.

Los resultados obtenidos a partir del método de Owen Camp en su aplicación al Tramo Exterior mostraron que entre el 80 y 90 % de la arena que ingresa quedaría retenida en este sector. Ante estas circunstancias el depósito de sedimentos en el Canal de Acceso propiamente dicho estaría integrado fundamentalmente por sedimento fino.

El procedimiento de cálculo adoptó como concentración de ingreso al tramo la correspondiente a la muestra S5 (Plano 1.5.6)

$C_0 = 56,8 \text{ gr/m}^3$  con una fracción de arena del 20 %. Al igual que para el caso del Tramo Exterior no se pudo disponer de la distribución granulométrica del sedimento en suspensión correspondiente a una muestra aislada dado que la cantidad de material era insuficiente. En su lugar se construyó la curva de tamaños a partir de una muestra integrada en el Tramo Interior (Canal de Acceso).

Los parámetros hidráulicos requeridos para la aplicación del método fueron obtenidos a partir de las mediciones efectuadas en la campaña del 18/11/93.

$$Q = 310 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Area} = 1190 \text{ m}^2$$

$$V = 0,26 \text{ m/s}$$

En la Tabla 1.5.9 se muestran los resultados de la aplicación del método al Tramo Interior del Canal de Acceso.

#### **Análisis de resultados**

En el Segundo Informe de Avance se hizo referencia a la longitud del Canal de Acceso (Tramo Interior) que sería afectada por los procesos de sedimentación. En aquella oportunidad se pudo determinar, a partir de comparativos batimétricos, que mas allá de los primeros 1600 m de desarrollo del canal no se verificaban modificaciones del lecho significativas, que dieran indicios de un proceso de recrecimiento.

Con el fin de corroborar si mediante el procedimiento de

cálculo los resultados presentaban alguna relación con lo observado en la batimetría se aplicó el método para dos longitudes de sedimentación diferente: 1500 y 2000 m. Los resultados mostrados en Tabla 1.5.9 presentan una muy pequeña variación de los valores hallados. Esto es, por un lado las arenas ya se han depositado en su totalidad para longitudes menores a las consideradas, y por otro, los tamaños menores ( $d_s < 0,012$  mm) presentan una tasa de depositación pequeñas que hacen que prácticamente la totalidad de esos tamaños recorra el Canal de Acceso sin decantar.

Si bien no se puede afirmar que el método de Owen Camp reproduzca en detalle, a lo largo de un perfil longitudinal, los procesos de sedimentación que se verifican en el Canal de Acceso, los resultados alcanzados presentan un buen acuerdo con los obtenidos para el mismo sector con otra metodología de cálculo.

Los valores de concentración de depósito en el tramo presentan un promedio de:

$$C_d = 14,5 \text{ gr/m}^3$$

Si se adopta esta concentración como representativa de condiciones medias y un caudal medio anual circulando por el canal de  $Q=400 \text{ m}^3/\text{s}$  el volumen depositado anual sería:

$$\text{Vol: } 97000 \text{ m}^3$$

La comparación de la concentraciones de depositación calculadas para el Canal de Acceso, con respecto a las observadas en dicho sector, presenta discrepancia mayores que las correspondientes al Tramo Exterior. En primer lugar si se compara



la diferencia de concentraciones totales observadas entre las muestras S9 y S5 el valor resultante es:

$$Cd = 10,5 \text{ gr/m}^3$$

un 28 % inferior al calculado. Sin embargo la muestra S9 presenta un porcentaje de arena del 28,5 % superior a los de las muestras S6 y S5. Las velocidades presentes en el Tramo Interior, en la fecha del relevamiento, no hace suponer que el incremento de arena en suspensión pudo haber sido provisto desde el Canal de Acceso, no habiéndose podido establecer a nivel de este estudio el origen de la misma. Bajo el supuesto que toda la arena en suspensión se deposita en los primeros tramos del Canal de Acceso la concentración depositada observada sería:

$$Cd = 23,7 \text{ gr/m}^3$$

la cual resulta un 63 % mayor a la calculada. De adoptarse esta última concentración el volumen anual depositado en el Canal de Acceso sería:

$$\text{Vol: } 157348 \text{ m}^3$$

Resulta de interés señalar que el valor obtenido a partir de la concentración calculada coincide con el resultante de la comparación batimétrica (Segundo Informe de Avance).

#### **1.5.5.3.3 Volúmenes totales de sedimentación**

La simple suma de los valores obtenidos brinda una primera idea de los volúmenes esperables de sedimentación.

$$\text{Vol. total} = 270000 \text{ m}^3 + 97000 \text{ m}^3 = 367000 \text{ m}^3$$

Este valor se encuadra en el campo de valores esperables a partir del análisis efectuado en el Segundo Informe de Avance y se ajusta para el Tramo Exterior a los valores observados durante

la campaña realizada con motivo de este estudio.

Sin embargo algunas consideraciones deben realizarse a los fines de poder dar una interpretación adecuado a los resultados obtenidos.

\* En el caso que se dispuso de datos promedios de concentración y caudales, éstos correspondieron al período 1971/73. En esa circunstancia la granulometria fue adoptada a partir de una muestra de fondo.

\* La información actualizada, la cual presentó un grado de detalle poco frecuente en este tipo de estudio, tiene el inconveniente de no corresponder a un relevamiento sistemático que asegure la representatividad de los datos en un promedio temporal.

Sobre esta base no se podría considerar a los resultados obtenidos como definitivos, pero si confieren una confiabilidad al método de cálculo empleado. En este sentido se ha validado una herramienta de cálculo sencilla que permite estimar los volúmenes depositados en el Canal de Acceso a partir de conocer la concentración y granulometría del sedimento suspendido en el Río Colastiné y el caudal entrante al Canal.

Una incertidumbre adicional en este proceso de cálculo lo constituye el peso específico del deposito. A los fines de este cálculo se adopto un valor de

$$\delta d = 1,9 \text{ tn/m}^3$$

el cual fue calculado mediante la fórmula de Komura (Ref. 11). De adoptarse un valor menor tal como el sugerido por Navntoft (Ref. 8) para el Río de la Plata.  $\delta d = 1,6 \text{ tn/m}^3$  o el característico para depósito de arena  $\delta d = 1,5 \text{ tn/m}^3$  los Vol. sedimentados anuales serían de:

$$\text{Vol. anual } (\delta d = 1,6 \text{ tn/m}^3) = 436000 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. anual } (\delta d = 1,5 \text{ tn/m}^3) = 465000 \text{ m}^3$$

El análisis efectuado, con los supuestos implícitos, da como resultado un volumen de sedimentación anual, para un caudal de 400 m<sup>3</sup> circulando por el canal, que oscilaría entre 370000 y 460000 m<sup>3</sup>.

#### 1.5.5.4 ANALISIS DE LA INFLUENCIA DE UNA OBRA DE CORRECCION EN EL TRAMO EXTERIOR.

En el Primer Informe de Avance se hizo una recopilación de los estudios existentes sobre el Canal de Acceso, varios de los cuales proponían obras de ingeniería cuyo objeto era reducir los volúmenes de sedimentación en el mismo. En general las soluciones tienen como finalidad revertir el sentido del escurrimiento evitando así el ingreso de la carga de sedimento al canal.

En este trabajo se ha analizado la posibilidad de afirmar el banco formado sobre el Río Colastiné en el extremo de la Isla La Tona (Plano 1.5.5) el objetivo de ello sería evitar los aportes de material desde el banco al canal, de acuerdo a la mecánica descrita en 1.5.5.3. Sin embargo se debe hacer notar que

el material en suspensión que se deposita en el banco y que luego es trasladado al canal, especialmente durante las crecidas, seguiría sedimentando en el Tramo Exterior en tanto haya un caudal circulante por el canal en dirección hacia el Puerto. Esto surge del análisis de la metodología de Owen Camp por cuanto el proceso de decantación se verificaría desde la embocadura del Tramo Exterior a partir de una concentración dada en el Río Colastiné.

La magnitud de esta concentración es una variable fundamental del problema y su valor está directamente relacionado con la distribución de líneas de corriente que ingresen al canal. Estudios existentes (Ref. 11) demuestran que sobre la margen existe una reducción significativa del sedimento en suspensión esto hace suponer que las concentraciones que podrían ingresar al canal para la condición con obra podrían ser menores a los valores considerados en este estudio. Sin embargo no se puede ser concluyente en esta afirmación sin la realización de un análisis detallado de estos aspectos.

Es probable también que la presencia misma de la obra actuando como un muro de encauzamiento provoque perdidas al ingreso del Tramo Exterior que reduzca el caudal en el canal. Este aspecto exige también un estudio de detalle que escapa a los objetivos aquí perseguidos.

Si bien el tipo de obra propuesta no asegura la anulación del caudal circulante por el canal, otras alternativas de obras,

tales como cierres parciales en el canal de derivación sur, mas allá de los elevados costos que involucran, no evitan la realización de la obra aquí propuesta, pues aunque no circule caudal por el canal, el aporte de arena desde el banco se seguiría dando durante las crecidas, con valores similares a los calculados aquí.

Mas allá de las indeterminaciones que existen para evaluar los beneficios de la obra se efectuó un primer análisis de los volúmenes de arena que se depositarían en la embocadura del Tramo Exterior para una longitud de cierre sobre el banco de 500 m (Plano 1.5.5).

El afirmado del banco generaría un estrechamiento de las secciones del Río Colastiné allí ubicadas (Plano 1.5.5), dando lugar a un ensanchamiento al alcanzarse la embocadura del Tramo Exterior. Este efecto trae aparejado depositos de sedimentos en la boca del canal o que eventualmente ingresan al mismo, en función del caudal que circule por él. Mediante la aplicación del modelo sedimentológico se trató de evaluar la depositación así producida para lo cual se debieron establecer una serie de supuestos:

- \* Geometría de las secciones del Río Colastiné correspondiente a la conformación final del banco una vez afirmado.

- \* Distribución de caudales en la zona estrechada en función de la batimetría de la sección.

\* Distribuciones de caudales en la zona ensanchada a partir de diferentes criterios de expansión de líneas de corrientes.

\* Caudal en régimen permanente  $Q = 2314 \text{ m}^3/\text{s}$  en el Río Colastiné correspondiente a 60 % de probabilidad de no ser superado.

De la batimetría del Río Colastiné en el sector próximo a la embocadura del Tramo Exterior se diferenciaron dos franjas de escurrimiento, la primera de ellas sobre la margen izquierda delimitada por la isobata de 5 m por la que escurre aproximadamente el 60 % del caudal. Se consideró que la alineación que presenta el escurrimiento en esta faja haría que no participe de los procesos de sedimentación que podrían verificarse en la embocadura del Canal.

La zona restante sobre margen derecha involucra el 40 % del caudal. Sobre esta faja se analizaron dos situaciones.

a) Que solo la mitad del caudal que escurre en esta faja intervenga en los procesos de sedimentación.

b) Que todo el caudal que escurre por la faja de margen derecha participe en la sedimentación.

En ambos casos se corrió en primer lugar el modelo hasta lograr el equilibrio sedimentológico en la sección estrechada consecuencia de la presencia de la obra (Plano 1.5.5). Se obtuvieron así los siguientes anchos y profundidades medias de

cada uno de los tubos de corriente en esa sección.

% Caudal	Ancho (m)	H (m al cero)
20	60	5,6
40	140	4.5

Alcanzada la condición de equilibrio en la sección estrechada se hizo un balance de la capacidad de transporte entre ésta y la sección ensanchada aguas abajo de la embocadura. Los anchos en esta última sección se determinaron considerando que la línea de corriente que delimitaba el porcentaje de caudal considerado no sufrió desviación por la presencia del ensanchamiento. Los anchos y profundidades medias en la sección ensanchada fueron los siguientes:

% Caudal	Ancho (m)	H (m al cero)
20	140	4.8
40	220	3.0

La estimación de los volúmenes se efectuó para dos alternativas de caudal circulando por el canal en dirección hacia el Puerto  $Q = 0 \text{ m}^3/\text{s}$  y  $Q = 400 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Los volúmenes sedimentados anuales resultantes en cada caso fueron los siguientes:

% Caudal	Volumen anual ( $\text{m}^3$ )	
	$Q_{\text{canal}} = 0 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{\text{canal}} = 400 \text{ m}^3/\text{s}$
20	106000	107400

40	128335	226500
----	--------	--------

En el caso de considerar el 20 % del caudal la capacidad de transporte en la sección ensanchada es tan baja que el volumen depositado es prácticamente el mismo ya sea que ingrese o no caudal al canal. Si se considera que el 40 % del caudal del Colastiné interviene en la sedimentación el volumen depositado anual depende significativamente del caudal que ingresa al canal. Se observa en el cuadro anterior que para un caudal en el canal de 400 m<sup>3</sup>/s el volumen resultante prácticamente iguala al volumen de arena estimado para igual caudal por el método de Owen Camp.

El análisis de los resultados obtenidos muestra que la reducción de los volúmenes sedimentados es una función de la configuración de la corriente en la entrada del canal y de la magnitud del caudal que se derive por este. Es probable que el volumen obtenido de sedimentación para un caudal en el canal de 400 m<sup>3</sup>/seg y con un 40 % del escurrimiento participando de la sedimentación resulte exagerado; en razón que esta situación no considera ninguna reducción del caudal de ingreso producto de la presencia de la obra. Asimismo al considerar el 40 % del caudal implica un ancho en la zona ensanchada de aproximadamente el doble del ancho del canal, siendo probable que parte de ese material quede retenido en la zona poco profunda fuera del canal, y luego sea trasladado aguas abajo hacia el sector estrecho con profundidades importantes (Plano 1.5.5)

En la medida que se reduce el porcentaje de caudal



considerado en la zona estrechada el aporte de sedimento es menor, pero también se reduce la capacidad de transporte en la zona ensanchada con lo cual los volúmenes depositados de arena se mantienen prácticamente constantes cualquiera sea el caudal que ingresa al canal. Así para un 20 % del caudal del río participando de la depositación, la reducción en el volumen de arena depositado en el Tramo Exterior sería del orden de 100000 m<sup>3</sup>. Este cálculo así efectuado se hizo para un diámetro medio característico del sedimento del fondo en el Río Colastiné. Un análisis mas detallado debería incluir el efecto de la selección natural de tamaños de los materiales que ingresan al canal, la cual puede alterar los valores aquí obtenidos. En este sentido una mayor capacidad de transporte de las arenas más finas en la zona ensanchada reactualiza la importancia del caudal que ingresa al canal aun cuando se considere un 20 % del caudal en el río.

El afirmado del banco se lo propone realizar a partir de materiales refulados del área lo cual involucraría un volumen de relleno del orden de los 500000 m<sup>3</sup>. La obra requeriría de una protección en su extremo, lo cual se realizaría con un revestimiento flexible en un área de aproximadamente 20000 m<sup>2</sup>. Un análisis expeditivo de costos estaría indicando que si se considera un ahorro en los volúmenes sedimentados del orden de los 100000 m<sup>3</sup> anuales, sólo luego de 10 años de construida la obra la reducción de los volúmenes depositados compensaría el costo de las mismas.

Surge como resultado de este análisis que no existen

evidencias claras acerca de la conveniencia de la realización de la obra, sobre la base del supuesto que ésta no reduce el caudal que ingresa al canal. Sin embargo es precisamente el diseño adecuado de la obra especialmente en lo que hace a su traza en planta una variable determinante de las posibles reducciones de los caudales de ingreso. Los interrogantes, surgidos a lo largo del estudio, en cuanto a la influencia que la obra tendría sobre el ingreso de caudal al canal y por ende sobre los volúmenes depositados en el mismo, requieren del desarrollo de un modelo físico que brinde las respuestas apropiadas al tema.

El modelo físico permitiría evaluar los beneficios esperables para distintas alternativas de obra de manera de poder seleccionar aquella que presente la mejor relación beneficio costo.

#### **1.5.5.5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

1) Las mediciones de campo realizadas a los fines de este estudio proporcionaron un conjunto de datos hidráulicos y sedimentológicos que permitieron no solo formar la base de información necesaria para la aplicación de las metodologías de cálculo, sino que también posibilitaron verificar la bondad de los resultados obtenidos.

2) Los resultados alcanzados a partir de la aplicación del método de Owem Camp al Tramo Exterior presentaron un adecuado ajuste a los valores observados en el relevamiento de 1993, con errores

que en ningún caso superaron el 25 %.

3) El método mostró que la depositación de arenas sería predominante en el Tramo Exterior con un 90 %, aproximadamente, de la concentración total depositada.

4) Los volúmenes de depósito de arena obtenidos a partir de evaluar la capacidad de transporte de sedimentos sobre el banco resultaron similares a los estimados mediante el método de Owen Camp.

5) La diferencia de concentraciones observadas entre el Río Colastiné y el ingreso al Tramo Exterior (Tabla 1.5.4) pone de manifiesto el depósito de arena en suspensión sobre el banco. La presencia del banco impone un mecanismo diferente de aporte de sedimentos al canal del que considera el método de Owen Camp, sin embargo, para una condición de cuasi equilibrio del banco esto no alteraría los volúmenes anuales resultantes.

6) El volumen final calculado de depósito anual de sedimento en el Tramo Exterior incluyendo el aporte de carga de fondo resulto ser de:

Vol. 270000 m<sup>3</sup>/año

Este cálculo se hizo para una cota de fondo de -4,5 m respecto de un cero interpolado entre los hidrómetros de Paraná y Diamante. Se debe remarcar que si bien la cota de fondo interviene en el cálculo a través del valor de profundidad, este dato no es determinante de los volúmenes sedimentados los cuales

dependen fundamentalmente de la concentraciones y granulometría del sedimento en suspensión y de la magnitud del caudal entrante en el canal.

7) El volumen anual sedimentado en el Canal de acceso de acuerdo al método de cálculo empleado sería de:

Vol. 97000 m<sup>3</sup>

La aplicación de la teoría de Owen Camp al Canal de Acceso no se ajusta a los valores observados en igual grado a lo sucedido en el Tramo Exterior. Sin embargo el volumen así calculado se corresponde con el estimado en ese sector a partir de los datos de batimetrías (Segundo Informe de Avance)

8) El volumen anual estimado de sedimentos depositados en el Tramo Exterior y Canal de Acceso bajo el supuesto de un caudal de 400 m<sup>3</sup>/s y la representatividad de la muestra de sedimento en suspensión obtenida en el Río Colastiné sería de:

Vol. 367000 m<sup>3</sup>/año

este valor se incrementaría a aproximadamente 460000 m<sup>3</sup>/año de adoptarse un peso específico de los depósitos de sedimentos del orden de 1,5 a 1,6 tn/m<sup>3</sup> (Ref. 11).

9) Se propuso como alternativa de obra el afirmado del banco en el extremo de la Isla La Tona. Se considera que las obras tendientes a sobreelevar los niveles en el Canal de Derivación Sur involucrarían costos muy elevados y no evitan la realización de la obra aquí propuesta sin la cual los depósitos de arena en el banco seguirían siendo arrastrados al canal durante las

crecidas.

10) No fue posible evaluar con precisión la influencia que la obra propuesta tiene sobre la reducción de volúmenes depositados ya que ello implica conocer la configuración de la corriente resultante de la presencia de la obra y el efecto que esto tendría sobre los caudales al ingreso al Canal de Acceso.

11) Un análisis expeditivo bajo distintos supuestos de distribuciones de corriente en el río y caudales ingresando en el canal, arrojó que en el caso que la obra no reduzca el caudal circulante por el canal y solo el 20 % de la corriente del río intervenga en los procesos de sedimentación la reducción anual en el volumen de arena depositado en el Tramo Exterior sería del orden de 100000 m<sup>3</sup>. En dicho caso el costo de la obra propuesta equivaldría al ahorro de 10 años en los volúmenes de mantenimiento. En el caso de lograrse una disminución importante del caudal de ingreso, este tiempo de amortización sería sustancialmente inferior.

12) Las herramientas de cálculo disponible para el desarrollo de este estudio no permitieron una evaluación apropiada de los beneficios aparejados por la ejecución de diferentes alternativas de obras de corrección. Las particulares condiciones de la configuración de la corriente en la embocadura del canal exige el empleo de la modelación física, herramienta mediante la cual se podría evaluar distintas geometrías de las obras de encauzamiento propuestas de manera de seleccionar aquella que

presente la mejor relación beneficio costo.

Cabe destacar que los cálculos efectuados han sido ajustados a un grupo de datos de la década del 70, y a los cuales se sumó información actual (Agosto 1993) pero solo para una situación hidrológica muy puntual. En virtud de ello, se considera de suma importancia la realización de relevamientos sistemáticos de los parámetros hidráulicos y sedimentológicos dominantes en el sector. Esto permitiría una verificación adicional del método de cálculo y posibilitaría disponer de datos promedio que permitiría estimaciones mas confiables y generales de los volúmenes de sedimentación. En este sentido sería aconsejable efectuar determinaciones mensuales, a lo largo de un ciclo hidrológico completo, de los siguientes parámetros:

Velocidades

Areas de escurrimiento

Caudales

Granulometría de material de fondo

Concentración de sedimento en suspensión

Granulometría del sedimento en suspensión

Pendiente de pelo de agua

Batimetrías

Estas mediciones se deberían efectuar en al menos las siguientes zonas:

\* Río Colastiné

\* Tramo Exterior

#### **\*Canal de Acceso**

La ubicación precisa de las secciones de medición deberá hacerse en función del mejor aprovechamiento de los datos a obtener.

### **1.6 INCREMENTO DE LOS VOLUMENES DE MANTENIMIENTO POR PRESENCIA DE DUNAS.**

#### **Generalidades.**

Las profundidades determinadas mediante el modelo matemático sedimentológico, en su aplicación a los distintos Pasos de navegación, están referidas a un nivel medio del lecho del río. Estas profundidades se ven modificadas por la presencia, en el cauce, de irregularidades características de los escurrimientos aluviales comúnmente llamadas formas de fondo. En el caso del Río Paraná los parámetros hidráulicos y sedimentológicos del mismo determinan que las formas de fondo adquieran las características de dunas, cuyas dimensiones, altura y longitud, varían de acuerdo a las condiciones del escurrimiento y el tamaño del sedimento del lecho.

Se desprende de lo dicho que las dimensiones que puedan presentar las dunas actúan reduciendo el determinante. Si se tiene en cuenta que las dimensiones que pueden alcanzar las formas de fondo son variables en función de las condiciones del escurrimiento y del contorno se hace necesario efectuar una estimación de estas dimensiones a los fines de evaluar la

incidencia que este aspecto tiene sobre el volumen de mantenimiento. Debiéndose computar este efecto como un volumen extra a adicionar al estimado a partir de la modelación matemática.

La incidencia del volumen extra debido a la presencia de dunas depende básicamente de los siguientes factores:

- \* El tamaño de las formas de fondo.
- \* Las tasas de recrecimiento del nivel medio del fondo.

Así por ejemplo si la tasa de recrecimiento medio anual en un Paso de navegación es varias veces superior a la altura media de dunas, el volumen a adicionar por este efecto será pequeño comparado con los volúmenes de mantenimiento obtenidos del modelo. Por el contrario si la altura de dunas es grande y el recrecimiento medio del fondo muy pequeño, es probable que el grueso del volumen de mantenimiento, se deba al efecto de las dunas. Cualquier situación intermedia exigirá adicionar al volumen de mantenimiento por recrecimiento medio el correspondiente por efecto de dunas.

La necesidad de cuantificar el volumen extra de mantenimiento debido a dunas implica estimar las alturas que pueden alcanzar las mismas, para cada Paso y cada alternativa de calado analizada. Para ello se contó con información de la geometría promedio de las dunas en cada Paso y valores de velocidad superficial correspondiente al momento en que se



efectúo el relevamiento.

Debe destacarse que en este estudio se evaluaron las alturas de dunas correspondientes a situaciones estacionarias, los aspectos transitorios referidos a los tiempos de recrecimiento de dunas no fueron abordados dado la complejidad del tema y la falta de una metodología comprobada para su análisis.

#### 1.6.1 ESTIMACIÓN DE LAS ALTURAS Y LONGITUDES DE DUNAS.

Sobre la base de la información disponible para cada uno de los Pasos se aplicó la siguiente metodología de cálculo para la estimación de alturas y longitudes de dunas, considerando las diferentes alternativas de calado.

a) De los registros longitudinales de ecógrafa relevados a lo largo del eje del canal de navegación se obtuvo la altura ( $H_d$ ) y longitud ( $L_d$ ) promedio de dunas en la zona del determinante, y la profundidad media en dicho sector ( $h$ ). Se obtuvo para cada registro la relación "a" entre la longitud media de duna y la profundidad media.

b) La información correspondiente al registro de ecógrafa se complementó con una corrida de flotadores que permitió conocer la velocidad superficial en la alineación del canal para el momento del relevamiento, y muestras de sedimento de fondo; a partir de las cuales se pudo obtener los diámetros característicos y la tensión de corte crítica asociada a ese

sedimento.

c) Conocido el tirante promedio en el Paso y las características del sedimento se calculó el coeficiente de Chezy debido a la resistencia superficial  $C'$  mediante la expresión (Ref. 10).

$$C' = 18 \log (12 h / (3 d_{90}))$$

d) Con la relación entre altura de duna y profundidad,  $(H_d/h)$ , se obtuvo el parámetro  $(T)$  para cada Paso del estudio. Para ello se empleó la ecuación propuesta por Van Rijn.

$$H_d/h = 0.11 (d_{50}/h)^{0.3} (1 - e^{(-0.5 T)}) (25 - T)$$

donde:

$d_{50}$ ,  $d_{90}$ : diámetro para el cual la muestra tiene un 50%,  
90% de tamaños menores.

$T$ : Parámetro de transporte de Van Rijn

$$((U'^2 - U_{cr}^2) / U_{cr}^2).$$

$U'$ : Velocidad de corte correspondiente a resistencia  
superficial.

$U_{cr}$ : Velocidad de corte crítico.

e) Conocido el parámetro de Van Rijn  $(T)$  se obtuvo

$$U' = (U_{cr}^2 T + U_{cr}^2)^{0.5}$$

f) Con  $C'$  y  $U'$  se obtuvo la velocidad media

$$V_m = U' C' / (g)^{0.5}$$

En la Tabla 1.6.1 se muestran los resultados alcanzados para cada uno de los Pasos de navegación en consideración.

Se observa que las velocidades calculadas en todos los Pasos son menores que las obtenidas a partir de las corridas de flotadores, hecho que se ajusta a la tendencia habitual ya que las velocidades obtenidas con flotadores representan valores próximos a la superficie. La única excepción lo constituye el Paso Abajo Correntoso en donde pequeñas alturas de dunas observadas produjo velocidades medias calculadas superiores a las medidas con flotadores.

La continuidad del procedimiento de cálculo supuso que la velocidad obtenida a partir de la metodología antes descrita se mantiene constante para las situaciones en que el canal fuera dragado a distintas profundidades. Este supuesto se corresponde con los considerandos del modelo sedimentológico en cuanto a que la velocidad media no se altera durante el proceso de dragado y recrecimiento, obviamente, para un mismo estado hidrológico del río.

g) Para cada Paso y cada alternativa de calado se calculó

$$h_m = (h_i + h_f) / 2$$

$h_i$  : profundidad inicial de dragado.

$h_f$  : profundidad correspondiente a la alternativa en estudio luego de un año.

h) Se calcularon los  $C'$  correspondiente a cada Paso y cada alternativa de calado a partir de los valores de  $h_d$  obtenidos en g) y las características sedimentológicas del Paso.

i) Con los valores de  $C'$  obtenidos en h) y las velocidades medias obtenidas en f) se calcularon los valores de  $u'^*$  para cada Paso y alternativa de calado.

j) Con los  $u'^*$  de i) y la velocidad de corte crítica característica de cada Paso se calculó el parámetro de Van Rijn (T).

k) Con los valores de T se calculó la relación  $H_d/h_m$ ,  $H_d$  para cada Paso y alternativa de calado.

l) Con los valores de  $a = L_d/h_m$  obtenidos de los registros de ecógrafa de cada Paso se calcularon las longitudes de duna para los diferentes Pasos y las distintas alternativas de calado mediante la relación

$$L_d = a h_m$$

El valor de "a" se mantuvo constante en cada Paso para los diferentes profundidades. En la Tabla 1.6.2 se resumen los valores de altura y longitud de duna calculados de acuerdo a la metodología descrita para los ocho Pasos analizados en el tramo y las cuatro alternativas de calado consideradas para cada Paso. Asimismo se incluyen para comparación los valores observados de altura y longitud de dunas para la situación relevada.

#### 1.6.2 RESULTADOS OBTENIDOS Y CONCLUSIONES.

El procedimiento de cálculo descrito involucra el supuesto que la velocidad media para un determinado estado del río se mantiene constante en un Paso durante el proceso de dragado y

recrecimiento. Este supuesto se corresponde con los criterios de funcionamiento del modelo sedimentológico. Sin embargo merece destacarse que la velocidad media así calculada corresponde a la situación del río en el momento que se realizó el relevamiento de formas de fondo, la cual se consideró como representativa para el cálculo de las alturas y longitudes de dunas con las diferentes profundidades náuticas adoptadas para el estudio.

La adopción de estas velocidades se justifica en el hecho que las alturas observadas durante la realización de la campaña de mediciones (ver Segundo Informe de Avance) son proximas a las correspondientes al nivel del 80%. Situación que posiciona el cálculo del lado de la seguridad, pues esos niveles hidrométricos se corresponderían con velocidades bajas, que darían lugar a mayores alturas de dunas. Asimismo se debe hacer notar que las variaciones de velocidad que podría introducirse en el método no afectaría sensiblemente la geometría de la duna en razón de la forma que adopta la relación funcional propuesta por Van Rijn para el rango del parámetro T habitual en el Río Paraná.

La única excepción al procedimiento de cálculo aquí desarrollado lo constituyó el Paso Abajo Correntoso, en donde se adoptó como velocidad media para el cálculo la observada a partir de flotadores.

Los valores resultantes del cálculo (Tabla 1.6.2) no muestran diferencias significativas en las alturas de dunas de un Paso para las diferentes profundidades náuticas consideradas.

Las mayores alturas se corresponden con los Pasos Arriba Tacuaní y Tacuaní con valores que oscilan entre 1 m y 1.37 m para las distintas alternativas mientras que las menores alturas se dan para el Paso Abajo Correntoso con valores entre 0.58 m y 0.71 m.

Una vez efectuadas las estimaciones de la geometría de la duna para cada Paso resta evaluar la influencia que las mismas tendrían sobre los volúmenes de mantenimiento.

Dos alternativas se presentan en estas circunstancias. La primera consiste en rasurar las crestas de las dunas ubicadas por encima del nivel medio del lecho. Este hecho si bien minimiza el volumen adicional de mantenimiento por dunas, implica conocer el tiempo de recrecimiento de las mismas, obligando eventualmente a efectuar dragados complementarios oportunamente programados.

Las imprecisiones debidas a la falta de un conocimiento adecuado de los estados transitorios en la generación de formas de fondo y los costos adicionales que implican los desplazamientos de equipos para llevar a cabo estas tareas justifican la no utilización de esta metodología en la evaluación de los volúmenes de mantenimiento de la ruta.

La segunda alternativa consiste en efectuar un sobredragado, a todo lo largo del Paso, que posibilite que, a pesar del recrecimiento del fondo al cabo del año, las crestas de las mismas permitan obtener la profundidad náutica de la alternativa analizada. En consecuencia la definición del volumen adicional

por dunas, de acuerdo al criterio expuesto exige conocer cual es la diferencia entre las crestas de las dunas y el nivel medio del fondo. Esta diferencia depende de la forma de las dunas.

En este sentido estudios efectuados en el Río Paraná (Ref. 2) han obtenido coeficientes de forma de 0.66 en lugar del clásico 0.5 correspondiente a dunas triangulares. En virtud de ello la diferencia  $H'$  entre la cresta de la duna de altura  $H$  y el nivel medio del fondo será:

$$H' = 0.34 H$$

Para el cálculo del volumen de mantenimiento incluyendo el efecto por dunas basta ingresar en las curvas profundidad náutica - volumen de cada Paso con una profundidad incrementada en el valor de  $H'$ . En las Tablas 1.5.1 y 1.6.3 se detallan los valores de volumen de mantenimiento sin y con la inclusión del efecto de dunas para los distintos Pasos y alternativa de profundidad náutica analizadas.

De las Tablas 1.5.1 y 1.6.3 surge que la incidencia del efecto de dunas es variable para las distintos Pasos y las distintas profundidades náuticas consideradas. En general las mayores incidencias del efecto de dunas se dan para los calados menores.

En efecto para los casos de los Pasos Tacuaní, Abajo Tacuaní y Abajo Diamante, los volúmenes de mantenimiento para la profundidad náutica de 24' solo se deben al efecto de dunas. En los restantes Pasos, el incremento del volumen de mantenimiento

por dunas para esa alternativa de calado osciló entre un 14 % y un 84 % . Cumpliéndose en todos los casos que a mayor tasa de recrecimiento del nivel medio es menor el incremento del volumen de mantenimiento por formas de fondo.

Para la alternativa de mayores calados, (26 y 28') la incidencia del efecto por dunas produjo un incremento del volumen de mantenimiento promedio de 9.3 % con un desvío de  $\pm 11.9$  % , quedando claramente de manifiesto el predominio que, para estos calados, tiene el recrecimiento del nivel medio del fondo, frente a la influencia del recrecimiento de dunas.

Los valores presentados en Tablas 1.5.1 y 1.6.3 corroboran los supuestos de partida acerca de las variables que gobiernan el volumen de mantenimiento extra debido a la presencia de dunas.



## **1.7 VOLUMENES DE CONSTRUCCION**

### **1.7.1 PASOS ACTUALES**

En estos pasos, el grado de información disponible consistió en relevamientos detallados realizados durante la campaña de mediciones complementarias efectuadas por la FICH en Agosto de 1993.

Estos Pasos son: Abajo Correntoso, Paranacito, Abajo Tacuaní, Tacuaní (Km 509-512), Tacuaní (Km 513-515), Abajo Diamante, Vinculación Tragadero Animas y Tragadero.

Para cada uno de ellos una vez seleccionada la operación de mantenimiento optimizado (punto 1.5.2) se determinó para cada alternativa de calado analizada, la profundidad de dragado inicial, y en función de ello los correspondientes volúmenes de construcción. Se adoptaron taludes finales de 1:15. Si bien durante el dragado de los veriles del canal el talud se mantiene en valores mayores, al efectuarse las tareas de repaso, una vez transcurrido 2 o 3 semanas, la acción dinámica de la corriente suaviza la pendiente lateral conformando taludes mas tendidos.

En algunos casos la práctica habitual es dragar un poco mas profundo las bandas próximas a los veriles para no realizar repaso y de esta manera contrarrestar el efecto del material que se desliza durante el proceso natural de estabilización de los taludes; de todas maneras el material que se debe extraer también en este caso, es el que corresponde a pendientes estabilizadas

de 1:15.

Los resultados obtenidos para cada Paso se presentan en las Figs. 1.7.1 a 1.7.8. En algunos casos debido a las importantes tasas de recrecimiento fue necesario llegar a profundidades de construcción de 42 pies referidos al nivel del 80 %, adoptado para el diseño.

#### **1.7.2 OTROS PASOS PARA CALADOS MAS PROFUNDOS**

La existencia de otros pasos adicionales a medida que se incrementa el calado de diseño, se detectó mediante el análisis del perfil longitudinal por el eje del canal en todo el tramo de la ruta, realizado durante las mediciones complementarias de Agosto de 1993. La ubicación y longitud de los mismos ha sido detallada en el punto 1.5.3.

Para calcular el volumen de construcción se supuso que el perfil longitudinal relevado es representativo de los niveles medios del lecho en la zona del canal.

Se calcularon los correspondientes volúmenes de construcción para profundidades de corte, cada 2 pies de incremento desde 24 pies hasta 38 pies de profundidad referida al nivel del 80 %, adoptando taludes laterales de 1:15.

Los resultados obtenidos se presentan en las Tablas 1.7.1 y 1.7.2.

### 1.7.3 CANAL DE ACCESO AL PUERTO DE SANTA FE

Para efectuar los cálculos de volúmenes de construcción en todo el tramo del Canal de Acceso desde la boca (Km 584,5) hasta el antepuerto o zona de dársenas (Km 599) se partió de relevamientos actualizados de la DNCPyVN y FICH correspondientes a mediciones efectuadas durante el año 1993, corregidas según el perfil longitudinal de agosto de 1993.

De acuerdo a las estimaciones de volúmenes de mantenimientos desarrollados en el punto 1.5.5, se consideró conveniente adoptar una tasa promedio y en consecuencia sobreprofundidad de 7 pies incluyendo revancha, constante para todas las alturas de calado analizado.

En la Tabla Nº 1.7.3 se presentan los resultados obtenidos donde puede observarse que para la alternativa de 22 pies (condición del pliego licitatorio de la ruta troncal) el volumen de construcción es de aproximadamente de 500000 m<sup>3</sup> de los cuales casi el 90 % comprenden al tramo exterior (Km 584,5-585).

Cabe destacar que con posterioridad al relevamiento de Agosto utilizado para los cálculos, la DNCPyVN efectuó obras de dragado motivo por el cual los valores aquí estimados deberían tomarse con recaudos.

## 1.8 CONCLUSIONES

### 1.8.1 CALADOS ESPERABLES

Los diferentes calado de diseño que se han considerado para las distintas alternativas de construcción y mantenimiento de la ruta están referidos a un nivel de pelo de agua adoptado cuya probabilidad de falla es del 20 %.

El 80 % del tiempo restante los niveles de agua esperados son mayores, durante este tiempo si bien los niveles del lecho recrecen por sedimentación, lo hacen mas rápidamente los niveles de superficie de agua. Como consecuencia de ello se producirán calados reales esperables que durante el 80 % del tiempo serán superiores al calado de diseño.

Esta condición natural del río debe ser aprovechada por la navegación, cargando los buques de acuerdo al calado disponible en cada momento del año, motivo por el cual habrá un beneficio extra que debe apropiarse al proyecto.

Partiendo de la base que los calados esperables a determinar para la inversión corresponden a un promedio para un período lo suficientemente extenso (como mínimo 10 años); se considera adecuado calcular los mismos considerando el limnigrama medio adoptado para el estudio.

Para ello se procedió de la siguiente manera:

Para cada mes del año se graficaron los valores determinantes referidos al nivel medio mensual del limnigrama, para cada uno de los Pasos y alternativas de calado en función del calado de diseño al cual corresponden.

Dado que para un determinado mes del año, el calado disponible o aprovechable del tramo es el que corresponde al mínimo determinante, fuera cual fuese el Paso; se trazó una envolvente por los valores mínimos de dicho gráfico.

Posteriormente, para calcular el valor del calado esperable para cada alternativa de calado de diseño, mes a mes, se ingresó en cada uno de los gráficos con un determinado calado de diseño y obtuvo el correspondiente calado esperable.

En las Figs. Nº 1.8.1 a 1.8.12 se presentan las relaciones entre calado de diseño y esperables para cada Paso y alternativa de calado; y en la Tabla Nº 1.8.1 los resultados obtenidos; donde para cada mes del año y alternativa de calado de diseño aparece como calado esperable el determinante del tramo.

Para evaluar económicamente esta alternativa de calado se consideró conveniente calcular calados esperables promedios según tres épocas:

- Período de transporte de cosecha gruesa (Feb. - Jul.)
- Período de mínima actividad de carga (Ago. - Oct.)
- Período de transporte de cosecha fina (Nov. - Ene.)

Afortunadamente, como puede observarse, los meses de mayores calados esperables se corresponden con el período de carga de la cosecha gruesa y en consecuencia mayor actividad del puerto.

Esta condición favorable natural ha sido especialmente tenida en cuenta para analizar económicamente la rentabilidad del proyecto de profundización de la ruta con diferentes calados de diseño.

#### **1.8.2 COSTOS DE DRAGADO TOTALES DE LA RUTA**

Para determinar los respectivos costos de construcción y mantenimiento para cada alternativa de calado se sumaron los volúmenes de dragado por alternativa de calado, teniendo en cuenta Pasos actuales, estudiados mediante modelo, y Pasos futuros al incrementarse el calado, e incluyendo el efecto de las formas de fondo.

Para transformar dichos volúmenes en costos se utilizaron costos unitarios de 2,2 U\$S/m<sup>3</sup> para el mantenimiento y 2,45 U\$S/m<sup>3</sup> para la construcción. Dichos valores unitarios surgen de un análisis de costos adoptados en los dos estudios completos, mas recientes, para el dragado de la ruta San Martín Océano, que se dispone como información más confiable y homogénea con respecto a los objetivos del presente estudio.

Los costos necesarios tanto para el mantenimiento de la señalización de la ruta como para la ejecución de mediciones de

campaña y estudios y proyecto de las obras a desarrollar se estiman en cifras del orden del 10 % de los correspondientes al dragado.

No se consideró necesario adicionar estos costos para el análisis económico por cuanto; por una parte dichas cifras son de menor magnitud que el error esperado en los costos de dragados unitarios promedio utilizados; y por otra, el presente estudio de factibilidad tiene como objetivo primordial analizar comparativamente en forma relativa, y establecer un ranking de conveniencia de distintas alternativas de calado de la ruta, sin centrarse en el valor particular de cada una de ellas.

Desde este punto de vista, de existir un error en la estimación de los costos, se estaría afectando proporcionalmente a todas las alternativas de calado por igual.

En las Tablas 1.8.2 y 1.8.3 se presentan los resultados obtenidos. Se desagregaron los mismos en ruta troncal y canal de acceso por cuanto la licitación del concesionamiento de la ruta, actualmente en proceso, no incluye los canales de acceso a puertos.

### **1.8.3 OBRAS DE INGENIERIA**

\* Para la ruta troncal, se analizaron diferentes posibilidades de obras de ingeniería en cada uno de los Pasos críticos que permitiesen disminuir los volúmenes de mantenimiento calculados.

Al respecto se consideraron las siguiente posibilidades: cierre parcial del brazo izquierdo en el Paso Abajo Correntoso, cambio de ruta en el Paso Paranacito, cierre parcial del canal izquierdo en Paso Tacuaní Este (Km 509 - 512), y cierre parcial del brazo derecho en Paso Vinculación Tragadero - Animas.

En el Paso Abajo Correntoso, tanto el gran ancho del brazo a obstruir como la relativamente cotas bajas de las islas sobre ambas márgenes del actual Paso, no permiten controlar adecuadamente la gran expansión del río que ocasiona la sedimentación del Paso, siendo el beneficio inferior a la inversión desalentando la idea.

En Paso Paranacito si bien se observa una posibilidad de cambio de ruta por el canal que se esta abriendo sobre margen derecha, la actual condición del río no justifica, por el momento, dicha obra. Quizás algunos pocos años mas adelante sea conveniente realizarla.

En Paso Tacuaní Este (Km 509-512) cerrar el canal que pierde caudal por margen izquierda implica costos elevados ya que las velocidades actuales involucran materiales granulares de tamaños mayores al disponible en el lugar, o caso contrario protección a la erosión tornando los costos muy elevados. En este Paso, por el momento se considera conveniente tratar de corregir paulatinamente la distribución de corriente arrojando el material extraído durante el mantenimiento en el banco del centro del brazo. Quizá en un momento oportuno de estiaje futuro sea



conveniente volver a analizar esta posibilidad de obra.

Para el Paso Vinculación Tragadero-Animas, en un primer análisis ~~de~~<sup>se</sup> detectó como conveniente el cierre parcial del brazo derecho, motivo por el cual la idea fue analizada más en detalles aplicando modelo matemático. Al respecto se diseñó un terraplén de cierre parcial del brazo derecho según puede observarse en el Plano 1.5.3, con el objetivo de aumentar la derivación de caudal y limitar la expansión antes del ingreso al corte.

En la Fig. 1.8.13 se presentan los beneficios en ahorro de volumen de mantenimiento que produciría la obra. Dicha cifra se mantiene prácticamente constante en el orden de 100000 m<sup>3</sup>/año, disminución de costos que para amortizar la obra requeriría de períodos de utilización muy extensos, del orden de como mínimo 10 años. En conclusión, se considera conveniente no incluir esta obra para el análisis del calado que optimiza la ruta, recomendando para el futuro una vez en práctica el mantenimiento de la ruta para un determinado calado, volver sobre la iniciativa para analizarla con mayor profundidad.

\* Para el Canal de Acceso al Puerto de Santa Fe se analizaron alternativas de obras propuestas durante la década del 70, descriptas detalladamente en el Primer Informe de Avance. Se considera que las mismas implican costos actualizados desproporcionados que para amortizarse requieren de períodos sumamente extensos.

Se efectuaron cálculos para una alternativa de obra más simple que las anteriores, consistente en un espigón de avance que traslade la boca del canal unos cientos de metros hacia aguas abajo, controlando la actual expansión de la corriente en el tramo exterior del canal.

En el punto 1.5.5 se presentan detalles sobre la misma. En conclusión, dicha obra podría significar un ahorro de volumen de mantenimiento que oscilaría entre 100000 y 250000 m<sup>3</sup>/año con una inversión del orden de U\$S 2000000. Para avanzar sobre esta idea se recomienda la ejecución de un modelo físico que permita diseñar adecuadamente el espigón y a su vez determinar las variaciones inducidas en los caudales de ingreso al canal, principal fuente de aportes de sedimentos.

\* Cabe destacar que los volúmenes de construcción calculados para el Canal de Acceso y cada uno de los Pasos críticos de la ruta troncal se efectuaron a partir de relevamientos realizados durante el mes de agosto. Desde entonces y hasta la fecha del presente informe se conoce sobre trabajos de dragado llevados a cabo por la DNCPyVN. Por este motivo es posible que las cifras calculadas presenten algunas variaciones. Por otra parte, la continúa acción de la corriente, en forma natural modifica las condiciones morfológicas del canal en cada Paso agregando motivos para que los volúmenes de construcción se modifiquen continuamente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1) AMSLER, M.L., "Sedimentometría Práctica del INALI", Notas del Curso de Mecánica Fluvial organizado por la Universidad de Buenos Aires y el Laboratorio de Hidráulica Aplicada del INCyTH, Buenos Aires, 1982.
- 2) AMSLER, M.L. y GAUDIN, H.E., "La Superposición de Dunas y el Transporte de la Carga de Fondo en el Río Paraná", XV Congreso Nacional del Agua, La Plata, 1994.
- 3) CAMP, T.R., "Sedimentation and the Design of Setting Tanks", Transaction, ASCE, Vol. 111, paper 2285, 1946
- 4) ENGELUND, F. y FREDSOE, J., "A Sediment Transport Model for Straight Alluvial Channels", Nordic Hydrology, 1976, Vol. 7.
- 5) ENGELUND, F. y HANSEN, E.A., "Monograph on Sediment Transport in Alluvial Streams. Danish Technical Press, Copenhagen, 1967.
- 6) INCHyTH, LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA, "Estudio del Sistema Paraná-Santa Fe", Trabajos de Campaña y Análisis Preliminar de Datos. Vol I y II, Ezeiza, Febrero 1974.
- 7) INCHyTH, LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA - UNL, FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS HIDRICAS, "Estudio de Prefactibilidad Navegación de Ultramar Ruta Rosario - Océano: El Río Paraná Inferior, Ezeiza, Octubre 1991.

8) NAVNTOFT, K.E., "On Siltation of Canal de Acceso a Puerto Santa Fe, Causes and Solutions. Proyecto ARG/73/023/C, Setiembre 1976.

9) VAN RIJN, L.C., "Sediment Transport, Part I: Bed Load Transport", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 110 N° 10 Oct. 1984.

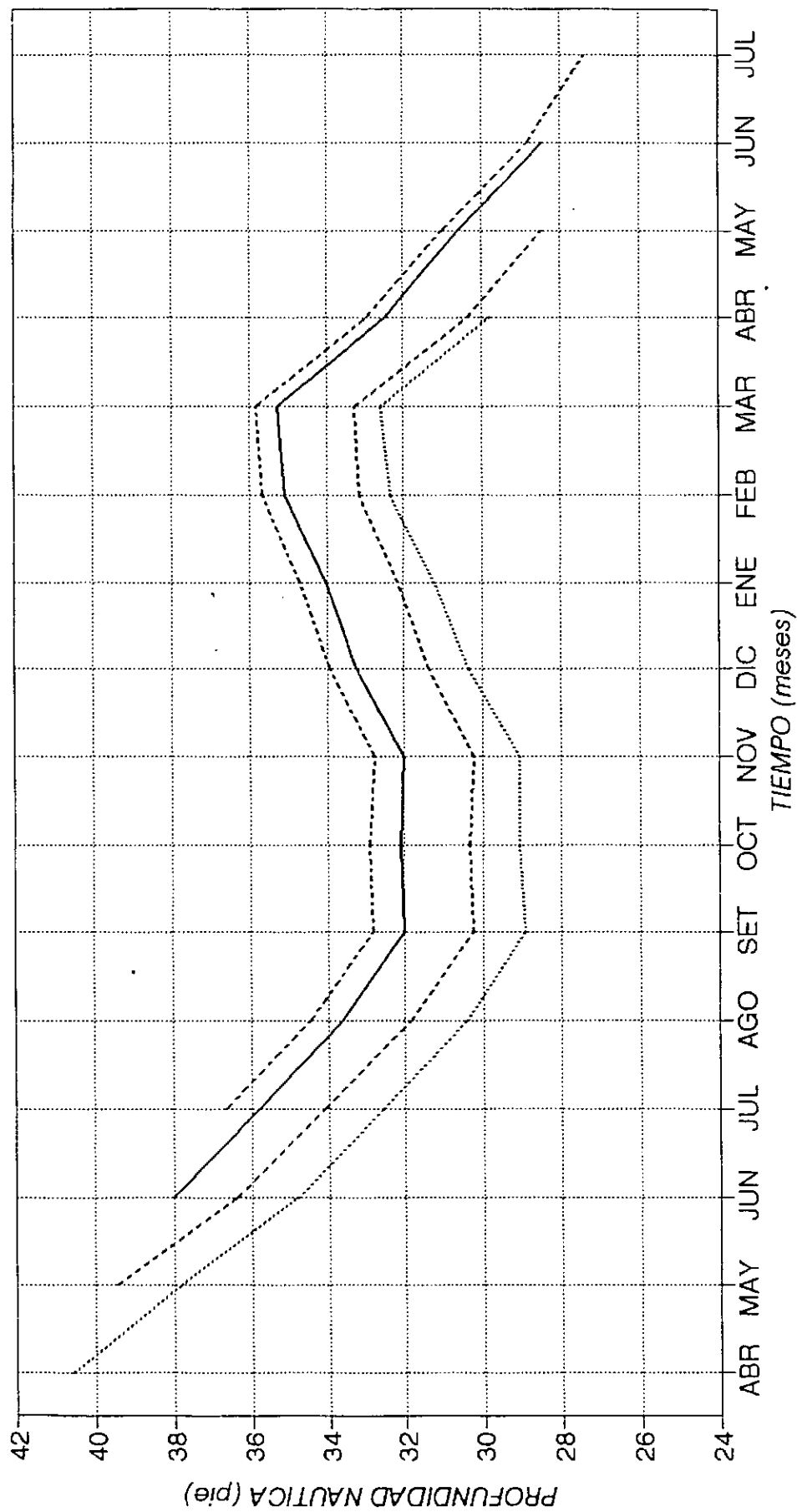
10) VAN RIJN, L.C., "Sediment Transport, Part III: Bed Forms and Alluvial Roughness", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 110, N° 12, Dec. 1984.

11) VANONI V.A. Ed. "Sedimentation Engineering", Manual N° 554, ASCE, 1975, pp.745.

12) UNL, FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS HIDRICAS, "Proyecto Obras de Defensa contra Inundaciones Distrito Alto Verde-Santa Fe", Santa Fe, Julio de 1993.

13) UNL, FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS HIDRICAS "Estudio Hidráulico Sedimentológico para los Pasos de Navegación Tragadero y Tacuaní", Informe de Avance, Santa Fe, 1988.

# PASO TRAGADERO OPORTUNIDAD DE DRAGADO (DRAG. INI. 34')



— DRAG. JUNIO ..... DRAG. MAYO ..... DRAG. ABRIL ..... DRAG. JULIO

Fig. 1.5.1.1

PASO TRAGADERO  
OPTIMIZACION DRAG. INICIAL 34'

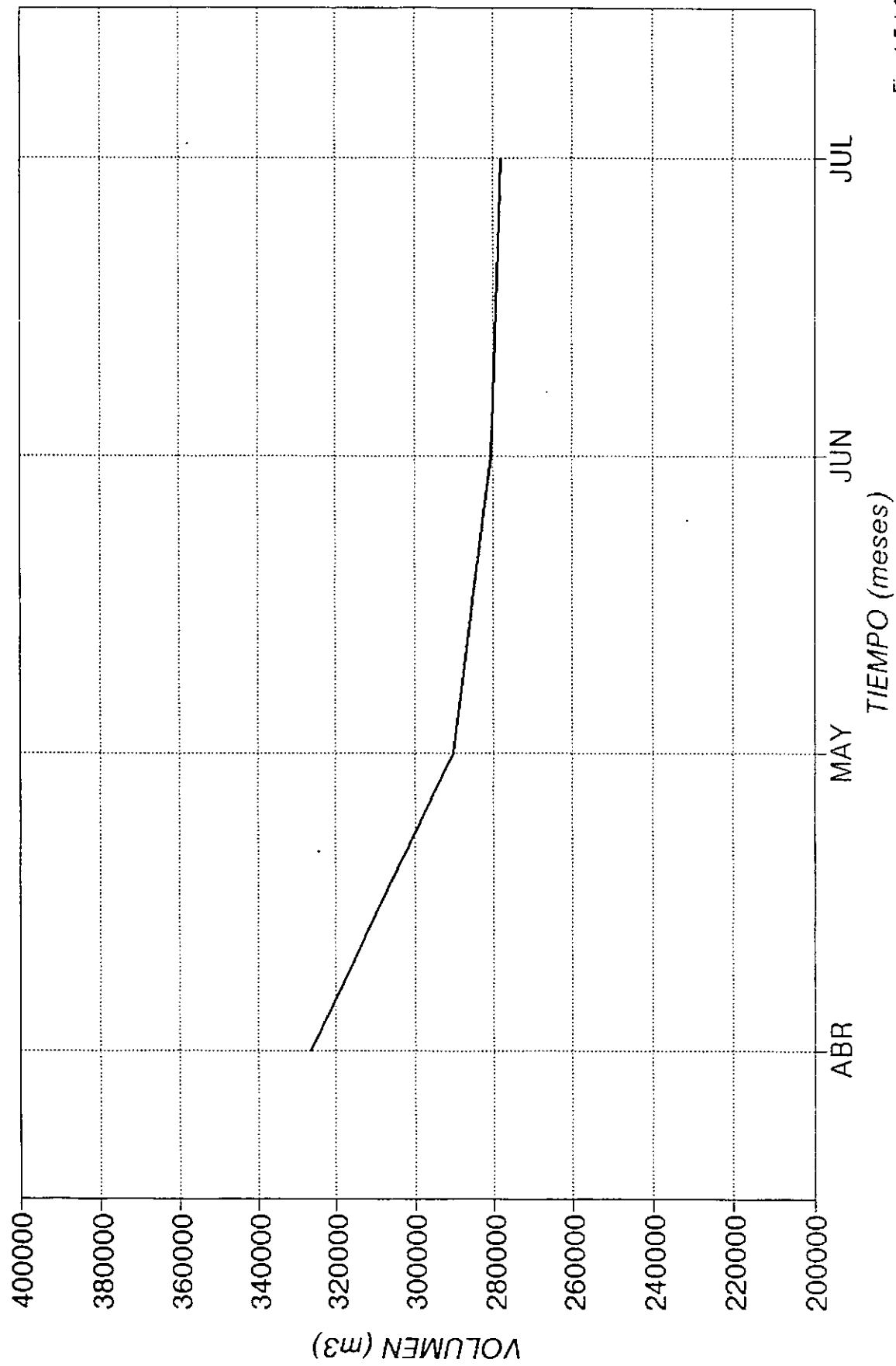


Fig. 1.5.1.2

# PASO ABAJO CORRENTOSO PROFUNDIDAD NAUTICA

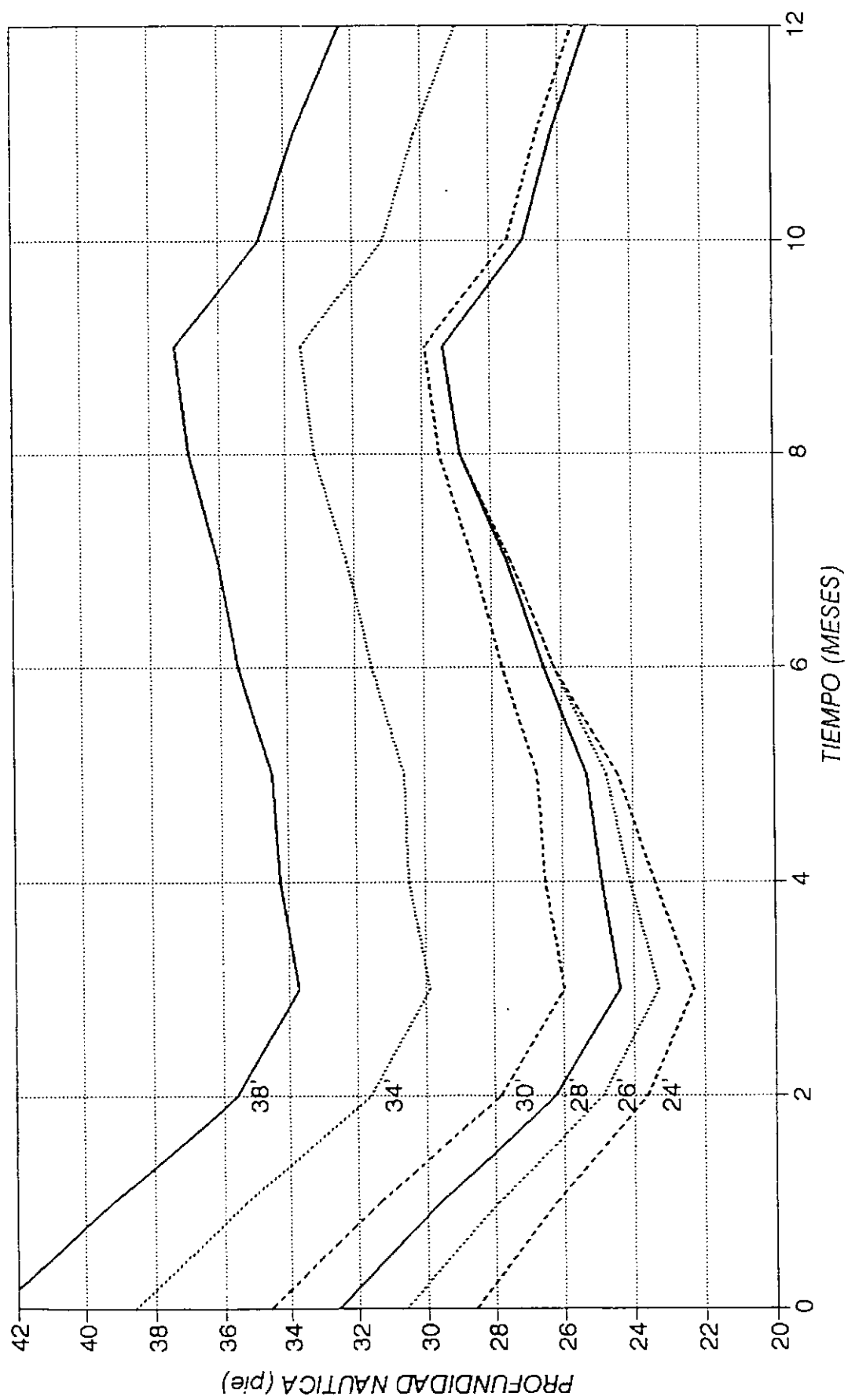


Fig. 1.5.2

# PASO ABAJO CORRENTOSO PROFUNDIDAD NAUTICA-DRAGADO INICIAL

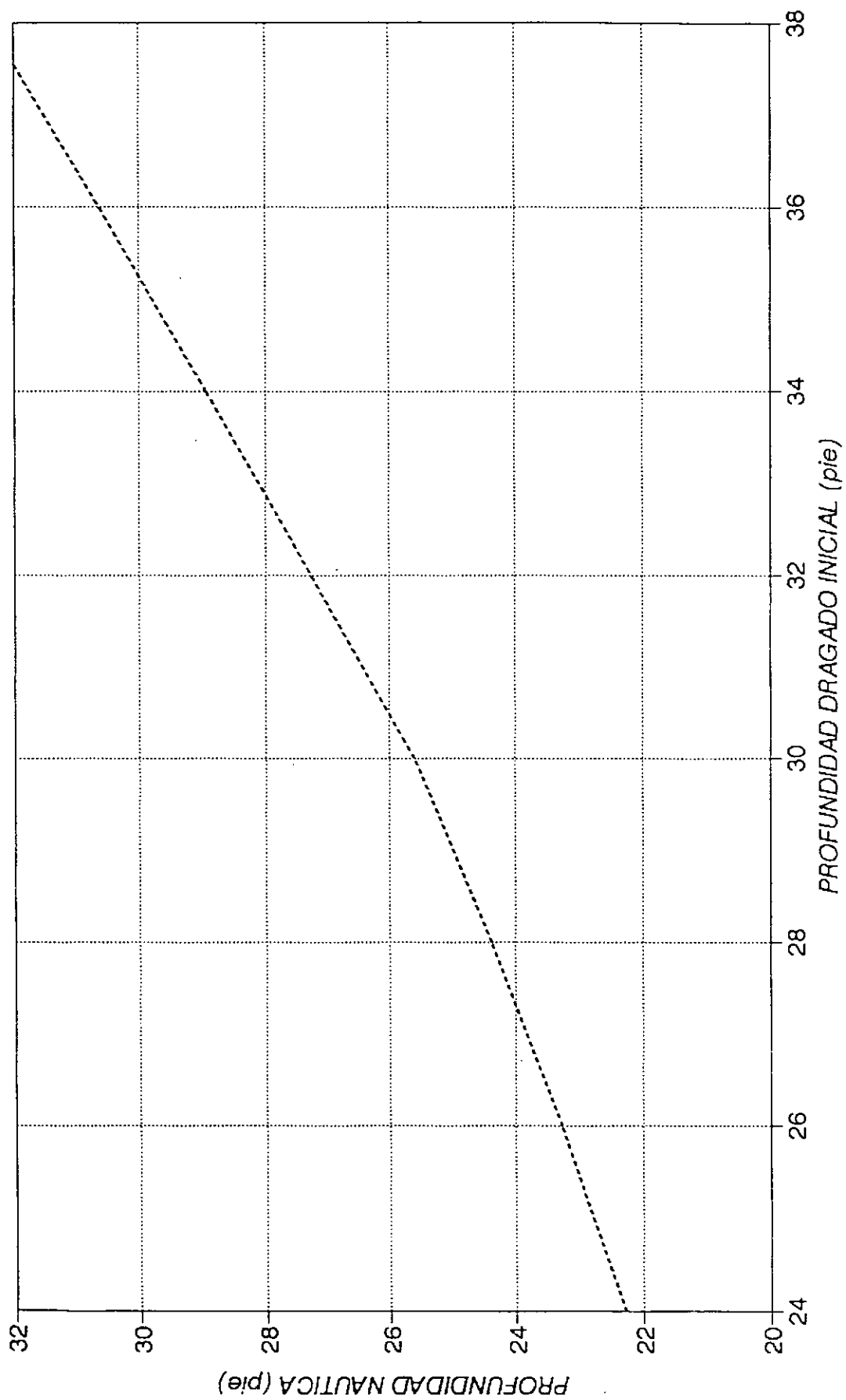


Fig. 1.5.3



PASO ABAJO CORRENTOSO  
VOLUMEN DE SEDIMENTACION ANUAL

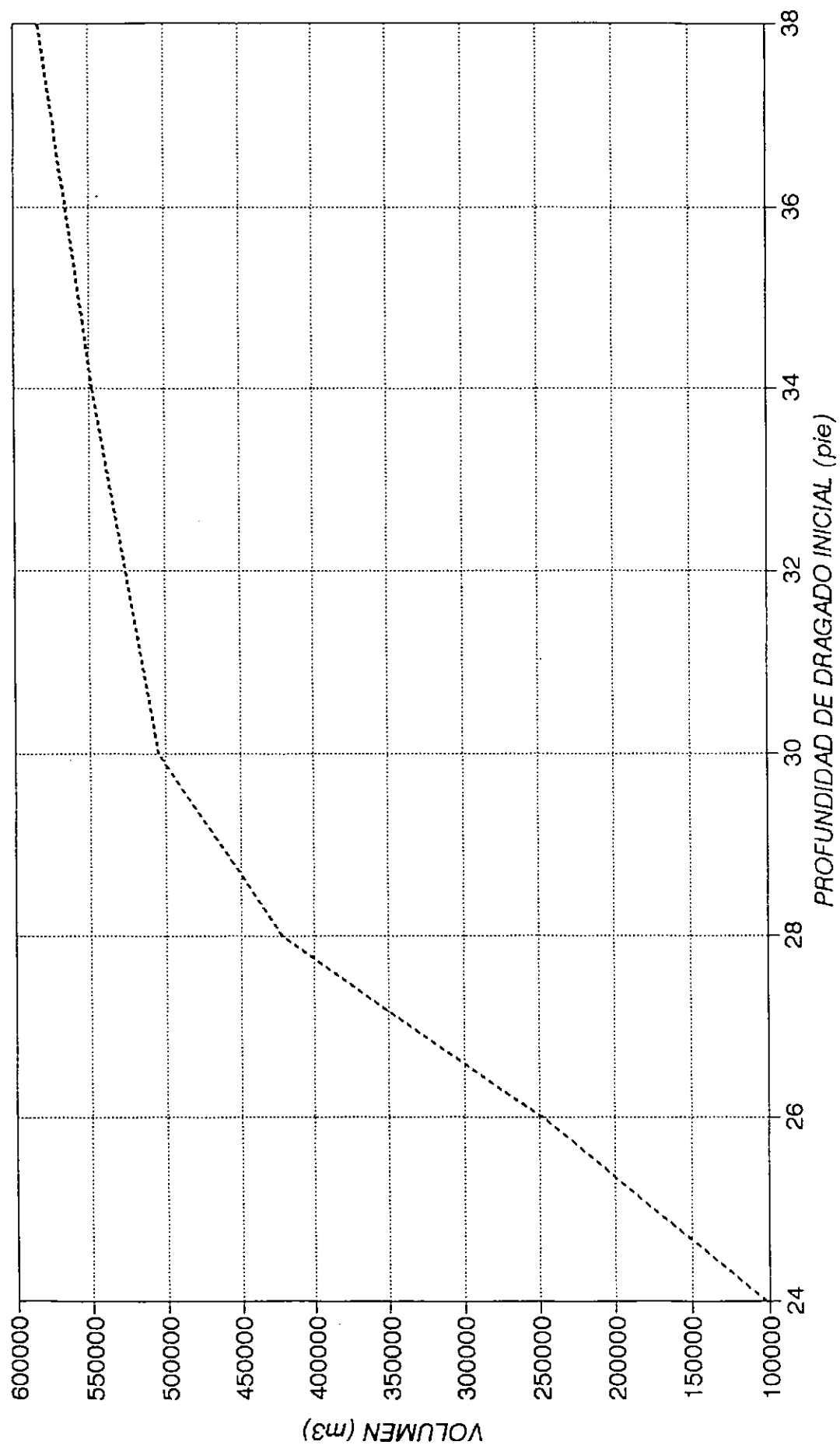


Fig. 1.5.4

PASO PARANACITO  
PROFUNDIDAD NAUTICA

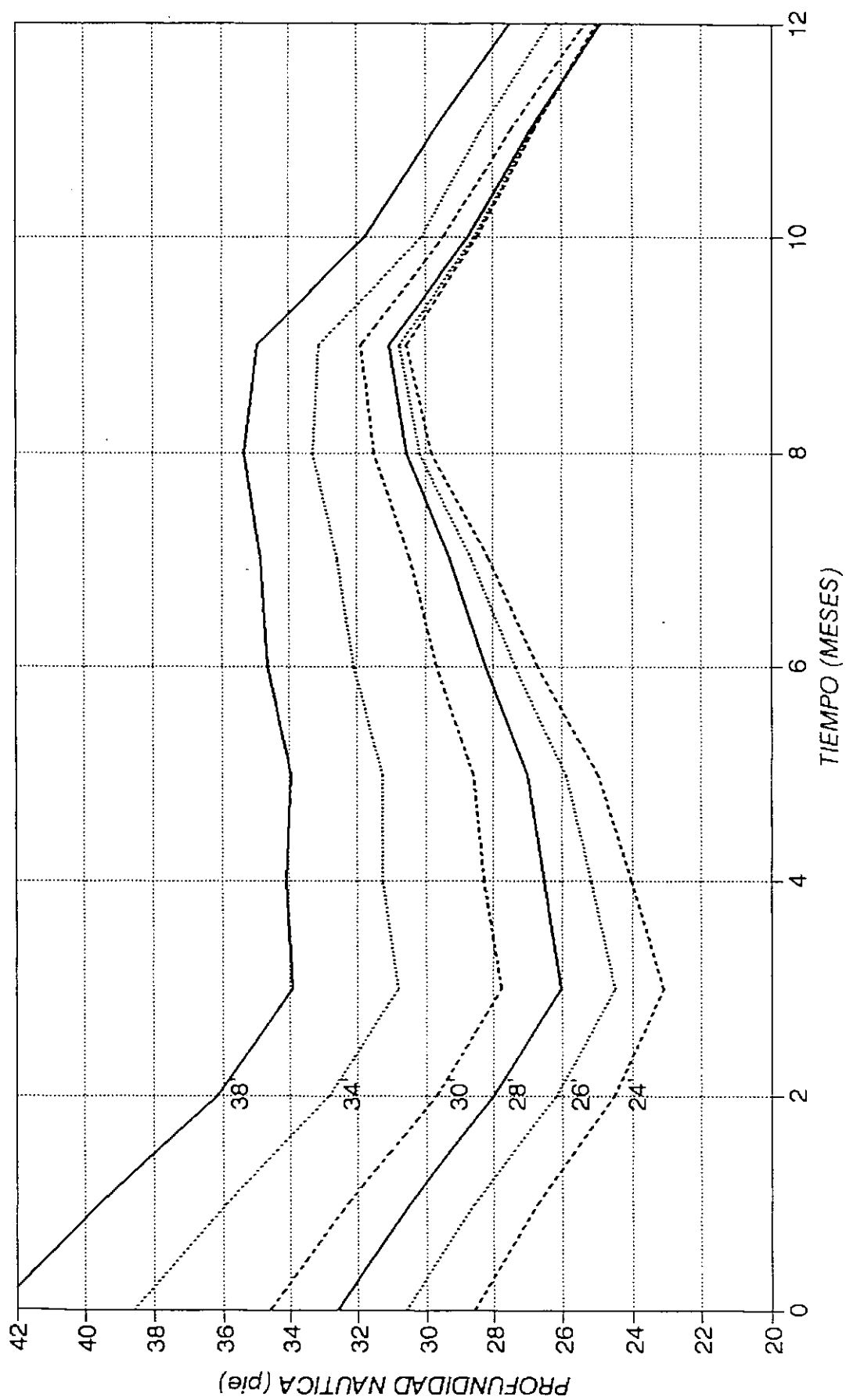


Fig. 1.5.5

PASO PARANACITO  
PROFUNDIDAD NAUTICA-DRAGADO INICIAL

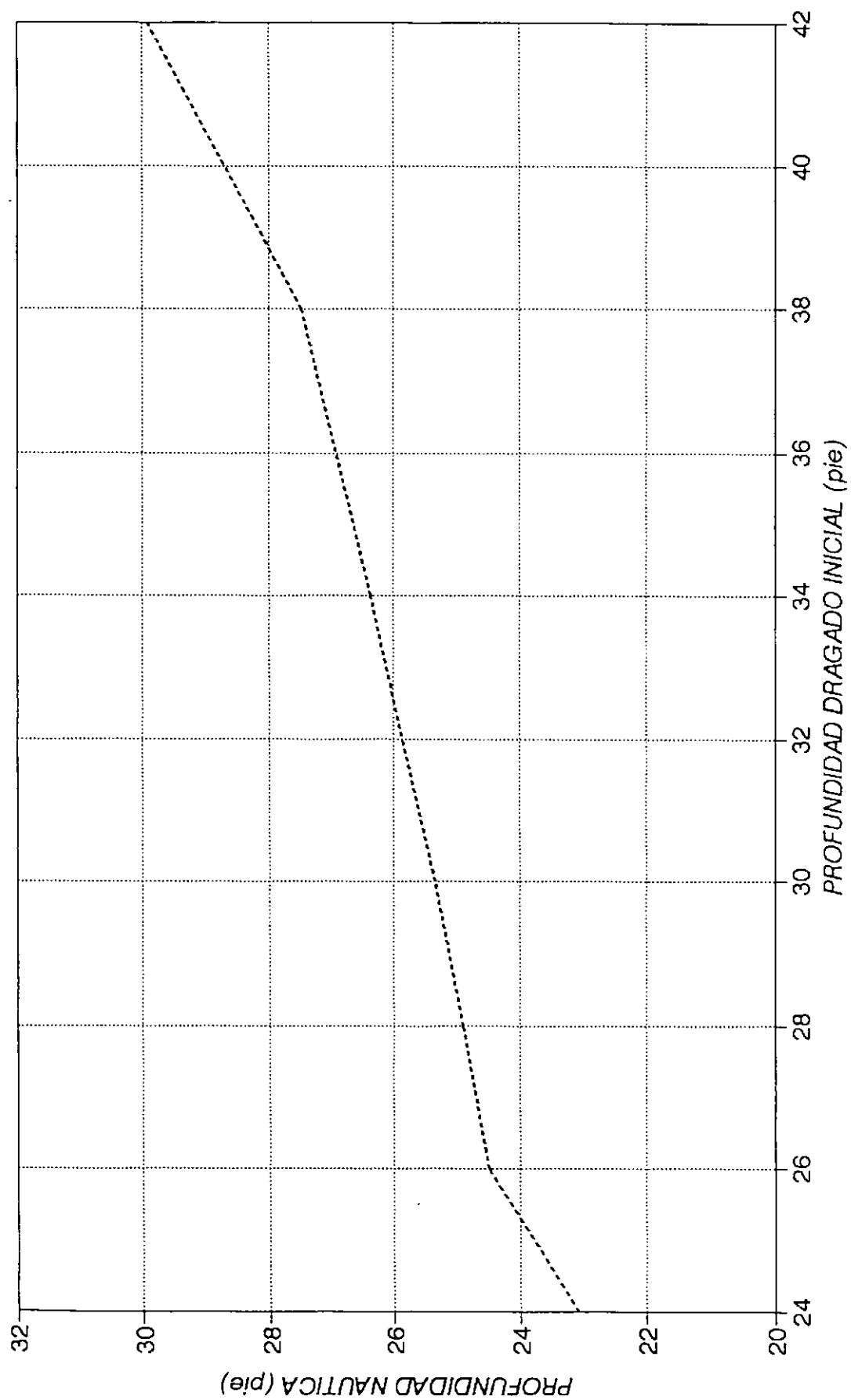


Fig. 1.5.6

PASO PARANACITO  
VOLUMEN DE SEDIMENTACION ANUAL

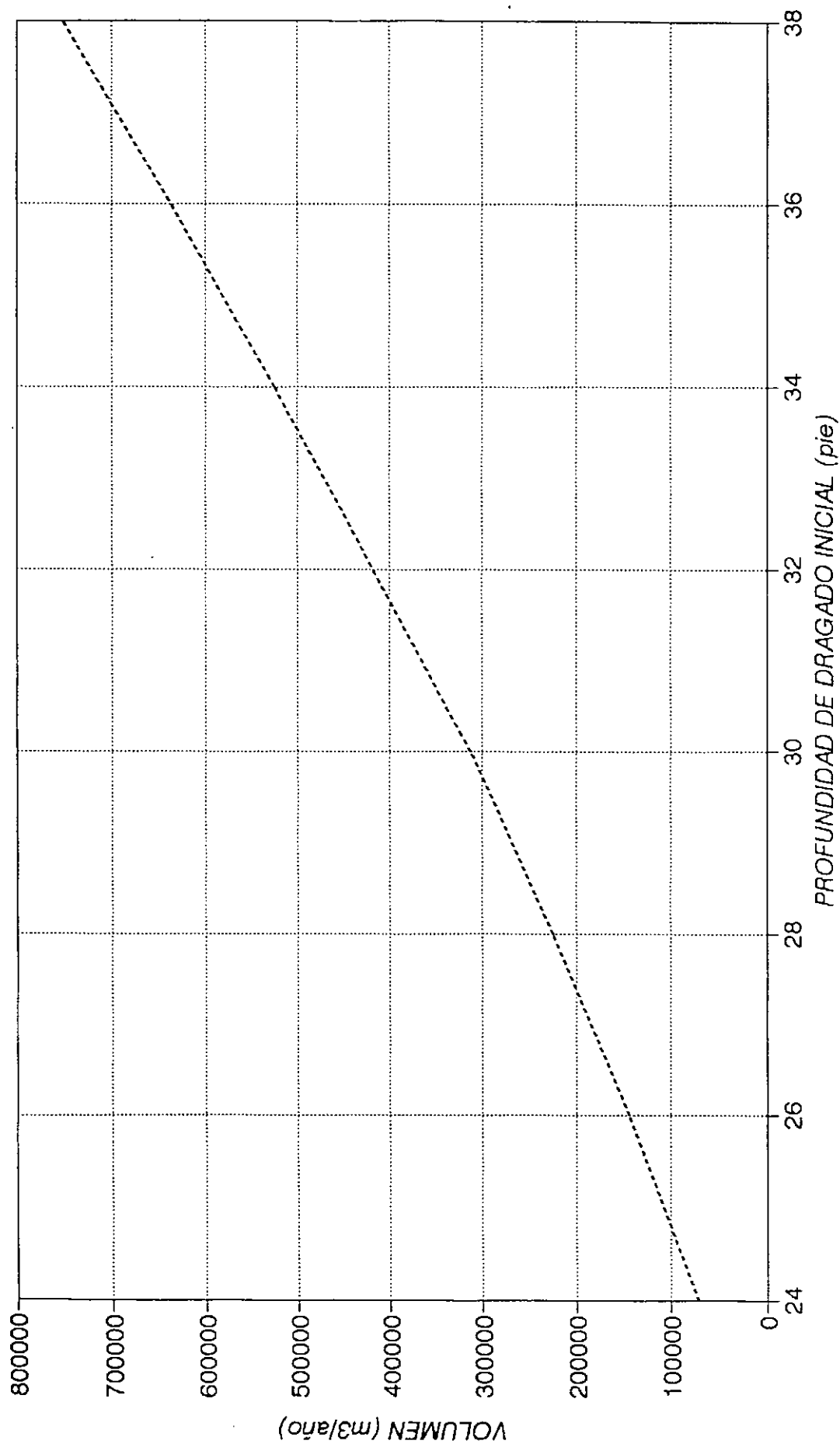


Fig 1.5.7

# PASO ABAJO TACUANI PROFUNDIDAD NAUTICA

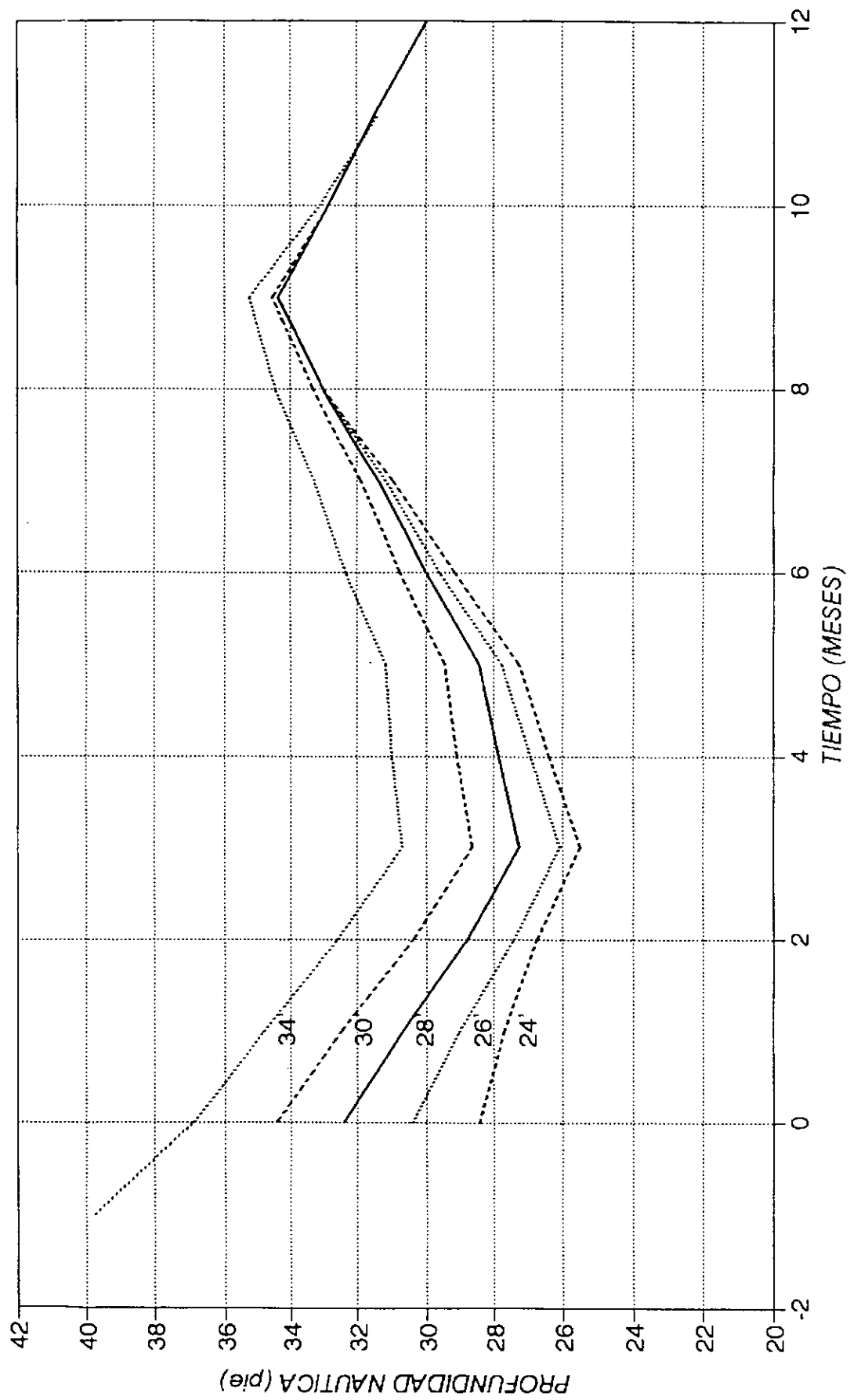


Fig. 1.5.8

PASO ABAJO TACUANI  
PROFUNDIDAD NAUTICA-DRAGADO INICIAL

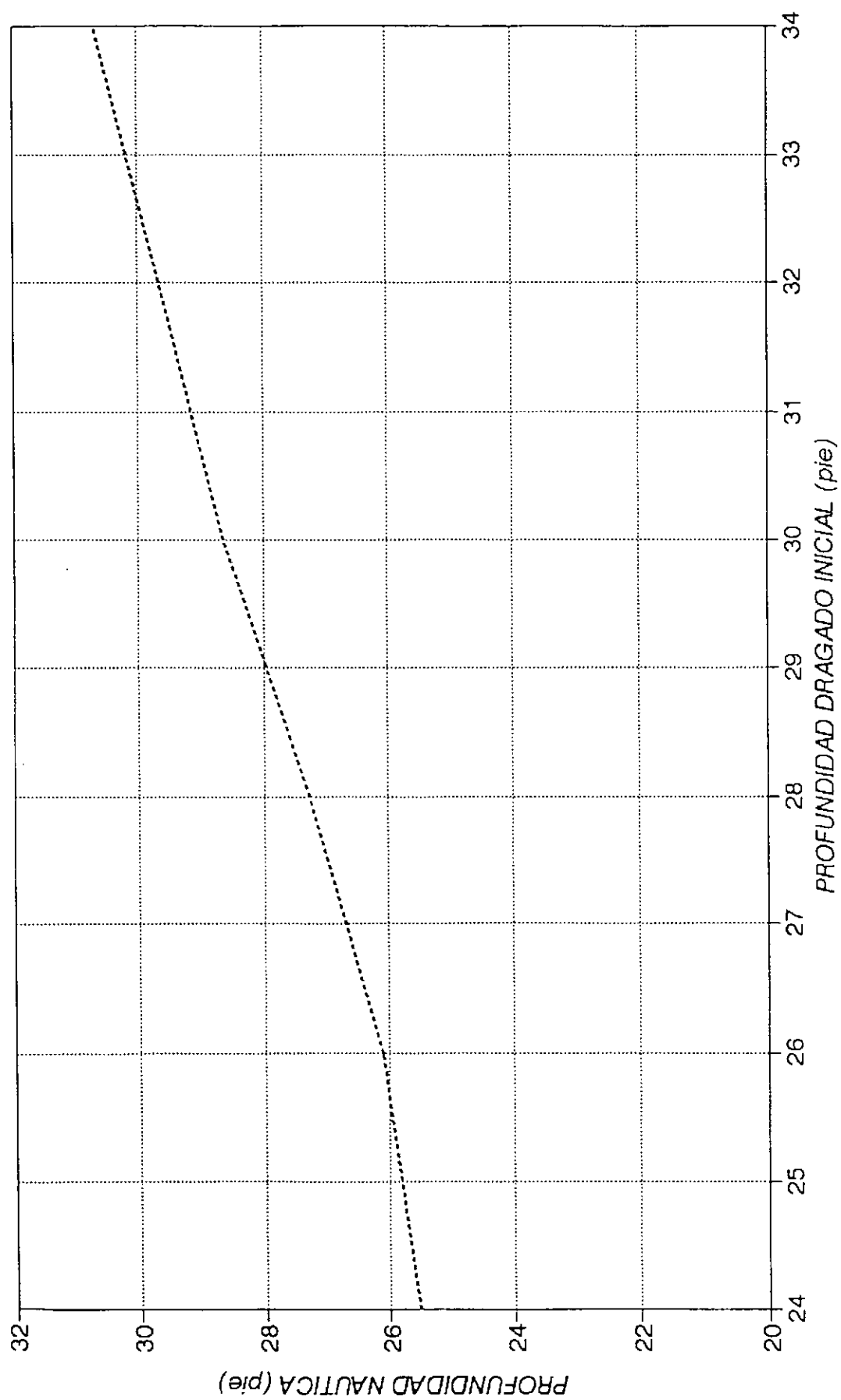


Fig. 1.5.9

PASO ABAJO TACUANI  
VOLUMEN DE SEDIMENTACION ANUAL

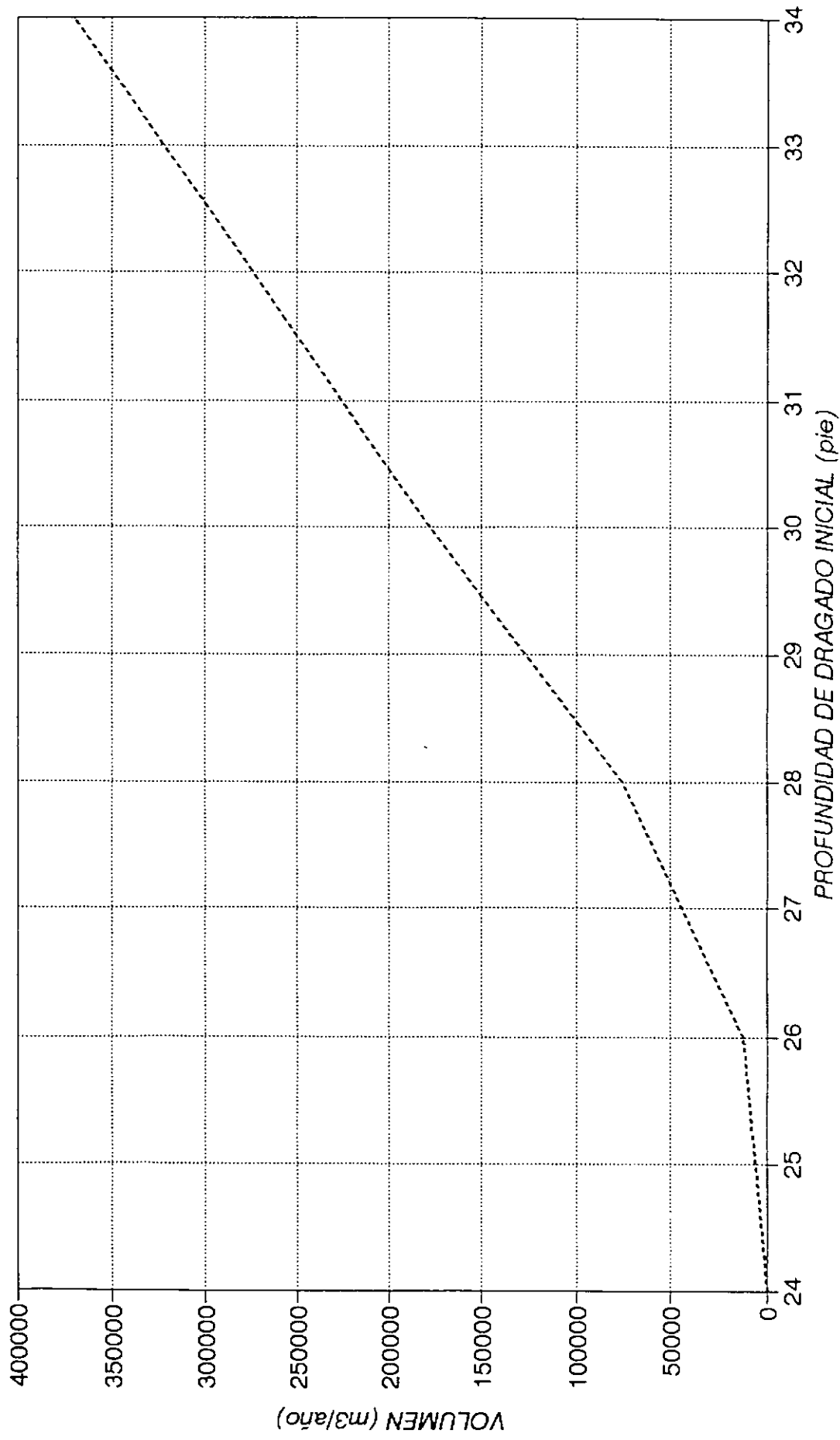


Fig. 1.5.10

# PASO TACUANI (Km 509-512) PROFUNDIDAD NAUTICA

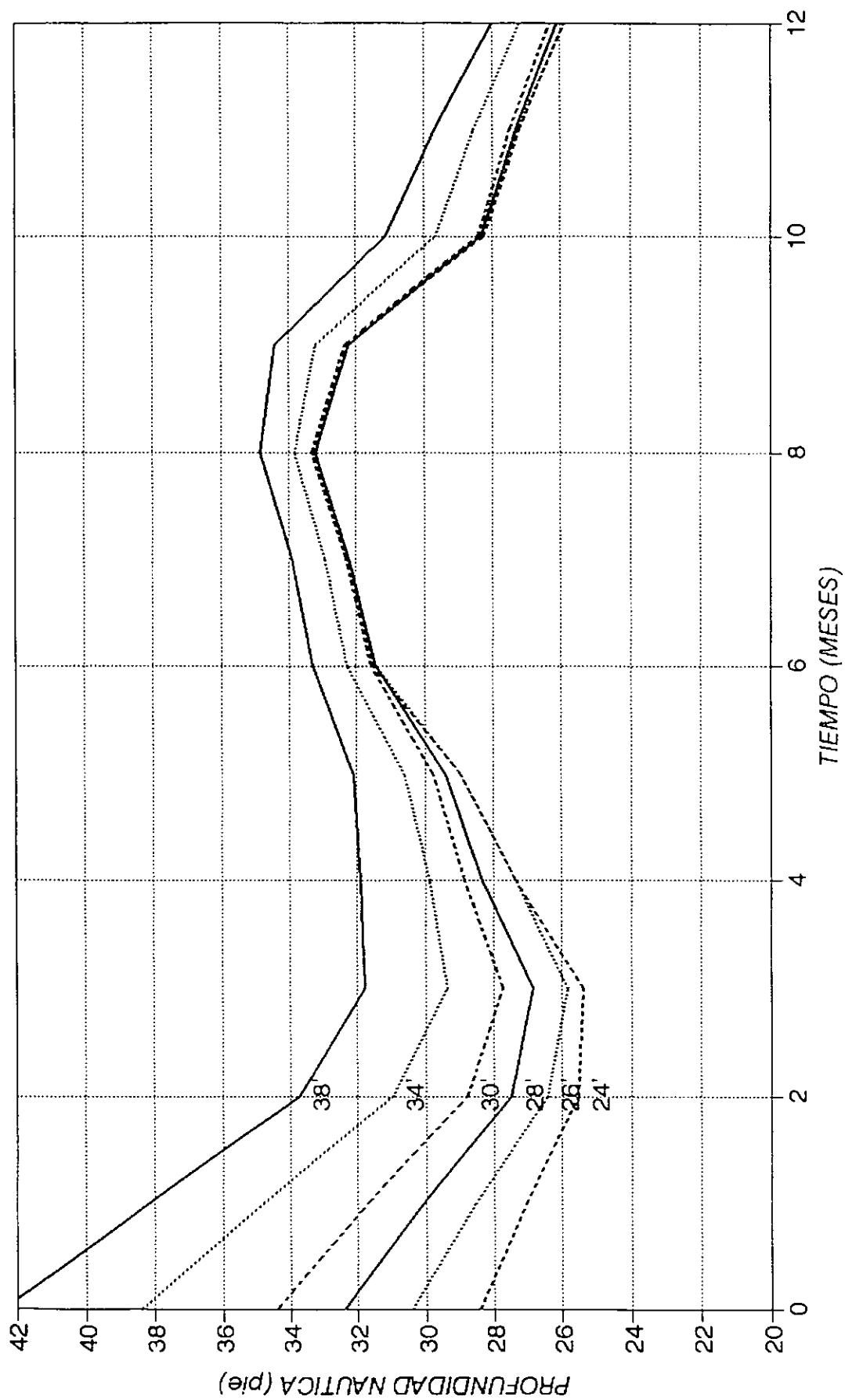


Fig. 1.5.11



PASO TACUANI (Km 509-512)  
PROFUNDIDAD NAUTICA-DRAGADO INICIAL

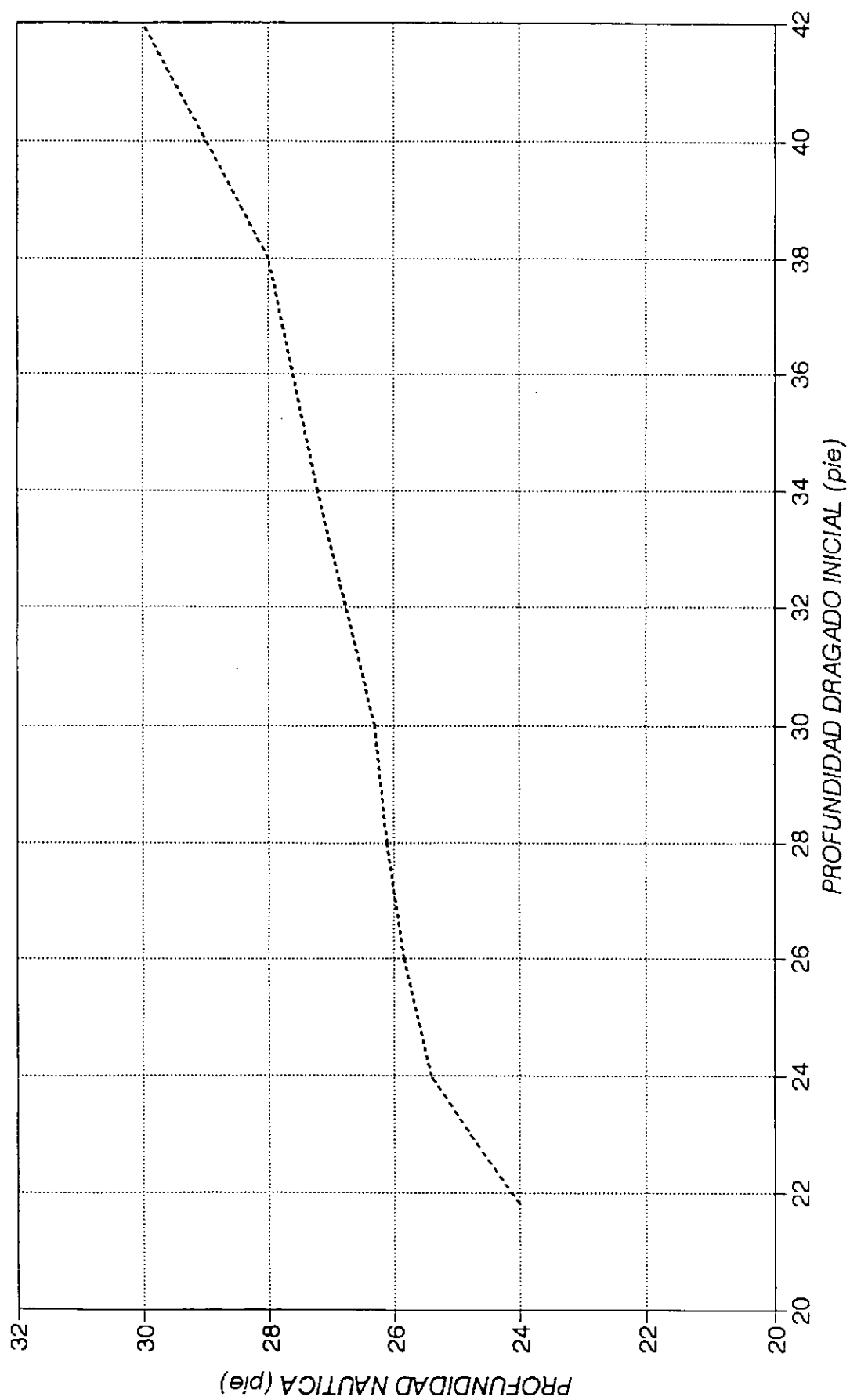


Fig. 1.5.12

PASO TACUANI (Km 509-512)  
VOLUMEN DE SEDIMENTACION ANUAL

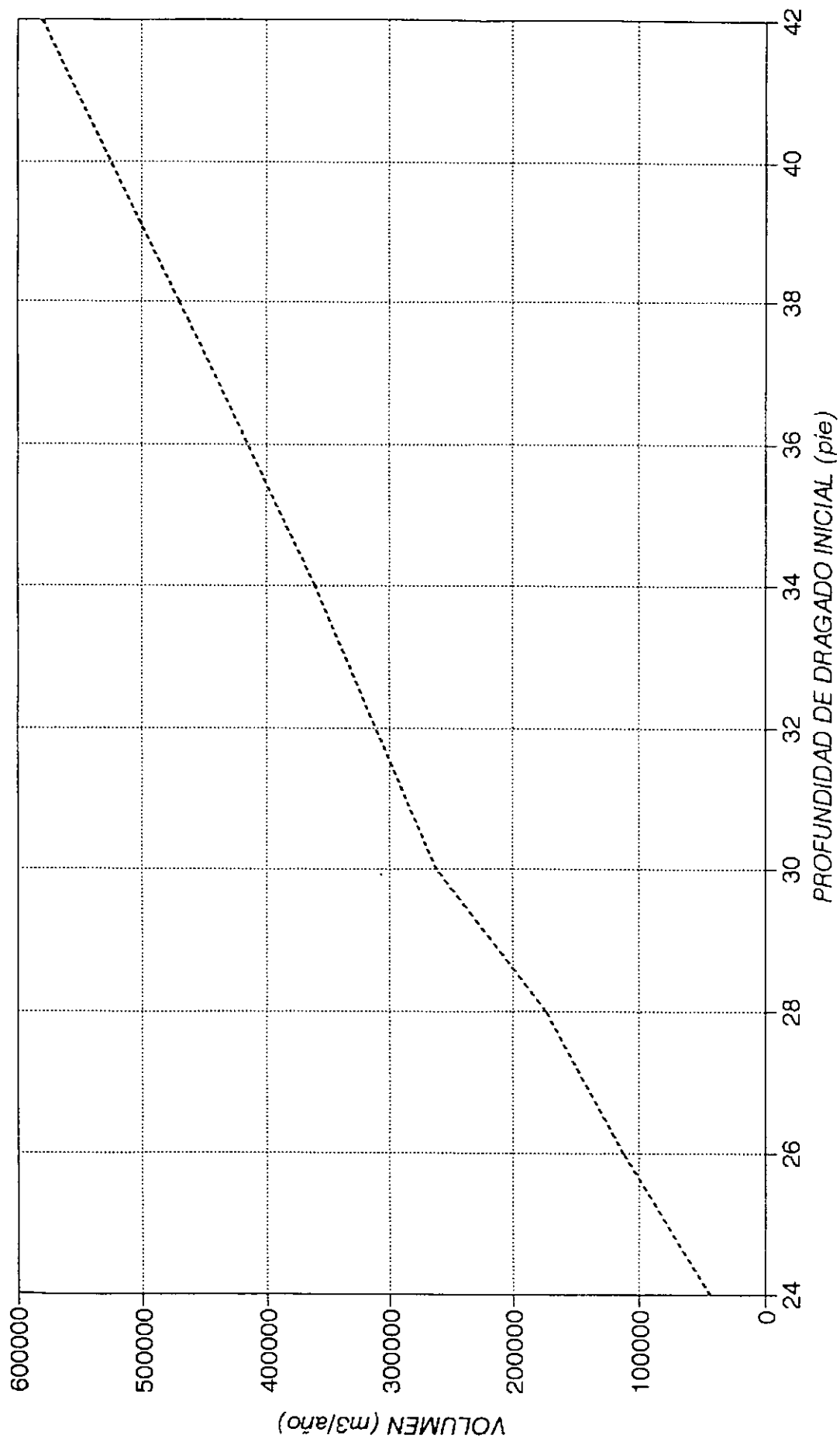


Fig. 1.5.13

# PASO ARRIBA TACUANI (Km 515-513) PROFUNDIDAD NAUTICA

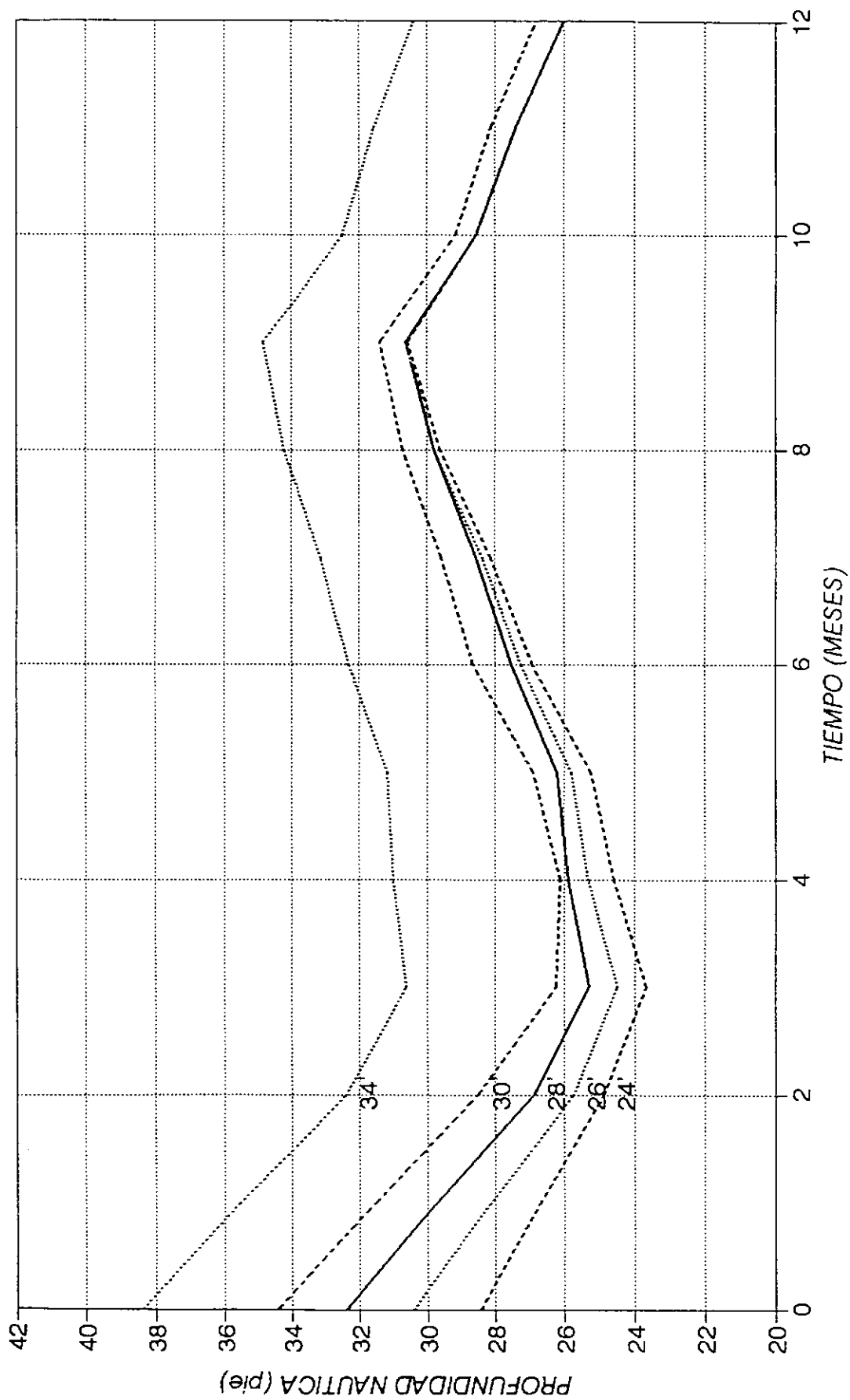


Fig. 1.5.14

PASO ARRIBA TACUANI (Km 515-513)  
PROFUNDIDAD NAUTICA-DRAGADO INICIAL

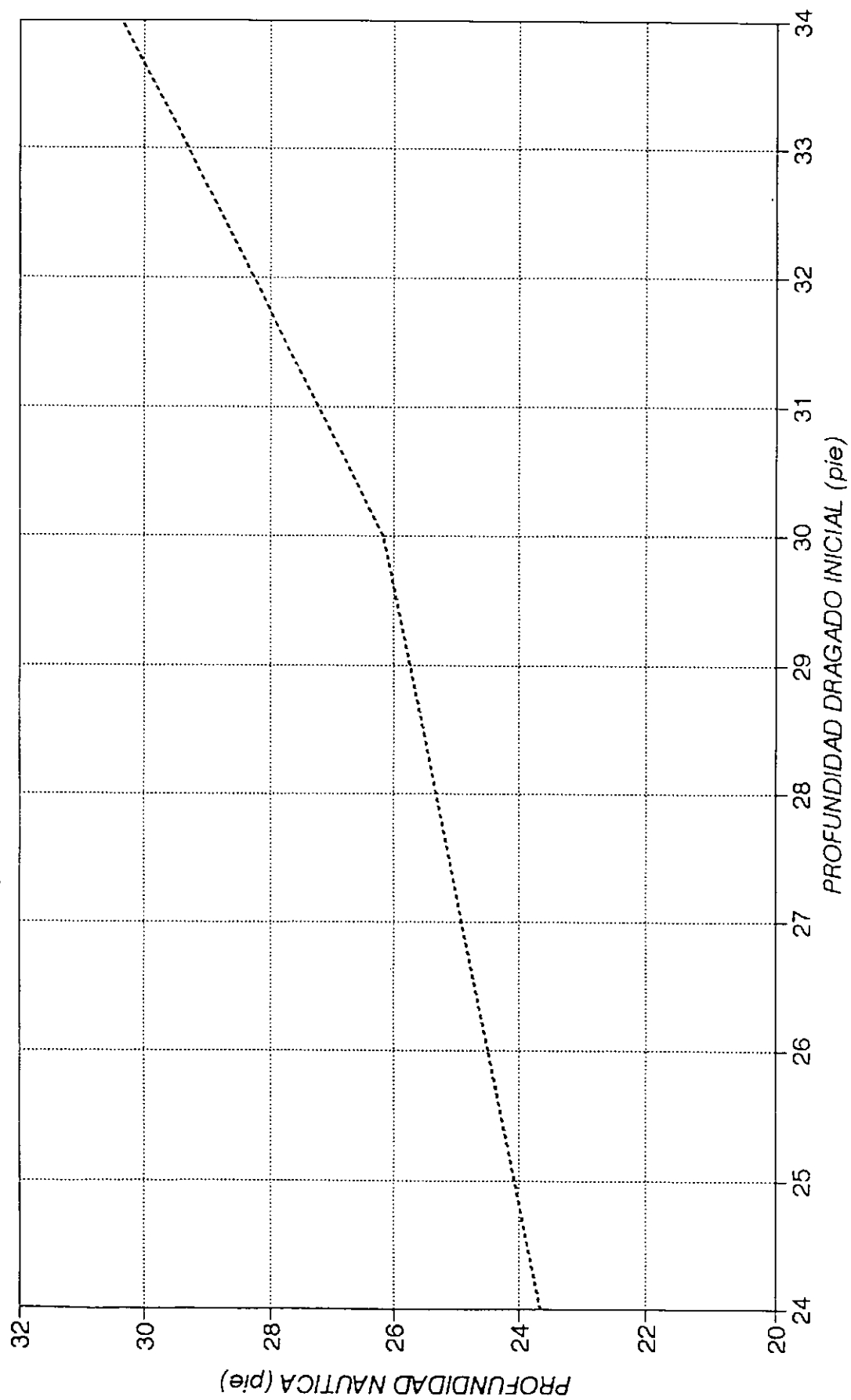


Fig. 1.5.15

PASO ARRIBA TACUANI (Km 515-513)  
VOLUMEN DE SEDIMENTACION ANUAL

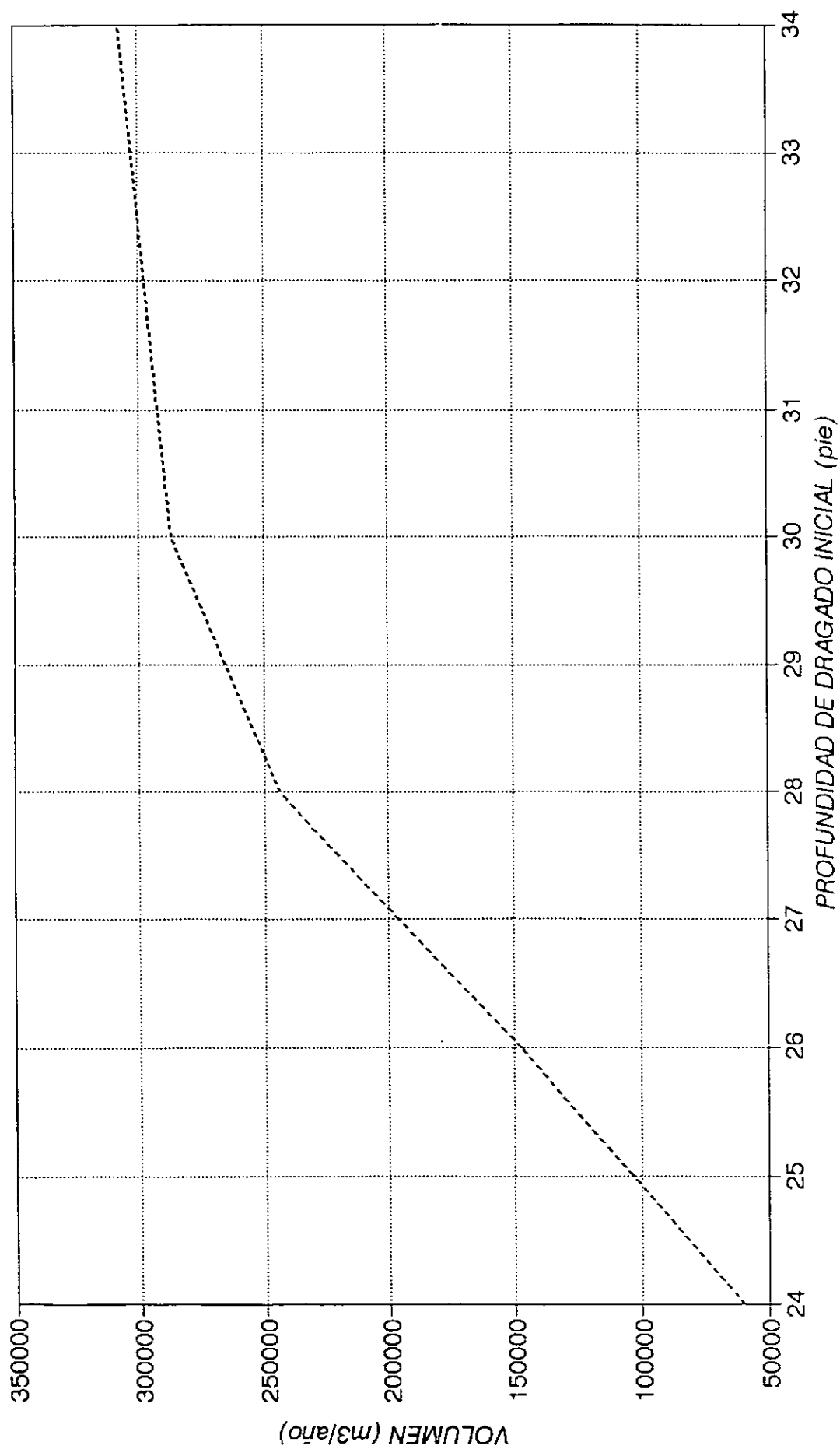


Fig. 1.5.16

# PASO ABAJO DIAMANTE PROFUNDIDAD NAUTICA

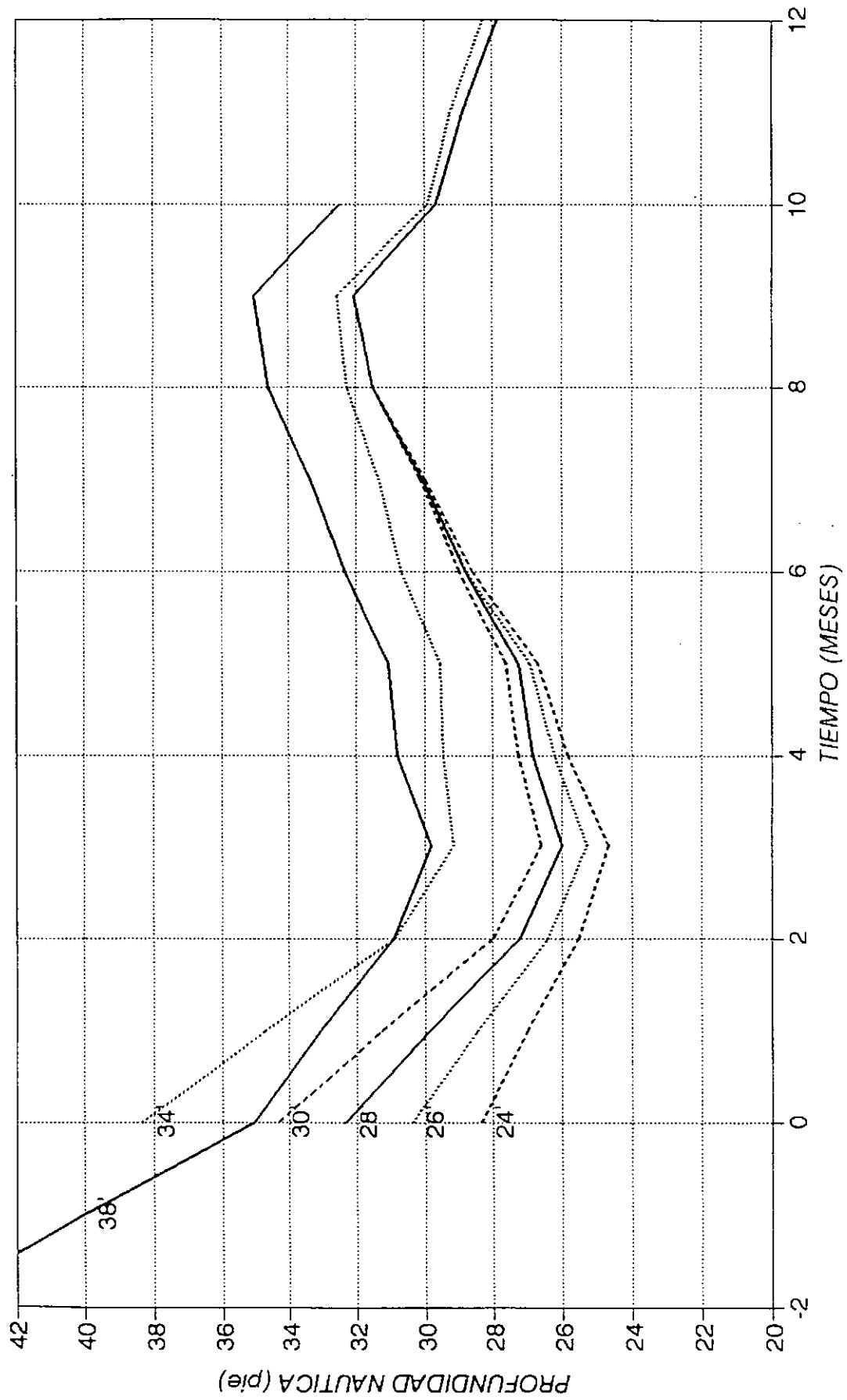


Fig. 1.5.17

PASO ABAJO DIAMANTE  
PROFUNDIDAD NAUTICA-DRAGADO INICIAL

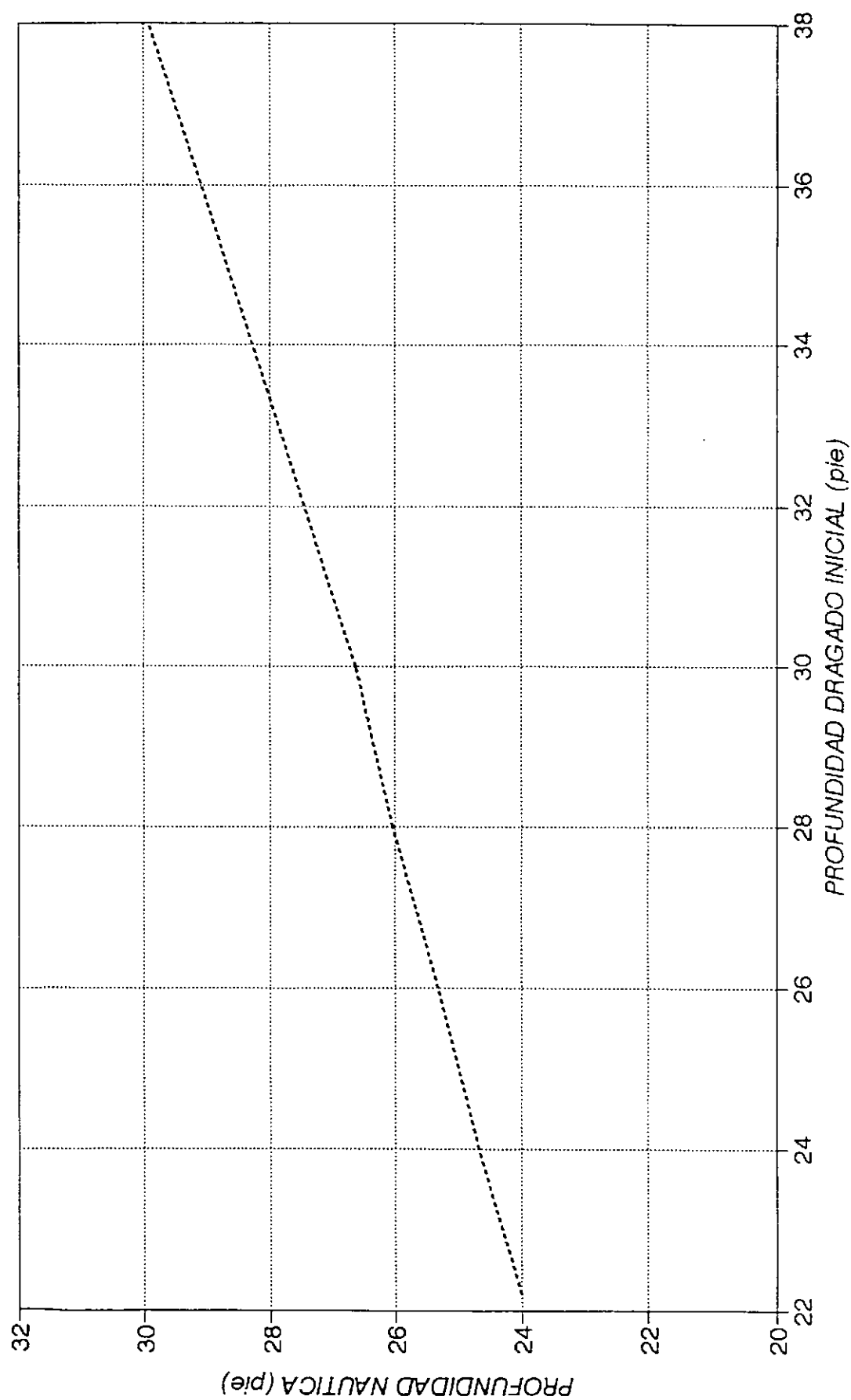


Fig. 1.5.18

PASO ABAJO DIAMANTE  
VOLUMEN DE SEDIMENTACION ANUAL

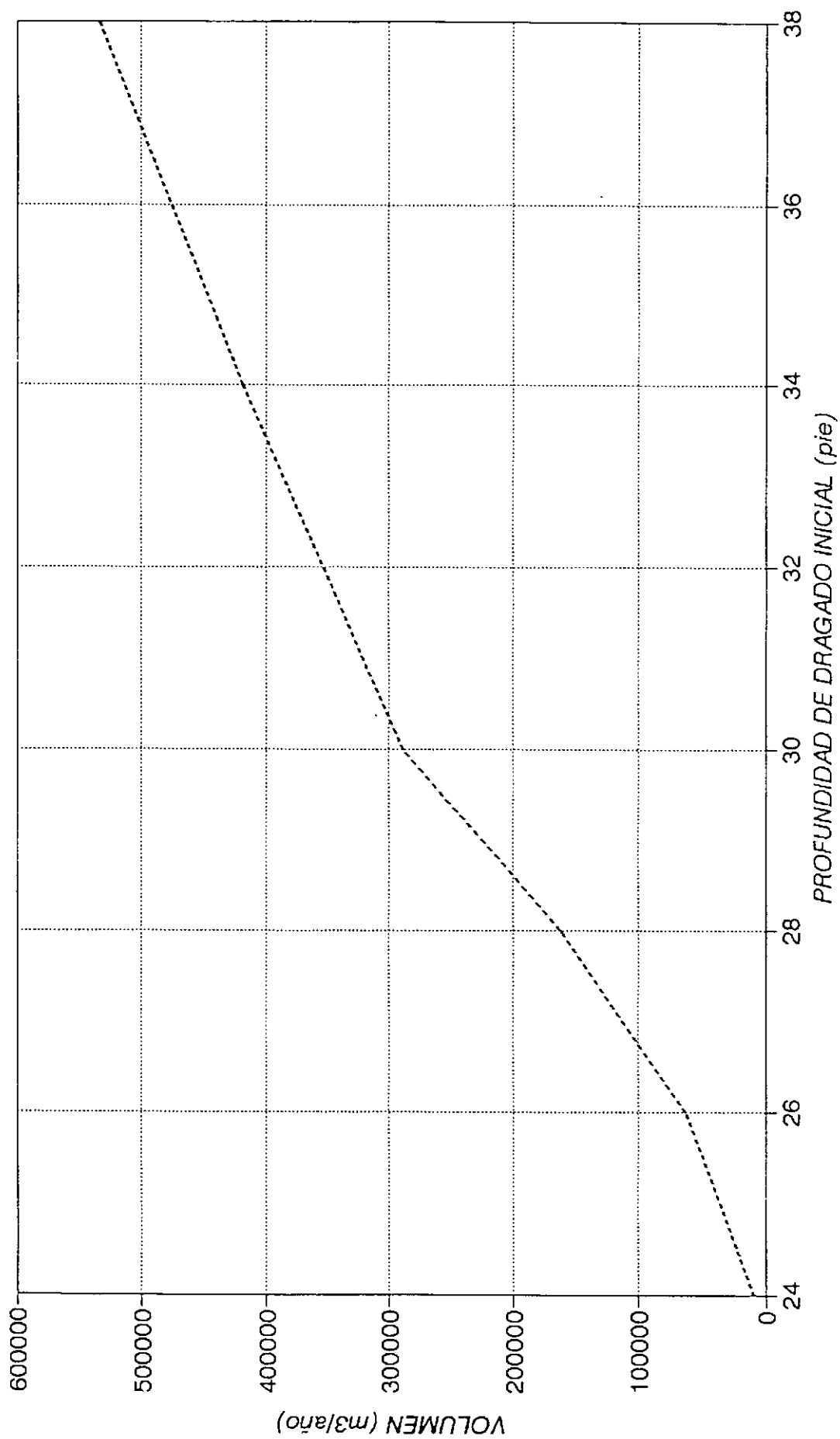


Fig. 1.5.19



# PASO VINCULACION TRAGADERO ANIMAS PROFUNDIDAD NAUTICA

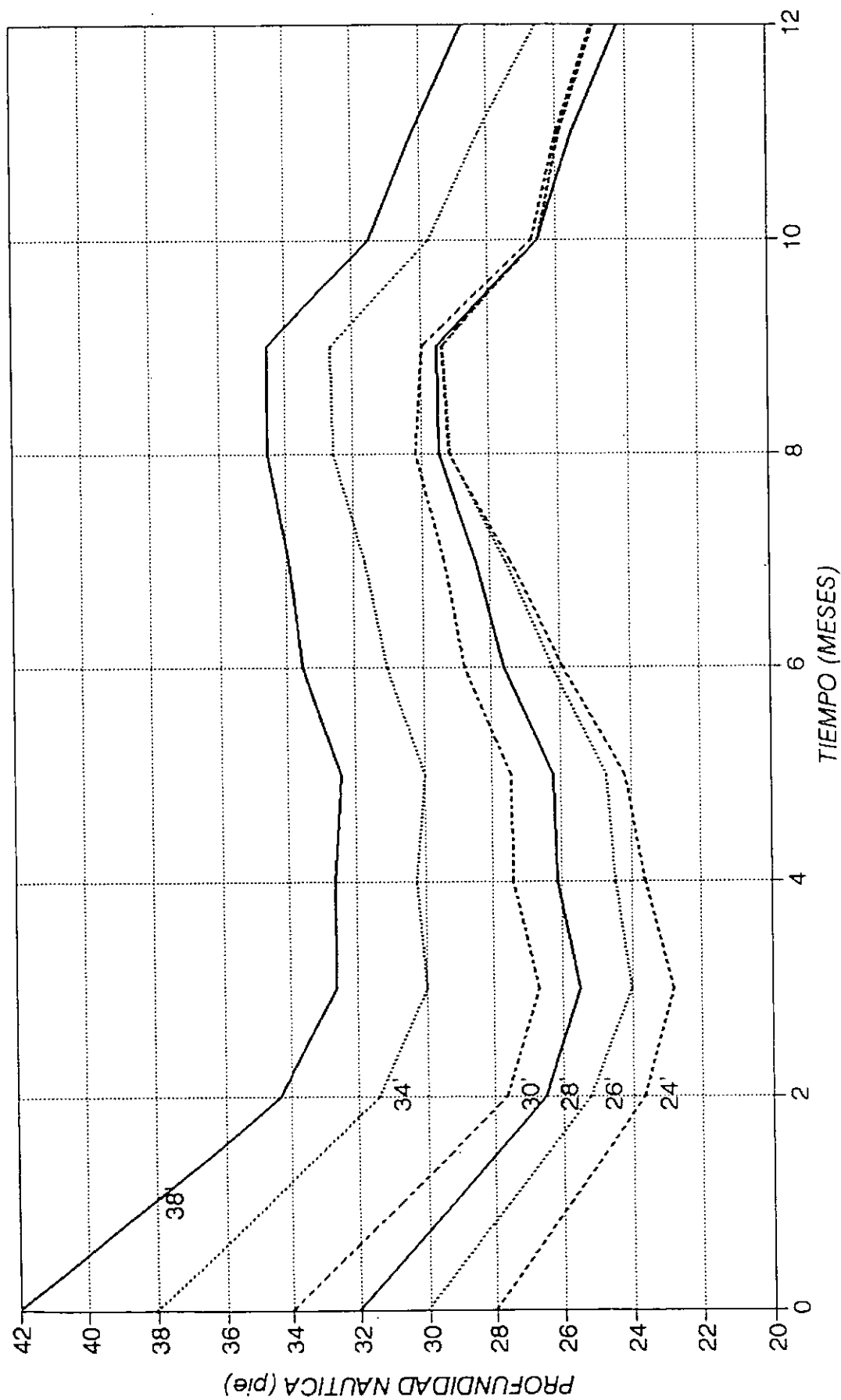


Fig. 1.5.20

# PASO VINCULACION TRAGADERO ANIMAS PROFUNDIDAD NAUTICA-DRAGADO INICIAL

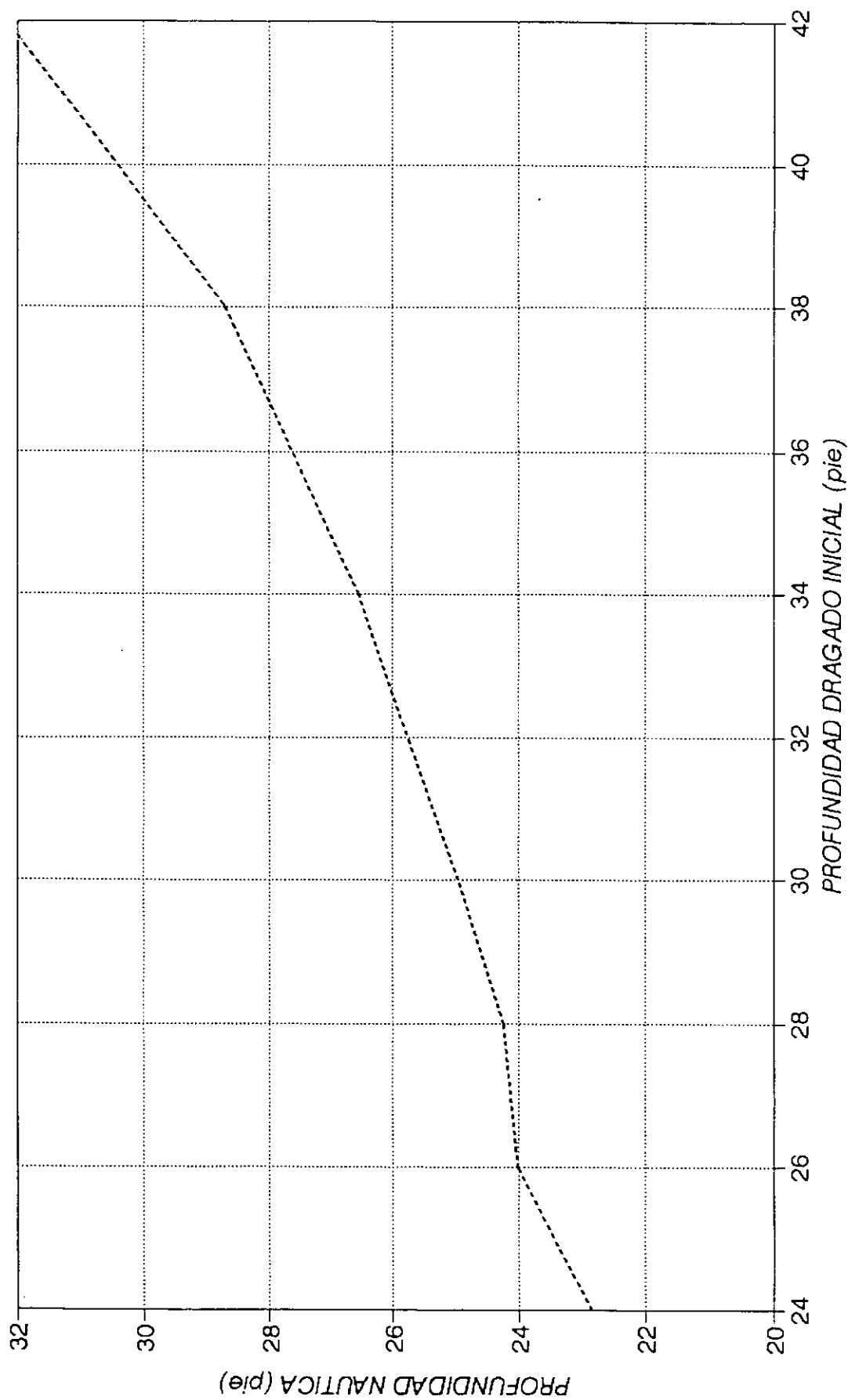


Fig. 1.5.21

# PASO VINCULACION TRAGADERO ANIMAS VOLUMEN DE SEDIMENTACION ANUAL

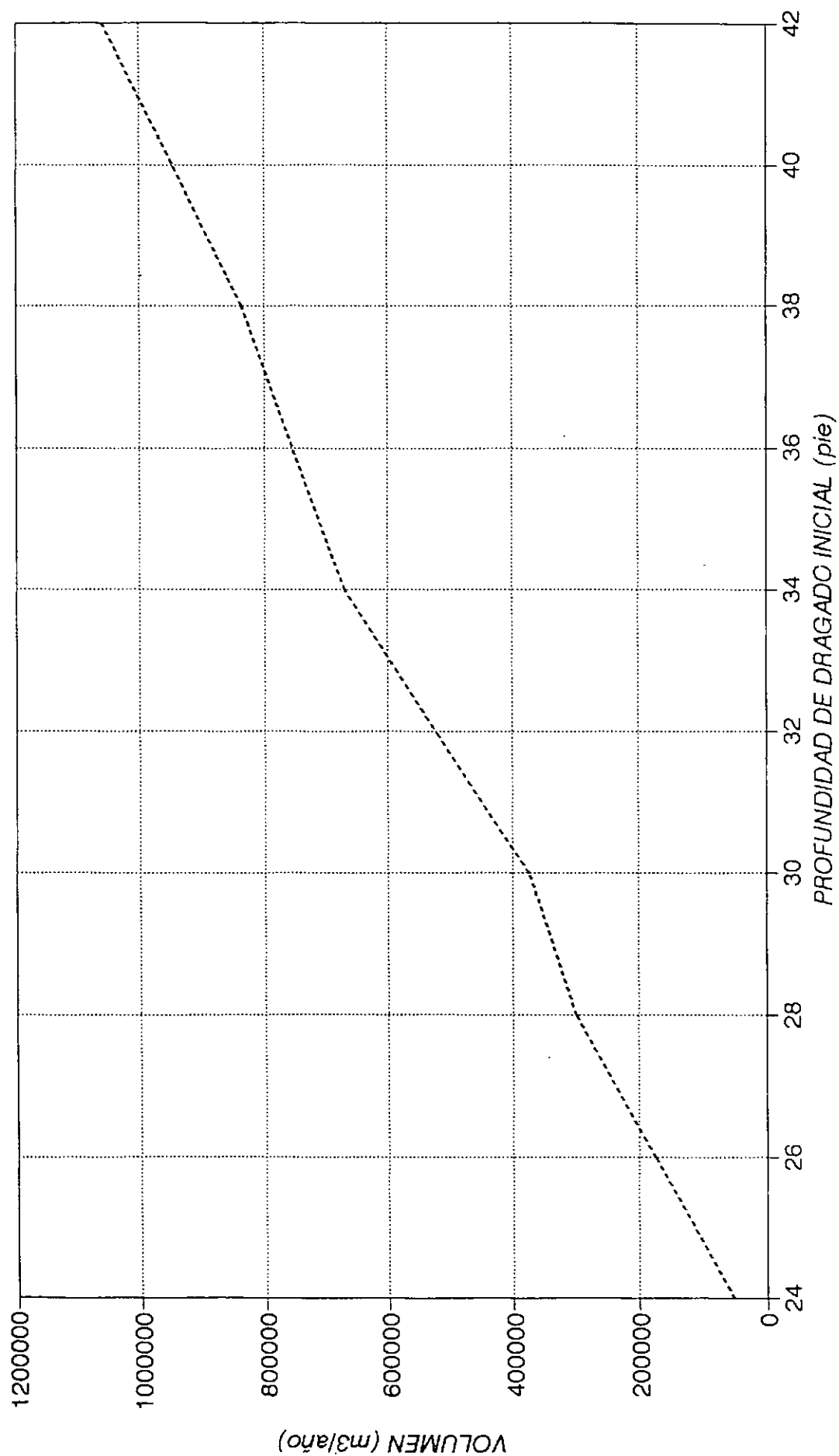


Fig. 1.5.22

# PASO TRAGADERO PROFUNDIDAD NAUTICA

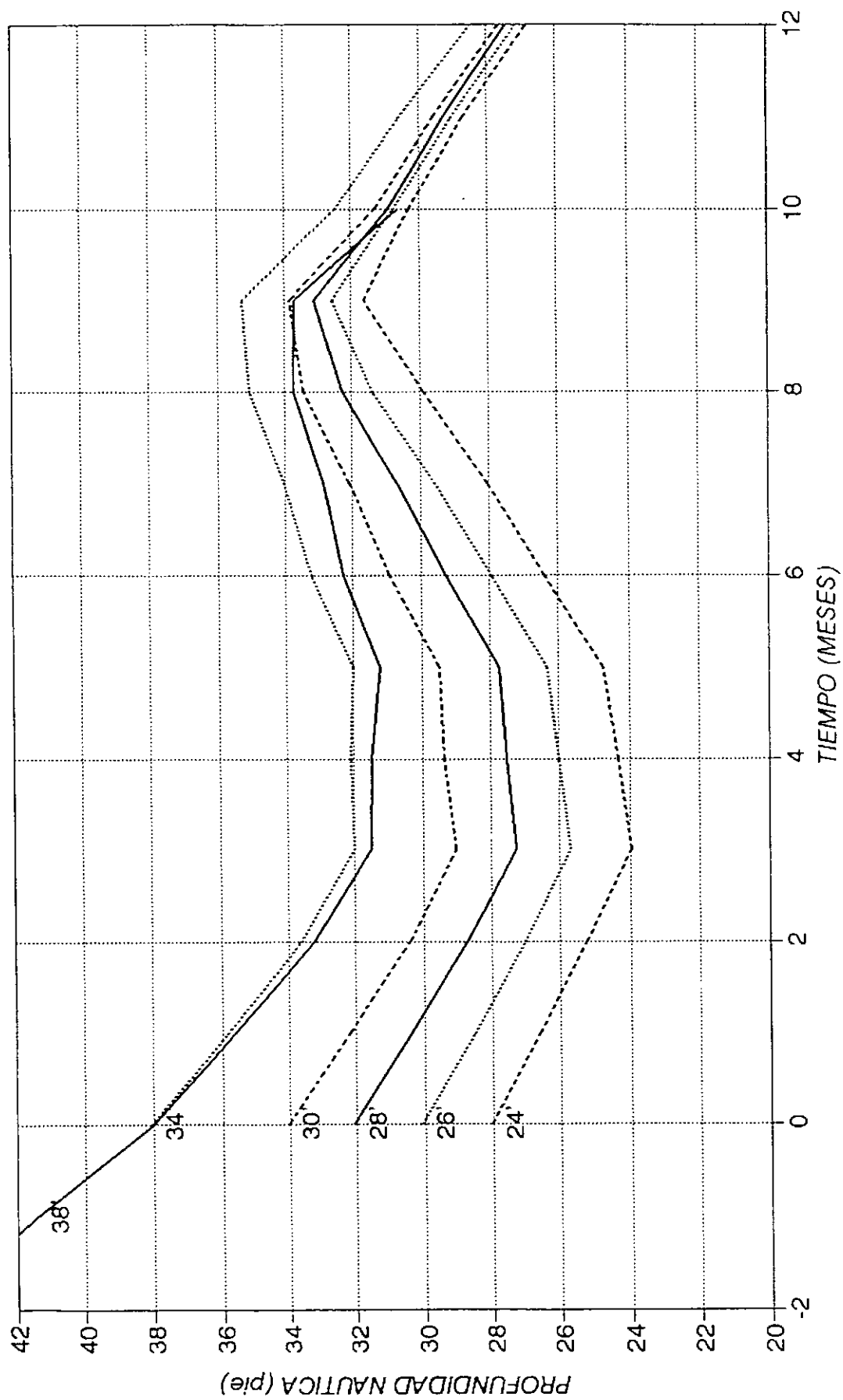


Fig 1.5.23

PASO TRAGADERO  
PROFUNDIDAD NAUTICA-DRAGADO INICIAL

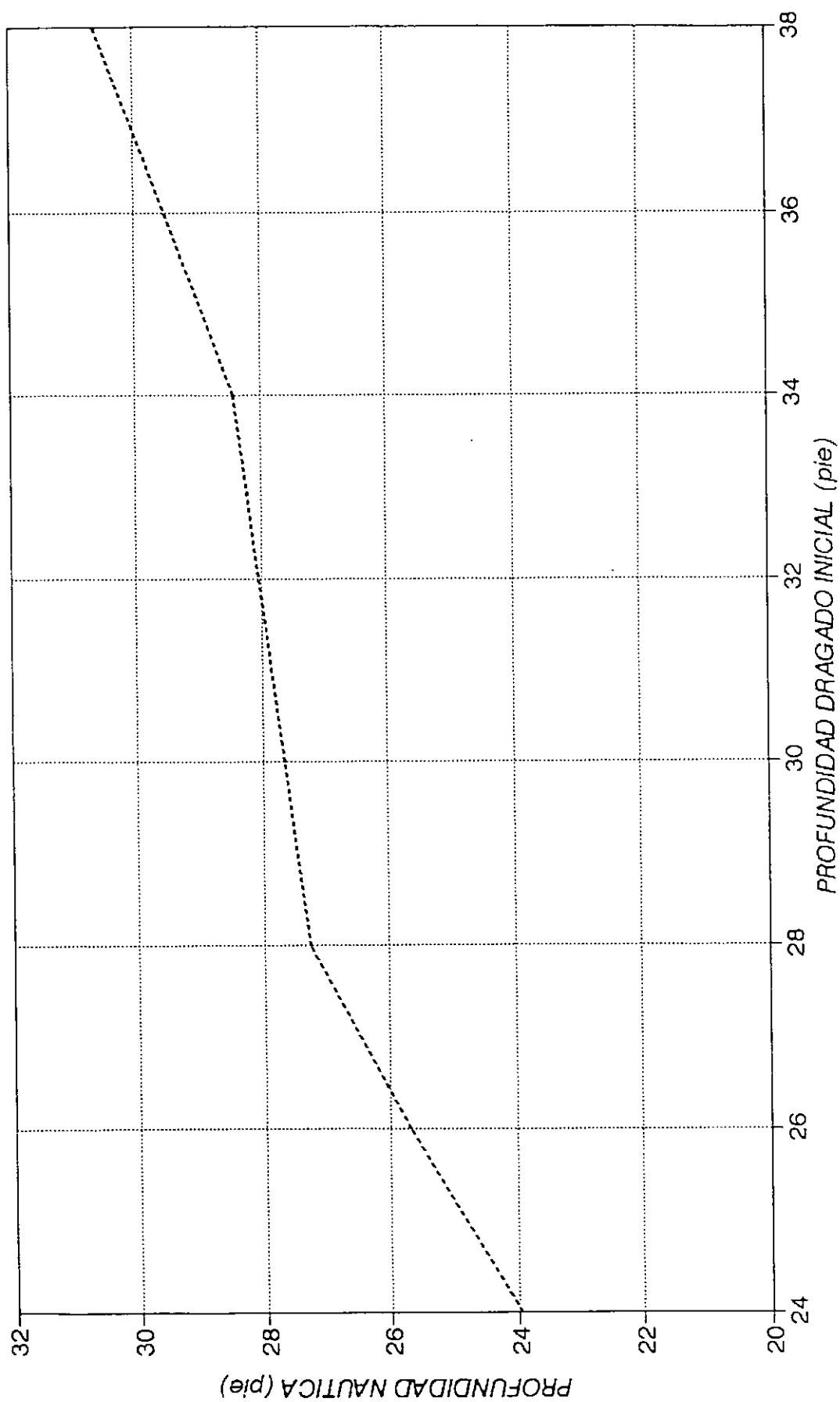


Fig. 1.5.24

PASO TRAGADERO  
VOLUMEN DE SEDIMENTACION ANUAL

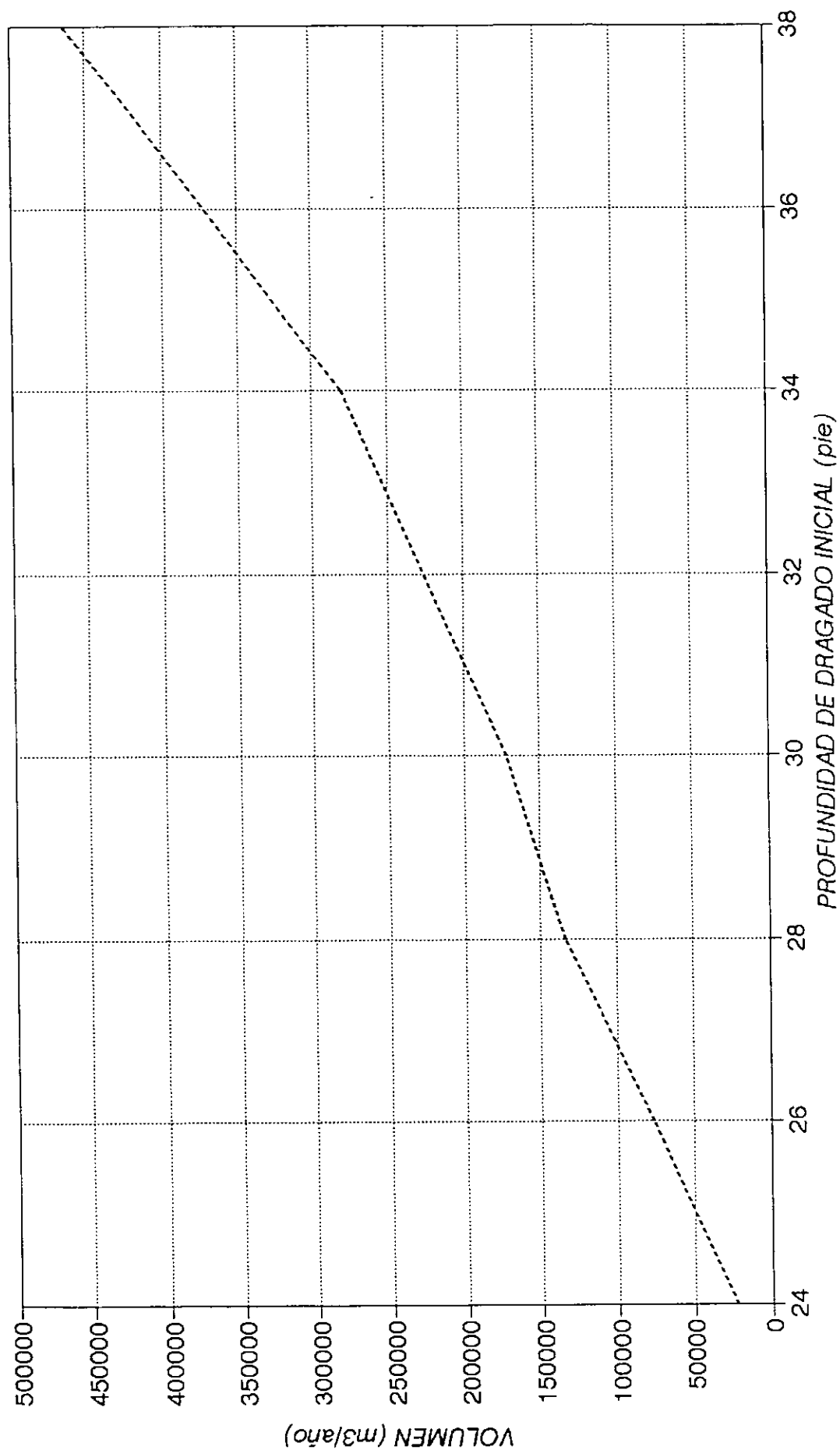
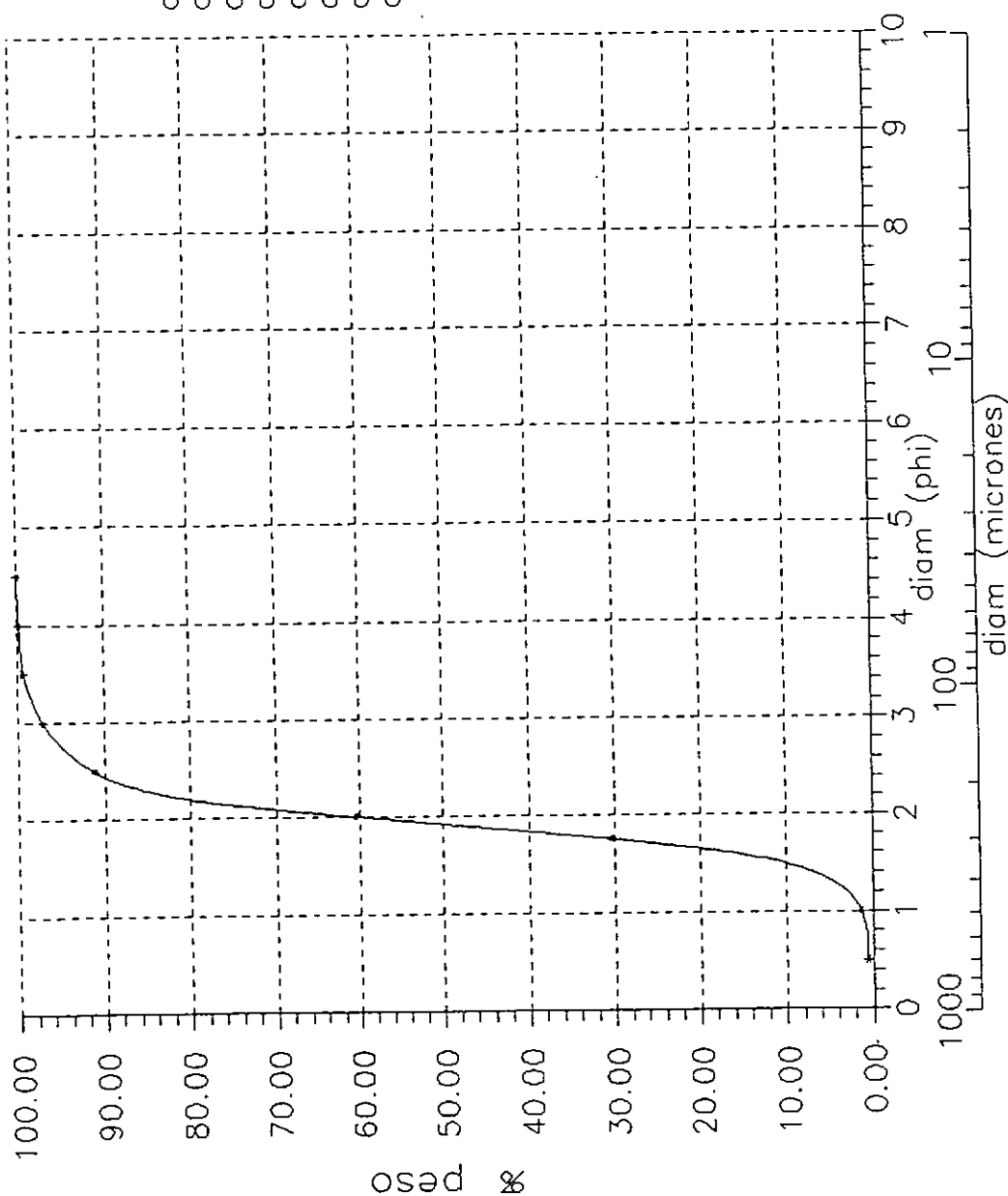


Fig. 1.5.25

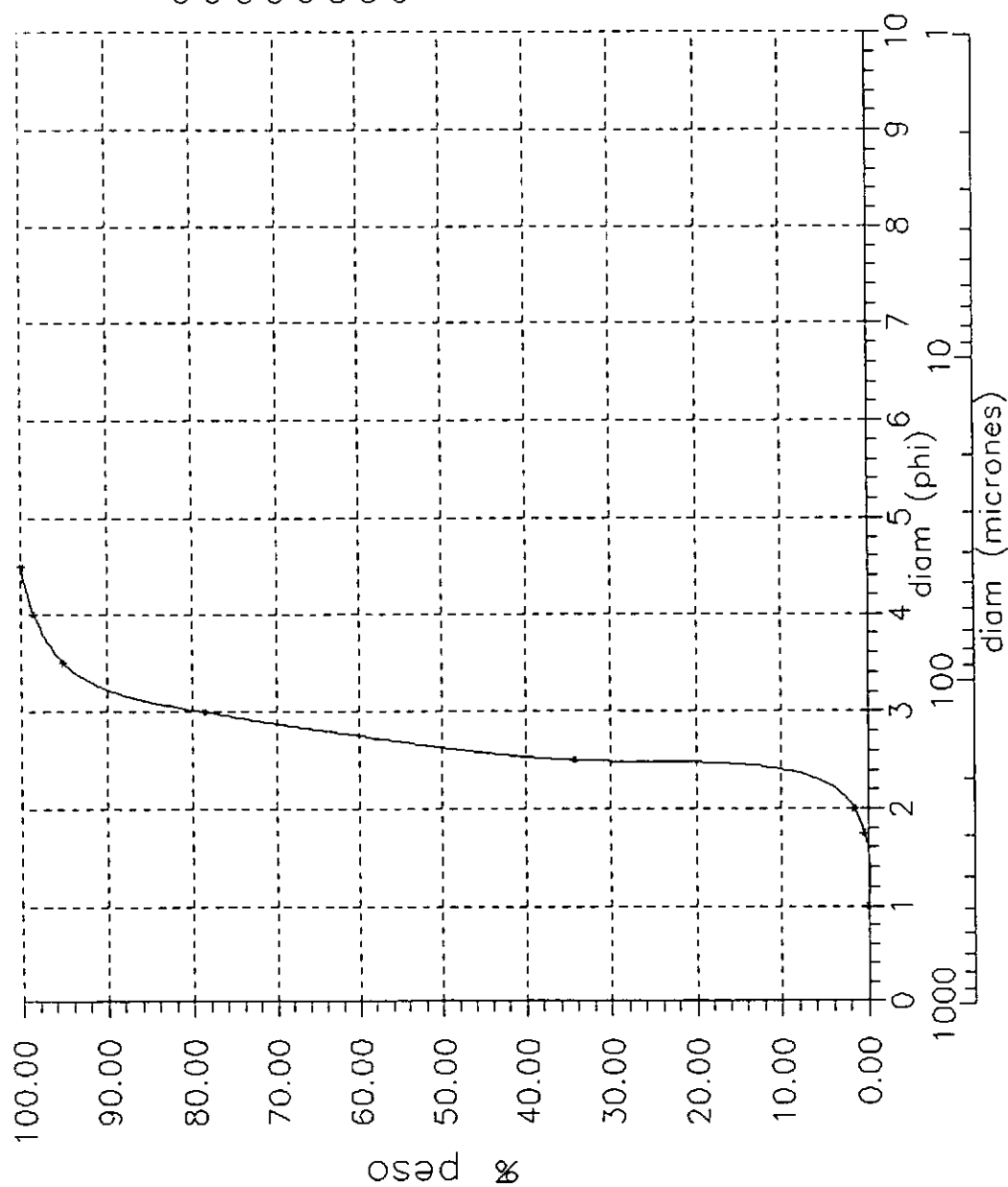
# CANAL DE ACCESO MUESTRA F1 GRANULOMETRIA MATERIAL DEL LECHO



d16 = 0.3299 mm  
 d35 = 0.2871 mm  
 d50 = 0.2679 mm  
 d65 = 0.2500 mm  
 d84 = 0.2176 mm  
 d90 = 0.1895 mm  
 d med = 0.2679 mm  
 desv = 1.23

Fig. 1.5.26

# CANAL DE ACCESO MUESTRA F2 GRANULOMETRIA MATERIAL DEL LECHO

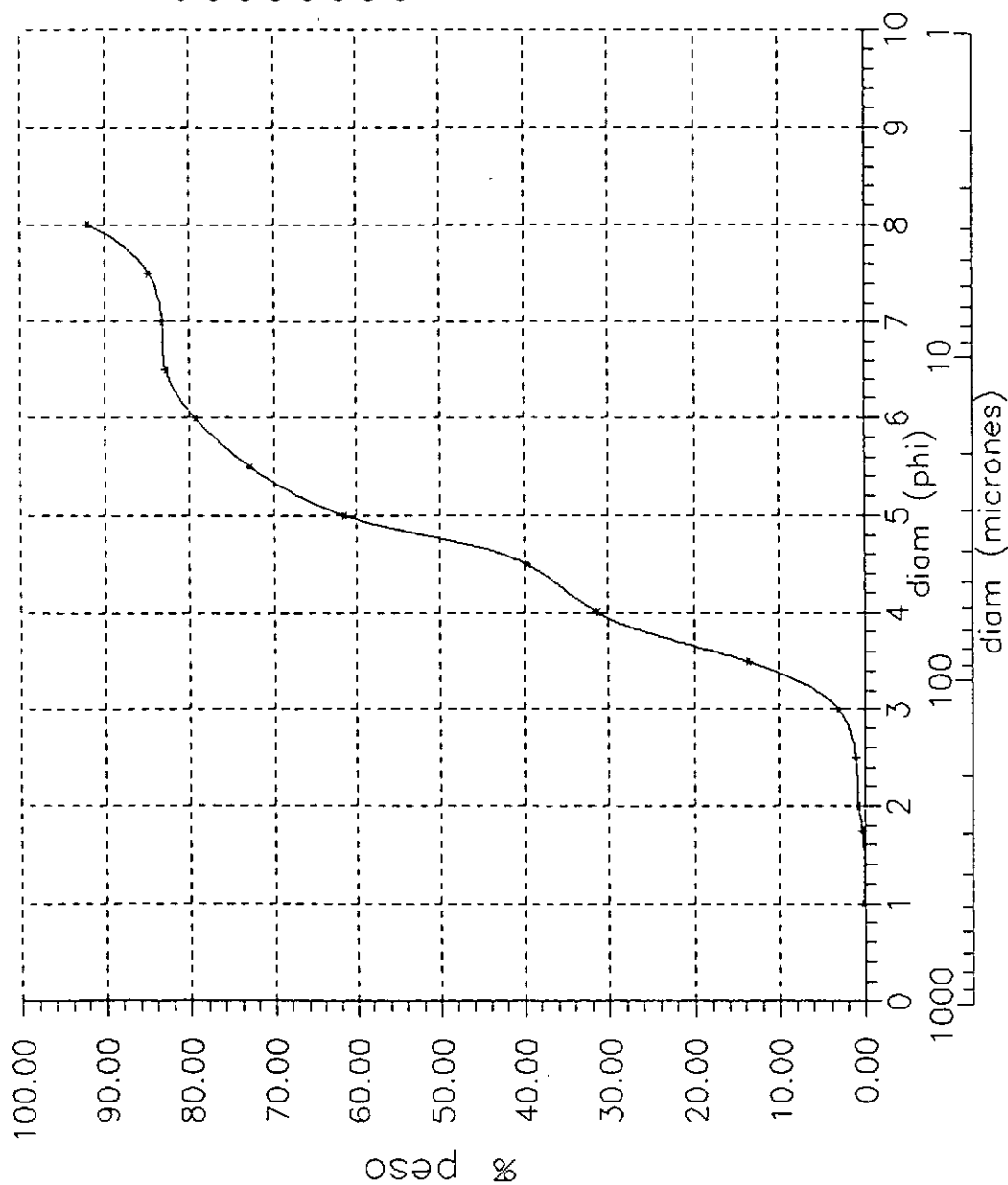


d16 = 0.1830 mm  
 d35 = 0.1768 mm  
 d50 = 0.1649 mm  
 d65 = 0.1436 mm  
 d84 = 0.1166 mm  
 d90 = 0.1088 mm  
 d med = 0.1521 mm  
 desv = 1.25

Fig. 1.5.27



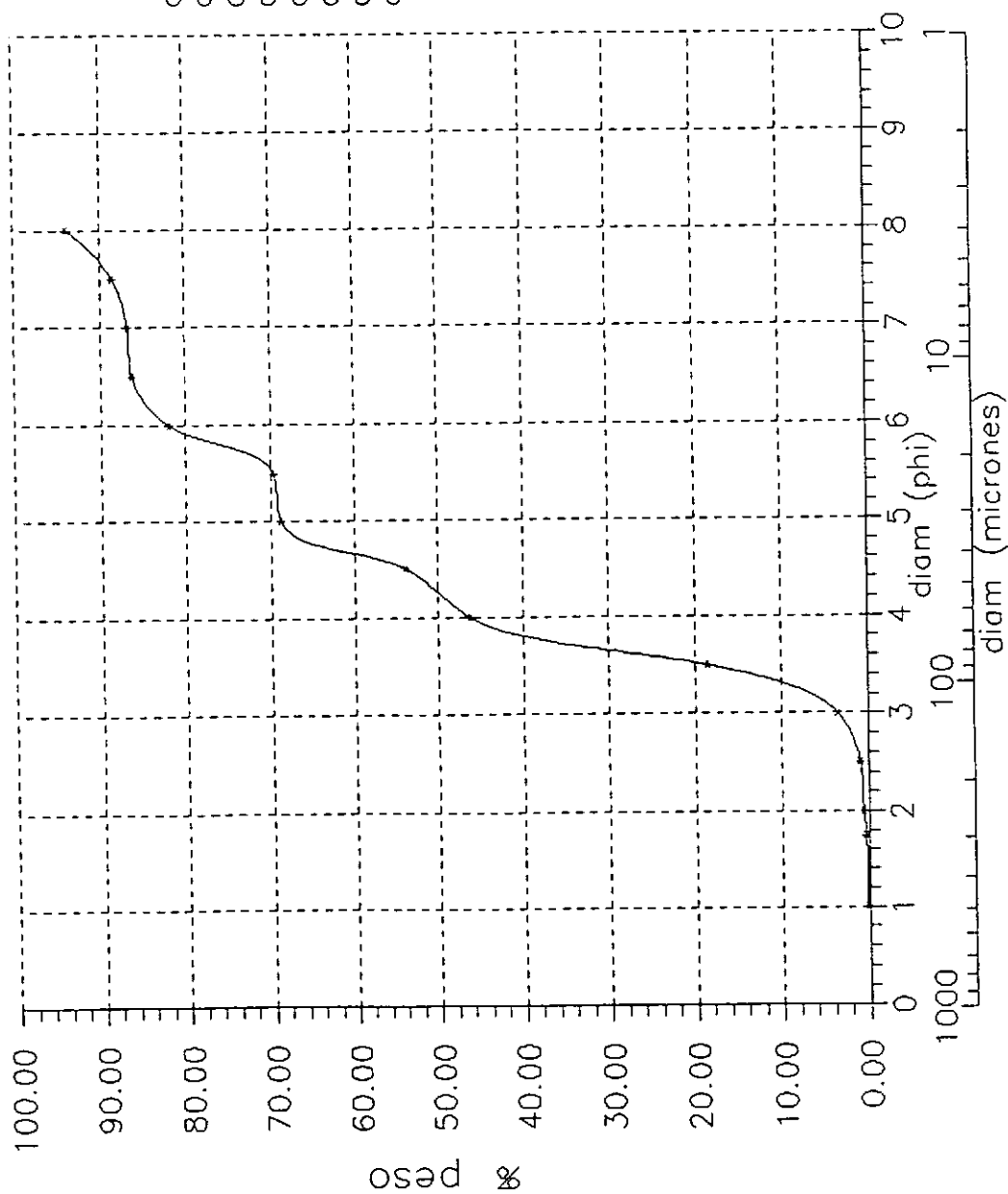
# CANAL DE ACCESO MUESTRA F3 GRANULOMETRIA MATERIAL DEL LECHO



d16 = 0.0825 mm  
 d35 = 0.0544 mm  
 d50 = 0.0385 mm  
 d65 = 0.0272 mm  
 d84 = 0.0063 mm  
 d90 = 0.0042 mm  
 d med = 0.027 mm  
 desv = 3.62

Fig. 1.5.28

# CANAL DE ACCESO MUESTRA F4 GRANULOMETRIA MATERIAL DEL LECHO



d16 = 0.0947 mm  
 d35 = 0.0769 mm  
 d50 = 0.0508 mm  
 d65 = 0.0385 mm  
 d84 = 0.0136 mm  
 d90 = 0.0048 mm  
 d med = 0.0403 mm  
 desv = 2.64

Fig. 1.5.29

# CANAL DE ACCESO MUESTRA F5 GRANULOMETRIA MATERIAL DEL LECHO

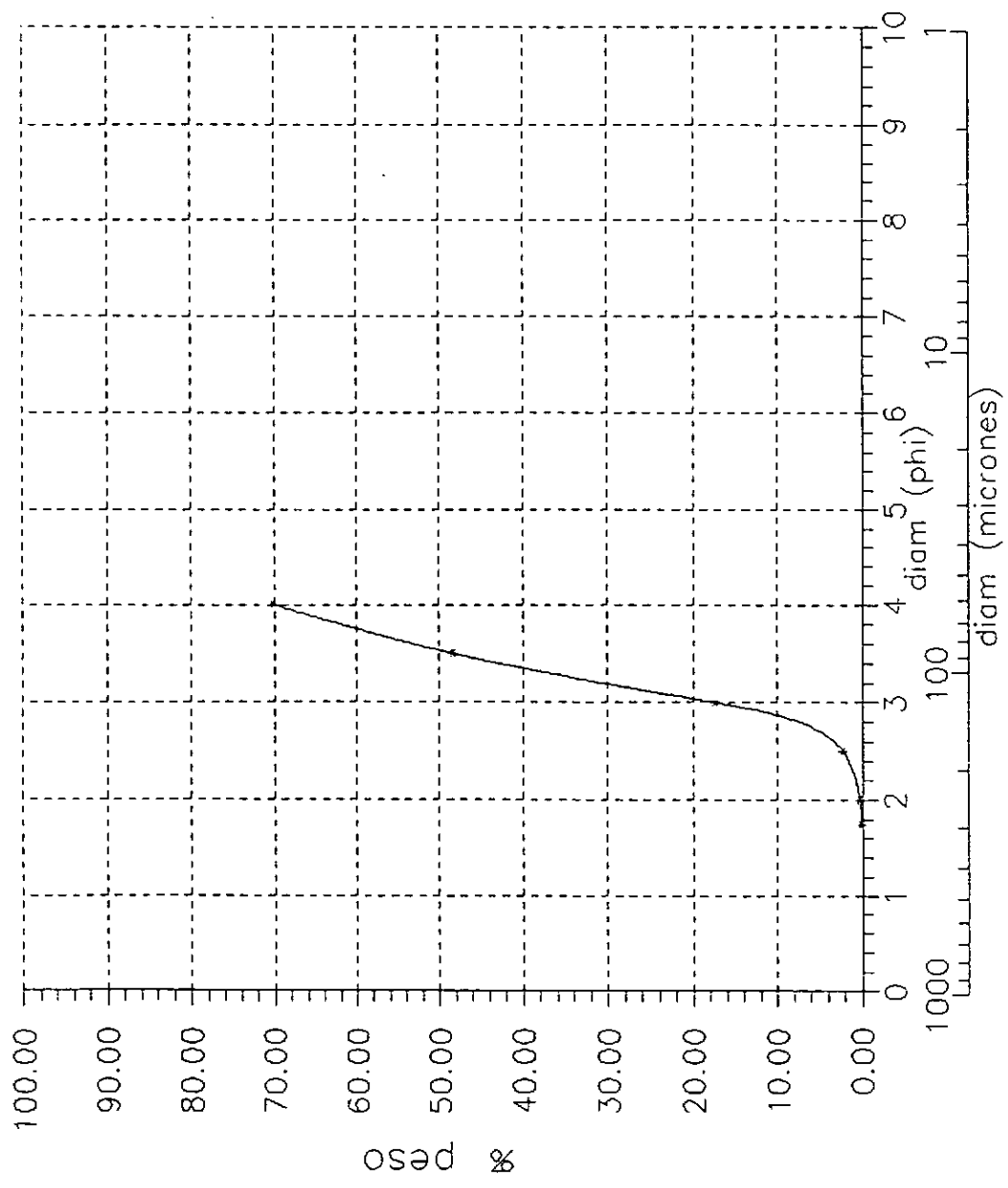
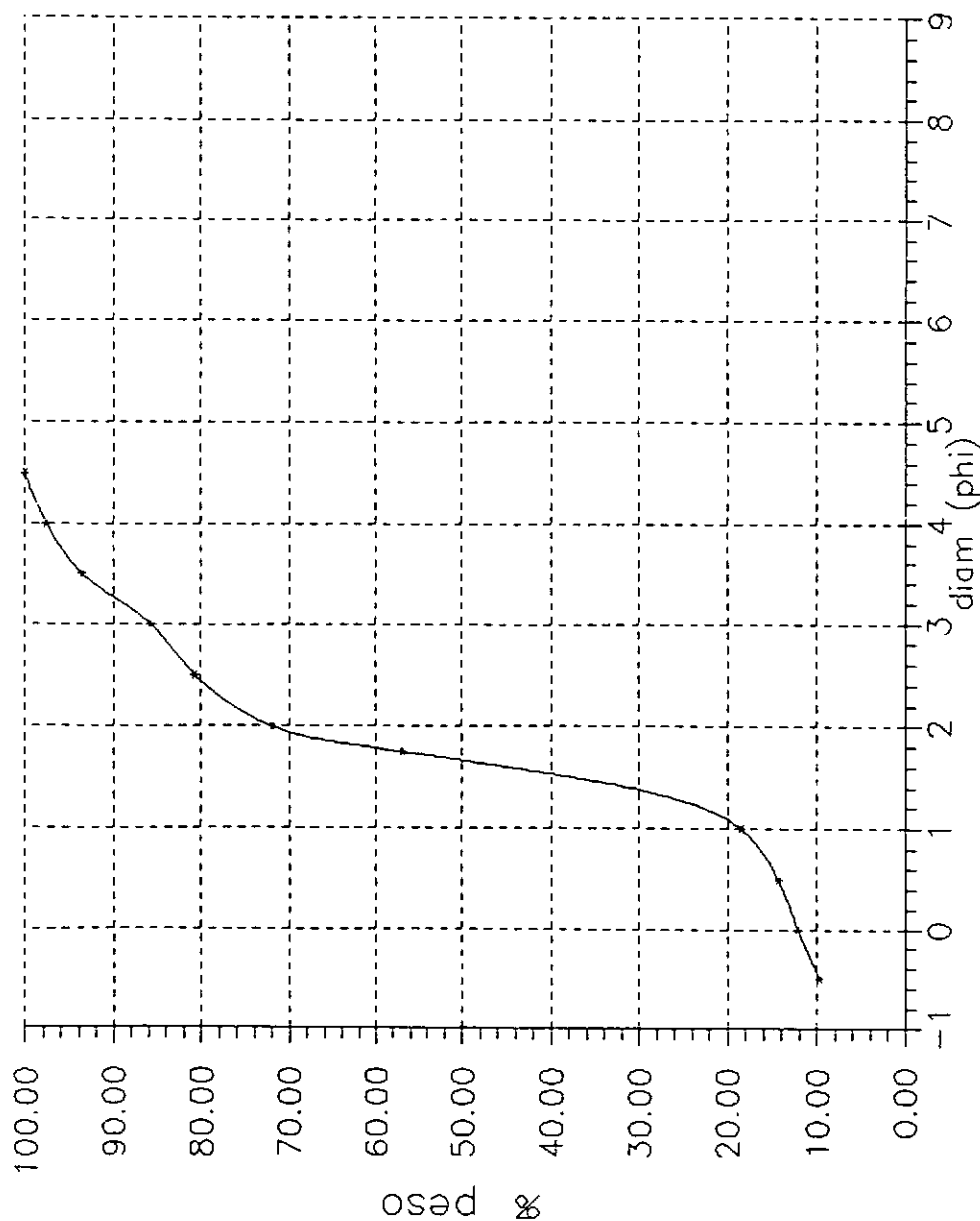


Fig. 1.5.30

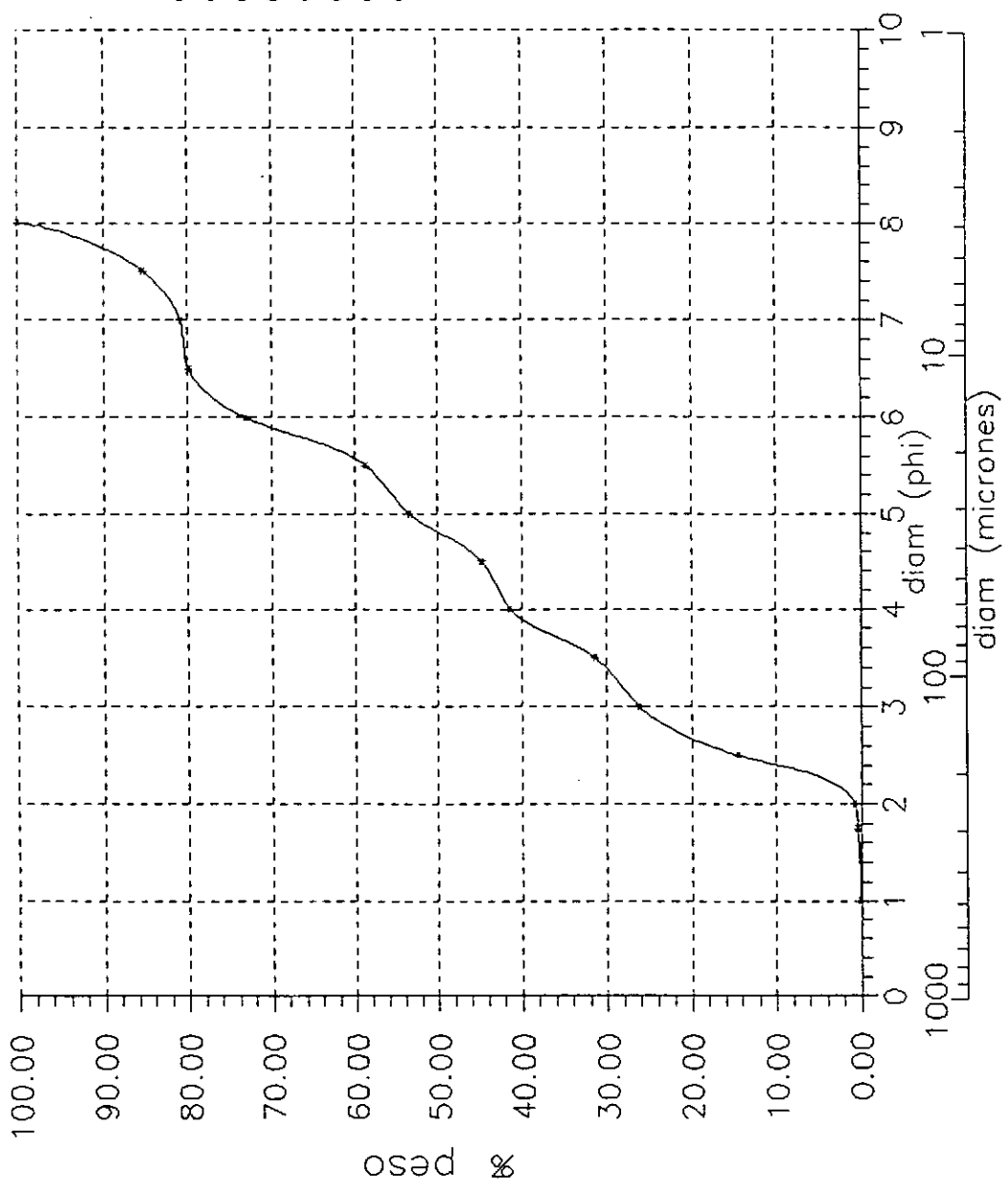
# CANAL DE ACCESO MUESTRA F6 GRANULOMETRIA MATERIAL DEL LECHO



d16 = 0.5743 mm  
 d35 = 0.3535 mm  
 d50 = 0.3078 mm  
 d65 = 0.2871 mm  
 d84 = 0.1436 mm  
 d90 = 0.1015 mm  
 d med = 0.2939 mm  
 desv = 1.99

Fig. 1.5.31

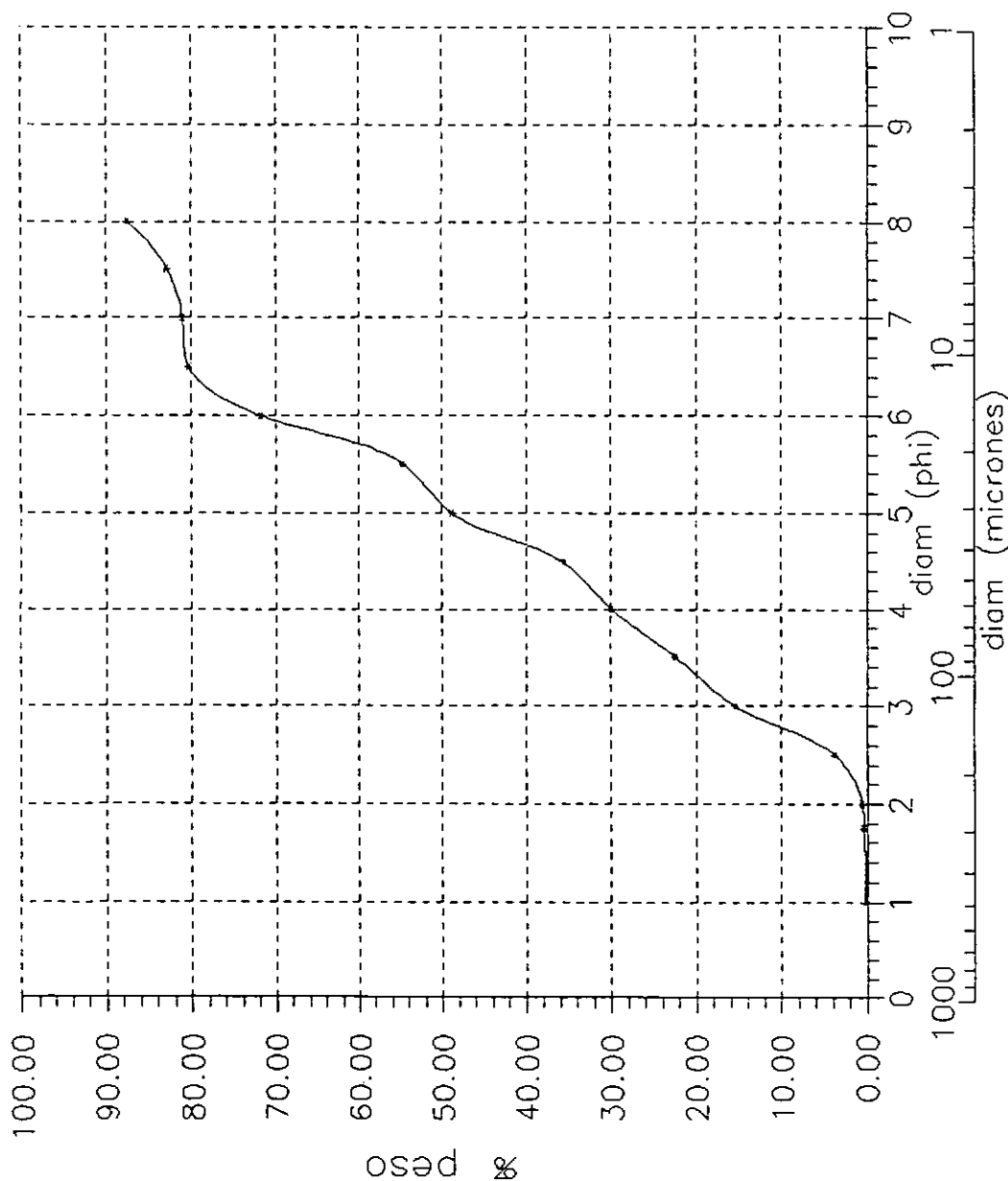
# CANAL DE ACCESO MUESTRA F7 GRANULOMETRIA MATERIAL DEL LECHO



d16 = 0.1768 mm  
 d35 = 0.0769 mm  
 d50 = 0.0358 mm  
 d65 = 0.0179 mm  
 d84 = 0.0059 mm  
 d90 = 0.0048 mm  
 d med = 0.033 mm  
 desv = 5.47

Fig. 1.5.32

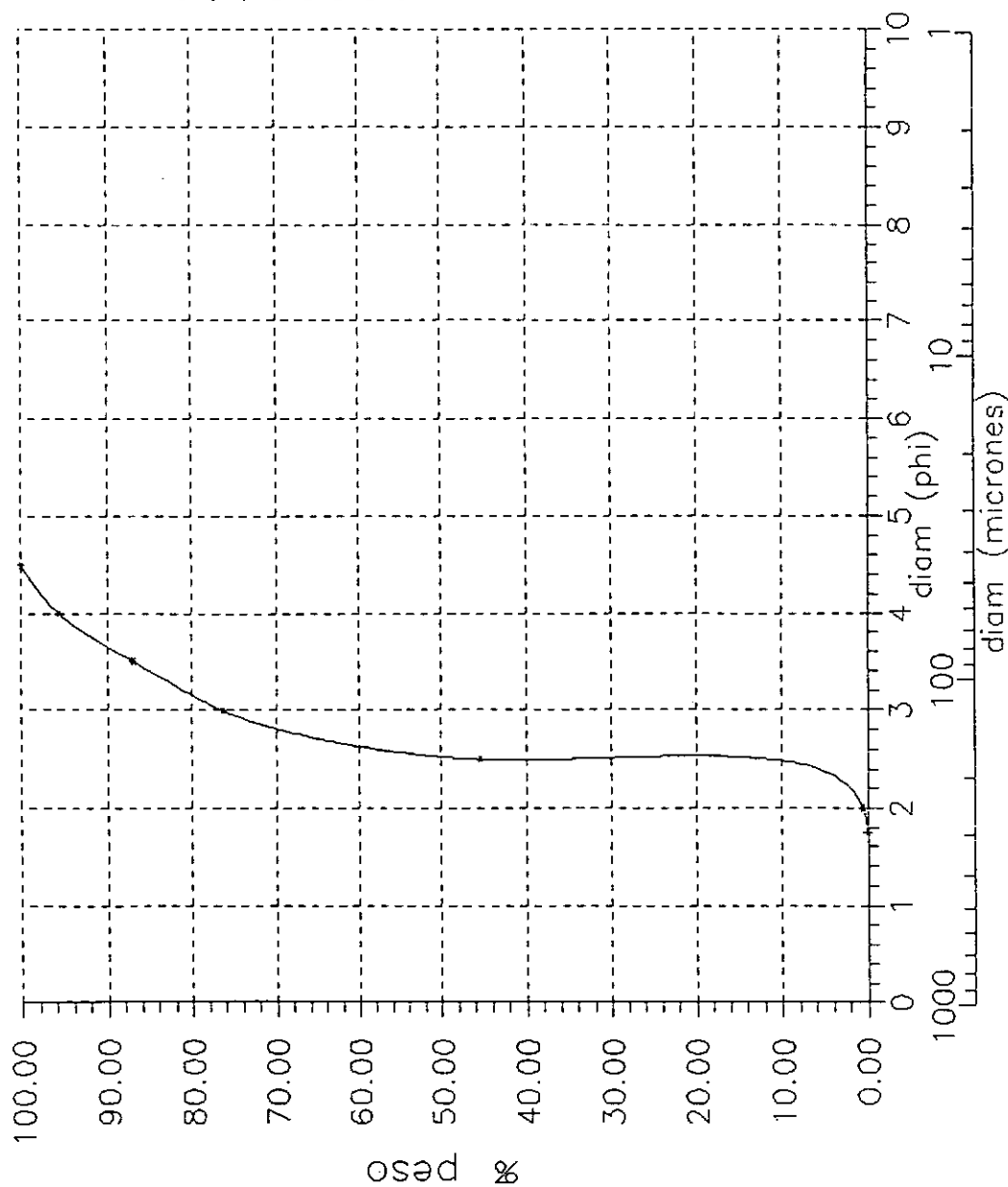
# CANAL DE ACCESO MUESTRA F8 GRANULOMETRIA MATERIAL DEL LECHO



d16 = 0.1250 mm  
 d35 = 0.0442 mm  
 d50 = 0.0312 mm  
 d65 = 0.0179 mm  
 d84 = 0.0051 mm  
 d med = 0.0271 mm  
 desv = 4.951

Fig. 1.5.33

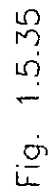
# CANAL DE ACCESO MUESTRA F9 GRANULOMETRIA MATERIAL DEL LECHO



d16 = 0.1768 mm  
 d35 = 0.1707 mm  
 d50 = 0.1649 mm  
 d65 = 0.1539 mm  
 d84 = 0.1015 mm  
 d90 = 0.0769 mm  
 d med = 0.1435 mm  
 desv = 1.32

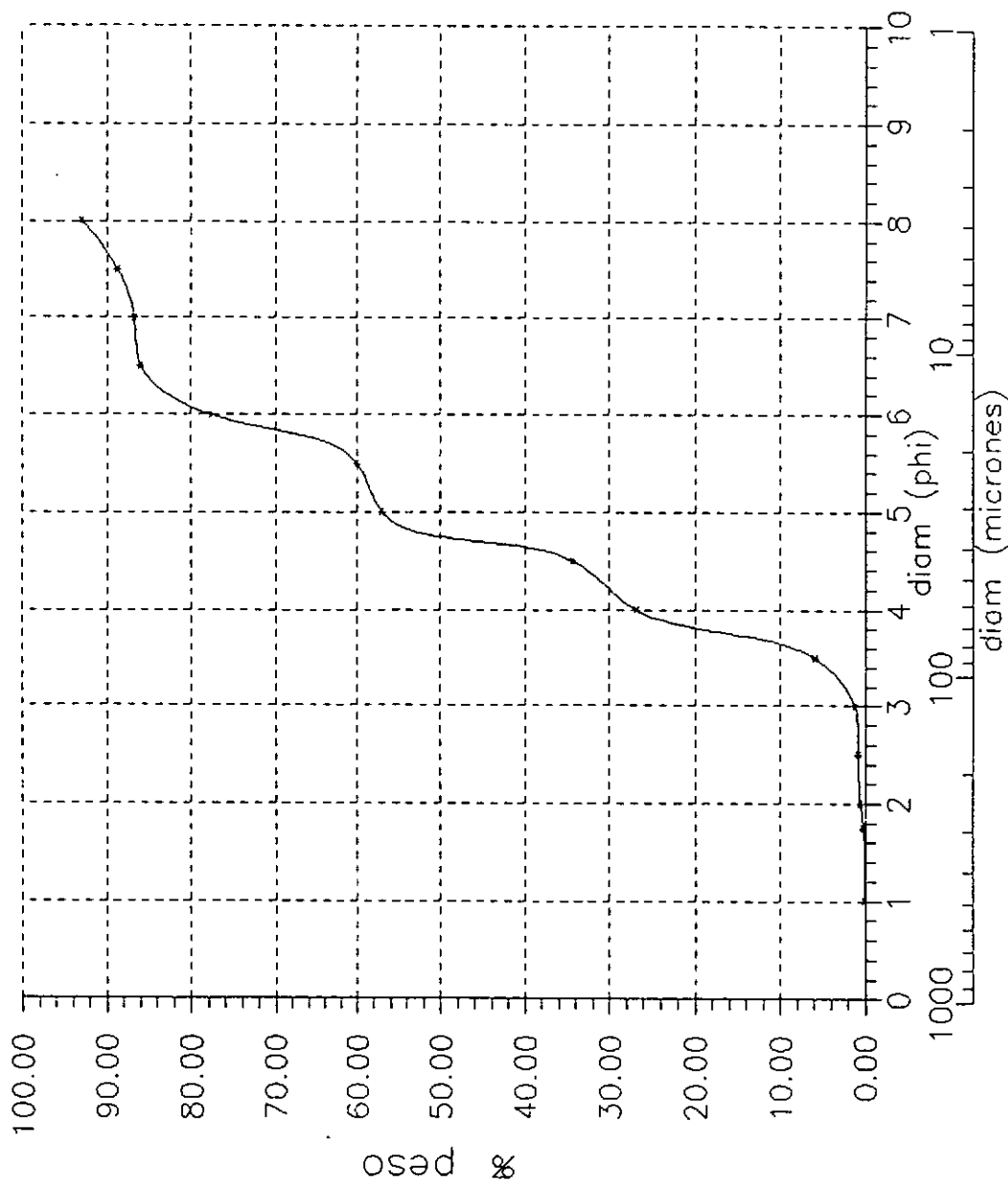
Fig. 1.5.34

d16	=0.1767	mm
d35	=0.1649	mm
d50	=0.1088	mm
d65	=0.0718	mm





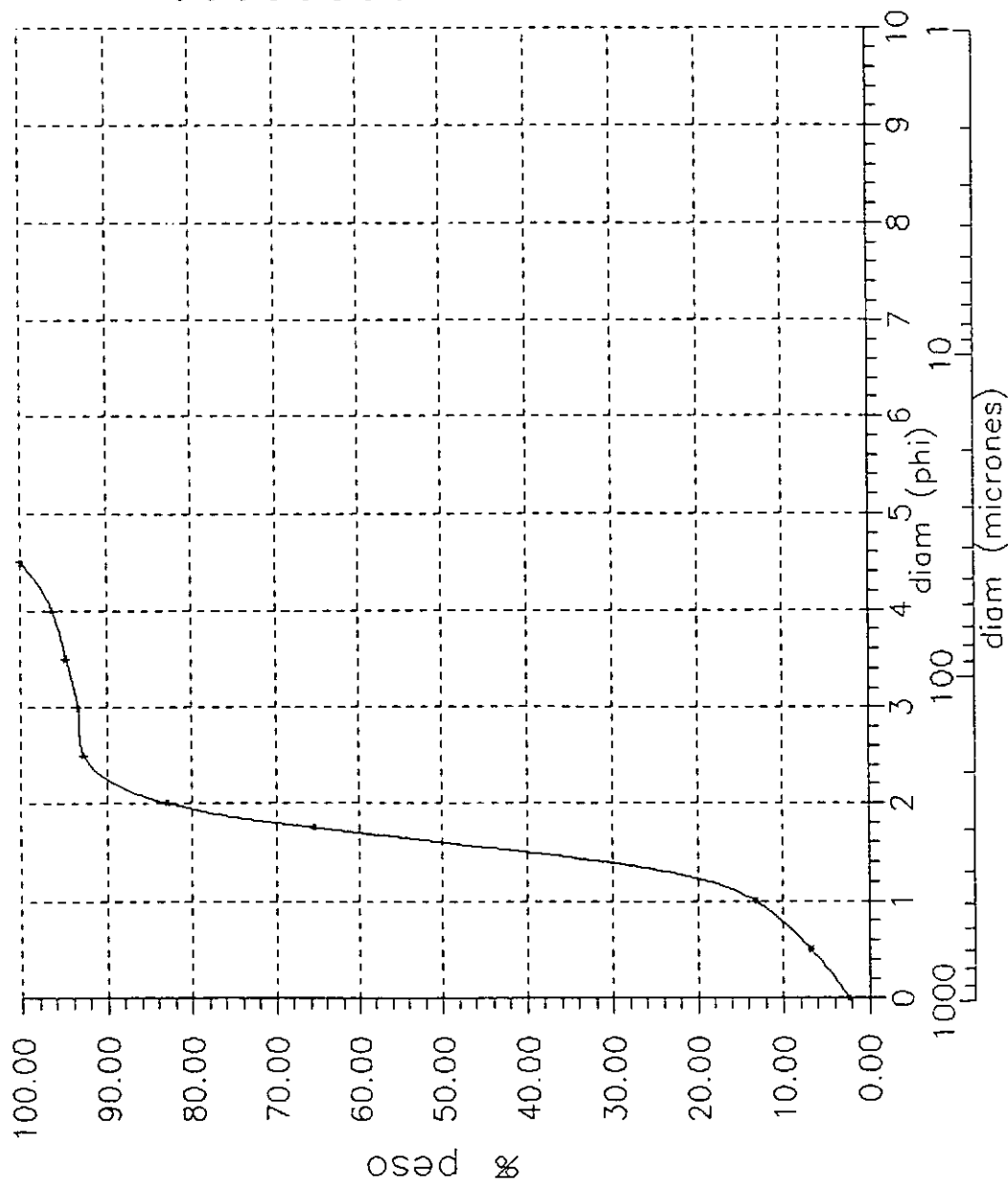
# CANAL DE ACCESO MUESTRA F11 GRANULOMETRIA MATERIAL DEL LECHO



d16 =0.0718 mm  
d35 =0.0412 mm  
d50 =0.0359 mm  
d65 =0.0179 mm  
d84 =0.0127 mm  
d90 =0.0048 mm  
d med =0.0319 mm  
desv =2.38

Fig. 1.5.36

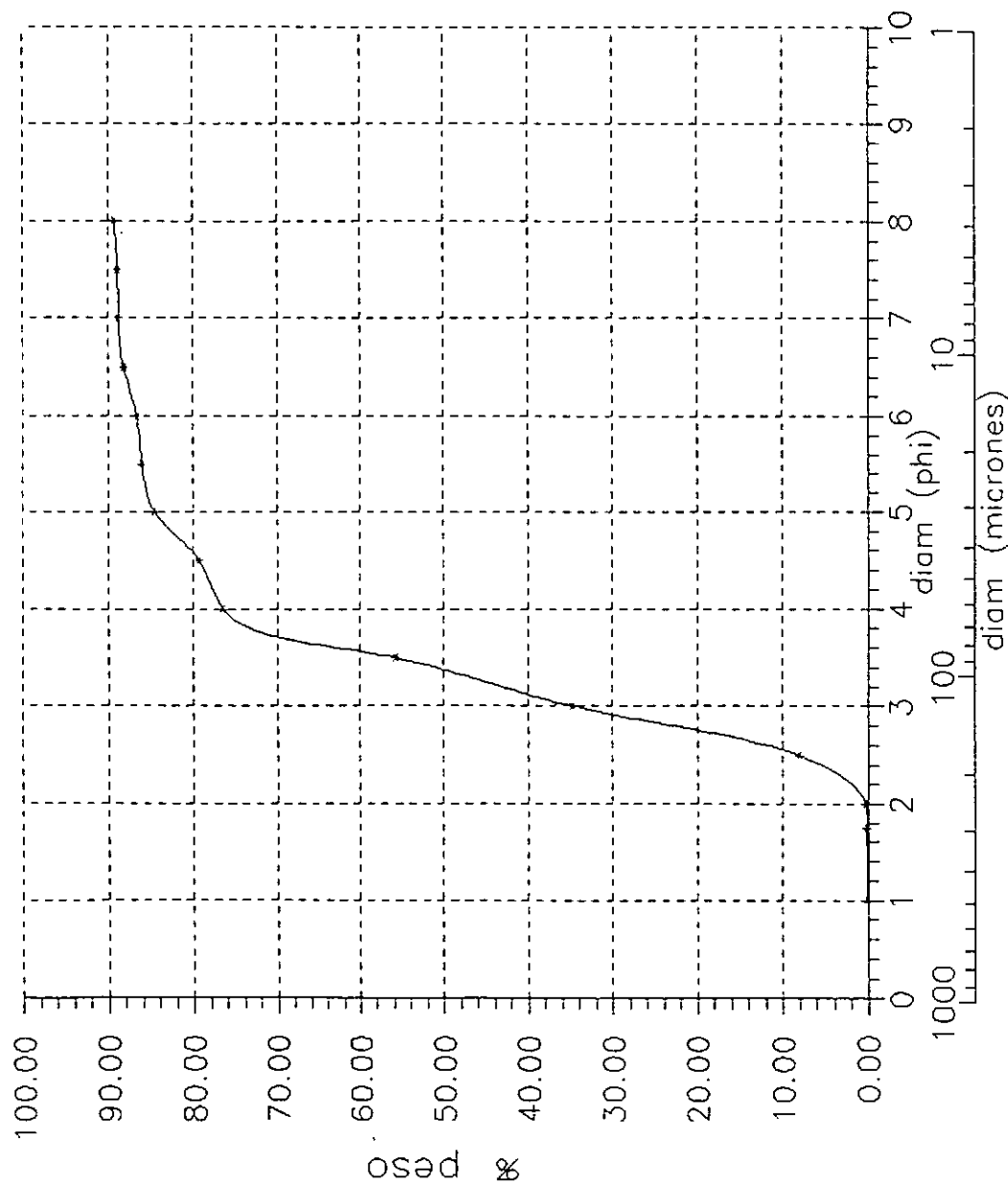
# CANAL DE ACCESO MUESTRA F12 GRANULOMETRIA MATERIAL DEL LECHO



d16 =0.4665 mm  
d35 =0.3789 mm  
d50 =0.3299 mm  
d65 =0.2872 mm  
d84 =0.2500 mm  
d90 =0.2176 mm  
d med =0.3375 mm  
desv =1.366

Fig. 1.5.37

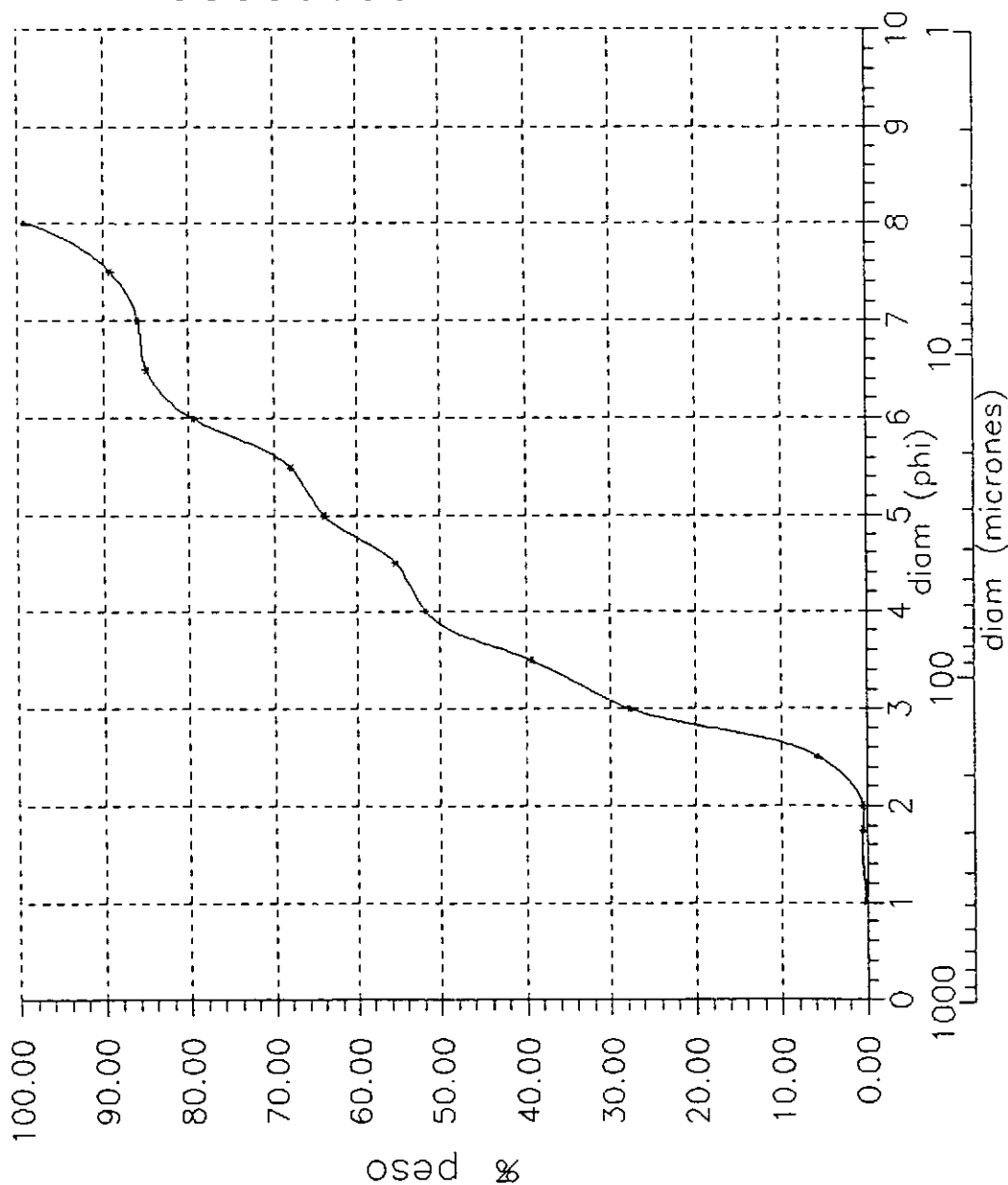
# CANAL DE ACCESO MUESTRA F13 GRANULOMETRIA MATERIAL DEL LECHO



d16 = 0.1539 mm  
 d35 = 0.1250 mm  
 d50 = 0.1015 mm  
 d65 = 0.082 mm  
 d84 = 0.0313 mm  
 d med = 0.0788 mm  
 desv = 2.217

Fig. 1.5.38

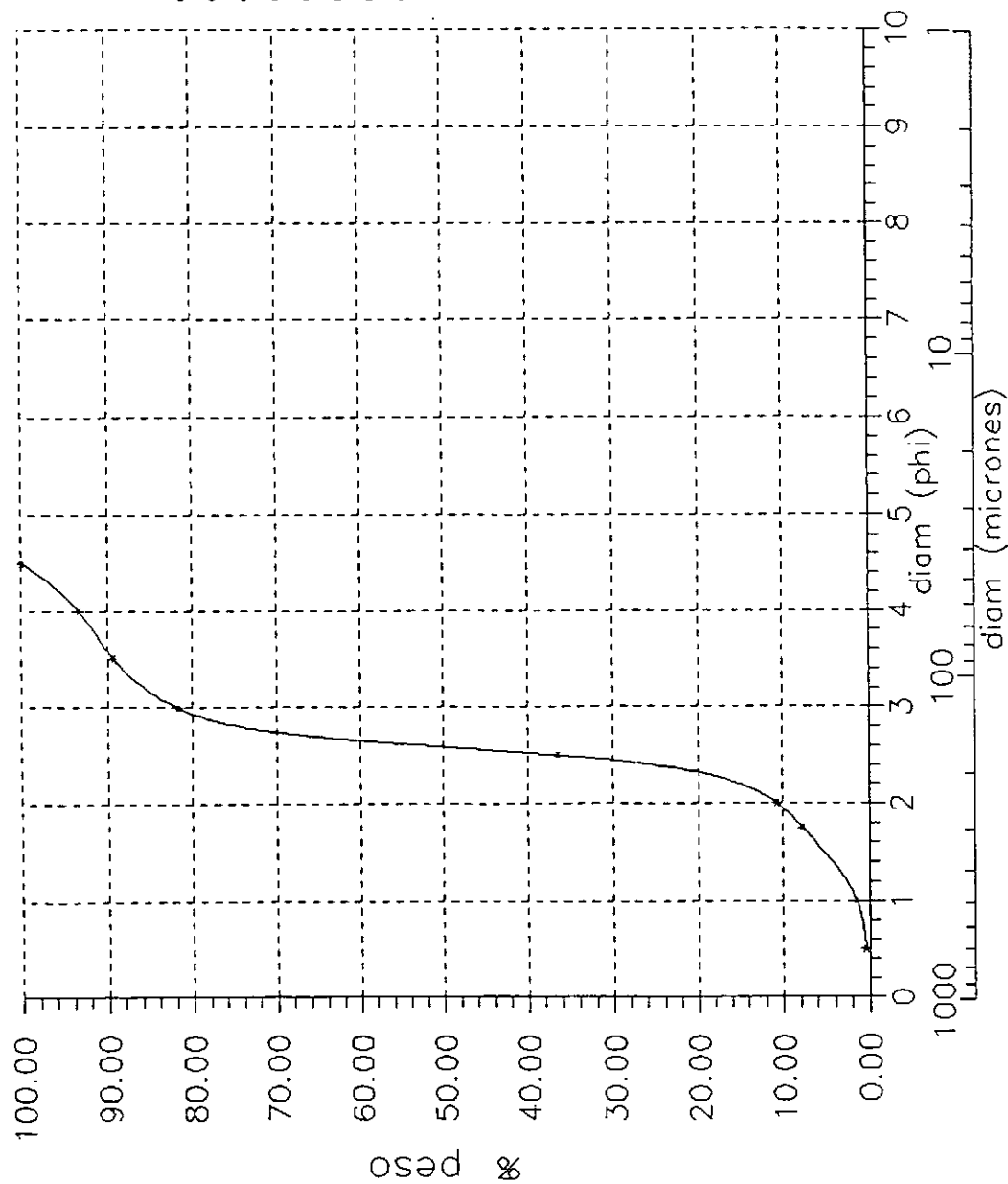
# CANAL DE ACCESO MUESTRA F14 GRANULOMETRIA MATERIAL DEL LECHO



d16 = 0.1436 mm  
d35 = 0.1015 mm  
d50 = 0.0669 mm  
d65 = 0.0291 mm  
d84 = 0.0127 mm  
d90 = 0.0051 mm  
d med = 0.0496 mm  
desv = 3.36

Fig. 1.5.39

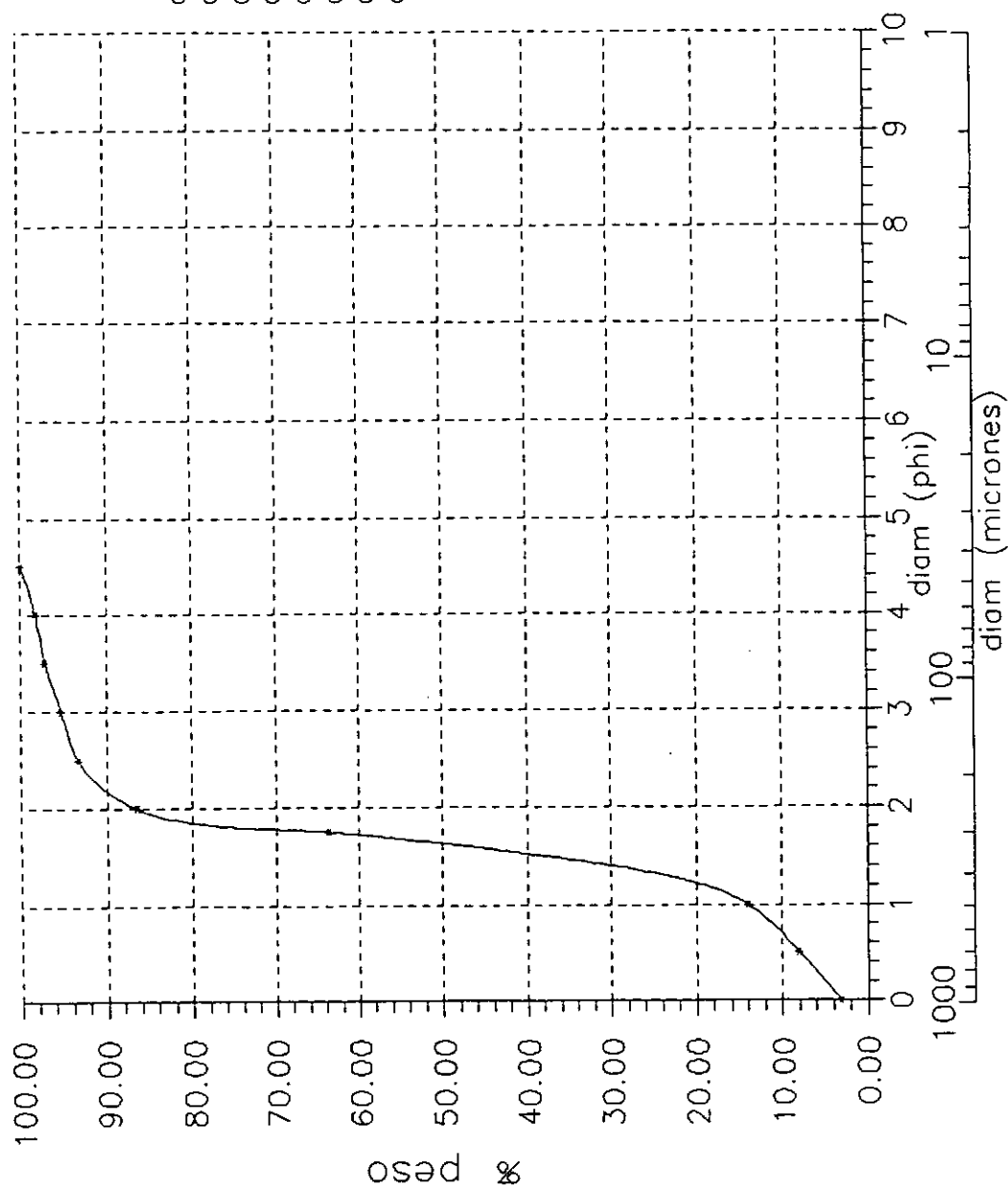
# CANAL DE ACCESO MUESTRA F15 GRANULOMETRIA MATERIAL DEL LECHO



d16 = 0.2176 mm  
d35 = 0.1768 mm  
d50 = 0.1649 mm  
d65 = 0.1539 mm  
d84 = 0.1166 mm  
d90 = 0.0825 mm  
d med = 0.1611 mm  
desv = 1.366

Fig. 1.5.40

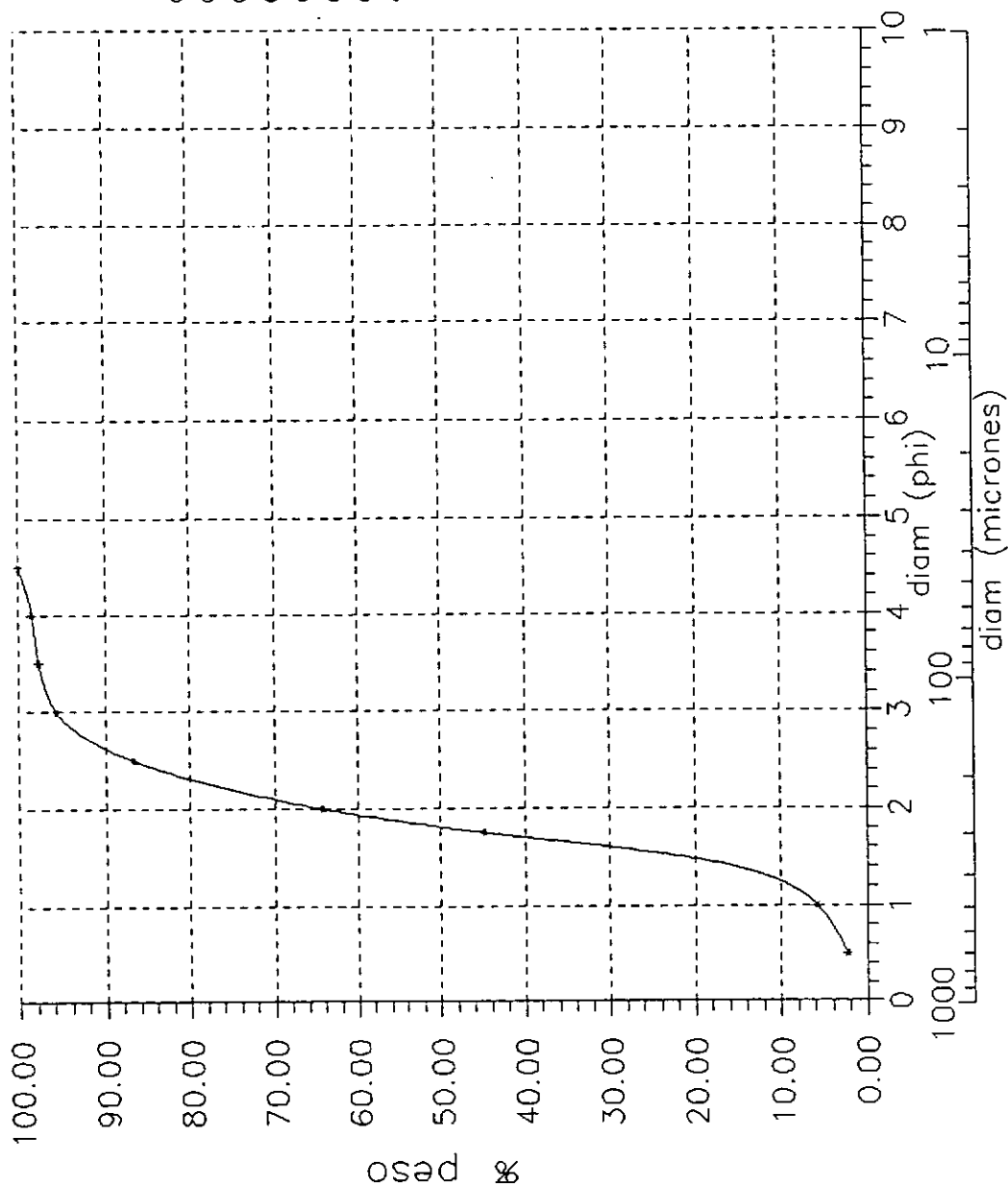
# CANAL DE ACCESO MUESTRA F16 GRANULOMETRIA MATERIAL DEL LECHO



d16 = 0.4665 mm  
d35 = 0.3789 mm  
d50 = 0.3299 mm  
d65 = 0.3078 mm  
d84 = 0.2679 mm  
d90 = 0.2176 mm  
d med = 0.3454 mm  
desv = 1.319

Fig. 1.5.41

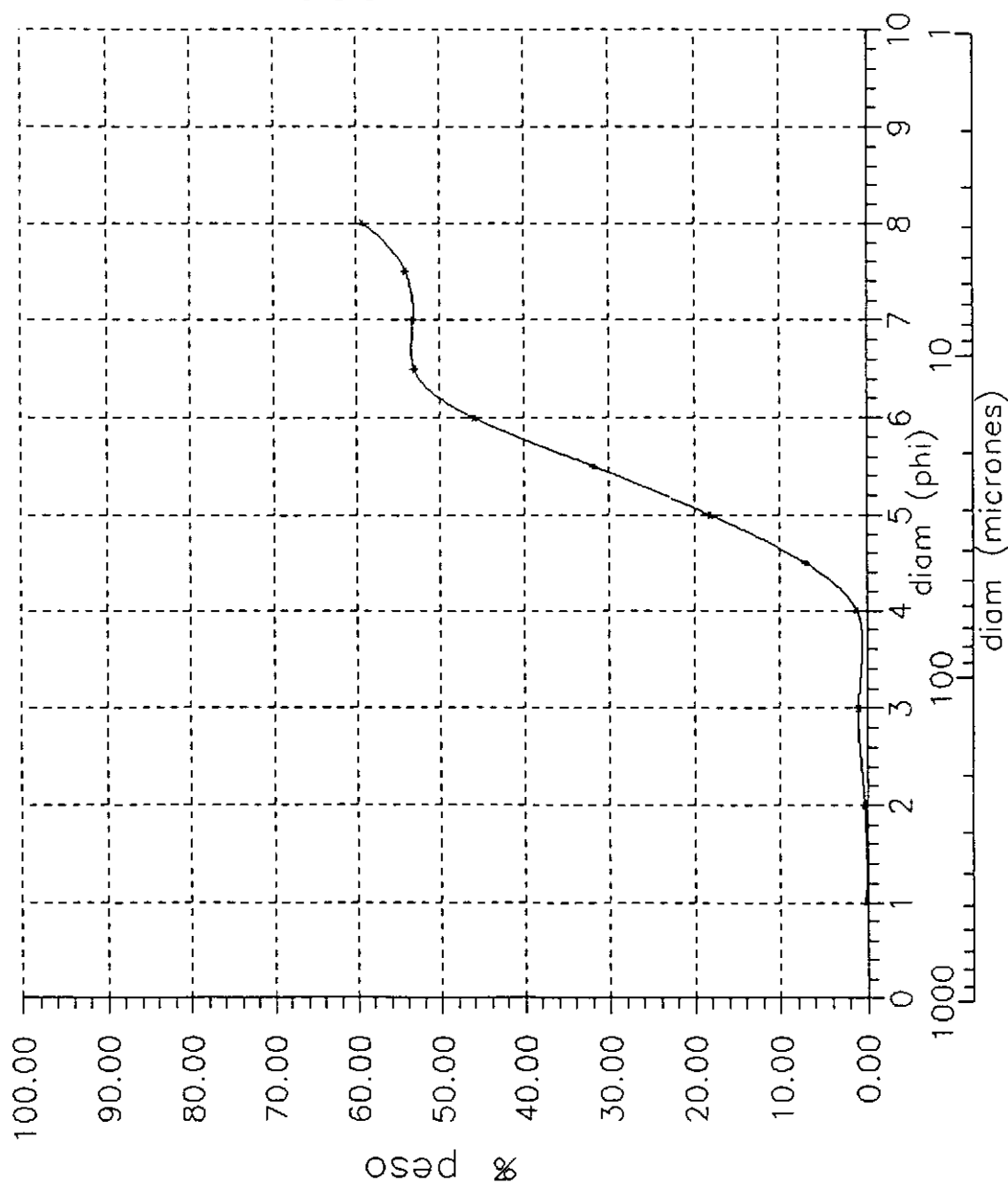
# CANAL DE ACCESO MUESTRA F17 GRANULOMETRIA MATERIAL DEL LECHO



d16 = 0.378 mm  
 d35 = 0.329 mm  
 d50 = 0.287 mm  
 d65 = 0.250 mm  
 d84 = 0.203 mm  
 d90 = 0.165 mm  
 d med = 0.280 mm  
 desv = 1.36

Fig. 1.5.42

# TRAMO EXTERIOR GRANULOMETRIA MATERIAL EN SUSPENSION



d16 = 0.0319 mm  
d35 = 0.0206 mm  
d50 = 0.0136 mm

Fig. 1.5.43



# CANAL DE ACCESO GRANULOMETRIA MATERIAL EN SUSPENSION

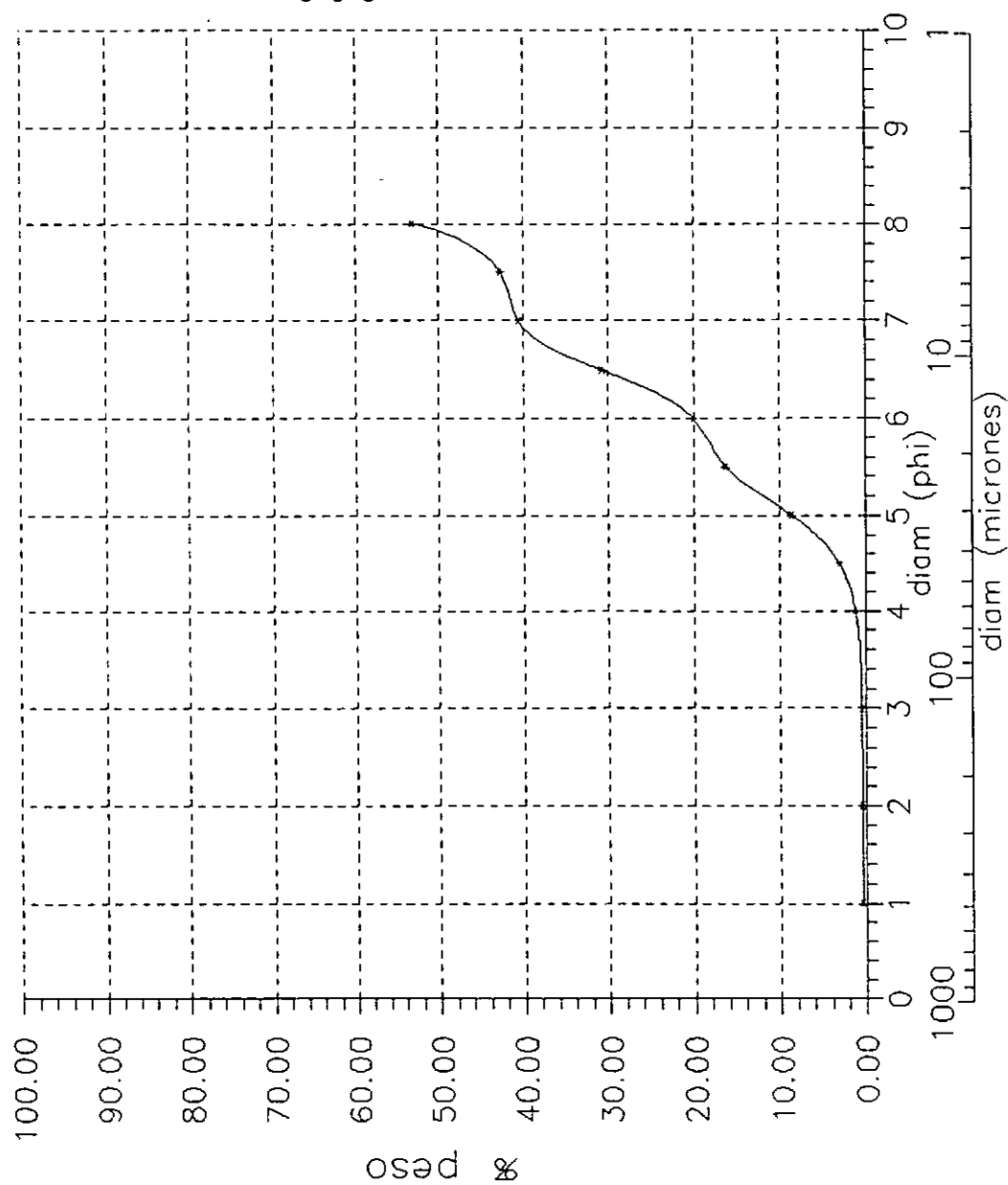


Fig. 1.5.44

# CURVA DE DIST. DE CAUDALES Y AREAS Río Colastiné - Sección 1

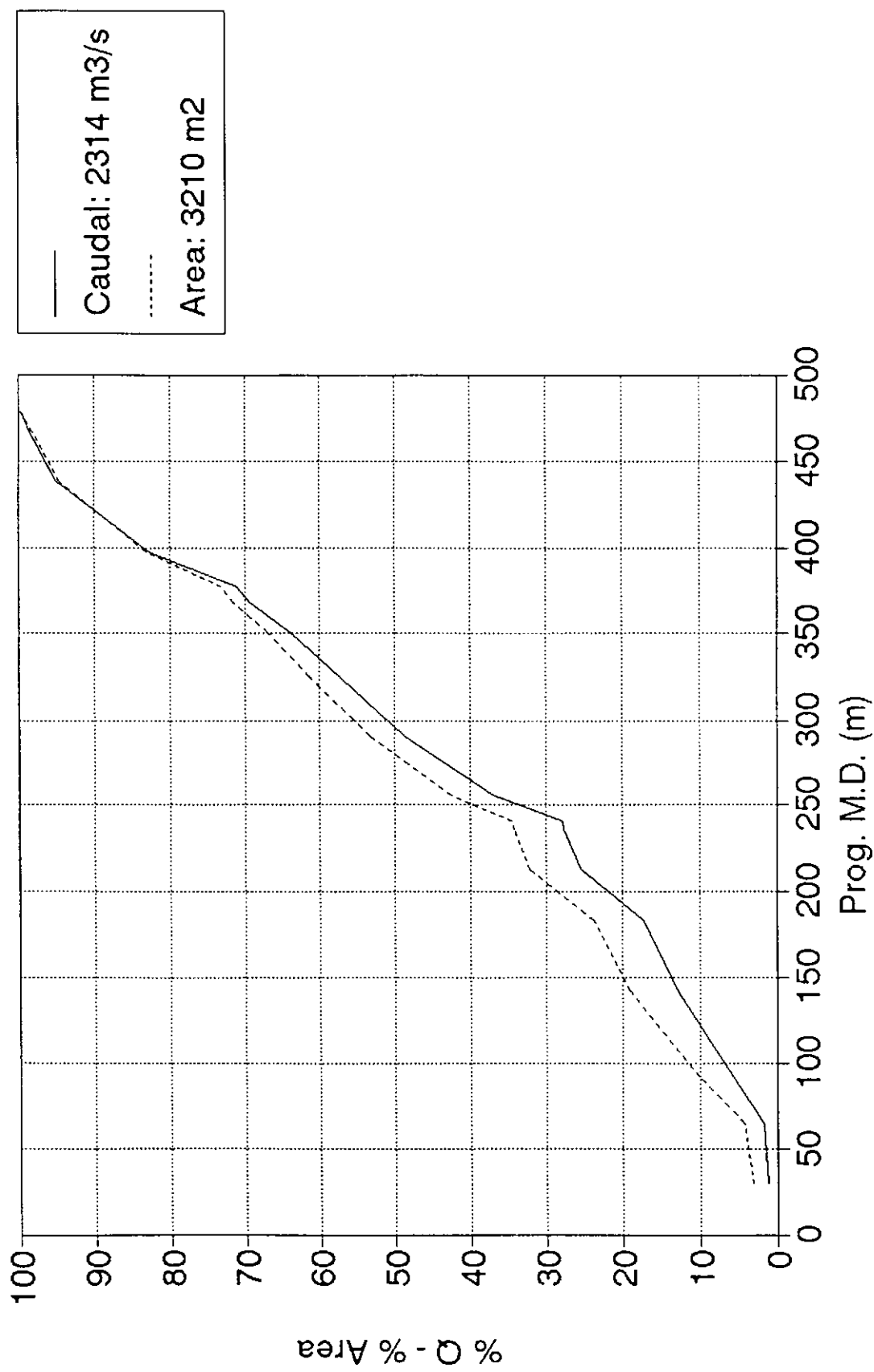


Fig. 1.5.45

# CURVA DE DIST. DE CAUDALES Y AREAS Río Colastiné - Sección 2

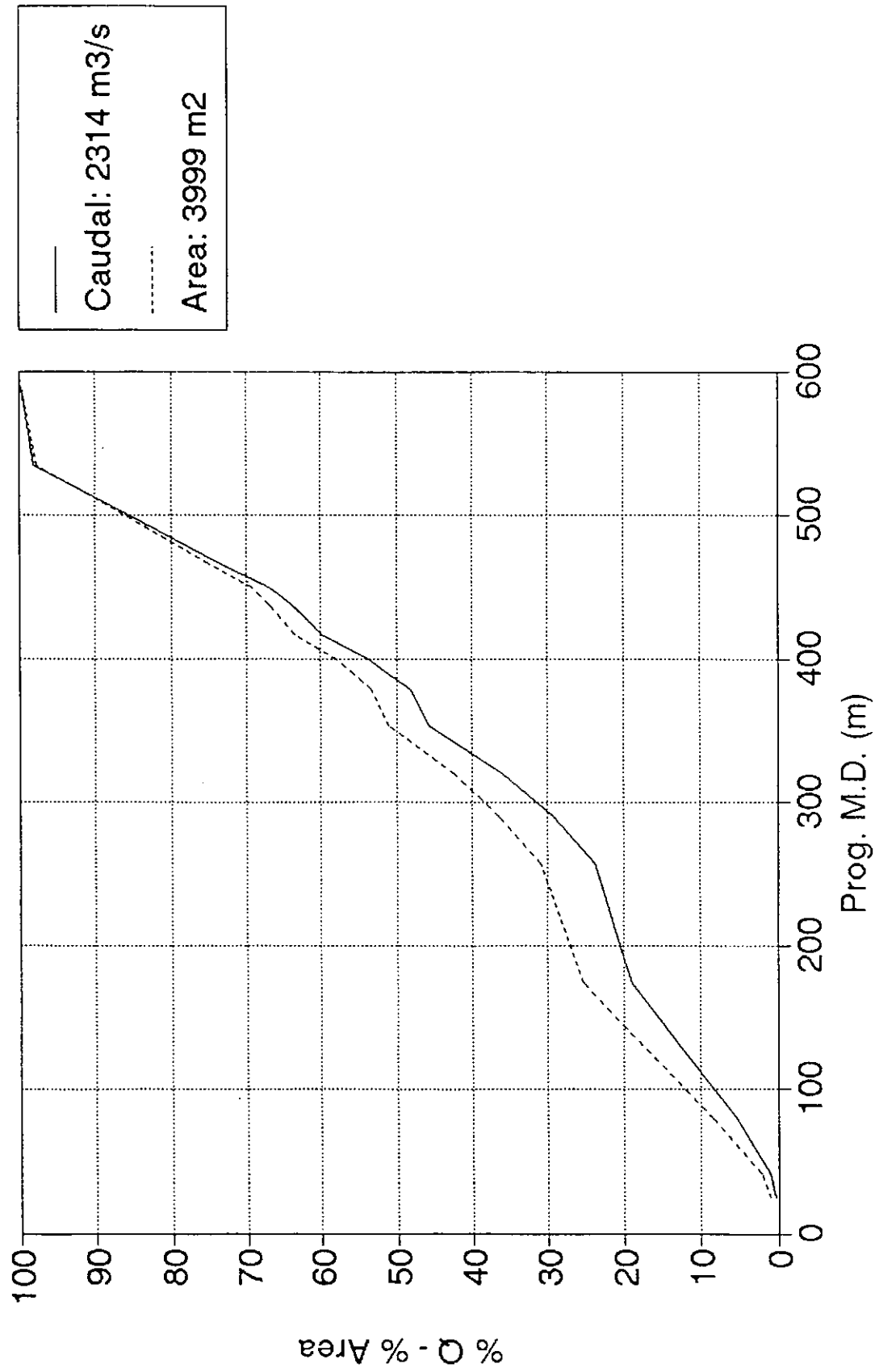


Fig. 1.5.46

# CURVA DE DIST. DE CAUDALES Y AREAS Río Colastiné - Sección 3

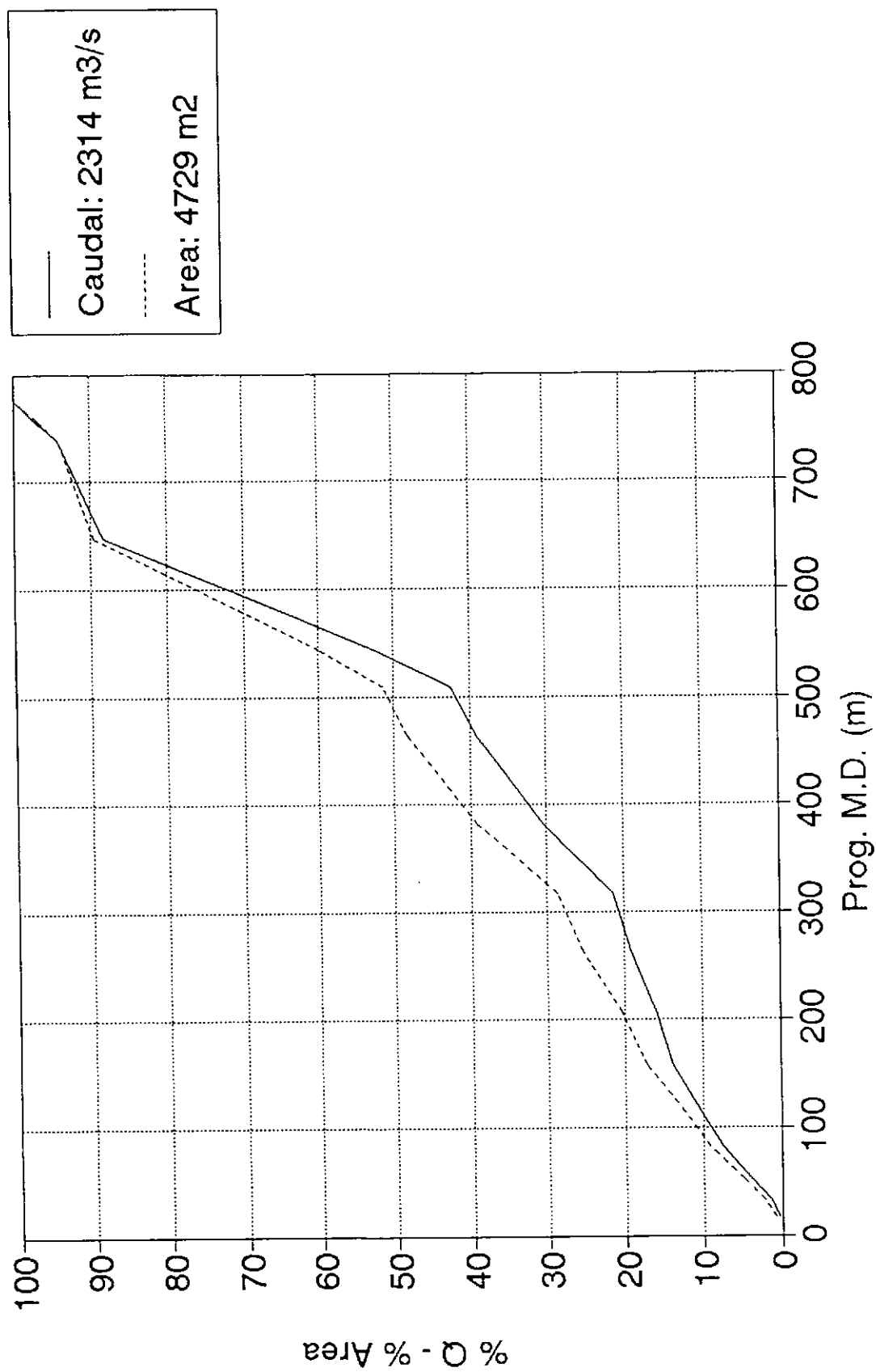


Fig. 1.5.47

# RELACION DE VOLUMENES MANTENIMIENTO vs CONSTRUCCION

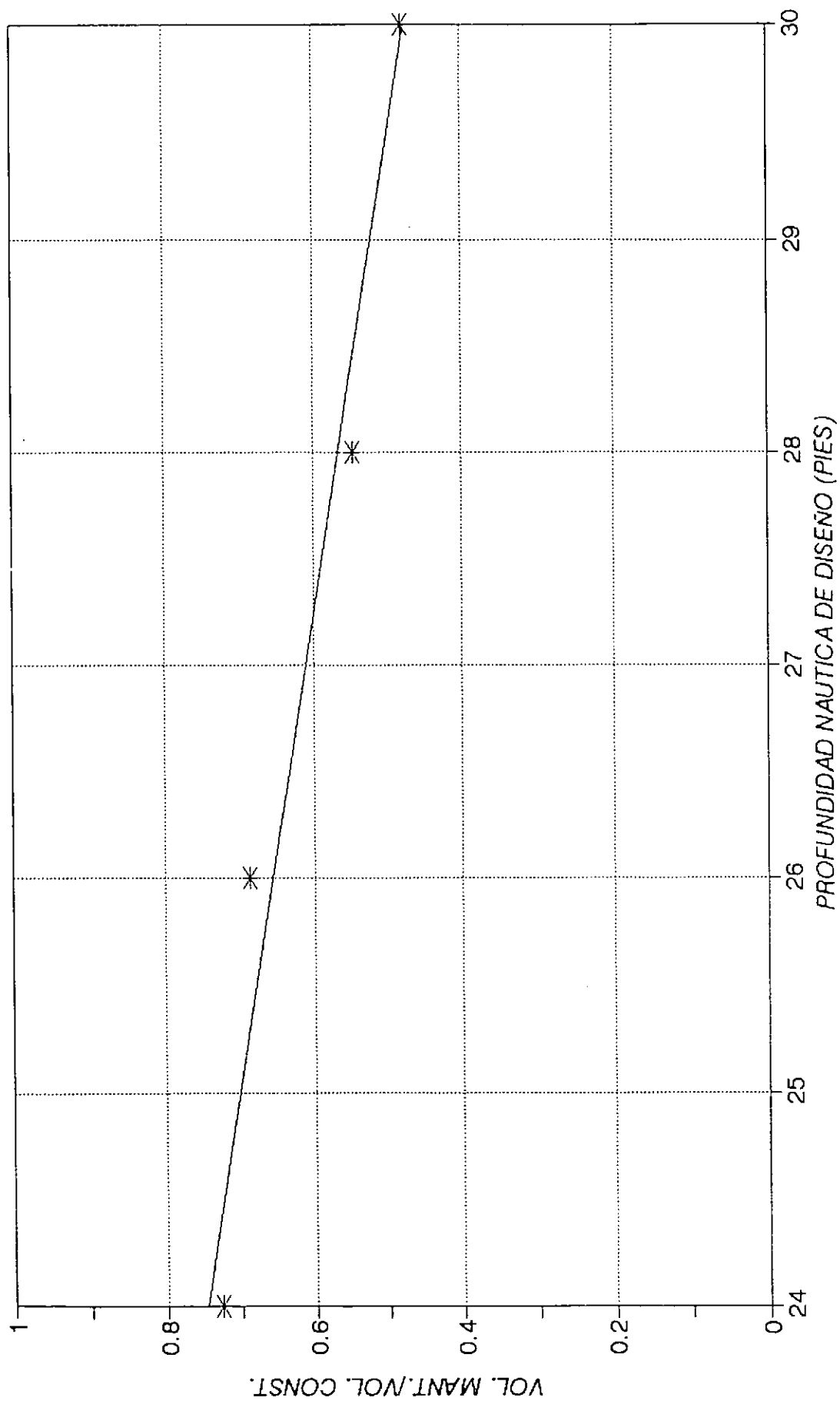


Fig. 1.5.48



Tabla 1.5.3 CANAL DE ACCESO PUERTO DE SANTA FE  
Síntesis de las mediciones efectuadas

Fecha	H Puerto de Santa Fe (m)	Estado del río	Tareas desarrolladas				
			Relev. batimet. general	Mediciones de velocidad	Muestreo de mat. fondo	Muestreo de sed.en susp.	
						Superficial	Integrado en la vertical
4/11/93	5.21	Pico	Si	Si	Si	No	No
18/11/93	4.91	Bajante	No	Si	Si	Si	Si

Tabla 1.5.4 CANAL DE ACCESO PUERTO DE SANTA FE  
Concentración de sedimento en suspensión

Muestra	Tipo	Concentracion	
		Total (g/m3)	Arena %
S1	integrada	90.2	45.6
S2	integrada	63.6	47.0
S3	superficial	28.0	-
S4	integrada	60.4	38.6
S5	integrada	56.8	20.0
S6	integrada	58.3	10.0
S7	superficial	16.0	-
S8	superficial	14.0	-
S9	integrada	46.3	28.5

Tabla 1.5.5 ESTIMACION DEL VOLUMEN DEPOSITADO - METODO DE OWEN CAMP  
CURVA GRANULOMETRICA CORRESPONDIENTE A MUESTRA 6 (Ref.6)

%	ds (mm)	Co (gr/m3)	W (cm/s)	W/U*	CD (gr/m3)
10	0.0030	30	0.0008	0.0005	0.00
30	0.0125	30	0.0110	0.0074	0.58
50	0.0300	30	0.0800	0.0540	4.28
70	0.0450	30	0.1800	0.1220	9.00
90	0.0850	30	0.0600	0.4100	24.60
CONCENTRACION DEPOSITADA TOTAL (gr/m3)					38.46

Tabla 1.5.6 ESTIMACION DEL VOLUMEN DEPOSITADO - METODO DE OWEN CAMP  
GRANULOMETRIA PROMEDIO TRAMO EXTERIOR (Ref. 6)

%	ds (mm)	Co (gr/m3)	W (cm/s)	W/U*	CD (gr/m3)
10	0.0015	30	0.0200	0.0135	1.07
30	0.0500	30	0.2200	0.1490	11.40
50	0.0780	30	0.5200	0.3500	22.80
70	0.1050	30	0.8000	0.5400	27.60
90	0.1580	30	1.5000	1.0100	30.00
CONCENTRACION DEPOSITADA TOTAL (gr/m3)					91.97



Tabla 1.5.7 ESTIMACION DEL VOLUMEN DEPOSITADO - METODO DE OWEN CAMP  
CURVA GRANULOMETRICA SEDIMENTO EN SUSPENSION

%	ds (mm)	Co (gr/m3)	W (cm/s)	W/U*	L=500 m CD (g/m3)	L=1000 m CD (g/m3)
44.0	0.0880	39.7	0.6000	0.50800	31.76	36.9
49.6	0.0412	5.05	0.1600	0.13600	1.18	2.07
60.8	0.0240	10.1	0.0500	0.04230	0.73	1.46
72.0	0.0130	10.1	0.0150	0.01270	0.22	0.44
83.2	0.0022	10.1	0.0004	0.00034	0.00	0.00
	<0.0022	15.15				
CONCENTRACION DEPOSITADA TOTAL (gr/					33.89	40.9

Tabla 1.5.8 ESTIMACION DE VOLUMENES SEDIMENTADOS - TRAMO EXTERIOR

VOLUMENES DEPOSITADOS (m3)				
METODO	TRANSP. EN SUSPENSION		TRANSP. DE FONDO	TRANSP. TOTAL CARGA ALUVIAL
	TOTAL	FRAC. AREN		
OWEN CAMP				
L= 500 m	225000	211000		
L=1000 m	272000	245000		
FORMULAS DE TRANSPORTE		226000	21000	247000
VOLUMEN TOTAL PROM. INCLUYENDO TRANSP. FONDO Y CARGA DE LAVADO: 27000				

Tabla 1.5.9 ESTIMACION DEL VOLUMEN DEPOSITADO - METODO DE OWEN CAMP  
CANAL DE ACCESO

%	ds (mm)	Co (gr/m3)	W (cm/s)	W/U*	L=1500 m CD (mg/l)	L=2000 m CD (mg/l)
20.0	0.0880	11.36	0.6000	0.81000	11.360	11.36
28.0	0.0310	4.54	0.0800	0.11000	2.500	2.04
44.0	0.0120	9.1	0.0110	0.01500	0.870	0.65
60.0	0.0040	9.1	0.0008	0.00110	0.063	0.05
	<0.004	22.72				
CONCENTRACIÓN DEPOSITADA TOTAL (gr/m3)					14.8	14.1

Tabla 1.6.1 ESTIMACION DE VELOCIDADES MEDIAS A PARTIR DE LA GEOMETRIA DE DUNAS - METODO DE VAN RIJN

Paso	Hd (m)	Ld (m)	h (m)	n=Ld/h	Hd/Ld	d50 (m)	ter (kg/m <sup>3</sup> )	d90 (m)	Vobs. (m/s)	C'	Hd/h	d50/h	T	U* <sub>c</sub> (m/s)	U* (m/s)	Vmc (m/s)
Tragadero	0.45	65.23	7.70	8.47	0.0069	0.00040	0.025	0.00070	1.14	83.582	0.058	5.19E-05	6.00	0.0157	0.0414	1.1054
Vinculación	0.61	20.60	7.20	2.86	0.0296	0.00031	0.023	0.00038	1.45	87.874	0.085	4.31E-05	6.05	0.0150	0.0399	1.1187
Ab. Diamante	0.74	90.94	7.50	12.13	0.0081	0.00029	0.021	0.00035	1.20	88.728	0.099	3.87E-05	6.08	0.0143	0.0382	1.0816
Arr. Tacuani	1.09	86.04	7.00	12.29	0.0127	0.00032	0.023	0.00050	1.38	85.467	0.156	4.57E-05	5.00	0.0150	0.0368	1.0037
Tacuani	1.05	73.17	8.10	9.03	0.0145	0.00035	0.024	0.00035	1.38	86.608	0.131	4.32E-05	6.50	0.0153	0.0420	1.1616
Ab. Tacuani	1.15	87.87	8.80	9.99	0.0131	0.00029	0.022	0.00035	1.22	89.978	0.131	3.3E-05	6.00	0.0147	0.0389	1.1163
Paranacito	0.65	41.03	7.50	5.47	0.0158	0.00025	0.020	0.00040	1.18	87.751	0.087	3.33E-05	7.13	0.0138	0.0394	1.1046
Ab. Correntoso	0.27	105.20	6.80	15.47	0.0026	0.00023	0.019	0.00030	1.25	89.234	0.040	3.38E-05	17.08	0.0135	0.0573	1.6315

Hd : Altura media de duna observada

Ld : Longitud media de duna observada

h : Profundidad media observada

d50 : Diámetro de sedimento para el cual la muestra tiene un 50% de tamaños menores

d90 : Diámetro de sedimento para el cual la muestra tiene un 90% de tamaños menores

ter : Tensión de corte crítica

Vobs: Velocidad observada

C' : Coeficiente de Chezy debido a rugosidad de grano

T : Parámetro de Van Rijn

U\*<sub>cr</sub> : Velocidad de corte crítica

U\* : Velocidad de corte debida a rugosidad de grano

Vmc : Velocidad media calculada

Tabla 1.6.2 PREDICION DE ALTURAS Y LONGITUDES DE DUNAS EN EL RIO PARANA - TRAMO SANTA FE - PTO. SAN MARTIN

Prof. náutica (Pies al 80%)	Valores calculados en metros												Valores observados	
	24	26	28	30	24	26	28	30	24	26	28	30	altura	longitud
Tragadero	0.62	0.67	0.74	0.80	61.97	67.78	77.46	86.50	0.62	0.67	0.74	0.80	0.45	55.23
Vinculación	0.83	0.70	0.76	0.80	21.80	25.29	28.12	30.30	0.83	0.70	0.76	0.80	0.81	20.60
Abajo Diamante	0.76	0.82	0.90	0.97	68.70	89.79	112.72	125.66	0.76	0.82	0.90	0.97	0.74	90.94
Arriba Tacuani	1.13	1.24	1.31	1.37	90.85	103.03	111.46	118.95	1.13	1.24	1.31	1.37	1.09	86.04
Tacuani	0.98	1.05	1.22	1.33	68.08	72.28	88.11	98.12	0.98	1.05	1.22	1.33	1.06	73.17
Abajo Tacuani	1.07	1.13	1.20	1.28	73.04	79.13	85.98	92.07	1.07	1.13	1.20	1.28	1.15	87.87
Paranacito	0.65	0.74	0.82	0.87	40.85	48.36	55.44	60.03	0.65	0.74	0.82	0.87	0.65	41.03
Abajo Correntoso	0.56	0.63	0.67	0.71	120.24	133.21	143.82	154.43	0.56	0.63	0.67	0.71	0.27	105.20

1.6.3 VOLUMEN DE MANTENIMIENTO CON DUNAS

ORDEN NO (e)	VOLUMEN MANTENIMIENTO ANUAL (m3/año)									
	TRAGADERO Km 581-583	VINCULACION Km 579-581	AB.DIAM. Km 525-527	TACUANI Km 514-515	TACUANI Km 509-512	AB.TACUANI Km 504-506	PARANACIT Km 490-492	AB.CORR. Km 472-474	OTROS PASOS	TOTAL
22	46692	201604	3614	110672	23640	7297	139682	413563	0	946764
23	77282	409332	111239	201884	102912	24058	313495	465412	301739	2007352
24	107872	617059	218864	293096	182184	40819	487308	517260	592442	3056904
25	173941	716542	323151	298871	345342	116577	652365	530421	967711	4124919
26	240010	816024	427437	304646	508500	192334	817421	543582	1310424	5160378
27	345138	893963	496177	309589	563500	283224	875602	554651	1627076	5948917
28	450266	971901	564916	314531	618500	374113	933782	565720	1867511	6661240

# PASO ABAJO CORRENTOSO VOLUMEN DE CONSTRUCCION

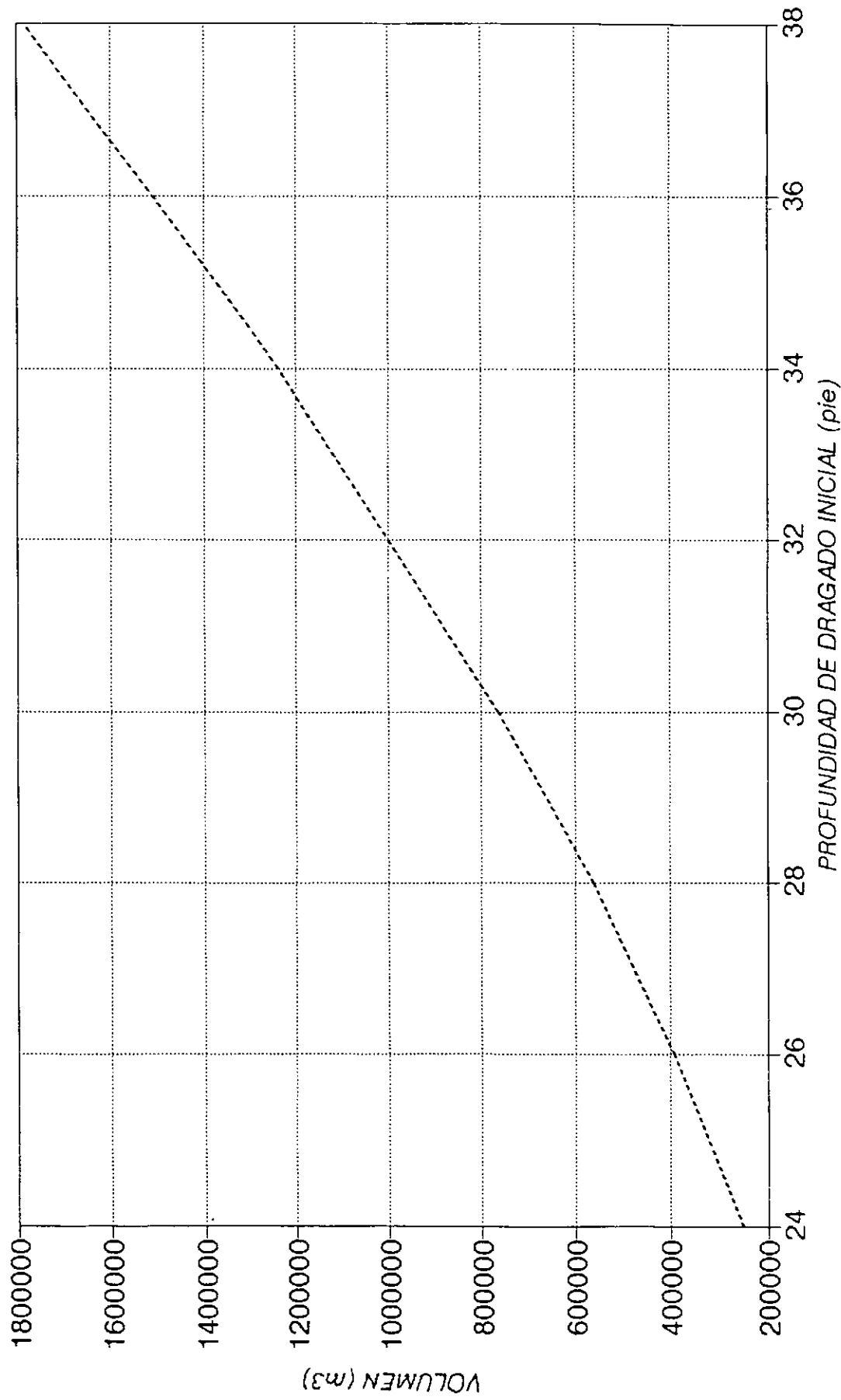


Fig. 1.7.1

PASO PARANACITO  
VOLUMEN DE CONSTRUCCION

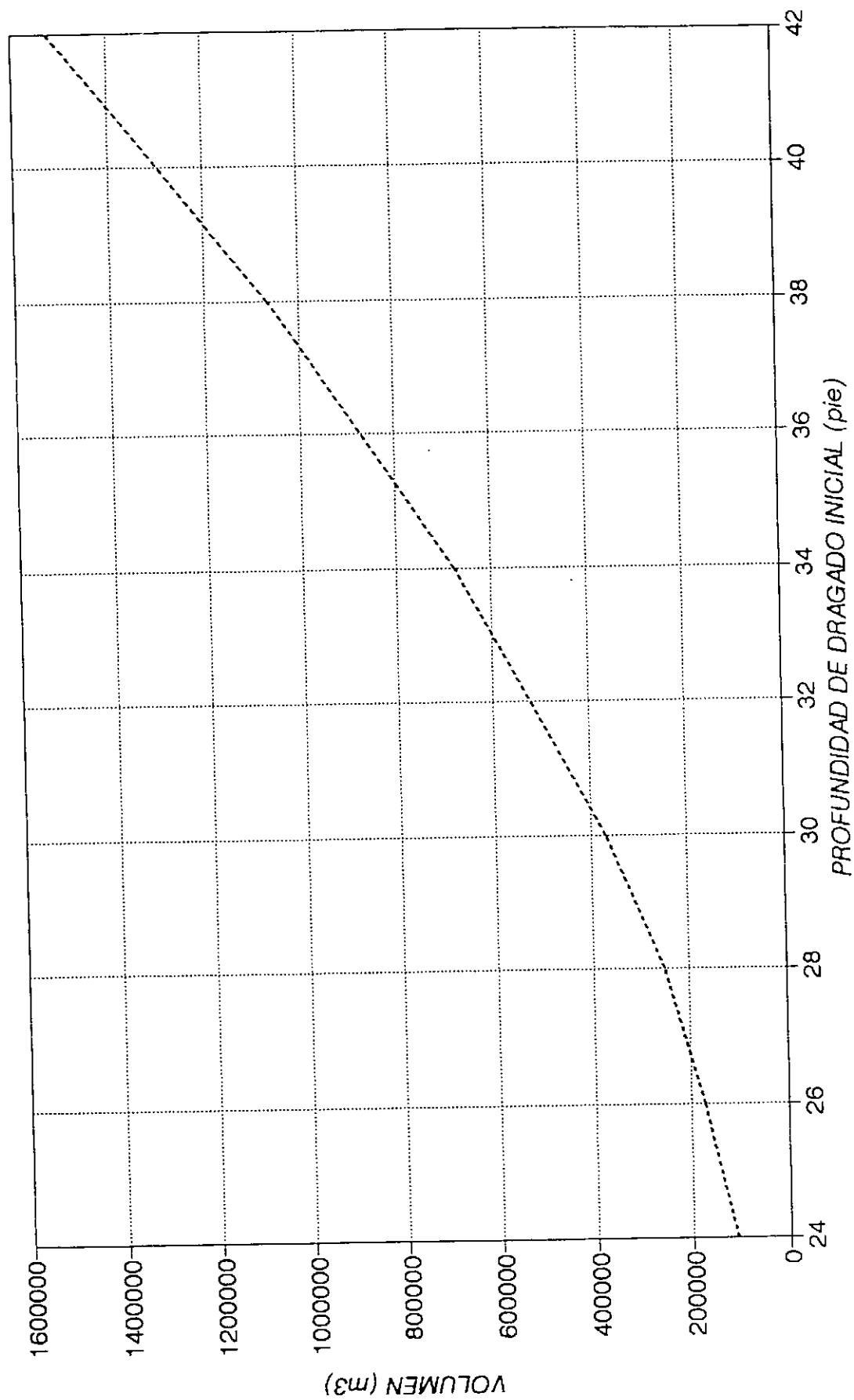


Fig. 1.7.2

PASO ABAJO TACUANI  
VOLUMEN DE CONSTRUCCION

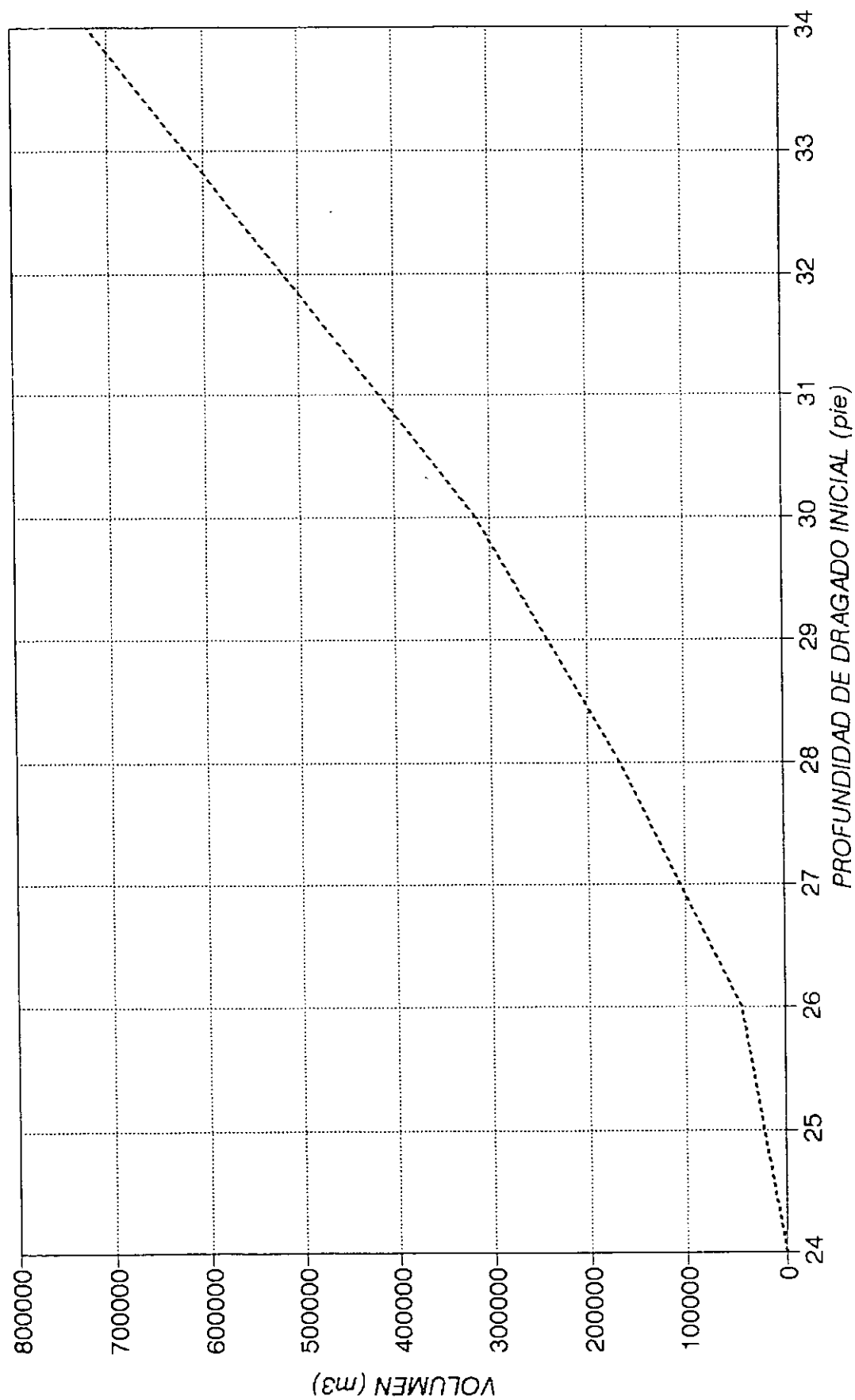


Fig. 1.7.3

PASO TACUANI (km 510-512)  
VOLUMEN DE CONSTRUCCION

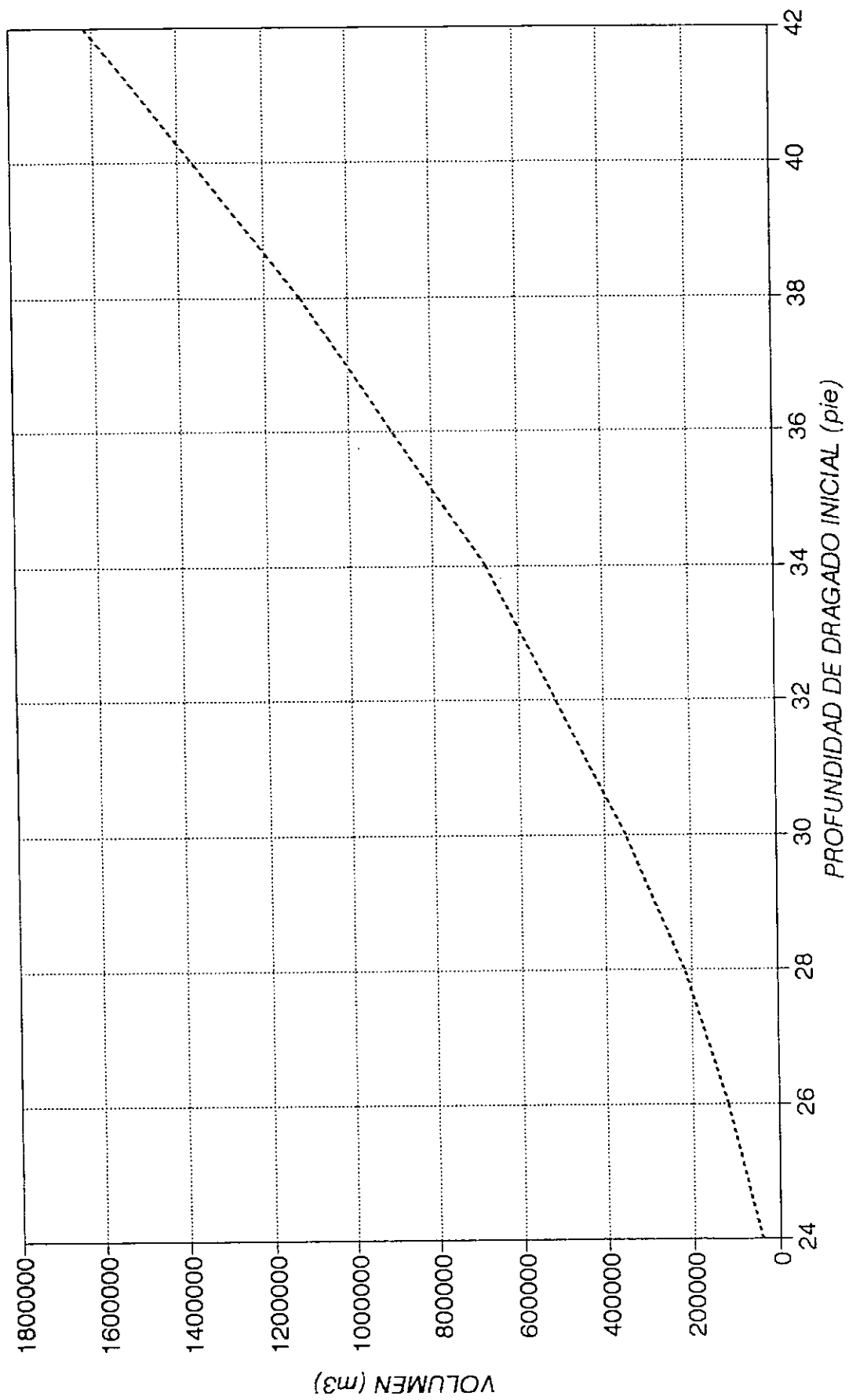


Fig. 1.7.4



# PASO ARRIBA TACUANI (km 513-515) VOLUMEN DE CONSTRUCCION

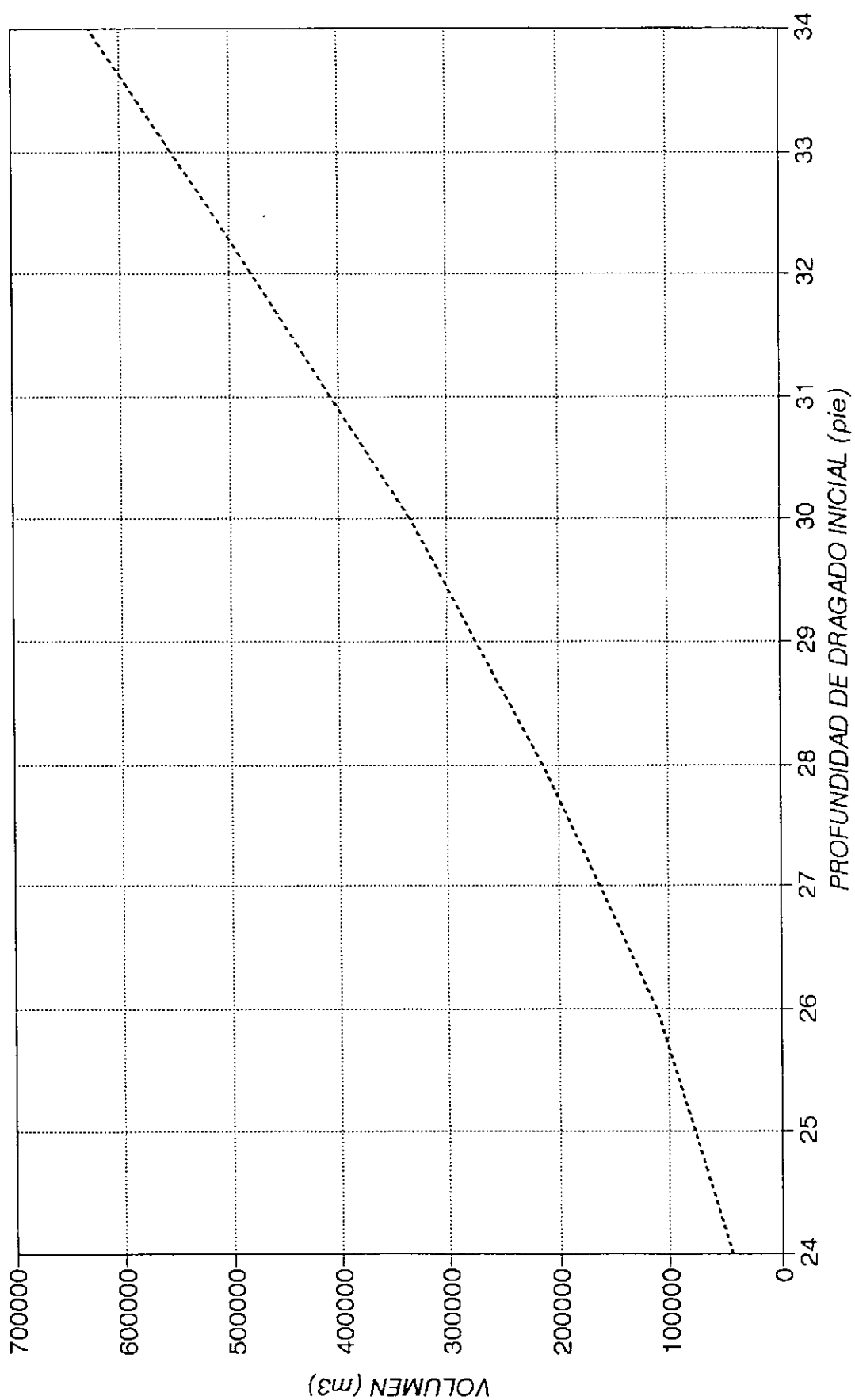


Fig. 1.7.5

PASO ABAJO DIAMANTE  
VOLUMEN DE CONSTRUCCION

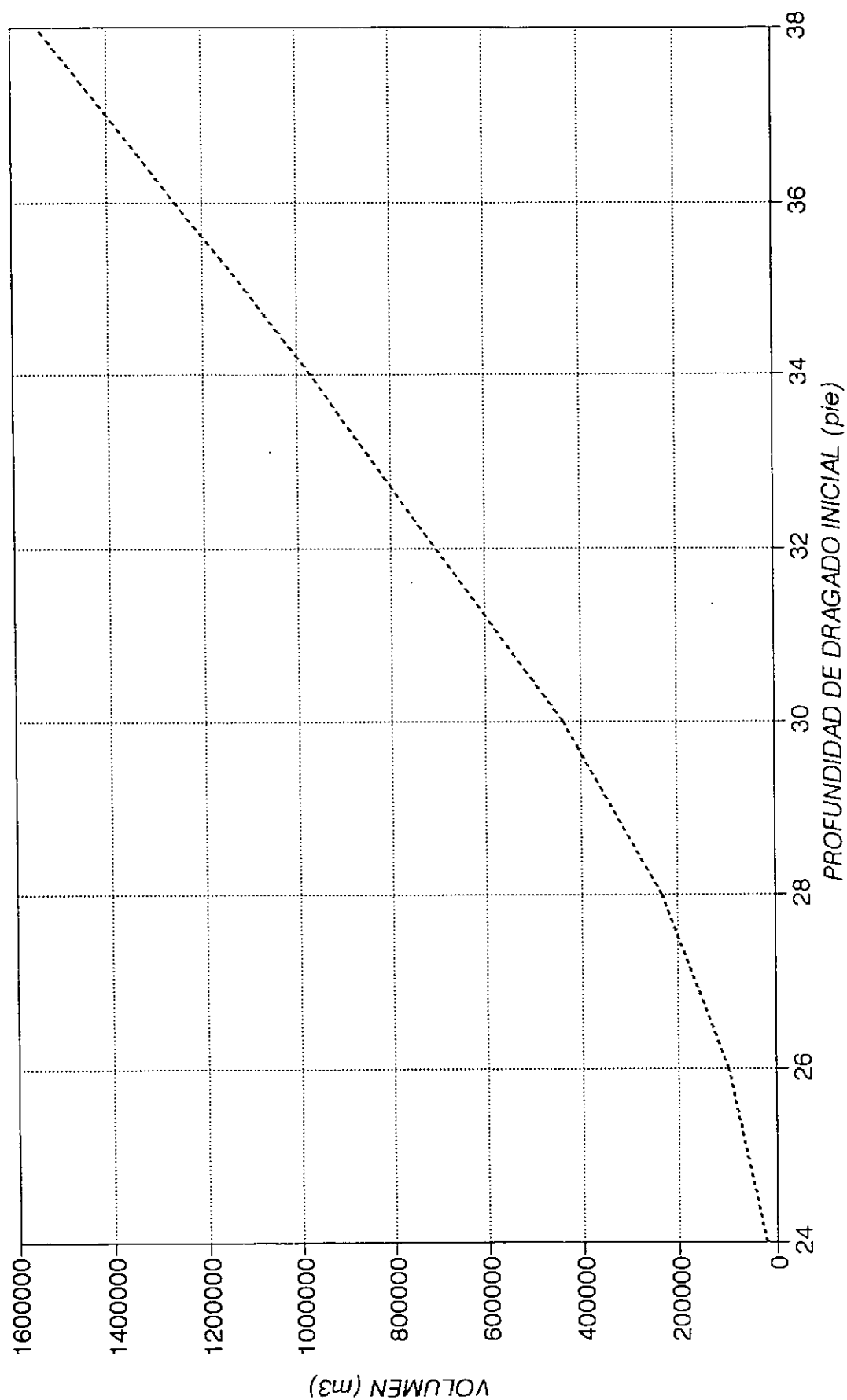


Fig. 1.7.6

PASO VINCULACION TRAGADERO ANIMAS  
VOLUMEN DE CONSTRUCCION

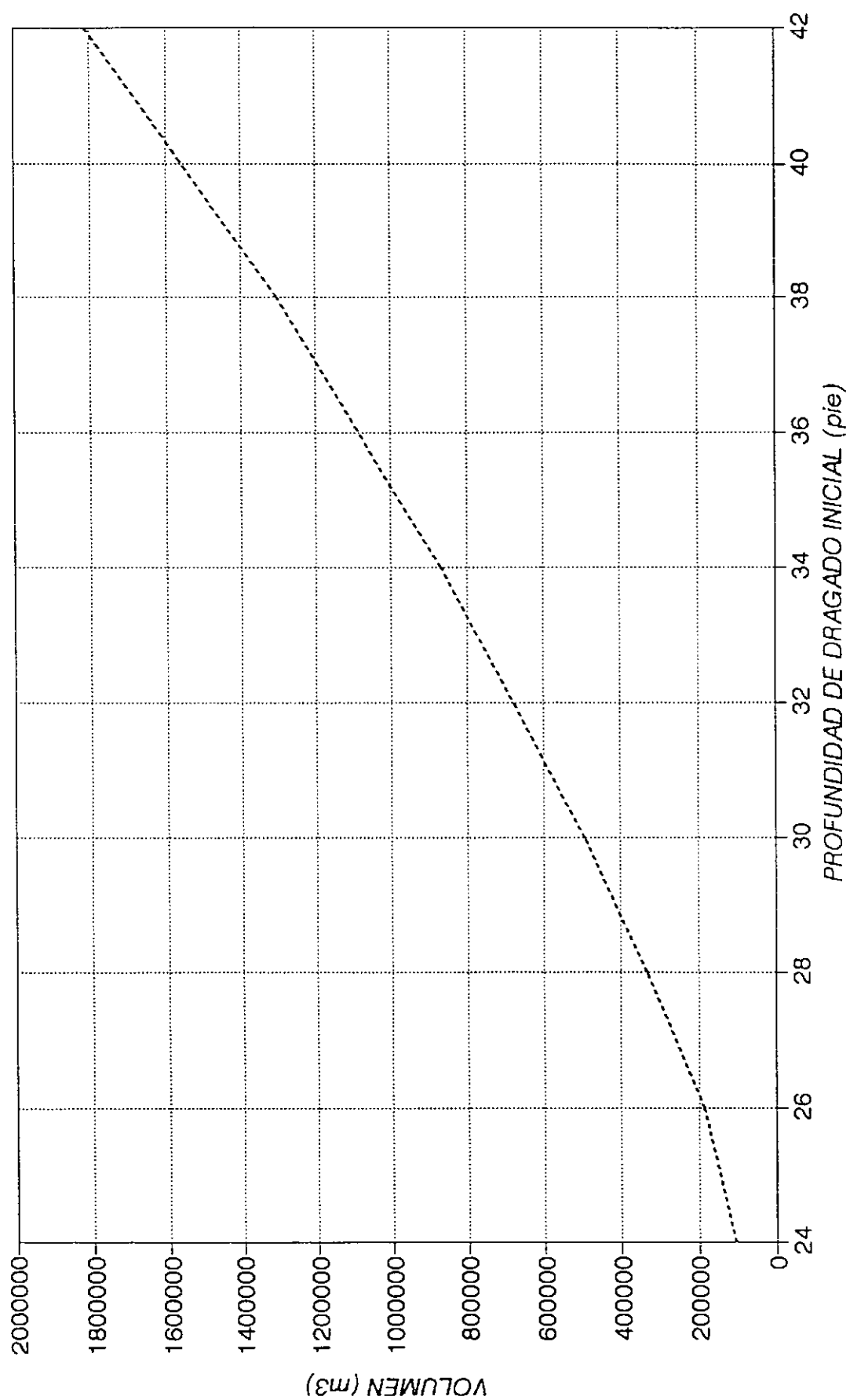


Fig. 1.7.7

PASO TRAGADERO  
VOLUMEN DE CONSTRUCCION

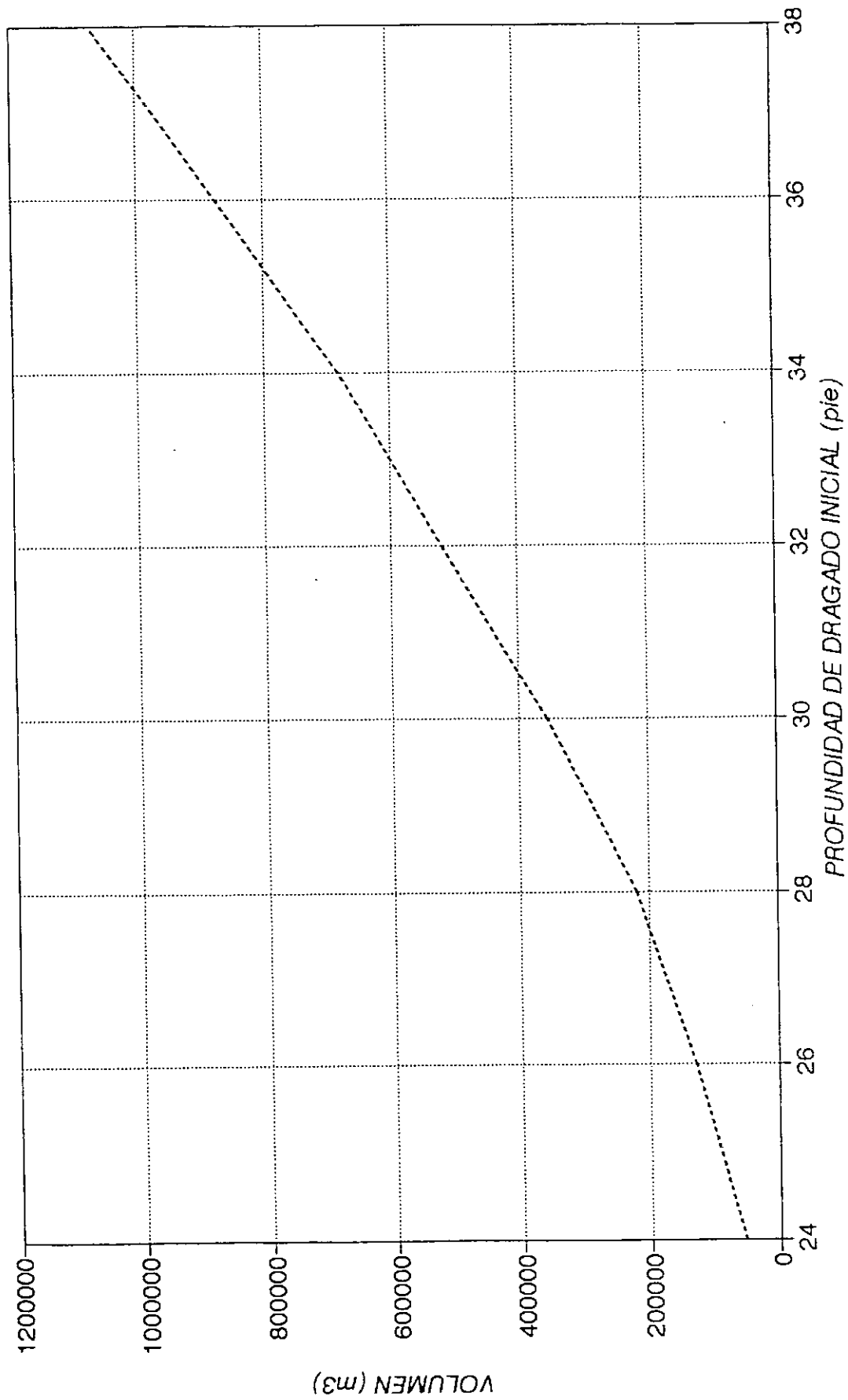


Fig. 1.7.8

Tabla 1.7.1 VOLUMENES DE CONSTRUCCION

CALADO DISEÑO (pie)	VOLUMEN DE CONSTRUCCION (m3)								
	TRAGADERO Km 581-583	VINCULACION Km 579-581	AB.DIAM. Km 525-527	TACUANI Km 514-515	TACUANI Km 509-512	AB.TACUANI Km 504-506	PARAMACIT Km 490-492	AB.CORR. Km 472-474	TOTAL
22	107894	229828	8419	146779	27000	26672	171628	552453	1270673
23	142962	515032	167249	279898	128862	63145	397468	727579	2422192
24	178029	800236	326079	413016	230723	99617	623307	902704	3573711
25	368270	1024681	669081	494969	761779	222182	936795	1042974	5520730
26	558510	1249126	1012082	576922	1292835	344746	1250283	1183244	7467748
27	801063	1429740	1357036	647062	1547365	536817	1439151	1353602	9111834
28	1043615	1610353	1701990	717202	1801894	728888	1628019	1523959	10755920

Tabla 1.7.2 VOLUMEN DE CONSTRUCCION DE OTROS PASOS

CALADO DISEÑO (pie)	VOLUMEN CONSTRUCCION (m3)						TOTAL
	ARR.TACUAN Km 520-523	AB.RAIGONE Km 542-545	AB.RAIGONE Km 547-551	RAIGONES Km 556-560	ARR.ALVEA Km 566-568	A.PARACAO Km 572-577	
22	0	0	0	0	0	0	0
23	50800	0	0	0	24071	344500	419371
24	167700	67850	0	0	49692	638962	924204
25	263050	153100	239109	0	70894	889700	1615853
26	363000	250525	473200	0	91365	1179700	2357790
27	465000	354900	663467	112709	116000	1434900	3146976
28	569375	466250	858367	229800	144800	1646020	3914612

Tabla 1.7.3 VOLUMEN DE CONSTRUCCION CANAL DE ACCESO

CALADO DISEÑO (pie)	VOLUMEN TRAMO Km 588-592 (m3)	VOLUMEN TRAMO Km 584.5-588 (m3)	VOL. TOTAL (m3)
18	0	208600	208600
19	0	266450	266450
20	0	324300	324300
21	8650	406850	415500
22	17300	489400	506700
23	40075	584750	624825
24	62850	680100	742950
25	122325	796000	918325
26	181800	911900	1093700
27	282985	1027800	1310785
28	384170	1143700	1527870

# CALADO ESPERABLE EN EL TRAMO MES DE ENERO

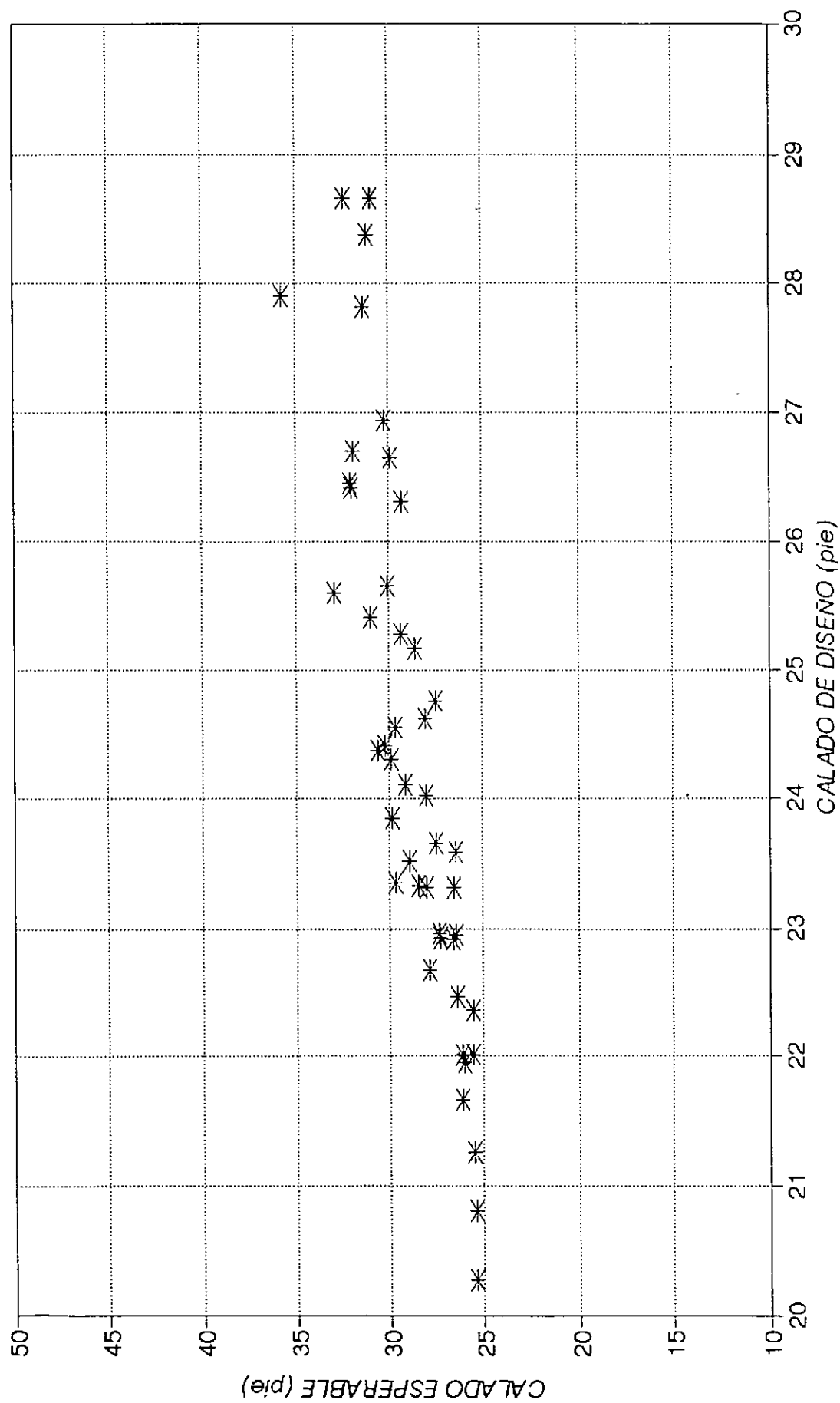


Fig. 1.8.1



# CALADO ESPERABLE EN EL TRAMO MES DE FEBRERO

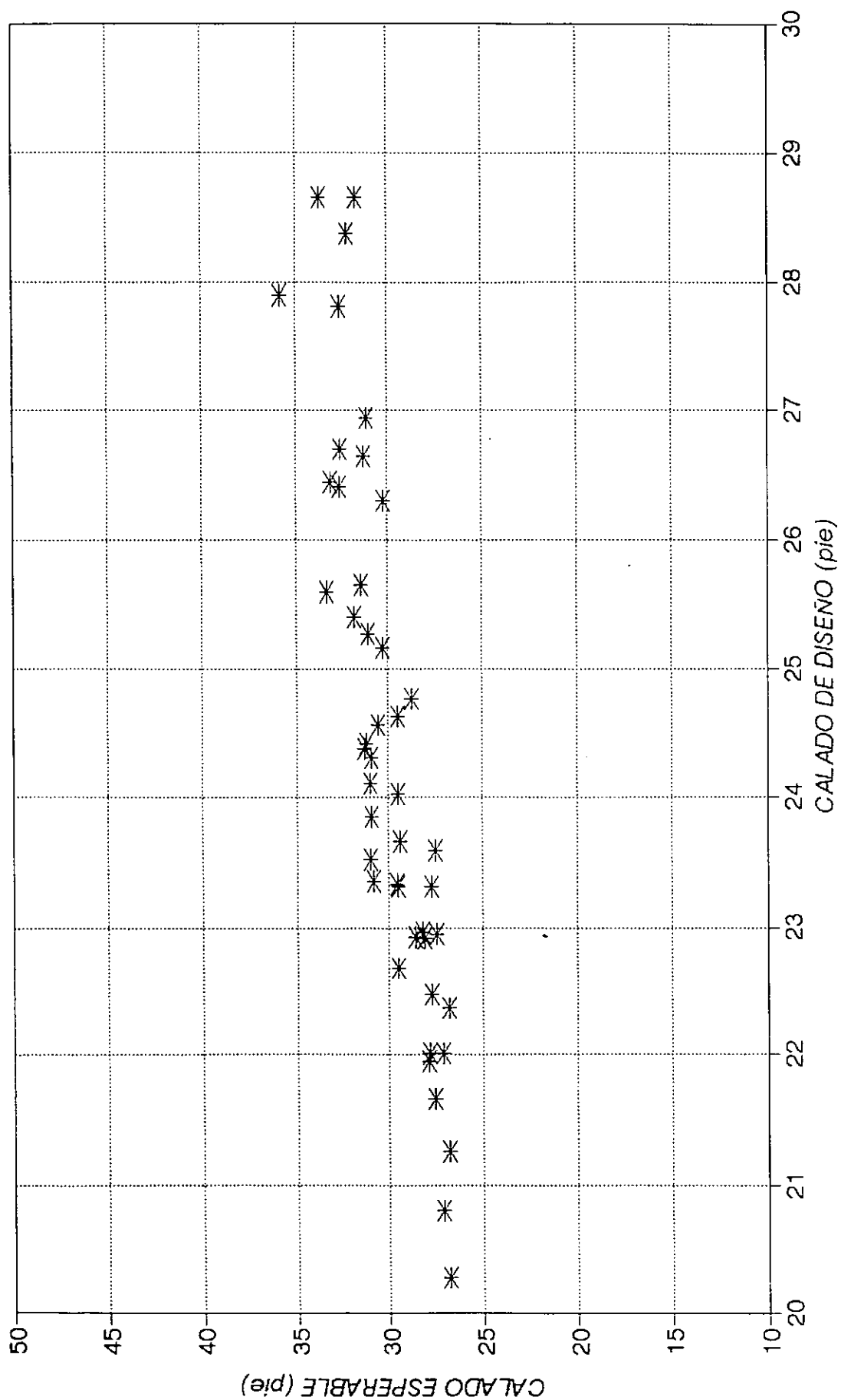


Fig. 1.8.2

# CALADO ESPERABLE EN EL TRAMO MES DE MARZO

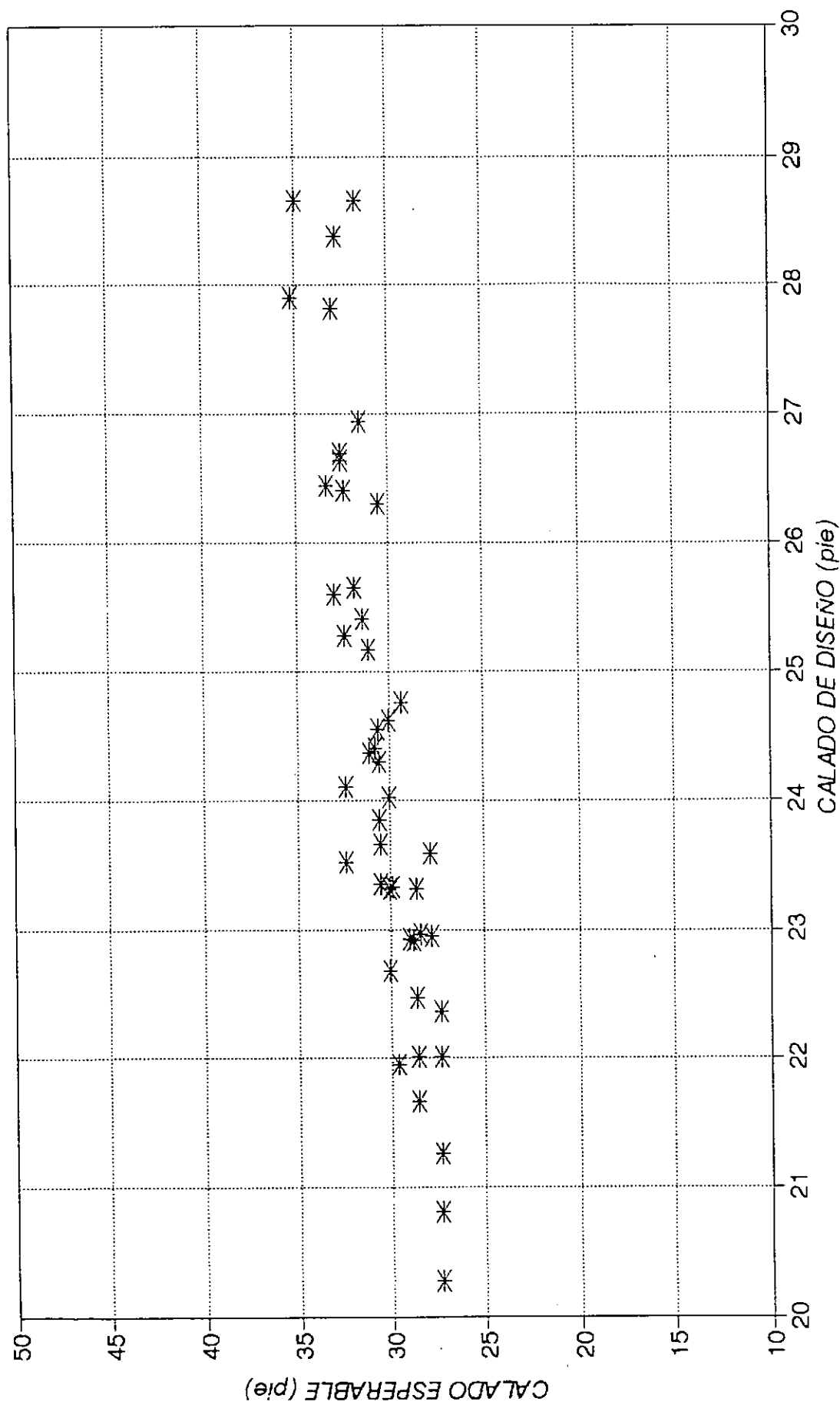


Fig. 1.8.3

# CALADO ESPERABLE EN EL TRAMO MES DE ABRIL

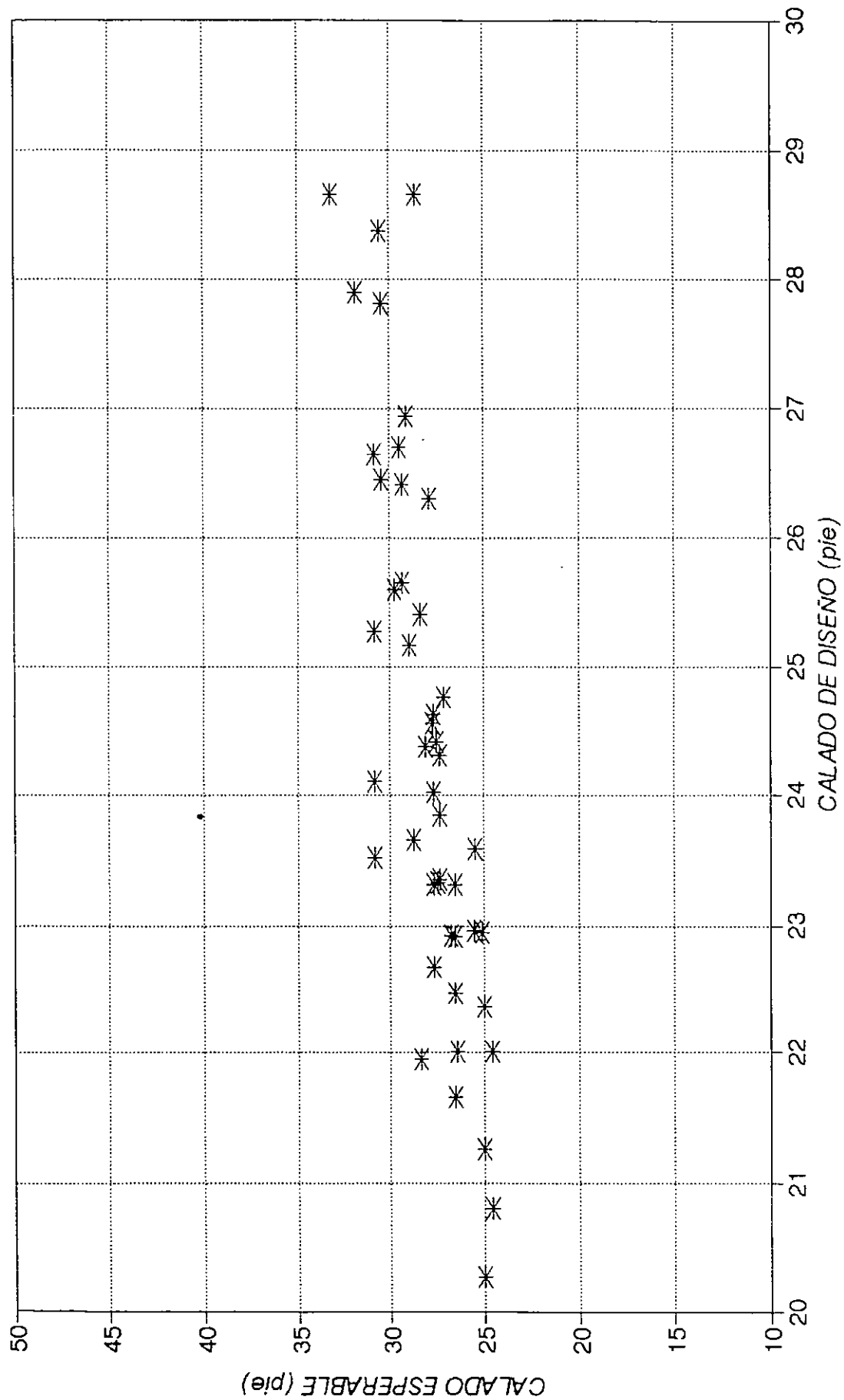


Fig. 1.8.4

# CALADO ESPERABLE EN EL TRAMO MES DE MAYO

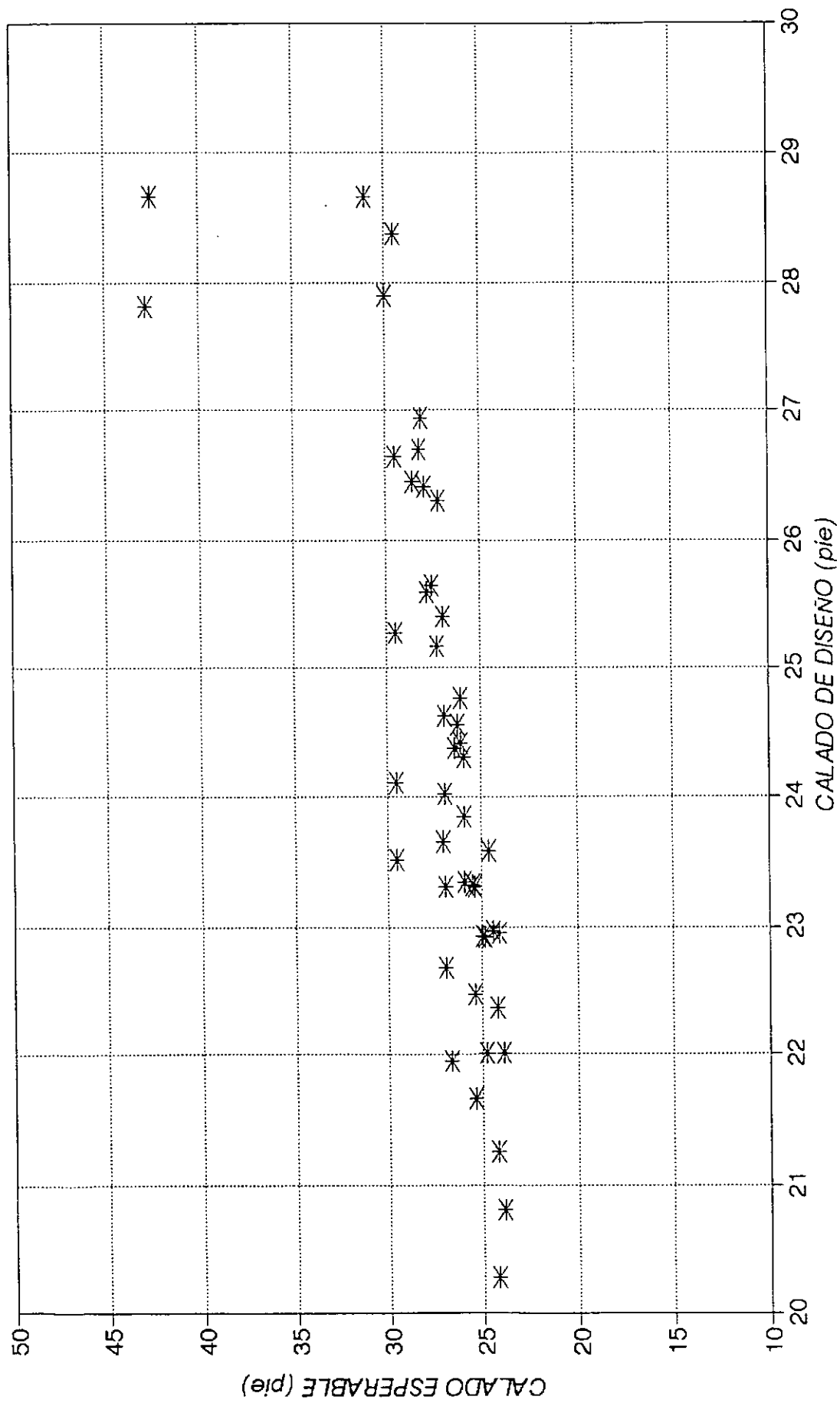


Fig. 1.8.5

# CALADO ESPERABLE EN EL TRAMO MES DE JUNIO

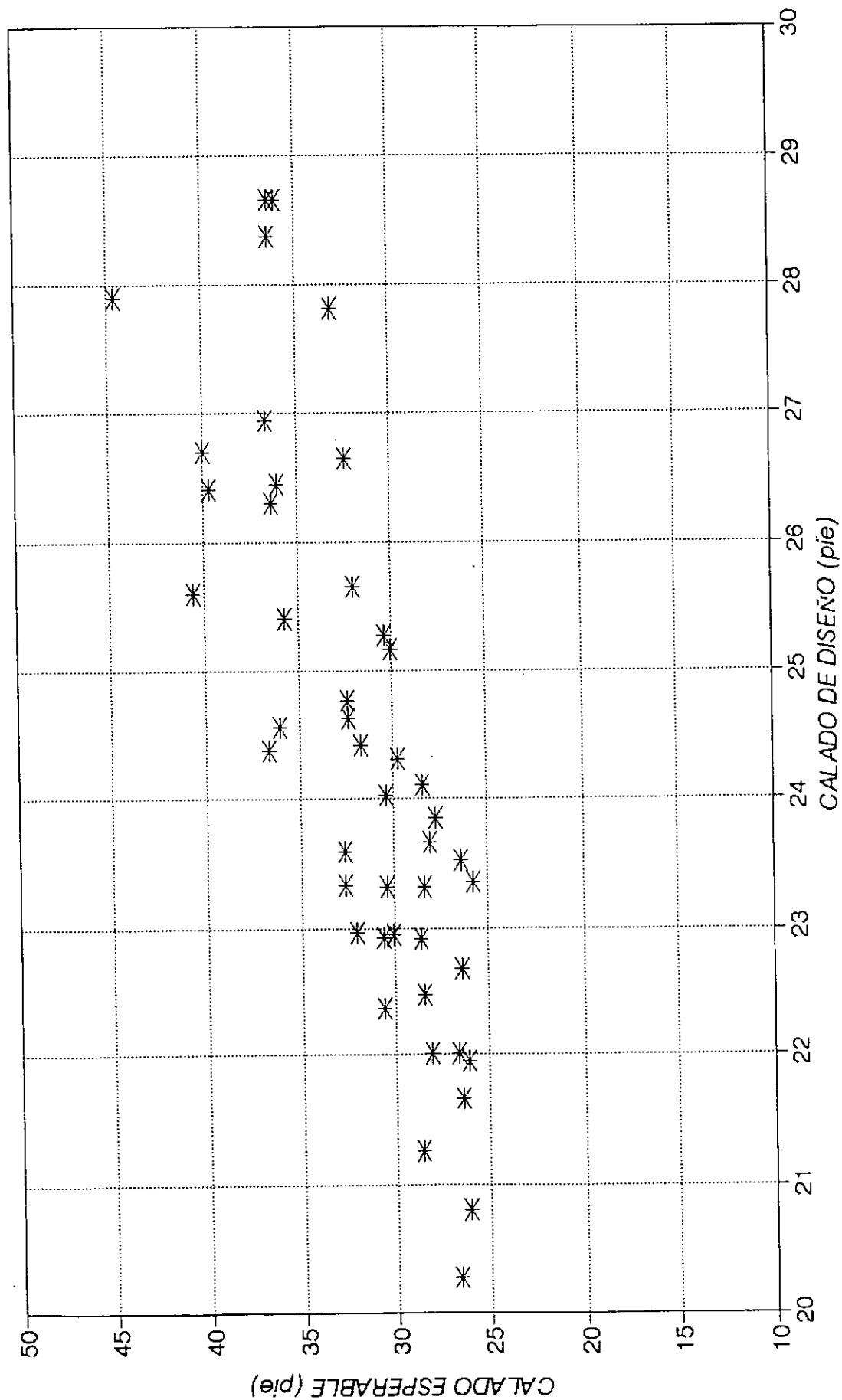


Fig. 1.8.6

# CALADO ESPERABLE EN EL TRAMO MES DE JULIO

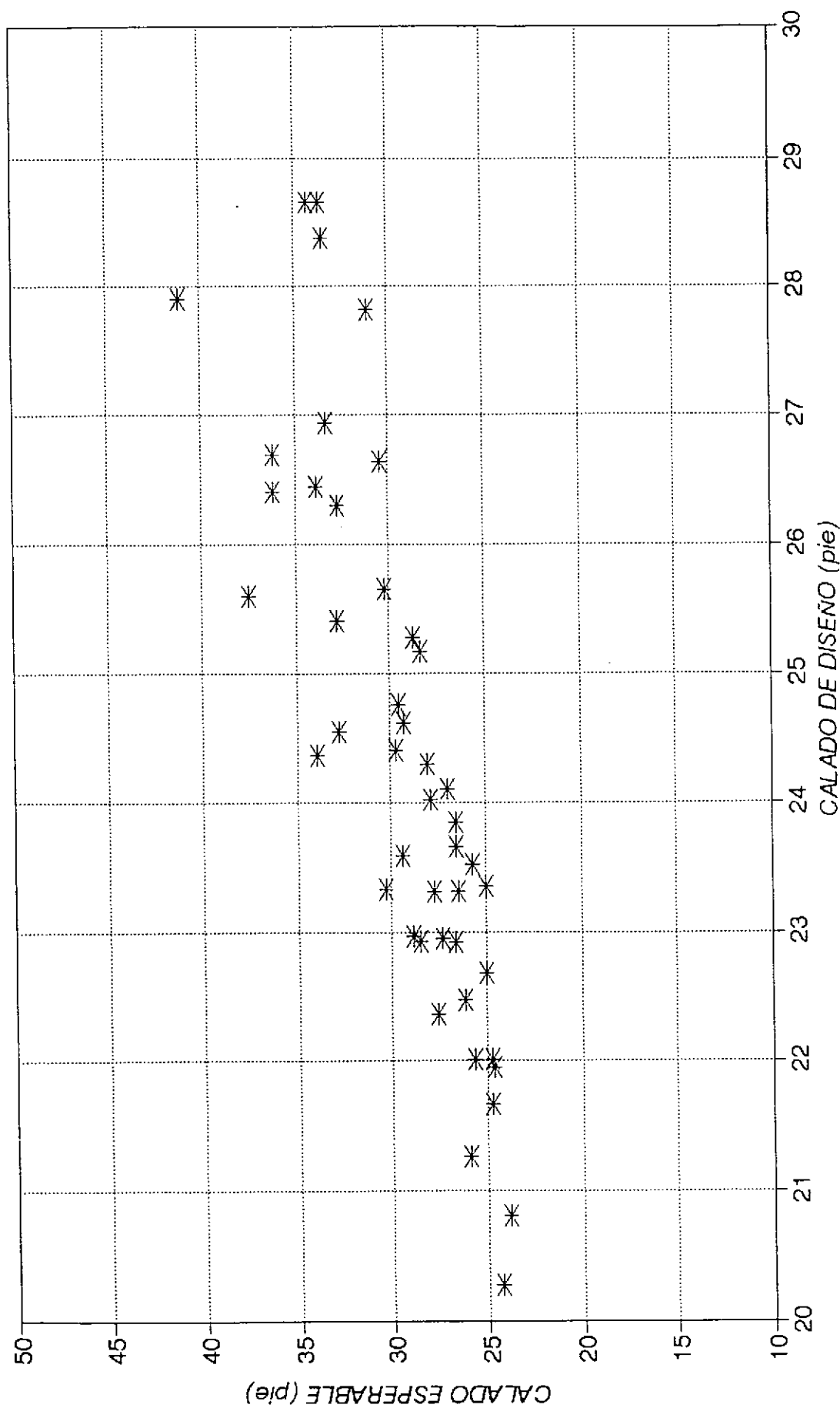


Fig. 1.8.7

# CALADO ESPERABLE EN EL TRAMO MES DE AGOSTO

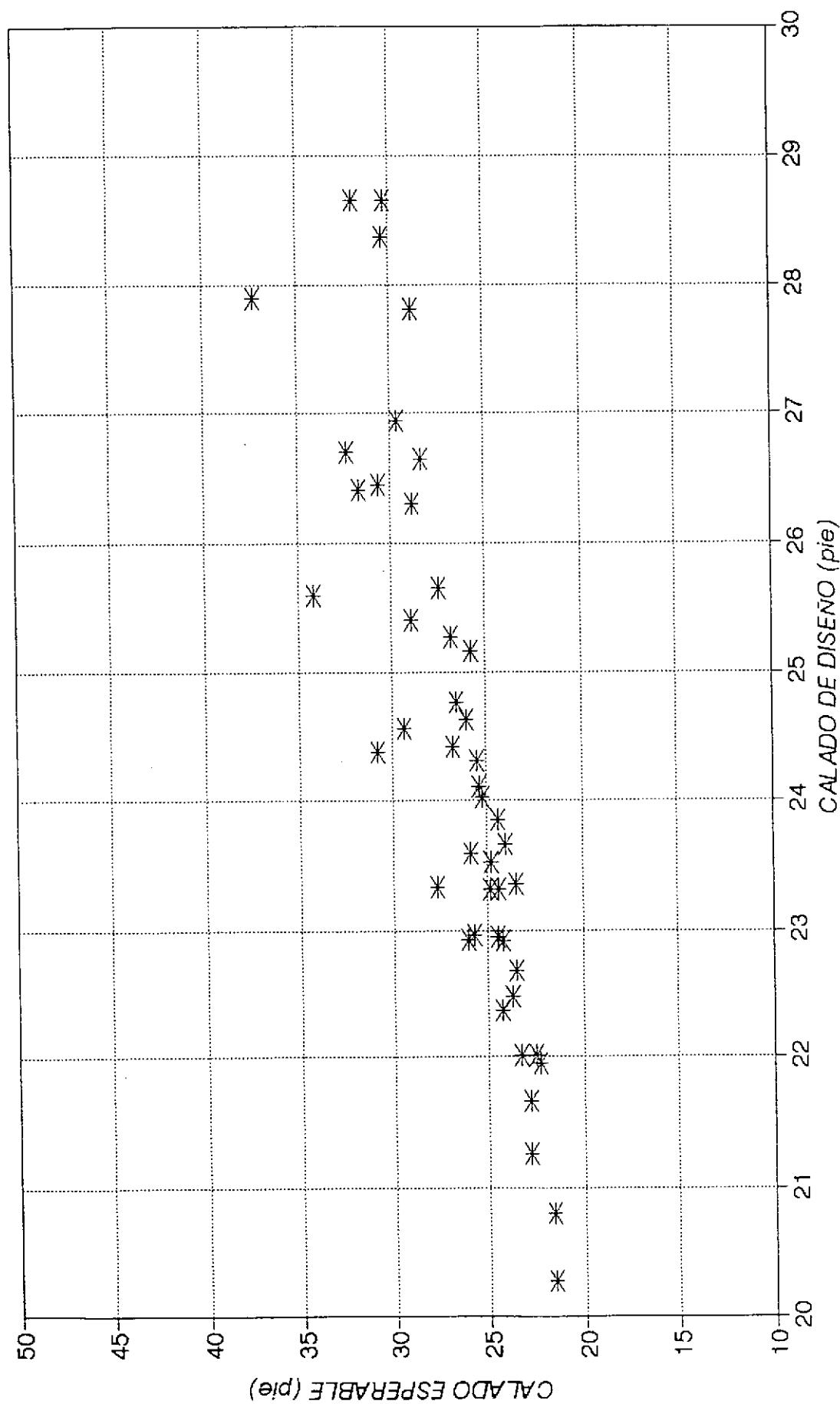


Fig. 1.8.8

# CALADO ESPERABLE EN EL TRAMO MES DE SETIEMBRE

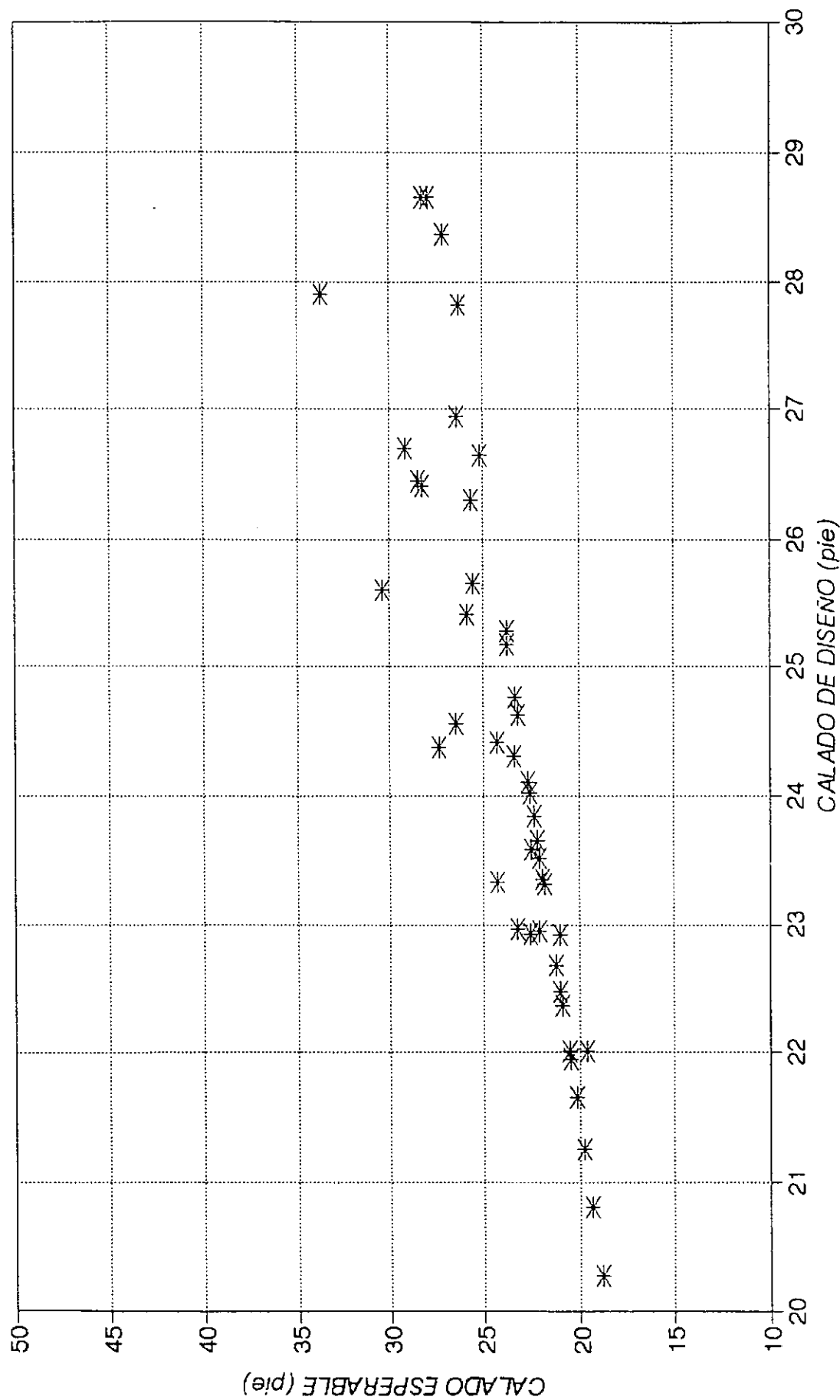


Fig. 1.8.9



# CALADO ESPERABLE EN EL TRAMO MES DE OCTUBRE

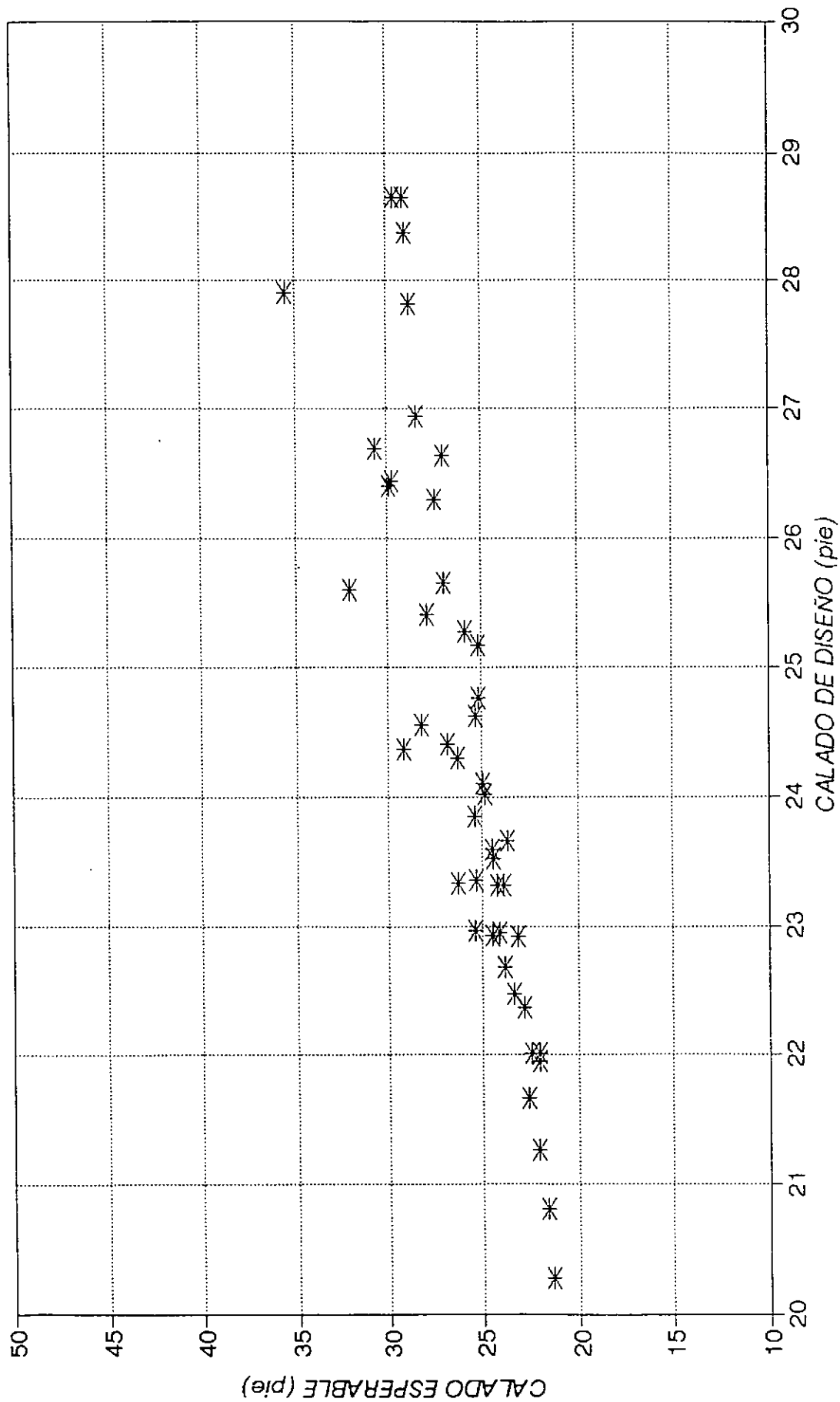


Fig. 1.8.10

# CALADO ESPERABLE EN EL TRAMO MES DE NOVIEMBRE

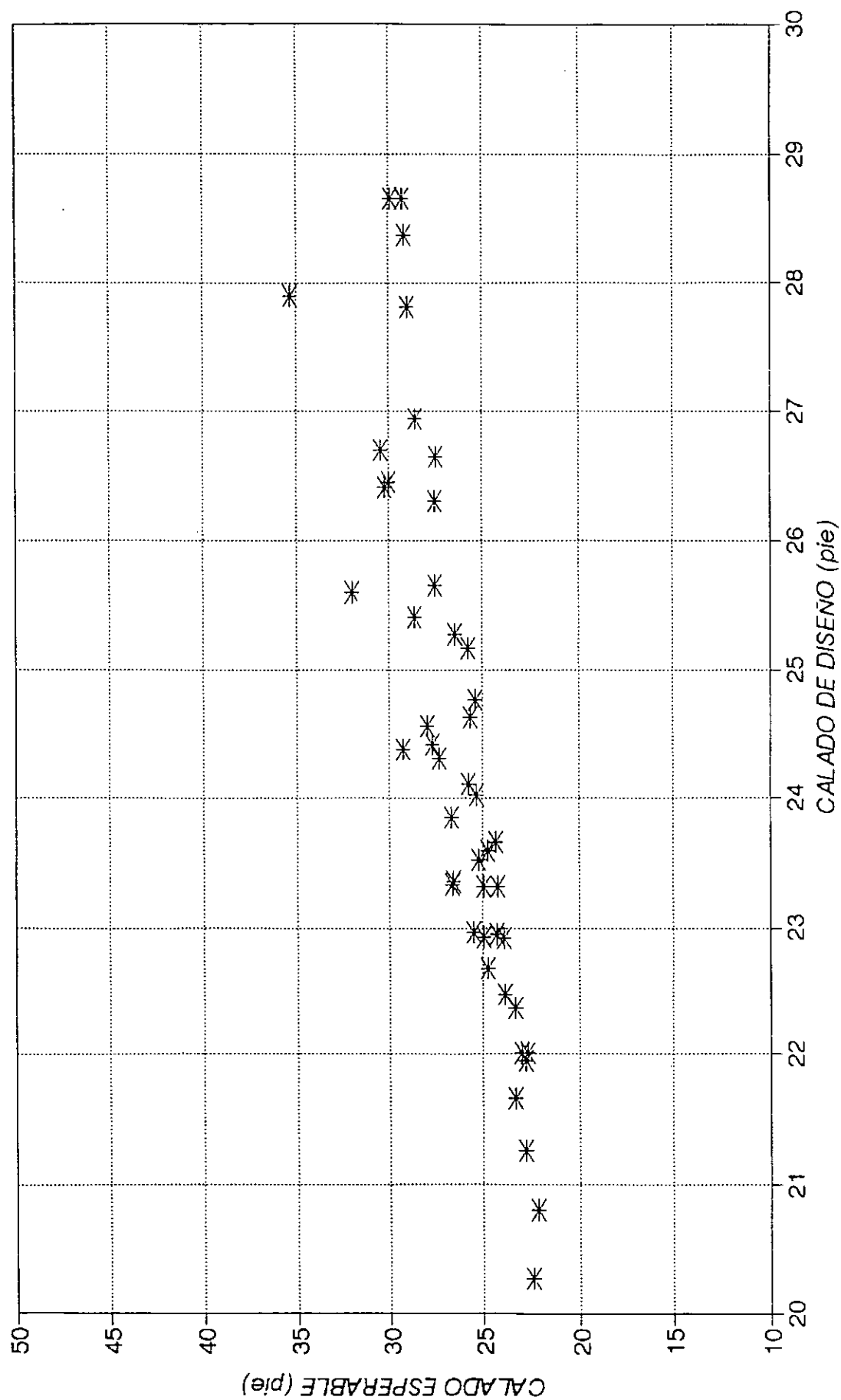


Fig. 1.8.11

# CALADO ESPERABLE EN EL TRAMO MES DE DICIEMBRE

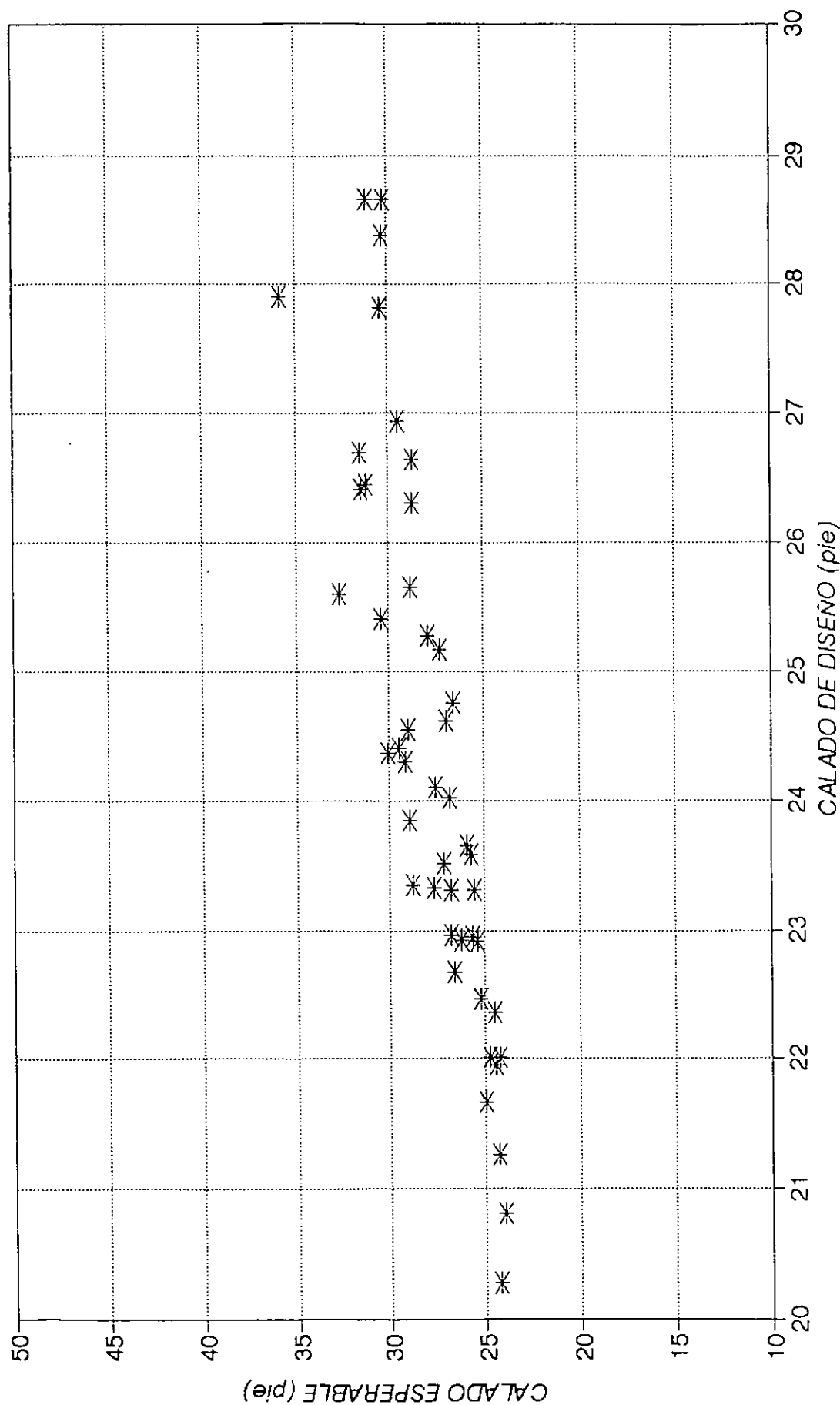


Fig. 1.8.12

# PASO VINCULACION TRAGADERO ANIMAS(OBRA) VOLUMEN DE SEDIMENTACION ANUAL

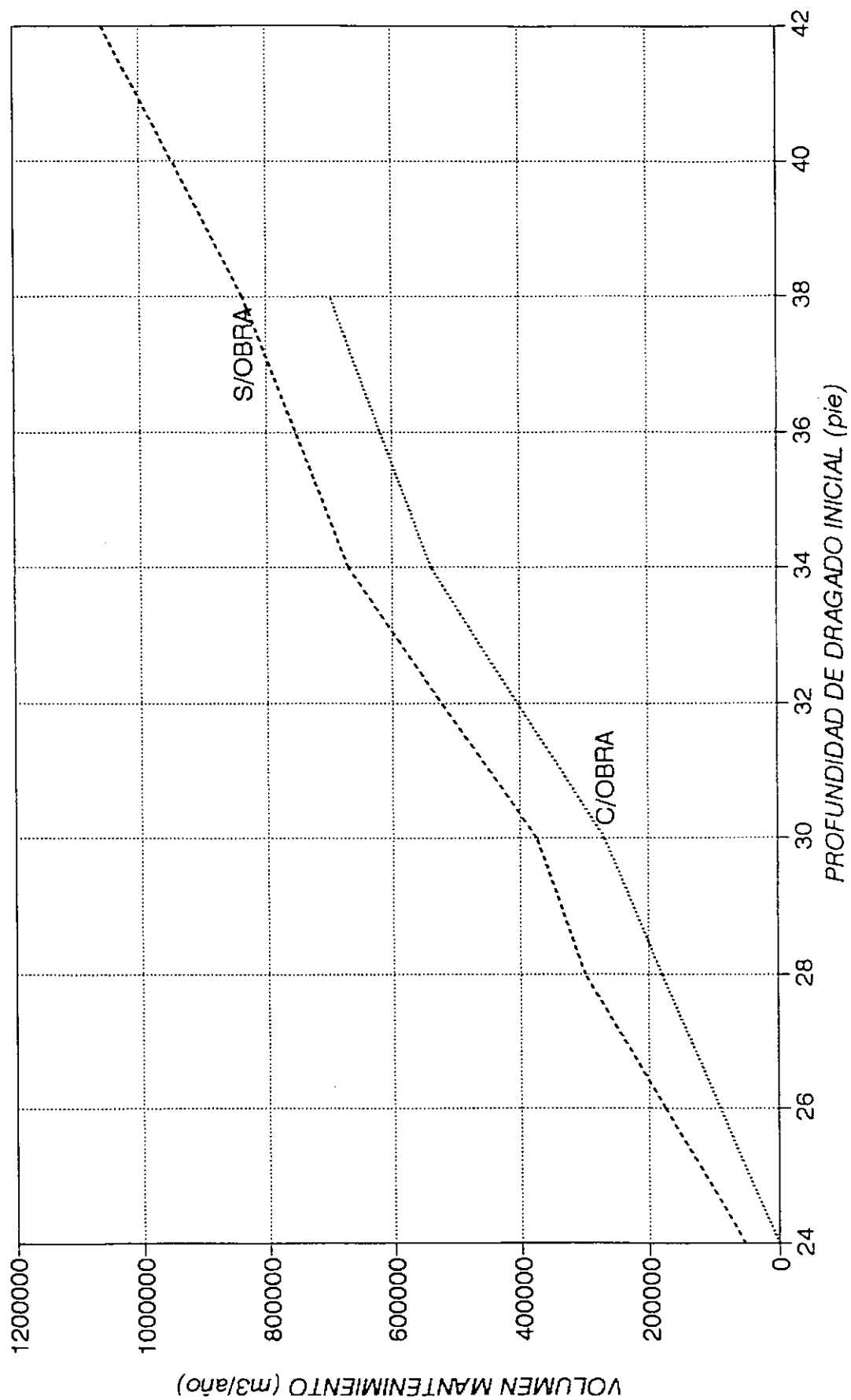


Fig. 1.8.13

Tabla 1.8.1 CALADO ESPERABLE EN EL TRAMO (pie)

CALADO DISEÑO (pie)	MESES											
	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE
22	26.8	27.2	24.6	24.0	26.0	24.5	22.3	19.5	22.0	22.8	24.0	25.3
23	27.4	27.9	25.3	24.7	27.0	25.6	23.5	21.0	23.0	23.8	25.0	26.0
24	28.0	28.5	26.0	25.4	28.0	26.6	24.6	22.5	24.0	24.8	26.0	26.6
25	29.0	29.4	27.0	26.3	29.7	28.1	25.9	23.7	25.3	25.9	27.0	27.7
26	30.0	30.3	28.0	27.2	31.4	29.5	27.1	24.8	26.6	26.9	28.0	28.8
27	30.9	31.2	28.6	28.2	32.4	30.8	28.3	25.9	27.7	28.0	29.1	29.7
28	31.7	32.0	29.2	29.2	33.4	32.0	29.5	26.9	28.8	29.1	30.1	30.6

Tabla 1.8.2 COSTOS TOTALES Y CALADOS ESPERABLES DEL TRAMO

CALADO DISEÑO (pie)	VOLUMEN CONSTR. (m3)	COSTO CONST. (INVERSION) (U\$S)	VOLUMEN MANT. (m3)	COSTO MANT. (ANUAL) (U\$S)	CALADOS ESPERABLES		
					COSECHA FINA NOV.DIC.ENE. (pie)	COSECHA GRUESA FEB.JUL. (pie)	RESTO TIEMPO AGO.SET.OCT. (pie)
18	0	0	0	0	20.7	23.7	18.2
19	317668	778287	236691	520720	21.5	24.2	19.0
20	635337	1556574	473382	1041440	22.4	24.7	19.8
21	953005	2334862	710073	1562161	23.2	25.3	20.8
22	1270673	3113149	946764	2082881	24.0	25.5	21.3
23	2841563	6961830	2007352	4416175	24.9	26.3	22.5
24	4497915	11019891	3056904	6725189	25.8	27.1	23.7
25	7136583	17484628	4124919	9074823	26.9	28.2	24.9
26	9825538	24072567	5160378	11352831	27.9	29.4	26.2
27	12258810	30034084	5948917	13087618	28.9	30.3	27.3
28	14670532	35942803	6661240	14654728	29.9	31.3	28.4

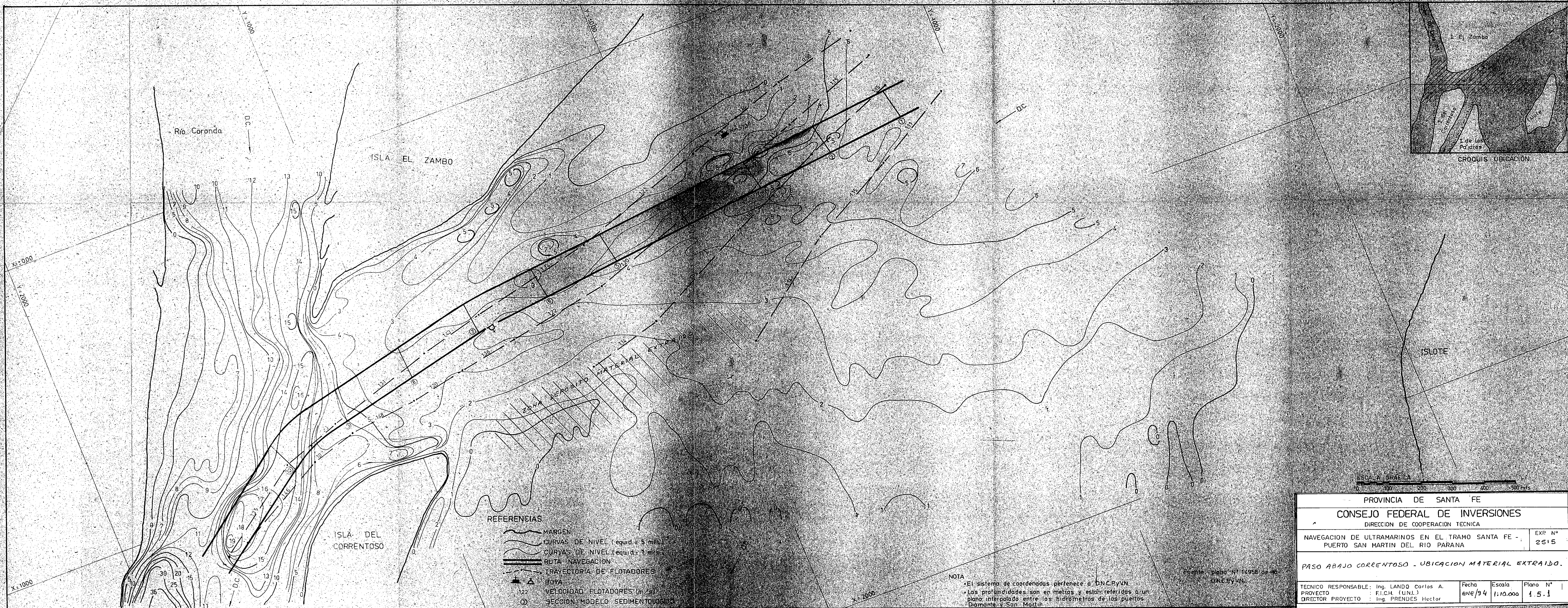
Tabla 1.8.3 COSTOS DE CONSTRUCCION CANAL DE ACCESO

CALADO DISEÑO (pie)	VOLUMEN TRAMO Km 588-592 (m3)	VOLUMEN TRAMO Km 584.5-588 (m3)	VOL. TOTAL (m3)	COSTO CONST. (U\$S)
18	0	208600	208600	511070
19	0	266450	266450	652803
20	0	324300	324300	794535
21	8650	406850	415500	1017975
22	17300	489400	506700	1241415
23	40075	584750	624825	1530821
24	62850	680100	742950	1820228
25	122325	796000	918325	2249896
26	181800	911900	1093700	2679565
27	282985	1027800	1310785	3211423
28	384170	1143700	1527870	3743282

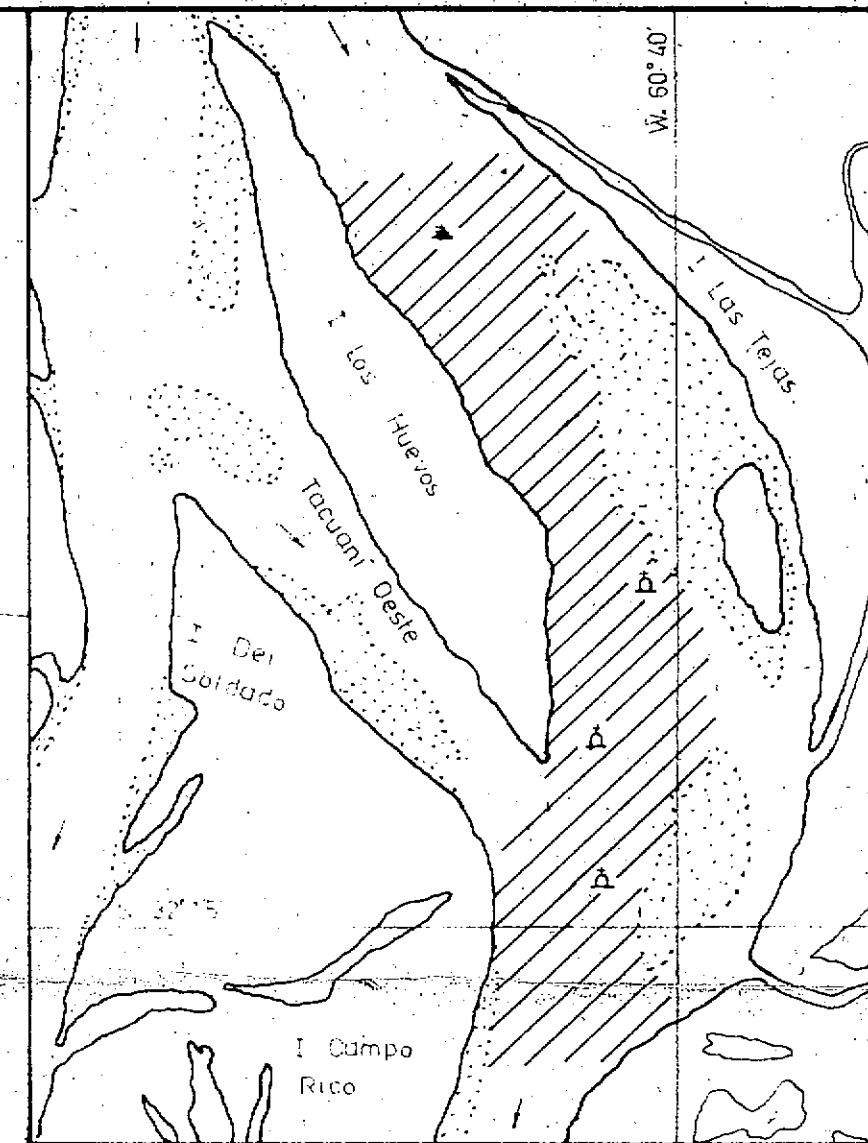
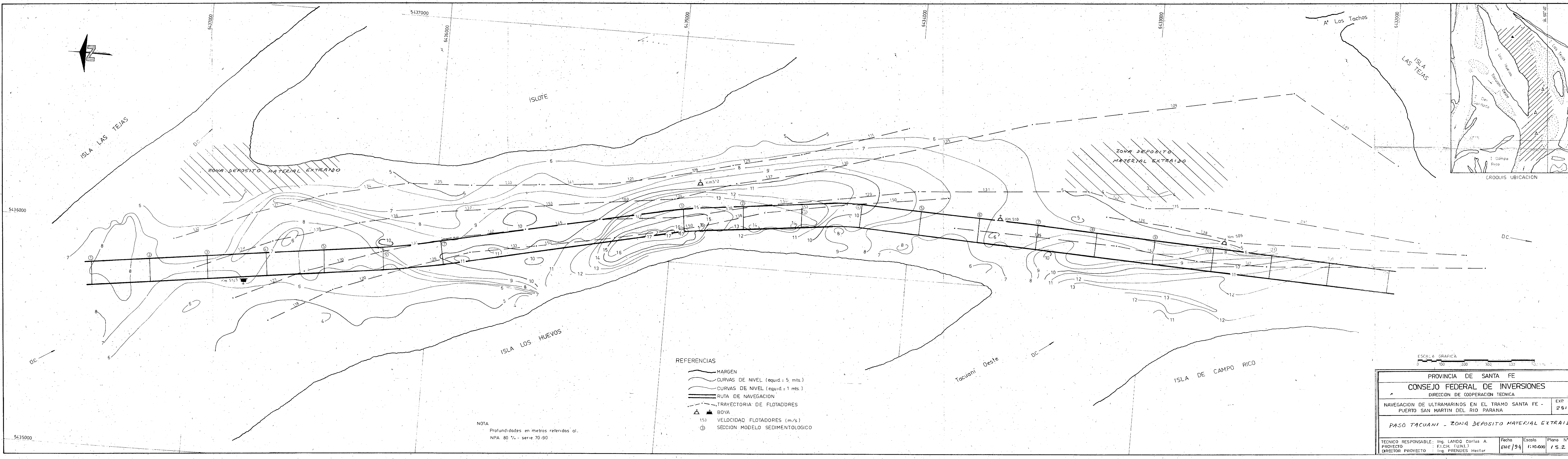
COSTOS DE MANTENIMIENTO CANAL DE ACCESO  
(CONSTANTE PARA DIFERENTES CALADOS DE DISEÑO)

VOL. SEDIMENTACION (m3/año)	COSTO (U\$S/año)
370000	814000
460000	1012000
Promedio estimado	900000



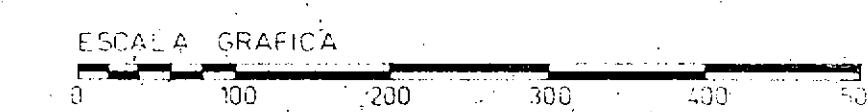




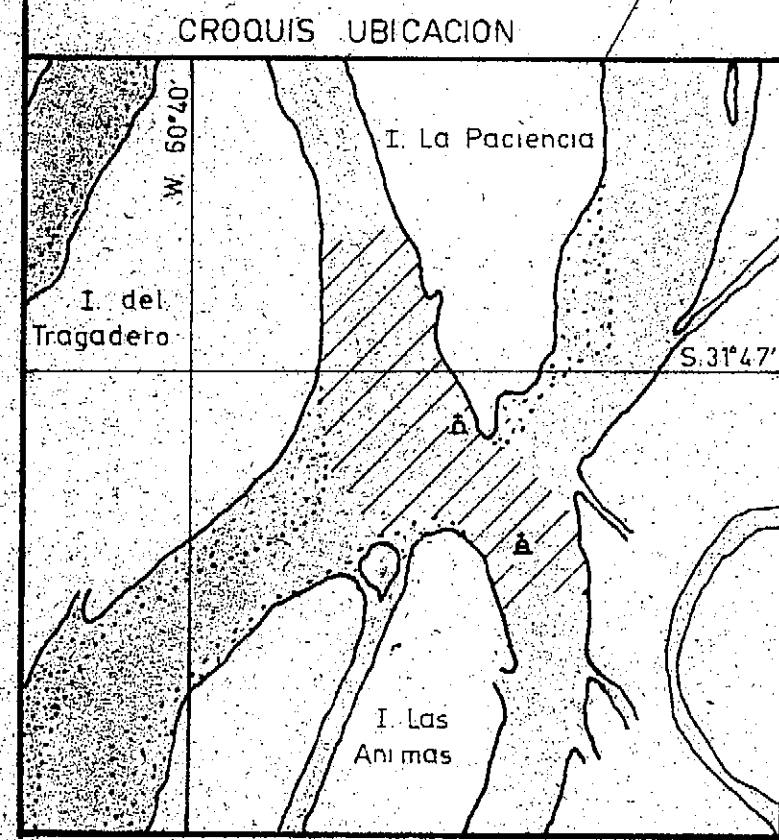
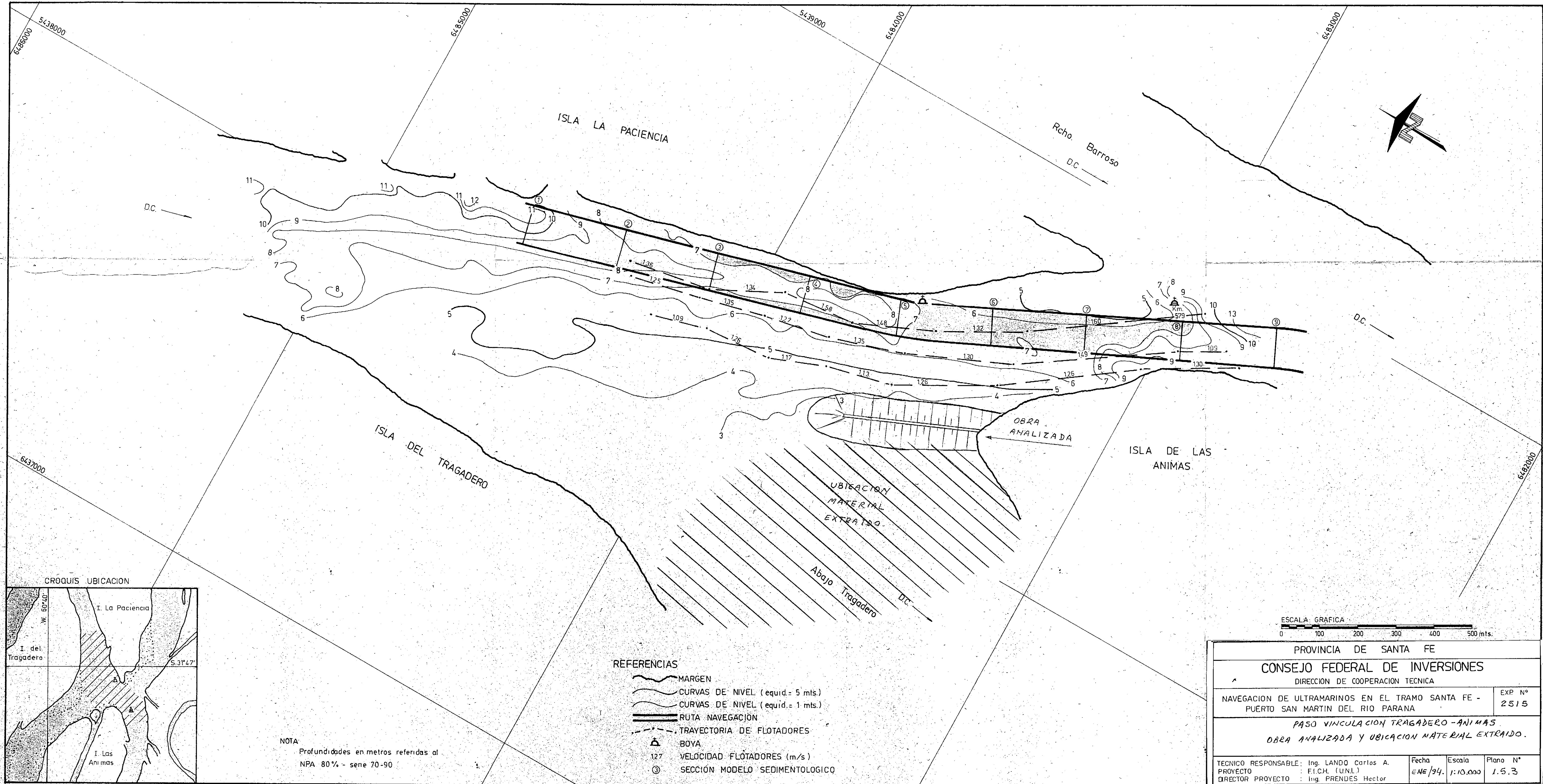


- REFERENCIAS
- MARGEN
  - CURVAS DE NIVEL (equid. = 5 mts.)
  - CURVAS DE NIVEL (equid. = 1 mts.)
  - RUTA DE NAVEGACION
  - TRAYECTORIA DE FLOTADORES
  - BOYA
  - VELOCIDAD FLOTADORES (m/s)
  - SECCION MODELO SEDIMENTOLOGICO

NOTA  
Profundidades en metros referidas al.  
NPA 80 % - serie 70-90

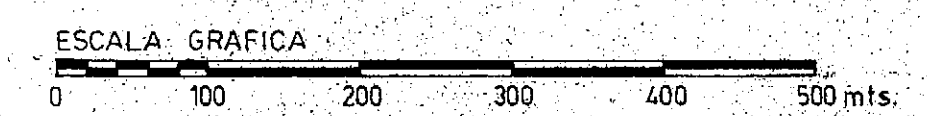


PROVINCIA DE SANTA FE			
CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES			
DIRECCION DE COOPERACION TECNICA			
NAVEGACION DE ULTRAMARINOS EN EL TRAMO SANTA FE - PUERTO SAN MARTIN DEL RIO PARANA			EXP N° 2415
PASO TACUANI - ZONA DEPOSITO MATERIAL EXTRAIDO			
TECNICO RESPONSABLE: Ing. LANDO Carlos A.	Fecha	Escala	Plano N°
PROYECTO : E.I.C.H. (U.N.L.)	ENE/94	1:10.000	15.2
DIRECTOR PROYECTO : Ing. PRENDES Hector			

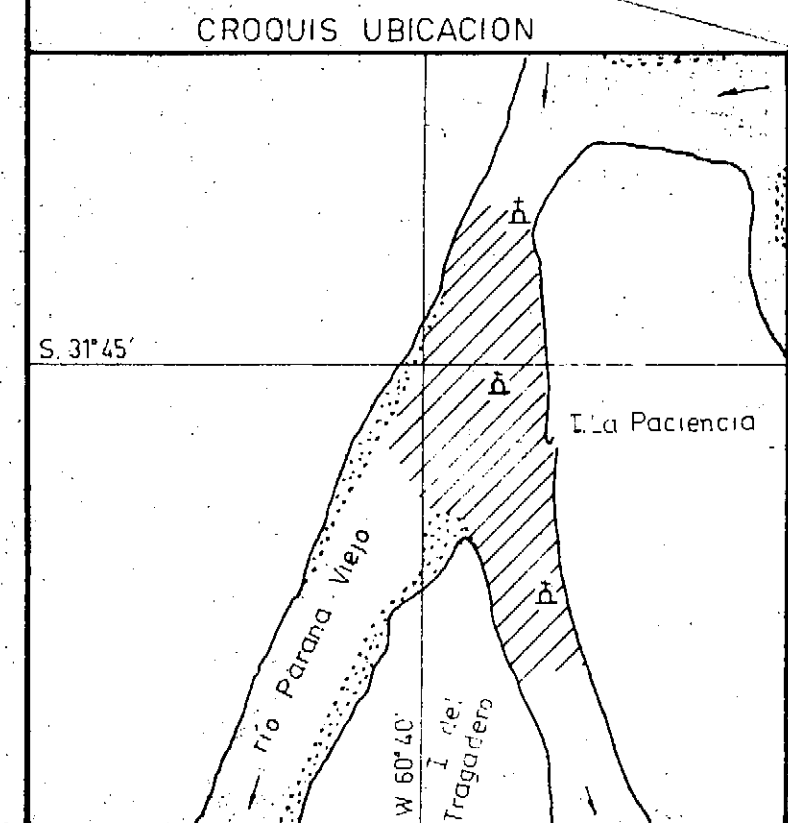
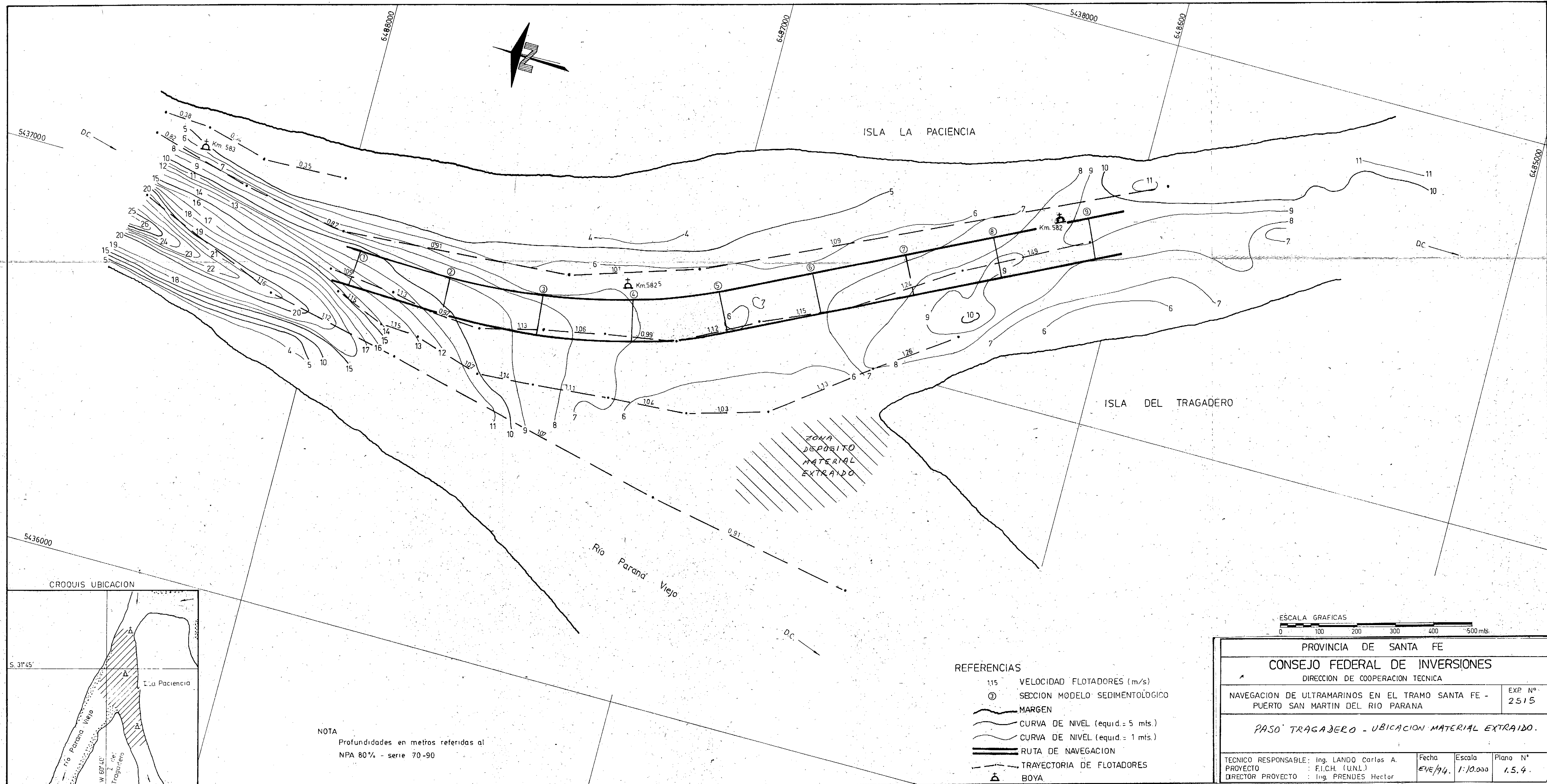


NOTA:  
Profundidades en metros referidas al  
NPA 80% - sene 70-90

- REFERENCIAS
- MARGEN
  - CURVAS DE NIVEL (equid. = 5 mts.)
  - CURVAS DE NIVEL (equid. = 1 mts.)
  - ROUTE NAVEGACION
  - TRAYECTORIA DE FLOTADORES
  - BOYA
  - 127 VELOCIDAD FLOTADORES (m/s)
  - ③ SECCION MODELO SEDIMENTOLOGICO



PROVINCIA DE SANTA FE			
CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES			
DIRECCION DE COOPERACION TECNICA			
NAVEGACION DE ULTRAMARINOS EN EL TRAMO SANTA FE - PUERTO SAN MARTIN DEL RIO PARANA			EXP N° 2515
PASO VINCULACION TRAGADERO-ANIMAS OBRA ANALIZADA Y UBICACION MATERIAL EXTRAIDO.			
TECNICO RESPONSABLE: Ing. LANDO Carlos A.	Fecha	Escala	Plano N°
PROYECTO: FICH. (UNL.)	ENE/94.	1:10.000	1.5.3
DIRECTOR PROYECTO: Ing. PRENDES Hector			

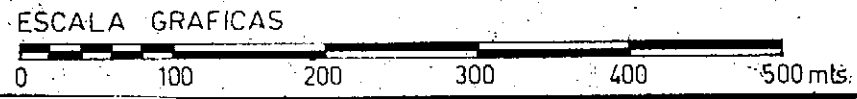


NOTA

Profundidades en metros referidas al

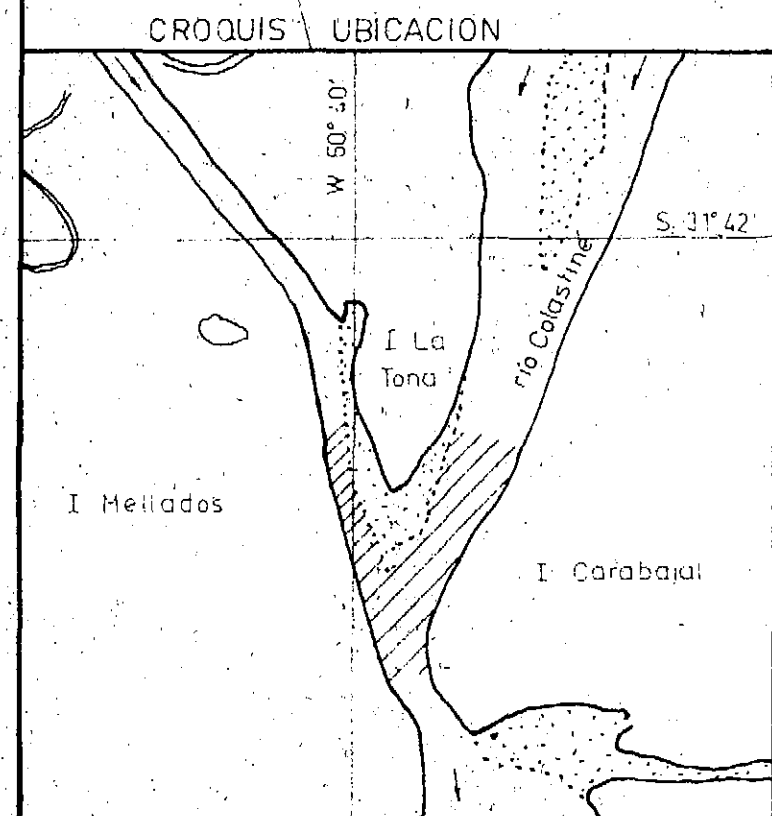
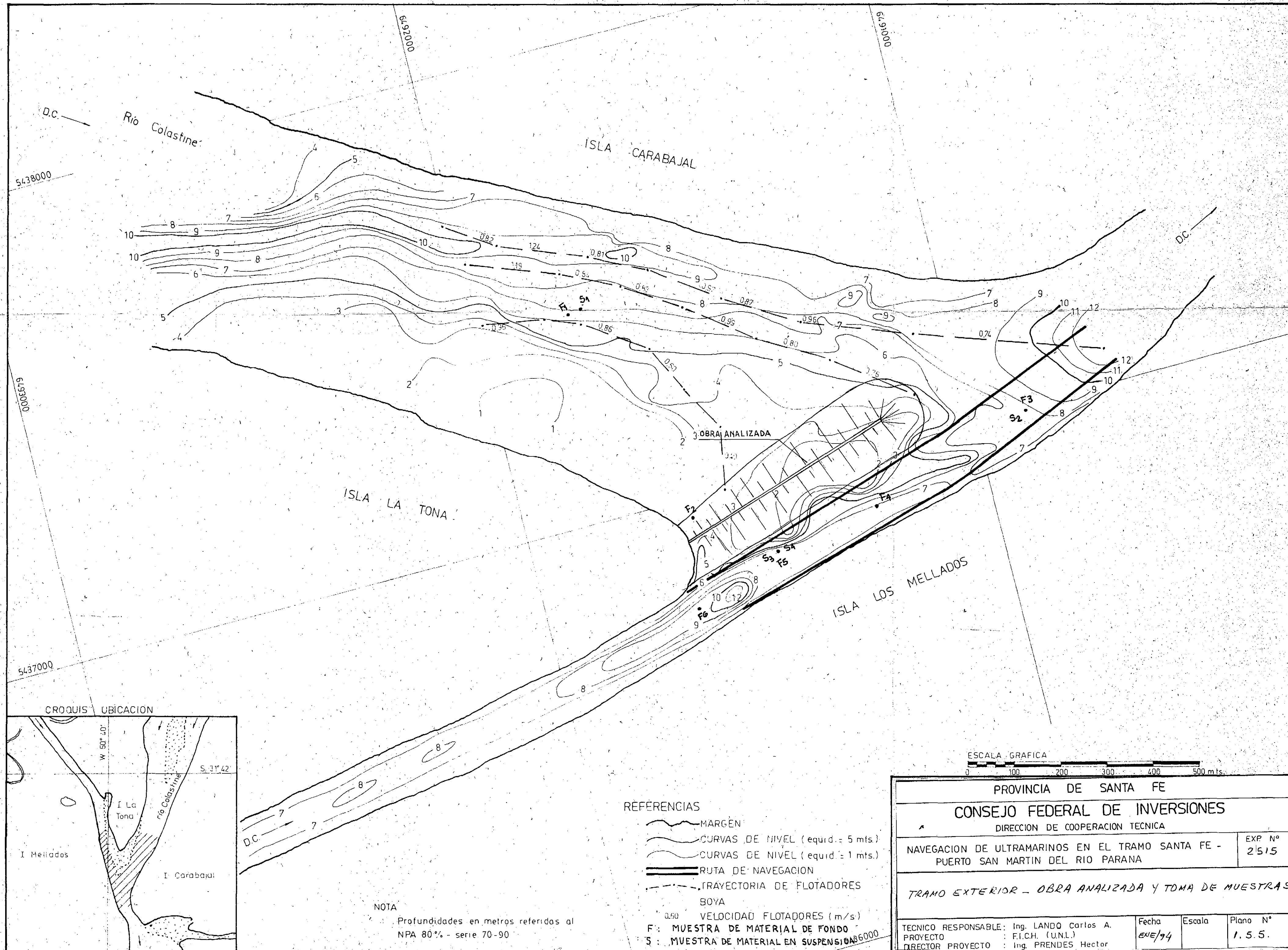
NPA 80% - serie 70-90

- REFERENCIAS
- 1.15 VELOCIDAD FLOTADORES (m/s)
  - ③ SECCION MODELO SEDIMENTOLOGICO
  - MARGEN
  - CURVA DE NIVEL (equid. = 5 mts.)
  - CURVA DE NIVEL (equid. = 1 mts.)
  - RUTA DE NAVEGACION
  - TRAYECTORIA DE FLOTADORES
  - BOYA



PROVINCIA DE SANTA FE			
CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES			
DIRECCION DE COOPERACION TECNICA			
NAVEGACION DE ULTRAMARINOS EN EL TRAMO SANTA FE - PUERTO SAN MARTIN DEL RIO PARANA			EXP N° 2515
PASO TRAGADERO - UBICACION MATERIAL EXTRAIDO.			
TECNICO RESPONSABLE: Ing. LANDO Carlos A.	Fecha	Escala	Plano N°
PROYECTO : F.I.C.H. (U.N.L.)	EVE/94.	1:10.000	1.5.4.
DIRECTOR PROYECTO : Ing. PRENDES Hector			



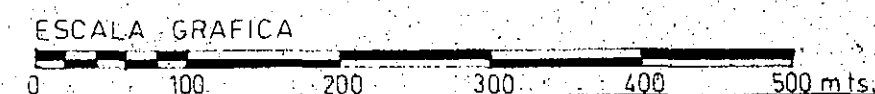


REFERENCIAS

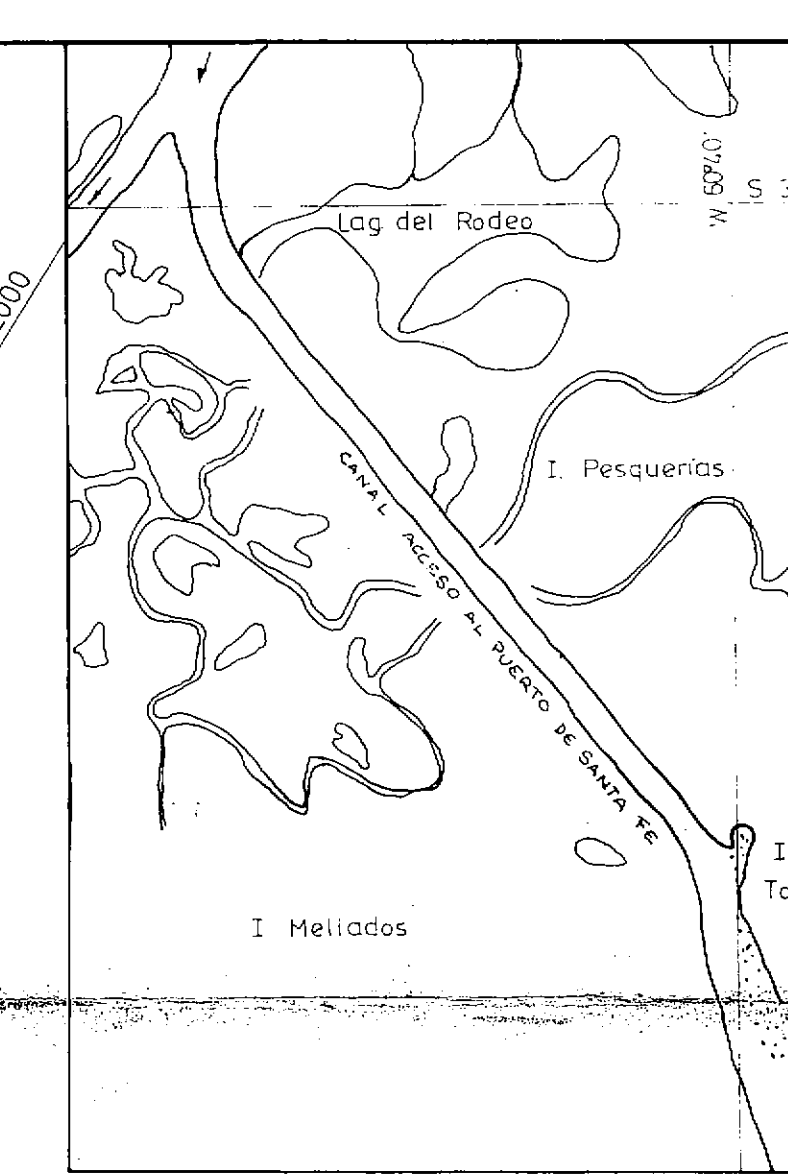
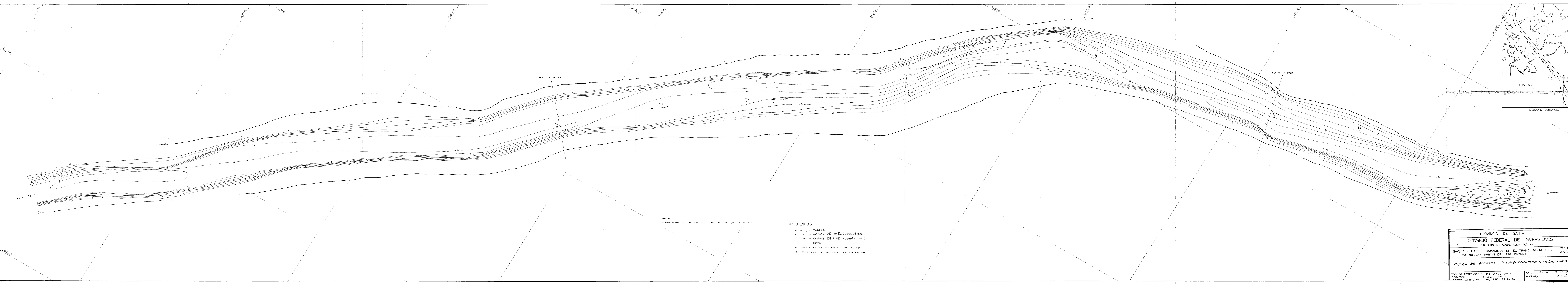
- MARGEN
- CURVAS DE NIVEL (equid. = 5 mts.)
- CURVAS DE NIVEL (equid. = 1 mts.)
- ROUTA DE NAVEGACION
- TRAYECTORIA DE FLOTADORES BOYA
- 0.50 VELOCIDAD FLOTADORES (m/s)
- F: MUESTRA DE MATERIAL DE FONDO
- S: MUESTRA DE MATERIAL EN SUSPENSION

NOTA

Profundidades en metros referidas al NPA 80% - serie 70-90



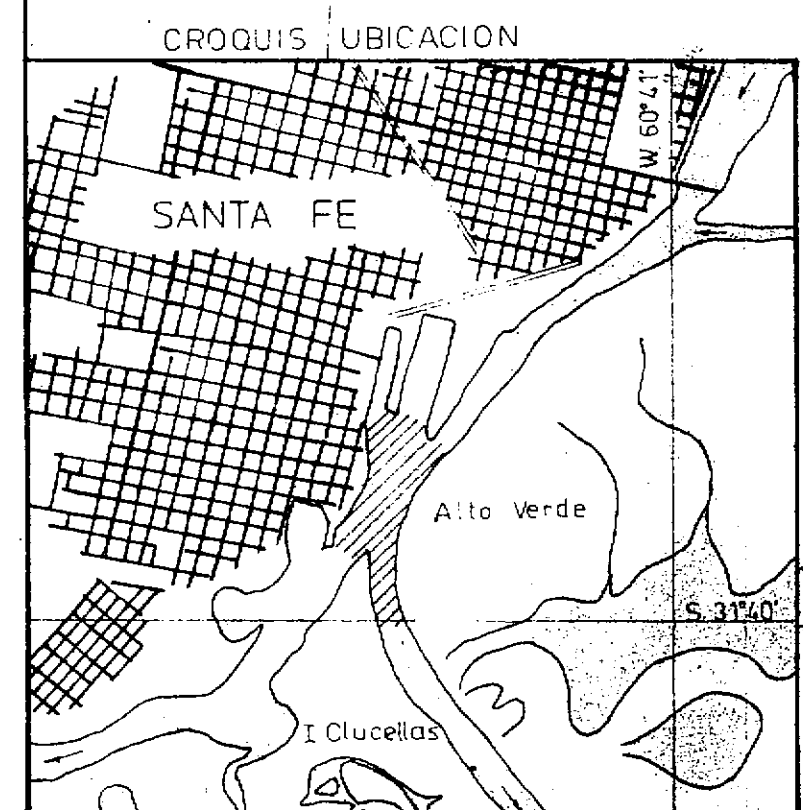
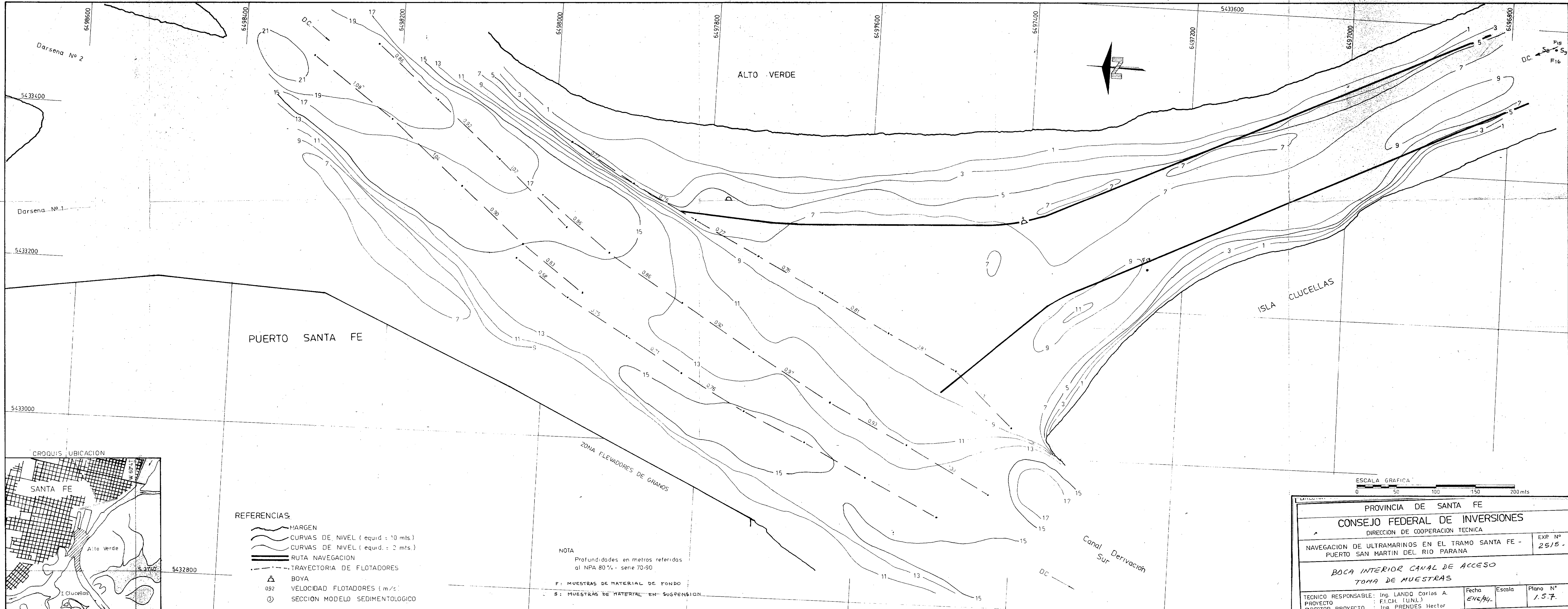
PROVINCIA DE SANTA FE			
CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES			
DIRECCION DE COOPERACION TECNICA			
NAVEGACION DE ULTRAMARINOS EN EL TRAMO SANTA FE - PUERTO SAN MARTIN DEL RIO PARANA			EXP N° 2515
TRAMO EXTERIOR - OBRA ANALIZADA Y TOMA DE MUESTRAS			
TECNICO RESPONSABLE: Ing. LANDO Carlos A.	Fecha: ene/94	Escala:	Plano N° 1.5.5.
PROYECTO: F.I.C.H. (U.N.L.)			
DIRECTOR PROYECTO: Ing. PRENDES Hector			



NOTA:  
PROFUNDIDADES EN METROS REFERIDAS AL N.P.M. BOY 564970 00

- REFERENCIAS
- MARGEN
  - CURVAS DE NIVEL (equid: 5 mts)
  - CURVAS DE NIVEL (equid: 1 mts)
  - BOYA
  - F: MUESTRA DE MATERIAL DE FONDO
  - S: MUESTRA DE MATERIAL EN SUSPENSION

PROVINCIA DE SANTA FE			
CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES			
DIRECCION DE COOPERACION TECNICA			
NAVEGACION DE ULTRAMARINOS EN EL TRAMO SANTA FE -		EXP. N° 2515	
PUERTO SAN MARTIN DEL RIO PARANA			
CANAL DE ACCESO - PLANALTIMETRIA Y MEDICIONES.			
TECNICO RESPONSABLE:	Ing. LANDO Carlos A.	Fecha:	ENE/94
PROYECTO:	F.I.C.H. (UNL)	Escala:	1:5.6
PROYECTO:	Ing. PRENDES Hector		



- REFERENCIAS:
- MARGEN
  - CURVAS DE NIVEL (equid. = 10 mts.)
  - CURVAS DE NIVEL (equid. = 2 mts.)
  - RUTA NAVEGACION
  - TRAYECTORIA DE FLOTADORES
  - BOYA
  - 092 VELOCIDAD FLOTADORES (m/s)
  - ③ SECCION MODELO SEDIMENTOLOGICO

NOTA  
Profundidades en metros referidas al NPA 80 % - serie 70-90  
F: MUESTRAS DE MATERIAL DE FONDO  
S: MUESTRAS DE MATERIAL EN SUSPENSION



PROVINCIA DE SANTA FE			
CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES			
DIRECCION DE COOPERACION TECNICA			
NAVEGACION DE ULTRAMARINOS EN EL TRAMO SANTA FE - PUERTO SAN MARTIN DEL RIO PARANA			EXP. N° 25/5
BOCA INTERIOR CANAL DE ACCESO			
TOMA DE MUESTRAS			
TECNICO RESPONSABLE:	Ing. LANDO Carlos A.	Fecha	ENE/94
PROYECTO	F.I.C.H. (U.N.L.)	Escala	
DIRECTOR PROYECTO	Ing. PRENDES Hector	Plano N°	1.5.7