

O/H. 35
P 29
V. Prel.
II

M FN -184

39012

GOBIERNO DE LA PROVINCIA DE SANTA FE
CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

CONTRATO Nº 2515

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

SEGUNDO INFORME DE AVANCE

TOMO 1

INGENIERIA FLUVIAL

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS HIDRICAS

SANTA FE, Octubre de 1993



Ministerio de Cultura y Educación
Universidad Nacional del Litoral

FACULTAD DE INGENIERIA
Y CIENCIAS HIDRICAS

Ciudad Universitaria

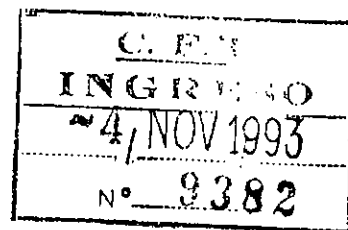
1993-184

Nota Nº

Expte. Nº

Santa Fe, 03 de noviembre de 1993.-

Sr. Secretario CFI
Ing. Juan CIACERA
S/D



De mi mayor consideración:

Adjunto a la presente envié el cuarto ejemplar del tomo 1 del "Estudio de Navegación con Ultramarinos en el tramo Santa Fe - Puerto San Martín", del río Paraná, como así también los cuatro ejemplares del tomo 2 que incluyen los temas de evaluación económica.

El hecho de una demora no prevista en la adquisición de datos de los costos de fletes en la vía de navegación, los cuales son de fundamental importancia, motivaron este pequeño atraso. En cuanto al cuarto ejemplar del tomo 1 fue un error involuntario.

De esta manera, consideramos formalmente cumplida la presentación de este segundo Informe de Avance, y solicitamos sea considerado en término.

Quedando a la espera de que sepa comprender y justificar estos inconvenientes, lo saludo a Ud. muy atte.

Ing. JULIO CESAR THEILER
DECANO

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

SEGUNDO INFORME DE AVANCE (OCTUBRE /93)

TOMO 1: INGENIERIA FLUVIAL.

INDICE

1.2 Mediciones de campo complementarias.

1.2.1 Tareas de campaña.

1.2.2 Tratamiento de información de campo.

1.2.3 Resultados de las mediciones.

1.4 Cálculo de volúmenes de sedimentación.

1.4.1 Metodología de cálculo.

1.4.1.1 Variación de transporte longitudinal.

1.4.1.2 Efecto por la no alineación del canal respecto
a la dirección de corriente.

1.4.1.3 Efecto de los taludes laterales.

1.4.1.4 Análisis de sensibilidad del modelo sedimentológico.

1.4.2 Aplicación del modelo sedimentológico.

- 1.4.2.1 Paso abajo Correntoso.
- 1.4.2.2 Paso Paranacito.
- 1.4.2.3 Paso abajo Tacuaní.
- 1.4.2.4 Paso Tacuaní (km 504 - 512).
- 1.4.2.5 Paso Tacuaní (km 512 - 515).
- 1.4.2.6 Paso abajo Diamante.
- 1.4.2.7 Paso Vinculación Tragadero - Animas.
- 1.4.2.8 Paso Tragadero.

1.4.3 Canal de Acceso al Puerto de Santa Fe

- 1.4.3.1 Introducción.
- 1.4.3.2 Información recopilada.
- 1.4.3.3 Estimación preliminar de volúmenes sedimentado.
- 1.4.3.4 Continuidad del estudio.
- 1.4.3.5 Recapitulación y conclusiones.

INDICE DE PLANOS, FIGURAS Y TABLAS

PLANOS

- 1.2.1 Relevamiento batimétrico y distribución de corriente en Paso Abajo Correntoso.
- 1.2.2 Relevamiento batimétrico y distribución de corriente en Paso Correntoso.
- 1.2.3 Relevamiento batimétrico y distribución de corriente en Paso Paranacito.
- 1.2.4 Relevamiento batimétrico y distribución de corriente en Paso Abajo Tacuaní.
- 1.2.5 Relevamiento batimétrico y distribución de corriente en Paso Tacuaní.
- 1.2.6 Relevamiento batimétrico y distribución de corriente en Paso Abajo Diamante.
- 1.2.7 Relevamiento batimétrico y distribución de corriente en Paso Raigones.
- 1.2.8 Relevamiento batimétrico y distribución de corriente en Paso Vinculación Tragadero-Animas.
- 1.2.9 Relevamiento batimétrico y distribución de corriente en Paso Tragadero.
- 1.2.10 Relevamiento batimétrico y distribución de corriente en el Tramo Exterior Canal de Acceso Puerto Santa Fe.
- 1.2.11 Relevamiento batimétrico y distribución de corriente en Boca Interior Canal de Acceso al Puerto de Santa Fe.
- 1.2.12 Relevamiento batimétrico y distribución de corriente en Canal de Acceso Puerto Diamante.

FIGURAS

- 1.2.1 Ubicación planimétrica perfil longitudinal eje ruta navegación.
- 1.2.2 Perfil longitudinal ruta de navegación.
- 1.2.3 Curva granulométrica material del lecho zona del determinante en Paso Abajo Correntoso.
- 1.2.4 Curva granulométrica material del lecho zona del determinante en Paso Correntoso.
- 1.2.5 Curva granulométrica material del lecho zona del determinante en Paso Paranacito.
- 1.2.6 Curva granulométrica material del lecho zona del determinante en Paso Abajo Tacuaní.
- 1.2.7 Curva granulométrica material del lecho zona del determinante en Paso Tacuaní.
- 1.2.8 Curva granulométrica material del lecho zona del determinante en Paso Abajo Diamante.
- 1.2.9 Curva granulométrica material del lecho zona del determinante en Paso Raigones.
- 1.2.10 Curva granulométrica material del lecho zona del determinante en Paso Vinculación Tragadero Animas.
- 1.2.11 Curva granulométrica material del lecho zona del determinante en Paso Tragadero.
- 1.2.12 Curva granulométrica material del lecho zona del determinante en Río Colastiné.
- 1.2.13 Curva granulométrica material del lecho zona del determinante en Boca Interior Canal de Acceso Puerto de Santa Fe.
- 1.2.14 Curva granulométrica material del lecho zona del

determinante en Puerto Diamante.

- 1.2.15 Curva granulométrica material del lecho zona del determinante en Paso Tacuaní (Km 512-515).
- 1.4.1 Esquema de cálculo modelo matemático sedimentológico.
- 1.4.2 Comparación resultados modelo diferentes distribuciones de corriente.
- 1.4.3 Comparación resultados modelo diferentes diámetros de sedimento.
- 1.4.4 Comparación resultados modelo diferentes fórmulas de transporte.
- 1.4.5 Comparación resultados modelo para aguas altas, medias y bajas.
- 1.4.6 Hidrograma medio para cálculo de sedimentación.
- 1.4.7 Limnigrama de calibración Paso Abajo Correntoso.
- 1.4.8 Calibración modelo Paso Abajo Correntoso.
- 1.4.9 Explotación modelo Paso Abajo Correntoso.
- 1.4.10 Volúmenes de Sedimentación Paso Abajo Correntoso.
- 1.4.11 Pérdida de profundidades Paso Abajo Correntoso.
- 1.4.12 Limnigrama de calibración Paso Paranacito.
- 1.4.13 Calibración modelo Paso Paranacito.
- 1.4.14 Explotación modelo Paso Paranacito.
- 1.4.15 Volúmenes de Sedimentación Paso Paranacito.
- 1.4.16 Pérdida de profundidades Paso Paranacito.
- 1.4.17 Limnigrama de calibración Paso Abajo Tacuaní.
- 1.4.18 Calibración modelo Paso Abajo Tacuaní.
- 1.4.19 Explotación modelo Paso Abajo Tacuaní.
- 1.4.20 Volúmenes de Sedimentación Paso Abajo Tacuaní.
- 1.4.21 Pérdida de profundidades Paso Abajo Tacuaní.
- 1.4.22 Limnigrama de calibración Paso Tacuaní (km 509-512).

- 1.4.23 Calibración modelo Paso Tacuaní (km 509-512).
- 1.4.24 Explotación modelo Paso Tacuaní (km 509-512).
- 1.4.25 Volúmenes de Sedimentación Paso Tacuaní (km 509-512).
- 1.4.26 Pérdida de profundidades Paso Tacuaní (km 509-512).
- 1.4.27 Limnigrama de calibración Paso Tacuaní (km 512-515).
- 1.4.28 Calibración modelo Paso Tacuaní (km 512-515).
- 1.4.29 Explotación modelo Paso Tacuaní (km 512-515).
- 1.4.30 Volúmenes de Sedimentación Paso Tacuaní (km 512-515).
- 1.4.31 Pérdida de profundidades Paso Tacuaní (km 512-515).
- 1.4.32 Limnigrama de calibración Paso Abajo Diamante.
- 1.4.33 Calibración modelo Paso Abajo Diamante.
- 1.4.34 Explotación modelo Paso Abajo Diamante.
- 1.4.35 Volúmenes de Sedimentación Paso Abajo Diamante.
- 1.4.36 Pérdida de profundidades Paso Abajo Diamante.
- 1.4.37 Limnigrama de calibración Paso Vinculación.
- 1.4.38 Calibración modelo Paso Vinculación.
- 1.4.39 Explotación modelo Paso Vinculación.
- 1.4.40 Volúmenes de Sedimentación Paso Vinculación.
- 1.4.41 Pérdida de profundidades Paso Vinculación.
- 1.4.42 Limnigrama de calibración Paso Tragadero.
- 1.4.43 Calibración modelo Paso Tragadero.
- 1.4.44 Explotación modelo Paso Tragadero.
- 1.4.45 Volúmenes de Sedimentación Paso Tragadero.
- 1.4.46 Pérdida de profundidades Paso Tragadero.
- 1.4.47 Volumen sedimentado Canal de Acceso.

TABLAS

- 1.4.1 Historial de dragado Tramo Exterior.

- 1.4.2 Historial de dragado Canal de Acceso.
- 1.4.3 Estimación de volúmenes sedimentados por diferencias de batimetrías.
- 1.4.4 Volúmenes sedimentados.
- 1.4.5 Estimación de volúmenes sedimentados por método de Owen-Camp.

1.2 MEDICIONES DE CAMPO COMPLEMENTARIAS

1.2.1 Tareas de campaña

Para efectuar un análisis del estado topobatimétrico e hidráulico del tramo en estudio, fue necesario realizar mediciones a lo largo del mismo para actualizar y complementar la información existente.

La falta de datos sobre: distribución de corriente, aspecto de relevante importancia en la aplicación del modelo matemático, las características del material del lecho, y los cambios morfológicos producidos por la creciente del río en junio-julio de 1992; fueron los motivos de los estudios de campos realizados en el mes de agosto de 1993.

Las mediciones realizadas se orientaron a obtener relevamientos con mayor densidad en los considerados "pasos críticos" y en forma expeditiva en todo el tramo longitudinal de la ruta de navegación.

Para llevar a cabo esta tarea, la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH) utilizó el siguiente equipamiento:

- * Equipo posicionador satelital (GPS)
- * Computadora Notebook Epson NB3s

- * Software de procesamiento de información satelital
- * Impresora Epson LX-810
- * Equipo generador de energía
- * Estabilizador de tensión
- * Sonda ecógrafa Raytheon
- * Embarcación Tipo crucero con motor de 120 hp, capacidad para pernoctar en la misma, lugar de trabajo en cabina, autonomía para cinco días de marcha continua, equipo de comunicaciones y bote de auxilio con motor fuera de borda.
- * Captador de muestras de material de fondo
- * Flotadores lastrados
- * Elementos secundarios (anteojos binoculares, brújulas, etc.)

Los trabajos de campo se desarrollaron durante la cuarta semana del mes de agosto de 1993. La comisión de trabajo estuvo integrada por 4 (cuatro) profesionales pertenecientes a la FICH, el Ingeniero Guillermo Zoppi Fontana, integrante del equipo técnico que inspecciona el estudio, y el timonel a cargo de la embarcación.

En la embarcación se instaló el equipamiento de medición según se observa en las fotos adjuntas.

En el transcurso de 2 (dos) días se navegó el río Paraná desde Rosario a Santa Fe. Durante el mismo se fue relevando batimetricamente en sentido longitudinal siguiendo la ruta de navegación. El relevamiento del lecho se efectuó con la sonda ecógrafa en forma continua, mientras que simultáneamente el posicionador satelital (GPS) determinaba la ubicación de la embarcación. El desplazamiento de la embarcación se hizo a baja velocidad.

Cada segundo el GPS determinaba, mediante señales satelitales, la posición de la embarcación, proporcionando una abundante información la que se almacenó, en soporte magnético clasificados por tramos parciales. Mediante un software de procesamiento de la información almacenada se efectuó una "limpieza" de información, considerando únicamente las posiciones de la embarcación coincidentes con espacios regulares de tiempo de 10 (diez) segundos.

Simultáneamente, mientras se producía el almacenamiento de la información de posicionamiento, la sonda ecógrafa registraba la profundidad. La vinculación entre ambos registros se realizó efectuando una marca en la faja registradora de la ecógrafa, en coincidencia con un "top" o señal emitida por el operador del GPS, y colocando la hora de producida la misma.

Cada una de estas señales se ubicaron en coincidencia con la posición de puntos de interés de la ruta, tales como señales o balizas, cambios de direcciones de la embarcación, cambios visibles de la velocidad de corriente, etc.

En la pantalla de la computadora, y en un sistema de ejes coordenadas que determinan longitud y latitud, se observó a modo de control el recorrido efectuado, en todos los tramos parciales en que se subdividió la ruta.

El trabajo de relevamiento de los llamados "pasos críticos" se hizo navegando desde Santa Fe a Rosario y con mayor grado de detalles.

El método empleado para el posicionamiento y el relevamiento del lecho fue similar al descrito anteriormente, con el agregado que a cada paso se lo navegaba, a velocidad constante y continuamente, en sentido transversal al curso cambiando de dirección al llegar a las márgenes. Este sistema de "cosido" en el relevamiento permitió cubrir la totalidad del área en estudio y obtener una densidad suficiente para representar la morfología en detalles.

Para determinar la distribución y velocidades de la corriente fue necesario realizar trayectorias de flotadores, convenientemente distribuidos para cubrir toda el área de interés en cada uno de los "pasos críticos". Se utilizaron como flotadores caños de PVC de 3.0 m de longitud lastrados,

sobresaliendo 0,5 m de la superficie de agua tratando, de esta manera, de reproducir velocidades medias superficiales con un mínimo de afectación por vientos.

Mediante el GPS se determinó el posicionamiento de los flotadores a intervalos de tiempo variables entre 2 y 3 minutos. Para ello se ubicaba la embarcación durante unos pocos segundos muy cerca del flotador, y en el instante en que la antena del GPS se lograba aproximar al flotador, se congelaba en pantalla de pc la posición geográfica y el tiempo, valores que fueron tomados como información resultante de la tarea. Este sistema empleado permitió que simultáneamente se pueda seguir a toda una batería de flotadores, cubriendo la zona de interés en relativamente poco tiempo de trabajo.

Las muestras de material del lecho fueron extraídas con 2 (dos) conos metálicos lastrados, colocados en serie y vinculados entre sí por una cadena de aproximadamente 1 m; y atados a una soga de longitud suficiente para llegar al lecho del río desde la cubierta de la embarcación. Cada punto de estación de muestra era planimétricamente ubicado mediante el GPS.

1.2.2 Tratamiento de la información de campo

Sobre el registro continuo de la ecógrafa, se trazó a mano alzada una línea definiendo el nivel medio del lecho, de modo tal que se dejaran superficies equivalentes de crestas de dunas por

encima y valles de las mismas por debajo.

Esta definición del nivel medio del lecho compensa los volúmenes de las crestas con los correspondientes a los valles de dunas.

Teniendo como base la ubicación de la embarcación en un plano para cada "top" o señal en la faja de la ecógrafa, se procedió a ubicar, sobre las trayectorias de la embarcación, a las posiciones intermedias entre "tops", en cada cambio de pendiente del nivel medio del lecho. De esta manera fueron volcados sobre el plano los puntos más representativos de la planimetría del lecho del río, los cuales se utilizaron para el trazado de isobatas referidas a la cota del nivel del pelo de agua con 80% de probabilidad de ser superado, de la serie 70/90.

Las distribuciones de corriente fueron volcadas en los mismos planos ubicando las posiciones de los flotadores para cada punto de medición.

Se calcularon luego, las velocidades medias para cada trayecto parcial entre dos puntos sucesivos.

Las muestras de material extraídas de la superficie del lecho, en cada uno de los pasos críticos, fueron analizadas en el Laboratorio de Sedimentología de la FICH. A tales fines se procedió con la rutina convencional de cuartear la muestra, secarla y tamizarla, colectando y pesando las fracciones

retenidas en cada uno de los tamices.

1.2.3 Resultado de las mediciones de Campo.

En la Fig. Nº 1.2.1 se grafica en planta la trayectoria de la embarcación durante el relevamiento longitudinal por el canal de navegación. En la misma se ubicaron algunas progresivas de la ruta y la posición aproximada de los pasos críticos. Algunos pequeños cambios bruscos que se observan en la dirección de navegación, corresponden a correcciones efectuadas buscando mayores profundidades ya que el sistema de señales existente era insuficiente.

En la Fig. Nº 1.2.2 se graficó el perfil longitudinal del tramo en estudio entre las progresivas km 460 (Pto. San Martín) y km 592 (Pto. Santa Fe). Dada la escala del dibujo se graficaron los puntos más representativos, sin destacar detalles y singularidades ya que las mismas son contempladas en los planos detallados de cada paso. Se superpuso una línea continua representando el nivel de referencia o nivel del pelo de agua con 80 % de probabilidad de ser superado, para la serie de registros limnimétricos 1970 - 1990, según lo establece el pliego licitatorio de la concesión de la ruta; y otra representando el nivel medio que el lecho del canal no debe superar cuando el nivel hidrométrico sea inferior al nivel del 80% tomado como referencia. Estos 24 pies de diferencia entre ambas líneas corresponden a 22 pies de calado más 2 pies de revancha que establecen las exigencias de la concesión de la ruta .

Como puede observarse los lugares que requieren de dragado de mantenimiento, según la morfología actual, son los pasos Abajo Correntoso, Paranacito, Abajo Tacuaní, Tacuaní en sus dos subtramos, Abajo Diamante, Vinculación Tragadero - Animas y Tragadero; y el canal de acceso al puerto de Santa Fe en el tramo exterior.

Para calados similares a los establecidos en la concesión no necesitan mantenimiento significativo los pasos Copello, Correntoso, Raigones y Animas - Paracao y el tramo correspondiente a la boca interior o antepuerto de Santa Fe.

En los Planos N° 1.2.1 al N° 1.2.12 se volcaron, en el sistema de coordenadas Gauss-Kruger, los resultados de los relevamientos batimétricos detallados y distribución de corriente, en cada uno de los Pasos considerados "críticos" a priori de las mediciones, incluyendo el acceso al Puerto de Diamante y los subtramos Boca interior y Tramo exterior del Canal de Acceso al Puerto de Santa Fe.

Tal cual fueron programadas, las tareas de campaña se desarrollaron cubriendo en detalles solo las zonas críticas de cada uno de los pasos, motivo por el cual las márgenes o contornos de islas y bancos, fuera del eje de la ruta, han sido ubicadas aproximadamente en base a los relevamientos más actualizados disponibles de la DNCPy VN.

En las Figs N° 1.2.3. a N° 1.2.15 se presentan los

resultados obtenidos de los análisis granulométricos realizados a las muestras de sedimentos del lecho. Adicionalmente a la curva granulométrica se presentan algunos valores de diámetros característicos que son usualmente utilizados para estudios sedimentológicos.

1.4 CALCULO DE VOLUMENES DE SEDIMENTACION

1.4.1 Metodología de cálculo

Los principales mecanismos por los cuales se deposita sedimento en el canal de navegación, en los Pasos críticos son:

- a) Variación de capacidad de transporte longitudinal.
- b) Efecto por la no alineación del canal respecto a la dirección de corriente.
- c) Efecto de los taludes laterales.

Los cálculos de volúmenes de mantenimiento para las distintas alternativas de calado analizadas, en cada Paso crítico, se efectuaron mediante el uso de un modelo matemático sedimentológico con lecho móvil. Las principales características del mismo son: régimen permanente, resolución explícita, variaciones de parámetros hidráulicos y sedimentológicos unidireccional en el sentido del eje del canal, y cálculo de sedimentación y ó erosión en una grilla discreta, por el método de balances en cada paso de tiempo.

Un aspecto importante a tener en cuenta para los cálculos de la sedimentación en cada sector del cauce es la distribución de corriente. A ésta se la consideró variable en el tiempo y con

los sucesivos estados del río. Para cada Paso la misma ha sido calculada en función de la morfología del cauce y de la distribución de corriente, ambas obtenidas durante el desarrollo de la campaña de mediciones complementarias.

A tales fines se calcularon los coeficientes de pérdida de energía por sectores de similares características, para cada sección del modelo, en cada Paso. Los valores obtenidos fueron ajustados de acuerdo a las distribuciones de corriente medidas en campaña.

Para ello se utilizó el concepto de distribución de caudales específicos a partir de velocidades medias obtenidas por medio de la expresión de Chezy, manteniendo constante la relación entre el coeficiente de fricción y la pendiente de energía en cada sección.

Si bien es probable que luego del dragado del canal, la velocidad media en el mismo, para un mismo estado del río, aumente levemente, dada la carencia de datos de campo para evaluar las nuevas condiciones, se ha supuesto que la velocidad se mantiene constante. Se considera a ésta hipótesis un tanto conservadora, a los efectos de calcular los volúmenes de mantenimiento a dragar.

En cada Paso o tramo de cauce crítico se aplicó el modelo para calcular el recrecimiento del fondo. Este se obtiene a partir de un balance de transporte de sedimentos en cada subtramo

limitado, longitudinalmente por dos perfiles transversales consecutivos, y lateralmente por los veriles del canal.

En la Fig. N° 1.4.1 se detallan todas las entradas y salidas de sedimento que contempla el modelo para cada subtramo o celda de cálculo. Estos flujos de sedimentos se calcularon según metodologías que se describen a continuación.

1.4.1.1. Diferencia de capacidad de transporte longitudinal

La mayoría de los problemas de calado en los Pasos críticos están directamente relacionados a expansiones del río en planta, asociadas generalmente a bifurcaciones de caudal.

Ambos hechos traen como consecuencia una disminución importante del caudal líquido específico y con ello, una pérdida considerable de la capacidad de transporte de sedimentos por parte de la corriente.

En estos pasos, la cantidad de sedimento que ingresa a los mismos es mayor que la que sale, motivo por el cual, se produce una acumulación de sedimentos.

Para cada perfil transversal del modelo, la corriente transporta sedimentos en suspensión y por arrastre de fondo. Estos caudales solidos se determinaron mediante la siguiente expresión; desarrollada por Engelund - Hansen (1967).

$$q_{st} = q_{ss} + q_{sf} = 0.05 \cdot V^2 \cdot \sqrt{(d_{50}/g \cdot (S-1))} \cdot (\tau_0/(S-1) \cdot \delta \cdot d_{50})^{1.5}$$

Donde:

V = velocidad media de la corriente

d_{50} = diámetro del sedimento del lecho

g = aceleración de la gravedad

S = densidad relativa

τ_0 = tensión de corte de fondo total

δ = peso específico del agua

q_{st} = caudal sólido unitario total

q_{ss} = caudal unitario de sedimento en suspensión

q_{sf} = caudal unitario de sedimento arrastrado por el fondo

1.4.1.2. Efecto por la no alineación del canal respecto a la dirección de corriente.

Cuando la dirección de la corriente presenta un cierto sesgo o ángulo de desvío con respecto a la alineación del canal de navegación, el sedimento transportado cruza el canal, el cual actúa como si fuera una trampa de sedimentos, especialmente para el que se transporta por arrastre de fondo.

En estos casos, en cada subtramo del modelo, se calculó para cada paso de tiempo el caudal de sedimento entrante, según las

características del transporte en la playa contigua al canal (ver Fig. N°1.4.1), y el saliente, según las características hidráulicas en la solera del canal. La diferencia entre ambos, teniendo en cuenta el ángulo de sesgo entre corriente y canal, da como resultado el flujo neto de sedimentos que se deposita o queda atrapado en cada subtramo, por efecto de cruzamiento o sesgo del canal.

Para este cálculo se utilizó la expresión de Engelund-Fredsøe (1976) para transporte de sedimento de fondo:

$$q_{sf} = \Phi B \cdot \sqrt{(S-1) \cdot g \cdot d_{50}^3 \cdot \tau}$$

$$\Phi B = (10/\beta) \cdot (\tau'^* - \tau^*_{*c}) \cdot (\sqrt{\tau'^*} - 0.7 \cdot \sqrt{\tau^*_{*c}})$$

$$\tau'^* = \tau^*_{*c} + 0.3 \cdot \tau^{*1.5}$$

Donde:

ΦB = función adimensional de transporte

τ'^* = tensión de corte efectiva adimensional

τ^*_{*c} = tensión de corte crítica adimensional

β = coeficiente de roce dinámico ≈ 1 para arenas naturales

τ^* = tensión de corte adimensional total

Los ángulos de sesgo entre dirección de corriente y dirección del canal se consideraron variables en los subtramos de cada Paso. Los valores han sido determinados en base al concepto de distribución morfológica de las líneas de corriente

según la metodología recientemente descripta e información topobatrímica y e hidráulica obtenida durante las mediciones de campo complementarias.

1.4.1.3. Efecto de los taludes laterales

Aún en el caso de corrientes paralelas al eje del canal, se produce un cierto aporte de sedimentos al mismo por efecto de los taludes laterales. En este caso la corriente es coincidente con la alineación del canal, pero la trayectoria que describen las partículas del fondo transportadas por arrastre, tienen una componente, variable en magnitud, hacia la solera del canal, perpendicular a la dirección de la corriente. Esto se debe al efecto de la gravedad actuando sobre las partículas que se desplazan en un plano inclinado (taludes laterales).

Este mecanismo de aporte de sedimentos desde los taludes hacia la solera de los canales de navegación, ha sido estudiado. Para los cálculos efectuados en este informe se ha adoptado la metodología desarrollada por Fredsøe (1978), que emplea las siguientes fórmulas básicas:

$$A(t) = a (\sqrt{\Gamma/\sqrt{\pi}}) \cdot (\sqrt{(t+t_0)} - \sqrt{t_0})$$

$$\Gamma = qsf / (1 - \eta) \operatorname{tg} \phi$$

$$t_0 = (\pi/64) \cdot a^2 / \sqrt{(\operatorname{tg} \alpha_0)^2}$$

Donde:

$A(t)$ = volumen sedimentado por metro de longitud del canal en un tiempo (t)

a = profundidad dragada respecto del fondo original

ϕ = ángulo de fricción dinámica

t = tiempo de sedimentación

n = porosidad del sedimento

α_0 = ángulo de talud del canal

El procedimiento empleado ha sido el siguiente:

- 1) Se calcula el volumen aportado por los taludes en un tiempo t
- 2) Se calcula el recrecimiento en función del área trapecial para el 1º paso de tiempo.
- 3) Se calcula el nuevo talud (Z')
- 4) Se calcula nuevamente el volumen aportado por los taludes en el tiempo t_2
- 5) Se calcula el nuevo recrecimiento para el tiempo t_2 con el nuevo talud (Z') y así sucesivamente.

1.4.1.4 Análisis de sensibilidad del modelo sedimentológico

Es probable que los resultados obtenidos tengan alguna variación en función de modificaciones en la metodología de cálculo empleada, sin embargo se considera que éstas serían menores a las debidas a cambios en los datos de entrada al

modelo. En relación a este aspecto se han realizado corridas de prueba del modelo para diferentes valores de los parámetros más significativos que se han empleado en los cálculos.

El objetivo ha sido acotar, en alguna medida, estas diferencias. De este modo se pretende dar una idea de la influencia que tendrían sobre los volúmenes de mantenimiento factores de incertidumbre tales como falta de información actualizada, errores en la estimación del transporte de sedimentos o variaciones del hidrograma de cálculo empleado.

Este análisis de sensibilidad se ha realizado, en el año 1991 para un Paso del Paraná Inferior considerándose válida su extrapolación a los demás Pasos de la ruta. A los fines de ejemplificar las incertidumbres ya citadas, se consideraron cambios en la distribución de corriente y en la granulometría. Se varió además, mediante el empleo de coeficientes, la fórmula de transporte de sedimentos y se utilizó el modelo con los hidrogramas extraordinarios observados en los años 1983 y 1968.

En todos los casos las corridas de sensibilidad del modelo se efectuaron dragando el Paso a diferentes profundidades desde 30 a 40 pies, cada dos pies, referidos al cero local y computando el volumen de sedimentos depositados en el mismo al cabo de un año de simulación. A tales efectos se consideró como válido analizar las variaciones de los volúmenes de mantenimiento relativos entre alternativas y no los valores absolutos.

Cambios en la distribución de corriente

No siempre se dispone de información hidráulica actualizada en todos los pasos, como así tampoco se puede asegurar que una determinada configuración de las líneas de corriente perdure invariablemente en el tiempo por varios años. El primer caso ha sido subsanado en este estudio mediante la campaña de mediciones de campo complementarias. No obstante es altamente probable que, debido a cambios morfológicos aguas arriba de cada paso, esta distribución de corriente observada no permanezca inalterada durante todo el período de la concesión de la ruta.

A los efectos de comparar resultados y analizar la sensibilidad de los mismos ante este hecho, el cual debería subsanarse efectuando en forma sistemática mediciones en el campo, se realizaron cálculos con la distribución de corriente obtenida mediante coeficientes ajustados a partir de la calibración y como contraste dos situaciones en las que se varió un 25% en más y un 25% en menos los caudales específicos para cada sección. En la Fig. Nº 1.4.2 se presentan los resultados obtenidos.

Cambios en el tamaño de los sedimentos

Si bien no se dispuso de información detallada, solo se conocen algunos valores aislados de tamaños de sedimentos del lecho, se considera que en general no deberían esperarse cambios

importantes en el diámetro medio del mismo, para cada uno de los Pasos incluidos en el tramo.

No obstante se consideró conveniente analizar la sensibilidad de los resultados ante variaciones de este parámetro. Para ello se realizaron corridas del modelo utilizando un diámetro medio de 250 micrones, considerado como un valor medio estimativo, y dos valores de prueba de 200 y 300 micrones respectivamente. Los resultados obtenidos se presentan en la Fig. Nº 1.4.3.

Diferencias en la tasa de transporte

Usualmente, debido a la falta de caracterización hidráulica-sedimentológica o falta de datos para verificar una determinada teoría o fórmula de transporte de sedimentos, los modelos a fondo móvil se aplican probando entre las fórmulas disponibles un grupo de ellas, que se considera más apropiado para el tramo de río a modelar.

Si bien en el tramo medio del Río Paraná esta técnica es utilizada, hoy se concluye, a través de la experiencia recogida, que hasta tanto no se genere una fórmula propia para el Río Paraná, es aceptable considerar a la ecuación de Engelund- Hansen como una de las más recomendables para calcular el transporte total de sedimentos.

No obstante ello, se analizó la sensibilidad de los resultados ante variaciones de 100% en más y en menos de la tasa de transporte obtenida por esta fórmula, mediante un simple coeficiente de disminución y mayoración del caudal sólido en cada sección del modelo. En la Fig. N° 1.4.4 se presentan los resultados obtenidos.

Variaciones del estado hidrométrico del río

Como ya se expresara, todos los cálculos de mantenimiento de la ruta se realizaron para un hidrograma anual medio. Esta posición se considera totalmente válida para comparar las diferentes alternativas de calado y el correspondiente aumento de volúmenes de mantenimiento de la ruta, evaluado en términos medios a través de un período de utilización de la ruta lo suficientemente largo como para que el comportamiento hidrológico promedio del río se aproxime a su comportamiento medio histórico.

Esto no significa que el volumen de mantenimiento esperable para una alternativa de calado sea el calculado, pues esto está condicionado a la probabilidad de ocurrencia de dicho hidrograma de cálculo para ese año.

En la realidad, si bien a través del tiempo los volúmenes de mantenimiento tienden a un valor medio, que es el obtenido en los cálculos del presente informe, es esperable que en

determinados años se produzcan diferencias significativas como consecuencia de períodos extremadamente secos o extremadamente húmedos. Dentro de este rango de variaciones cada año hidrológico medio observado o esperable tendrá una determinada probabilidad de ocurrencia.

El motivo del presente análisis de sensibilidad es acotar dicha banda de variaciones para lo cual se ha corrido el modelo con dos años extremos observados. Uno de ellos considerado hiperhúmedo correspondiente a la creciente de 1983 y el otro considerado el más seco de los últimos años y que corresponde al estiaje del año 1968. En la Fig. Nº1.4.5 se presentan los resultados obtenidos.

Conclusiones del análisis de sensibilidad

Para el caso de variaciones en la distribución de corriente se puede observar que si bien para las alternativas de poco calado la dispersión de los resultados es de poco más de un 10%; para las alternativas de mayor calado los resultados son modificados de manera importante. Por ejemplo para el caso de canal dragado inicialmente a 40 pies al cero local, la dispersión de resultados es de aproximadamente un 30%. Esto indica la importancia de contar con la distribución de corriente medida en el campo, fundamentalmente para evaluar las alternativas de mayores calados.

En cuanto a cambios en el tamaño de los sedimentos del lecho, los resultados obtenidos muestran una variación inferior al 1% en todo el rango de alternativas de profundidades dragadas analizadas, por lo que se considera esta variación como prácticamente despreciable. Los resultados obtenidos tienen una explicación, por cuanto la variación en la tasa de transporte debida a cambios en el tamaño de sedimentos influye tanto en la sección de ingreso como en la sección de salida de cada subtramo, haciendo que las variaciones de flujo neto, y por lo tanto el balance de sedimentos, no se alteren significativamente.

Una explicación similar tiene el efecto de variaciones en la fórmula o tasa de transporte, ya que según puede observarse variaciones de 100% en más y 50% en menos del transporte de sedimentos dan variaciones de como máximo, para 36 pies, un 5% en más o menos .

Es importante destacar que todas las variaciones hasta aquí analizadas, tales como distribución de corriente diámetro de sedimento y fórmula de transporte deben evaluarse en forma global sobre todo el tramo, ya que si bien en algunos Pasos estos parámetros han sido subestimados, en otros fueron sobreestimados y por lo tanto en la sumatoria de los volúmenes de mantenimiento de todos los Pasos se producen compensaciones que atenúan los errores totales.

Lamentablemente, no ocurre lo mismo con las variaciones de

los volúmenes de mantenimiento producidas por cambios en el estado hidrométrico del río, pues éstos además de ser importantes suman con igual signo su influencia en todos los Pasos, por cuanto el estado del río es para todos el mismo.

En resumen, de todos los elementos analizados, el estado hidrológico del río, ha resultado ser altamente influyente en el volumen de mantenimiento anual necesario para la ruta. En efecto, según puede observarse en la Fig. N°1.4.5, la ocurrencia de un evento de las características del observado en el año 1983, significará costos de mantenimiento de los Pasos que podrían llegar a triplicarse para las alternativas de poco calado y a poco más que duplicarse para las alternativas de mayores calados con respecto a los valores medios calculados.

Es evidente que durante dicho año si bien la sedimentación de los Pasos es importante, también lo es el nivel de agua, como para no crear problemas en la navegación pero sin dudas, las grandes erogaciones de dinero se suceden tan pronto como el río comienza a bajar a sus niveles líquidos normales con un fondo excesivamente elevado consecuencia del período de aguas altas ocurrido con anterioridad.

Una observación importante de destacar corresponde a los años secos o de estiaje pronunciado, donde los volúmenes de mantenimiento se reducen notablemente y adicionalmente a ello, el aumento de profundidad para diferentes alternativas no significa grandes aumentos de mantenimiento.

Los resultados obtenidos para esta condición, ó estado del río, se corresponden con las experiencias documentadas de la DNCPyVN de bajo mantenimiento para años secos. Una explicación muy general es la tendencia del río a encausarse en su talweg, coincidente con el canal de navegación, durante aguas bajas y en consecuencia a mantener el canal autodragado y con bajas tasas de transporte de sedimentos al ingreso del Paso.

Una tarea sumamente útil, pero que correspondería a una etapa de proyecto, sería el cálculo detallado de los costos de mantenimiento para la ruta ante diferentes estados del río, asociados a probabilidades y en consecuencia a períodos de recurrencia. Estos cálculos acotarían las previsiones económicas a contemplar asociadas a ciertos riesgos de ocurrencia.

Por el momento a nivel de Factibilidad de diferentes alternativas de calado, este análisis solo se efectuó a los efectos de contemplar, dentro de un rango de mantenimiento promedio para un período largo, la ocurrencia de años críticos con fuertes flujos o erogaciones de gastos que podrían duplicar e incluso triplicar los valores medios calculados.

1.4.2 Aplicación del modelo matemático

El desarrollo de este punto trata sobre la implementación, calibración y explotación del modelo matemático sedimentológico en cada Paso.

El objetivo es calcular los volúmenes sedimentados anuales por intervalos, posteriormente al dragado inicial del Paso; y en consecuencia, la evolución del determinante a través de ese período. Dichas curvas Volumen/Profundidad de dragado y Determinante/Tiempo, son posteriormente consideradas como curvas características del Paso para determinar cuales serían los volúmenes de dragado de mantenimiento para cada alternativa de calado. A tales fines se mantuvieron constantes para cada paso los siguiente parámetros y variables hidrosedimentológicas del modelo:

- . Diámetro medio del sedimento.
- . Taludes laterales iniciales del canal estabilizado post-dragado
- . Ancho del canal ($B=116$ m),
- . Pendiente del pelo de agua
- . Longitud de cada subtramo
- . Tensión de corte crítica y ángulo de fricción dinámica del sedimento.
- . Discretización del Paso (invariable para todas las alternativas).
- . Intervalos de cálculo sedimentológico.

En función de los resultados obtenidos, durante las mediciones de campo complementarias en agosto de 1993, se consideró necesario aplicar el modelo matemático para calcular los volúmenes de dragado de mantenimiento de los Pasos: Abajo

Correntoso, Paranacito, Abajo Tacuaní, Tacuaní (km 509 - 512), Tacuaní (km 512 - 515), Abajo Diamante, Vinculación Tragadero - Animas y Tragadero.

De acuerdo a las mediciones recientes se considera que en un futuro mediano, el resto de la ruta no presenta problemas de mantenimiento significativos para calados según el concesionamiento de la ruta ó levemente superiores.

Para la explotación del modelo en cada uno de los ocho pasos recientemente detallados se utilizó un hidrograma hipotético cuya probabilidad de ocurrencia para un determinado año es muy pequeña, pero que los efectos sedimentológicos inducidos por el mismo se corresponden a una condición media a través de un período de varios años, tal cual lo establecen las condiciones licitatorias para el período de concesión de la ruta.

Este hidrograma ha sido calculado en base a los registros hidrométricos diarios observados en Puerto Paraná para la serie 1970 - 1990.

Para ello se determinó la curva de frecuencia anual y se la dividió en seis subperíodos de dos meses de duración cada uno, obteniéndose en consecuencia seis escalones de caudales medios.

Para conformar, con estos escalones, un hidrograma continuo se los ubicó en correspondencia con las formas clásicas de los hidrogramas del río Paraná. El resultado de esta tarea es un

hidrograma anual cuyo volumen de descarga representa al módulo, su distribución de frecuencias es idéntica a la de la serie 1970 - 1990, y cuya forma se corresponde a la mayoría de los hidrogramas observados durante dicho período.

En la Fig. Nº 1.4.6 se puede observar el resultado del cálculo precedentemente detallado. Este hidrograma ha sido considerado como representativo de las condiciones hidrológicas medias del río para un período de varios años.

1.4.2.1. Paso Abajo Correntoso

Implementación del Modelo

Se utilizó un relevamiento general de la DNCPyVN de junio de 1993. Para reproducir la evolución del lecho del canal en el paso se subdividió al mismo en 9 subtramos limitados por 10 secciones espaciadas regularmente cada 250 metros. Las mediciones de distribución de corriente, realizadas por la FICH en agosto de 1993 se utilizaron para determinar los porcentajes de caudales y las direcciones de corriente en cada una de las secciones del modelo. En el Plano Nº 1.2.1. se puede observar como fue discretizado el canal en el paso para la aplicación del modelo.

Calibración

Para esta tarea se utilizó el período comprendido entre el

relevamiento de setiembre de 1991 (Plano N° 8494 DNCPyVN) y el anteriormente citado de junio de 1993 (Plano N° 14958 DNCPyVN), totalizando 21 meses. A partir de la distribución de líneas de corriente medidas durante la campaña de agosto de 1993 por la FICH, se estimaron coeficientes de resistencia al escurrimiento para los diferentes subtramos en que fue dividido el paso. Se hizo funcionar el modelo utilizando como dato de entrada al limnigrama observado durante el período de calibración, cuyos valores se grafican en la Fig. 1.4.7, mediante sucesivos ajustes de los coeficientes de calibración se logró reproducir el perfil longitudinal del lecho con aceptable similitud al observado. En la Fig. 1.4.8. se presentan los resultados obtenidos.

Explotación del Modelo

Se tomó como condición inicial la obtenida del relevamiento de junio de 1993 por la DNCPyVN.

A partir de esa morfología se simularon dragados cortando el lecho a 24, 26, 28 y 30 pies, referidos al nivel del pelo de agua con 80% de probabilidad de ser superado para la serie 1970 - 1990.

Posteriormente, se simuló el recrecimiento de los niveles medios del lecho para cada subsector del modelo, alimentando al mismo con caudales y niveles de pelo de agua correspondientes al limnigrama medio de explotación definido en el punto 1.4.2. (Fig. 1.4.6).

Al cabo de un año de evolución del lecho, se registró el perfil longitudinal final obtenido y se calcularon los volúmenes sedimentados en el Paso.

En la Fig. 1.4.10 se presentan los resultados obtenidos.

A modo de ejemplo se grafican en la Fig. 1.4.9 los perfiles longitudinales finales correspondientes a dragados iniciales de 26 y 30 pies.

En la Fig. 1.4.11 se graficaron las pérdidas de profundidades en el determinante del Paso a través del tiempo referidos al nivel de pelo de agua establecido por el pliego licitatorio de la concesión de la ruta.

1.4.2.2. Paso Paranacito

Implementación del Modelo

Se utilizó un relevamiento general de agosto de 1992 (plano Nº 14919 de la DNCPyVN) y actualizaron detalles en proximidades de canal mediante los resultados de las campañas de agosto realizadas por la FICH.

El tramo del paso a modelar se discretizó mediante una subdivisión en 8 subsecciones.

Calibración del Modelo

Para esta tarea se adoptó el período comprendido entre agosto de 1992 y agosto de 1993 totalizando un año de evolución.

En la Fig. Nº 1.4.12 se presenta el limnigrama observado que se utilizó para calibrar.

Los coeficientes de resistencia iniciales fueron estimados en base a las mediciones de velocidades obtenidas en la campaña de agosto.

Los resultados obtenidos se presentan en la Fig. Nº 1.4.13 donde se superponen los perfiles longitudinales observados y calculado mediante modelo.

Explotación del Modelo

Partiendo de la condición actual (agosto 1993) y empleando el juego de coeficientes de la calibración, se simuló durante un año la evolución del nivel medio del lecho en un perfil longitudinal por el eje del canal, alimentando el modelo con el hidrograma medio adoptado.

Al final de la simulación se calcularon volúmenes de sedimentación para cada profundidad de dragado inicial.

En la Fig. Nº 1.4.15 se presenta los resultados obtenidos.

Los perfiles longitudinales finales de la simulación para

26 y 30 pies de dragado inicial se graficaron en la Fig. N° 1.4.14 ; y la pérdida de profundidades del paso en el determinante se presenta en la Fig. N° 1.4.15.

1.4.2.3. Paso abajo Tacuaní

Implementación Modelo

La implementación del modelo se efectuó tomando como base un relevamiento general de la DNCPyVN de mayo de 1990 (Plano N° 14727) contemplando modificaciones actualizadas según relevamientos de la FICH en agosto de 1993.

En el Plano N° 1.2.4 se puede observar la discretización del Paso representada en el modelo mediante 9 subsecciones de 250 m de longitud cada una.

Calibración

Debido a la escasa información disponible, la única alternativa para calibrar el modelo fue tomar el período comprendido entre mayo de 1990 y agosto de 1993 totalizando 39 meses.

En la Fig. N° 1.4.17 se puede observar el limnigrama observado que se utilizó para la calibración. Las mediciones de distribución de corriente efectuadas por la FICH, durante las campañas complementarias de agosto, permitieron obtener

información muy útil para estimar el juego de coeficientes de resistencia inicial para la calibración. En la Fig. Nº 1.4.18 se presentan los resultados obtenidos. Se logro conseguir información morfológica parcial de diciembre de 1991 (Plano Nº 14870 DNCPyVN) que si bien no cubre la totalidad del paso fue muy útil para efectuar una verificación parcial de la calibración, constatando los resultados del modelo con algunos valores observados.

Explotación del modelo

Una vez calibrado el modelo se procedió a realizar las corridas de explotación según el limnigrama medio adoptado, durante un período de un año, para diferentes profundidades iniciales de dragado. Una vez logrado el perfil longitudinal final de la simulación se computaron los volúmenes de sedimento acumulado en el Paso. Los resultados obtenidos se grafican en la Fig. Nº 1.4.20.

A modo de ejemplo, en la Figura Nº 1.4.19 se presentan los perfiles longitudinales finales para los dragados iniciales de 26 y 30 pies.

La pérdida de profundidad en el determinante del paso, como consecuencia de la sedimentación se graficó en la Fig. 1.4.21.

1.4.2.4. Paso Tacuaní (km 509 - 512)

Si bien este paso presenta problemas de calado y en consecuencia importantes volúmenes de dragado de mantenimiento, su ubicación actual en planta es relativamente nueva. Hasta 1991 este paso se navegaba en travesía desde la margen derecha o islas Los Huevos en la progresiva km 512 hacia margen izquierda o isla Las Tejas en la progresiva km 510, para luego continuar recostado sobre la margen. A partir de 1991 se cambia la traza del canal a la actual ruta de manera tal que actualmente la información disponible para calibrar el modelo es sumamente escasa.

Implementación del Modelo

Se tomó como base morfológica general a las condiciones observadas en el año 1991 según el Plano N° 14869 de la DNCPyVN, en la zona próxima al canal la morfología del río fue actualizada según los relevamientos propios de la FICH realizados en agosto de 1993. Sobre esta base se trazó el desarrollo del canal y se subdividió el perfil longitudinal del canal en 12 subsectores delimitados por 13 secciones transversales espaciadas regularmente cada 250 metros.

En el plano N° 1.2.5 se puede observar la discretización espacial del paso para aplicar el modelo matemático.

Calibración

Para esta tarea se tomó el lapso transcurrido entre abril de 1992 y enero de 1993 totalizando un período de 9 meses.

No se pudo utilizar el relevamiento más actualizado por la FICH porque en marzo ó abril de 1993 se dragó el paso.

A partir de la morfología inicial, tomada como Diciembre de 1991 (Plano Nº 14869 DNCPyVN), se dragó el Canal de acuerdo a los trabajos de la DNCPyVN de abril de 1992 y se hizo funcionar el modelo durante 9 meses con aportes de caudales consecuencia del limnigrama observado que se presentan en la Figura Nº 1.4.22.

Mediante ajustes en los coeficientes de resistencia hidráulica (n de Manning) para cada celda o subsector del modelo se fueron obteniendo perfiles longitudinales finales; hasta reproducir con suficiente grado de similitud el perfil longitudinal observado en Enero de 1993, a través del relevamiento longitudinal Nº 14941 de la DNCPyVN.

Las corridas de flotadores fueron sumamente útiles para obtener la distribución de corriente y estimar el primer juego de coeficientes de resistencia ó parámetros de ajuste del modelo matemático.

En la Figura Nº 1.4.23 se puede observar, por comparación entre perfil observado y calculado mediante modelo, el resultado de la calibración.

Explotación del Modelo

Con el juego de coeficientes calibrados se procedió a la

explotación del modelo a partir de las condiciones morfológicas actuales, dragando el paso a 24, 26, 28 y 30 pies de profundidad al nivel del pelo de agua con 80% de probabilidad de ser superado (Serie 1970 - 1990); y con caudales de aporte y niveles de agua correspondientes al limnigrama de explotación descrito en punto 1.4.2. Al cabo de un año de simulación se obtuvieron los volúmenes sedimentados en el paso, valores con los cuales se construyó la Fig. Nº 1.4.25.

A modo de ejemplo en la Fig. Nº 1.4.24 se graficarón los perfiles longitudinales resultantes luego de un año de funcionamiento para dragados iniciales de 26 y 30 pies. En la Fig. Nº 1.4.26 se puede observar cual es la pérdida de calado del paso en el determinante a través del tiempo.

1.4.2.5. Paso Tacuaní (km 512 - 515)

Implementación del Modelo

En el Plano Nº 1.2.5 se presentan las condiciones morfológicas que se utilizan para implementar el modelo. Los mismos surgen de un relevamiento general de la DNCPyVN de diciembre de 1991 (Plano Nº14869) que fue actualizado según el relevamiento complementario realizado por la FICH en agosto de 1993.

El Canal de navegación en el Paso fue dividido en 6 subsectores.

Calibración

Para esta tarea se tomó el período transcurrido entre Enero y Agosto de 1993, totalizando 7 meses de simulación según caudales y niveles de pelo de agua consecuencia del Limnigrama observado que se presenta en la Fig. N° 1.4.27.

Mediante sucesivos ajustes de los coeficientes de calibración se obtuvo el perfil longitudinal del paso al final de la simulación, calculado por modelo, que se compara al observado en la Fig. N° 1.4.28.

Explotación del Modelo

Se utilizó la morfología actualizada y efectuaron corridas de simulación alimentando el modelo con el limnigrama de explotación durante un período de un año.

Para ello se dragó el lecho del canal a 24, 26, 28 y 30 pies de profundidad referidos al nivel del pelo de agua con 80% de probabilidad de ser superado; y según los perfiles longitudinales resultantes se computaron los volúmenes sedimentados en el paso. En la Fig. N° 1.4.30 se presentan los resultados obtenidos y en la Fig. N° 1.4.29 los perfiles longitudinales finales para los dragados iniciales de 26 y 30 pies. La pérdida de profundidad a través del tiempo en el lugar del determinante se graficó en la Fig. N° 1.4.31.

1.4.2.6 Paso Abajo Diamante

Implementación del Modelo

Para aplicar el modelo sedimentológico en este Paso se utilizó el relevamiento general de la DNCPyVN de marzo de 1992 (Plano Nº 14889), y la distribución de corriente medida en agosto de 1993 por la FICH. En el Plano Nº 1.2.6 se puede observar como fue subdividido el canal de navegación en el Paso mediante 12 secciones para ser representado en el modelo.

Calibración

Para esta tarea se adoptó el período comprendido entre Marzo de 1992 y Agosto de 1993 totalizando 17 meses.

Para estimar el juego inicial de coeficientes de resistencia se utilizaron datos de velocidades de corriente medidos en agosto de 1993. En la Fig. 1.4.32 se grafica el Limnigrama de calibración observado que se utilizó como dato de entrada al modelo; y en la Fig. 1.4.33 se presentan los perfiles longitudinales finales observado y calculado por el modelo respectivamente.

Explotación del Modelo

Con el juego de coeficientes resultantes de la calibración y una morfología inicial del Paso según el relevamiento de la FICH de agosto de 1993 se hizo funcionar el modelo alimentándolo con el correspondiente limnigrama medio de explotación. Para ello se dragó inicialmente el lecho del canal a 24, 26, 28 y 30 pies para cada ensayo del modelo y se simuló el recrecimiento del fondo durante un año.

En la Fig. 1.4.34, a modo de ejemplo se presenta el perfil longitudinal final calculado por el modelo para dos condiciones de dragado. Con los perfiles longitudinales finales de cada una de las variantes se calcularon los volúmenes sedimentados que se grafican en la Fig. 1.4.35. La evolución de profundidades en el determinante a través del tiempo para cada dragado inicial se presenta en la Fig. 1.4.36.

1.4.2.7 Paso Vinculación Tragadero-Animas

Implementación del Modelo

Se utilizó un relevamiento general de octubre de 1992 (Plano Nº 14925 DNCPyVN). En el Plano Nº 1.2.8 se puede observar la discretización del tramo para aplicar el modelo. Se representó las características del canal navegable en el Paso mediante 9 secciones espaciadas regularmente cada 250 metros.

Calibración

Se adoptó el período transcurrido entre octubre de 1992 y agosto de 1993 (relevamiento de FICH durante la campaña de mediciones complementarias) totalizando 10 meses. En la Fig. 1.4.37 se grafica el Limnigrama correspondiente a dicho período, que se utilizó como dato de entrada al modelo.

En la Fig. 1.4.38 se presentan los resultados de la calibración comparando el perfil longitudinal al final del período con el obtenido mediante el modelo.

Explotación del Modelo

A partir de las condiciones morfológicas del Paso, actualizadas con el relevamiento de agosto de 1993 (FICH), se hizo funcionar el modelo alimentándolo con el Limnigrama medio de explotación. Para cada profundidad inicial de dragado de 24, 26, 28 y 30 pies, referidos al nivel del 80% de la serie 1970-1990, se simuló durante un año la evolución del perfil longitudinal.

En la Fig. 1.4.39 se presenta, a modo de ejemplo, los perfiles longitudinales finales para las variantes de 26 y 30 pies de dragado. En la Fig. 1.4.40 se grafican los volúmenes sedimentados durante ese período para cada uno de los dragados iniciales. Por último en la Fig. 1.4.41 se puede observar la pérdida de profundidad del canal en el determinante del Paso a través del tiempo, para cada alternativa de dragado.

1.4.2.8 Paso Tragadero

Implementación Modelo

Para representar las características morfológicas del Paso mediante el modelo sedimentológico se tomó como base el relevamiento de octubre de 1992 (Plano N° 14925 DNCPyVN). Las mediciones de campo complementaria de agosto de 1993, realizadas por la FICH, se utilizaron para actualizar direcciones de corriente en cada una de las 9 secciones en las que se subdividió el Paso. En el Plano N° 1.2.9 se puede observar la discretización espacial adoptada para el modelo.

Calibración

Se utilizó el período comprendido entre octubre de 1992 y agosto de 1993, totalizando 10 meses. En la Fig. 1.4.42 se graficó el Limnigrama de calibración observado en dicho período y corregido según la posición progresiva del Paso en la ruta. Las velocidades de corriente medidas en agosto de 1993 permitieron estimar los coeficientes de resistencia hidráulica para iniciar el proceso de calibración.

En la Fig. 1.4.43 se presentan los resultados obtenidos superponiendo los perfiles longitudinales del nivel medio del lecho según la simulación del modelo, en comparación al observado durante las mediciones de campaña.

Explotación del Modelo

Se adoptó como morfología inicial del tramo la observada en agosto de 1993. El lecho del canal fue dragado según las diferentes alternativas de 24, 26, 28 y 30 pies de profundidad referidas al nivel del 80% de la serie 1970-1990 en el Paso. Luego se hicieron corridas del modelo para simular el recrecimiento del fondo durante un año de tiempo, alimentando el mismo con un hidrograma correspondiente al limnigrama medio de explotación adoptado.

En la Fig. 1.4.44 se puede observar los perfiles longitudinales finales obtenidos por el modelo para los dragados iniciales de 26 y 30 pies.

Los volúmenes de sedimentación resultantes para cada alternativa de dragado inicial se presentan en la Fig. 1.4.45. Durante el proceso de simulación de recrecimiento del fondo se computaron los valores de profundidad en el determinante del Paso, cuya evolución a través del tiempo se grafica en la Fig. 1.4.46.

1.4.3 Canal de Acceso Puerto de Santa Fe.

1.4.3.1 Introducción.

La evaluación de la sedimentación en el tramo Exterior y

Canal de Acceso al Puerto de Santa Fe es un problema de difícil resolución. Se combinan en él aspectos hidráulicos y sedimentológicos que deben analizarse en forma desagregada a fin de individualizar las características particulares del problema y cuantificarlos adecuadamente. Diferentes estudios, los cuales fueron resumidos en el Primer Informe de Avance (Ref. 3), analizan las causas de este problema, en buena medida producto de la acción del hombre sobre el sistema fluvial. Aquellas se centran fundamentalmente en el hecho de que el Canal de Acceso constituye un curso fluvial artificial construido "transversalmente" en la llanura aluvial del Paraná, perpendicular a la dirección predominante del escurrimiento.

En la situación actual el río Colastiné encuentra al Canal de Acceso a la altura del km. 585 de la ruta de navegación. La expansión que se genera en el encuentro de estos dos cauces origina una reducción de la capacidad de transporte de la corriente que ha dado lugar a la formación de un banco el cual separa la corriente franca del río, del caudal que se deriva de éste ingresando en el Canal de Acceso.

Esta configuración de la corriente pone en evidencia dos mecanismos de sedimentación en el tramo. El primero de ellos afecta la carga total de sedimento de fondo, producto de la pérdida de la capacidad de transporte que resulta del ensanchamiento. Este efecto dependería de las condiciones de la corriente y espacialmente afectaría un área reducida frente a la desembocadura del Colastiné.

El otro proceso de sedimentación, se vincula a las variaciones en las concentraciones de la carga de lavado (limos y arcilla). En este caso, las condiciones de la corriente principal perderían relevancia, asumiendo un papel protagónico el nivel de las concentraciones de finos provenientes fundamentalmente de la cuenca del Bermejo (Ref. 2) y las condiciones locales dentro del canal (desnivel del agua) que determinará las magnitudes de las velocidades y sentido de la corriente que escurrirá por éste.

Si bien ambos efectos actúan en forma superpuesta, un primer análisis del problema permitiría diferenciar dos sectores en cada uno de los cuales predominaría un efecto sobre el otro.

a) Tramo Exterior, frente a la desembocadura del río Colastiné, : Aquí la expansión de la corriente permitiría el depósito de arenas con una fracción minoritaria de la carga de lavado.

b) Canal de Acceso : la traza y condiciones de escurrimiento en el canal le confieren características particulares que favorecen los procesos de sedimentación en el mismo, en particular de la carga de lavado, dado que se supone que la mayor parte de la arena depositada queda retenida en el Tramo Exterior o en los primeros metros del canal.

La diferenciación aquí efectuada se basa en los antecedentes existentes sobre el tema y sobre la base de una hipótesis de funcionamiento del sistema, que tiene en cuenta los

comportamientos distintos de ambos tipos de sedimentos (de fondo y carga de lavado) en una corriente aluvial. La realización de las tareas de campo previstas para este sector y se describen en 1.3.4.4, permitirán verificar esta hipótesis.

Sobre la base anterior, en este informe se ha llevado a cabo una primera evaluación de los volúmenes de sedimentación en el tramo, la cual se efectuó a partir de información recopilada para el sector. Los valores así obtenidos, fueron comparados con los resultantes de la aplicación de procedimientos analíticos de cálculo basados en teorías clásicas de sedimentación. Esa comparación brindó fundamentos ciertos para la predicción, en la continuación de este estudio, de los volúmenes máximos probables de depositación en el Canal de Acceso.

1.4.3.2 Información recopilada.

*** Historial de dragado:**

El historial de dragado en el tramo, recopilado por la DNCPyVN, constituye la primer fuente de información a considerar en la tarea de evaluar los volúmenes de sedimentación en el área del Canal de Acceso. Con este fin se analizaron los volúmenes mensuales de dragado informados por ese Organismo para el período 1974/1993. En la Tabla 1.4.1 y 1.4.2 se resumen los valores obtenidos correspondientes al Tramo Exterior (km 585/586) y Canal de Acceso(km 586/592) respectivamente.

*** Planos batimétricos:**

Como alternativa a los volúmenes informados, se consideró la posibilidad de evaluar la sedimentación a partir de la comparación de planos batimétricos. Para ello se debió seleccionar planos del mismo tramo, de manera que en el período que mediara entre los mismos no se hubieran registrado dragados en dicho sector. Los planos considerados se detallan a continuación.

Plano N°	Sector	Fecha relev.	Hp.s.f.	Escala
14116	Tramo Ext.	4/6-10/8/82	3,80-5,71	1:2000
14225	Tramo Ext.	16/12/83	5,08	1:2000
14431	Canal Acceso	15/1-19/2/86	1,95-2,49	1:2000
14497	Canal Acceso	5/9-14/12/86	3,89-3,15	1:2000
14949	Tramo Ext.	24/02/93	4,75	1:2000
14956	Tramo Ext.	6-19/5/93	4,08-3,60	1:2000

*** Caudales sólidos:**

Se ha hecho referencia a la importancia que el aporte de carga de lavado proveniente de la cuenca del Río Bermejo, tiene sobre los volúmenes de finos depositados en el Canal de Acceso. Se consideró imprescindible, en razón de ello, recopilar la información del sedimento transportado por ese río contenida en

los Anuarios Sedimentológicos de Agua y Energía Eléctrica. La información recopilada de aportes de material sólido en suspensión se resume en el siguiente cuadro.

Río	Lugar	Cuenca	Período de registros (Años)
San Francisco	Caimancito	R. San Francisco	48-49 / 82-83
Iruya	San José	R. Bermejo Sup.	80-81 / 82-83
Iruya	El Angosto	R. Bermejo Sup.	71-72 / 82-83
Bermejo	Zanja del Tigre	R. Bermejo Sup.	45-46 / 82-83

*** Datos Hidráulicos y Sedimentológicos:**

La información hidráulica y sedimentológica correspondiente al Canal de Acceso es extremadamente reducida y en general bastante desactualizada. Para este análisis se consideró la información recopilada para el "Estudio del Sistema Fluvial Paraná-Santa Fe. Trabajos de campaña y análisis preliminar de datos", INCYTH, 1974, Ref. 4.

1.4.3.3 Estimación preliminar de volúmenes sedimentados.

Las estimaciones que se presentan aquí, se basaron en las distintas fuentes de información disponibles. De esta manera se obtuvieron volúmenes que resultaron directamente de la información recopilada (se pueden considerar dentro del grupo: volúmenes observados") o son el resultado de procedimientos de cálculo basados en los datos hidráulicos y sedimentológicos

disponibles ("volúmenes calculados").

A los fines de facilitar el análisis, los resultados se presentan agrupados de acuerdo a la fuente de información que les dio origen:

a) Volúmenes de dragado informados:

El historial de dragado recopilado entre los años 1974 a 1993 permitió conocer los volúmenes mensuales informados de dragado en el Tramo Exterior (km 585/586) y Canal de Acceso propiamente dicho (km 586/592). En las Tablas 1.4.1 y 1.4.2 se detallan dichos valores con sus correspondientes totales anuales.

Los valores anuales de dragado correspondientes al Tramo Exterior presentan una importante variación para los diferentes años con un mínimo en 1983 de 95500 m³ y un máximo en 1979 de 1254270 m³. En promedio el volumen anual de dragado informado asciende a 473210 m³ con un desvío de 297000 m³.

El historial de dragado correspondiente al Canal de Acceso presenta aún mayores variaciones que las registradas en el Tramo Exterior. En este sentido los datos muestran años en los que no se efectuaron dragados y otros en los que estos superaron los 800000 m³, la información y antecedentes recopilados sobre el tema demuestran, que el mayor porcentaje de los volúmenes fue extraído entre los km 586 - 588.

La Boca Interior (km 591 - 592.5) solo ha presentado importantes volúmenes de dragados en correspondencia con la crecida de 1983, 983000 m³. Esta sedimentación no sería atribuible a la carga proveniente del Colastiné, sino que se debería a los aportes sólidos consecuencia de los importantes procesos erosivos observados en la Laguna Setúbal y Canal de Derivación Norte, ocurridos durante aquel evento. Asimismo en la Tabla 1.4.2 se incluyen los volúmenes dragados correspondientes al corte de la Isla Clucellas.

Estas consideraciones acerca de los volúmenes informados correspondientes al Canal de Acceso sugirieron que los valores promedios debían ser considerados bajo diferentes circunstancias. Es así que se calcularon tres volúmenes promedios:

- 1) A partir de los volúmenes totales informados.

Vol. medio anual = 267340 m³ Desvío = 290725 m³

- 2) Sin considerar los volúmenes correspondientes al corte de la Isla Clucellas.

Vol. medio anual = 229998 m³ Desvío = 280924 m³

- 3) Sin considerar los volúmenes dragados en 1983 (Boca Interior) ni el corte de la Isla Clucellas.

Vol. medio anual = 180844 m³ Desvío = 222060 m³

A nivel de resumen, los valores informados de dragado dan como valor medio de mantenimiento anual, para el conjunto Tramo Exterior - Canal de Acceso, un volumen de: 654054 m³, el cual no incluye el dragado de la Boca Interior en 1983, ni el corte de la Isla Clucellas.

b) Volúmenes de sedimentación a partir de la comparación de planos batimétricos:

La recopilación efectuada permitió disponer de información para tres situaciones diferentes. En dos de ellas no hubo dragados intermedios y en la restante se verificó un dragado al final del período considerado. En la Tabla 1.4.3 se resumen la ubicación del tramo, el período de tiempo considerado, y los volúmenes sedimentados con y sin la inclusión de los volúmenes dragados en dicho lapso. Se observa en la Tabla 1.4.3 la diferencia en los volúmenes resultantes para los dos datos correspondientes al Tramo Exterior. Varias razones pueden apuntarse para esta diferencia:

. La longitud considerada en el relevamiento 82/83 es sustancialmente mayor a la correspondiente al relevamiento de Feb - May/93. Si se analiza el relevamiento 82/83 en el tramo coincidente con el de Feb - May/93 se obtiene un valor de 54000 m³ para el período considerado, pero debe notarse que es en este sector donde se verificaron parte de los dragados cuyos volúmenes se detallan en Tabla 1.4.3, lo que impide una corrección del valor así obtenido.

. La profundidad determinante al inicio del período fue sustancialmente menor en el relevamiento de Feb - May/93. Este hecho influiría muy poco sobre la depositación de finos, no así sobre la sedimentación de arenas, muy sensible a las variaciones de velocidad. No se conoce aún, a este nivel del estudio, cómo influiría la profundidad de dragado sobre la tasa de sedimentación de arenas, para la configuración particular de la desembocadura del Colastiné en el Tramo Exterior.

. Las condiciones hidráulicas dominantes en el relevamiento 82/83 corresponden a las de la crecida extraordinaria de esos años (única en el siglo por sus características). Este hecho magnificaría el depósito de arenas, pero en contraposición reduce las concentraciones de sedimento fino, los que para igual caudal de ingreso al canal disminuyen la sedimentación.

Se ha dicho anteriormente que las condiciones de la corriente en el canal no dependen directamente del caudal del escurrimiento por el cauce principal del río Paraná sino de la pendiente local, consecuencia ésta de las características del almacenamiento en el Sistema Leyes - Setúbal, fenómeno ampliamente documentado. Al respecto, existen referencias no publicadas de velocidades nulas en el canal durante la crecida 1983.

. El período de registro del relevamiento Feb - May/93 es muy corto por lo que las imprecisiones en las tasas observadas de recrecimiento se magnifican.

El comparativo disponible para el Canal de Acceso (Ene - Feb/86 - Sep - Dic/86) presenta un período de tiempo adecuado sin dragados intermedios y en una extensión que alcanza hasta la Boca Interior del canal. El volumen de depósito observado de 75000 m³, que representa un volumen anual de 100000 m³, tiene la particularidad de verificarse en los primeros 1600 m del canal (Fig. 1.4.47) (km 586.6 - 588.2) coincidente con la ubicación de los volúmenes informados por la DNCPyVN.

Los valores presentados en Tabla 1.4.3 deben ser considerados para las condiciones vigentes en el período de análisis. Sin embargo si se acepta para el período de relevamientos (Ene -Feb/86 - Sep - Dic/86) una condición promedio (no medida) de la carga de sedimento fino en suspensión, los valores obtenidos en el Canal de Acceso (= 100000 m³) pueden considerarse representativos asociados a un cierto caudal de ingreso al mismo.

c) Estimación de volúmenes sedimentados obtenidos por la metodología propuesta por K.E. Navntoft (Ref. 5):

Navntoft realizó un análisis de las causas de la depositación del sedimento fino en el Canal de Acceso al Puerto de Santa Fe. Para ello utilizó la información de Ref. 4. El estudio se basó fundamentalmente en los caudales circulantes por el canal y la diferencia de concentraciones de sedimento fino entre la desembocadura del río Colastiné y la Boca Interior del Canal de Acceso. Los resultados obtenidos a partir de ello,

permitieron concluir que, en promedio para el período de información considerado, la concentración depositada a lo largo del canal era de 45 gr/m³.

No existen al presente nuevos datos que permitan confirmar o desmentir este valor, por lo cual el mismo se adoptó como un supuesto válido a los fines del cálculo estimativo preliminar de los volúmenes sedimentados. Durante el desarrollo de la próxima etapa del presente estudio se prevé ratificar o corregir esta información, mediante la ejecución de nuevas mediciones de campo.

Adoptando la concentración mencionada, el volumen depositado pasa a ser una función del peso específico del depósito y del caudal que escurre por el canal. A los fines de determinar el peso específico (δd) se contó con la granulometría de una muestra de lecho tomada cerca de la Boca Interior del canal (Fig. 1.2.13). Con la información granulométrica allí obtenida se emplearon dos metodologías de cálculo para la obtención de δd . Los valores hallados fueron los siguientes:

Fórmula de Komura : $\delta d = 1.985 \text{ ton/m}^3$

Fórmula de Lane y Koeltzer: $\delta d = 1.36 \text{ ton/m}^3$

Estos valores engloban al referido por Navntoft para el Río de la Plata : $\delta d = 1.6 \text{ ton/m}^3$.

Con los pesos específicos anteriores, se determinaron volúmenes depositados anuales bajo la suposición de diferentes

caudales de ingreso al Canal de Acceso. En la Tabla 1.4.4 se brindan los valores obtenidos. Se puede observar que para un caudal de 400 m³/seg., el cual constituye un buen promedio de los caudales en el período de mediciones 1970/74, los volúmenes sedimentados anuales oscilan entre 300000 y 400000 m³, según el valor de peso específico adoptado. Este volumen involucra tanto al Tramo Exterior como al Canal de Acceso pero está limitado, esencialmente, al depósito de sedimento fino o carga de lavado.

Los resultados obtenidos concuerdan razonablemente con la suma de los valores puntuales máximos descriptos en Tabla 1.4.3, aunque en esta circunstancia conviene advertir que no se puede discriminar con certeza la influencia del depósito de arenas sobre el total depositado. Como una primera aproximación en este sentido, se podría considerar al volumen del período '82 - '83 como compuesto en su mayor parte por arena, de acuerdo a lo explicado anteriormente acerca del material que se deposita en el Tramo Exterior.

d) Estimación de volúmenes sedimentados por el Método de Owen - Camp (Ref. 1):

Dadas las características que presenta el Canal de Acceso, las cuales lo constituyen en un verdadero decantador de sedimentos, con una sección bastante regular que aseguraría condiciones del escurrimiento aproximadamente uniformes y bidimensionales, se decidió aplicar la teoría de sedimentación de Owen - Camp, desarrollada para el diseño de decantadores

artificiales.

Según esta teoría, la relación entre la concentración de entrada al tramo de análisis "Co" y de salida "C" del mismo se puede plantear bajo la siguiente relación funcional:

$$C/Co = \theta (w/u^* ; wt/h)$$

donde w: velocidad de caída de la partícula

u*: velocidad de corte (\sqrt{ghI})

g : aceleración de la gravedad

H : profundidad

I : pendiente

La carencia de datos hidráulicos y sedimentológicos actualizados exigió la adopción de valores, publicados en los antecedentes correspondientes a otros estudios efectuados en la zona. Es así que se seleccionaron los siguientes valores representativos de condiciones medias en el canal:

Pendiente	:	$7.8 \cdot 10^{-6}$
Velocidad media	:	0.3 m/seg.
Concentración en la desembocadura del Colastiné	:	200 gr/m ³

De la batimetría de Mayo de 1993 se obtuvieron las características geométricas del Tramo Exterior, en particular la profundidad media. Los datos sedimentológicos fueron adoptados

a partir de la misma muestra de sedimento de fondo empleada para el desarrollo de la metodología anterior. Esto involucra desde ya una simplificación importante, pues se está dando a la distribución de sedimento en suspensión, a la entrada del canal, la misma curva granulométrica que el sedimento depositado en una sección próxima a la Boca Interior de éste.

En la Tabla 1.4.5 se presentan las concentraciones depositadas para distintos rangos de tamaño en el Tramo Exterior. Estas concentraciones produjeron los siguientes volúmenes depositados anualmente para ese sector, de acuerdo al peso específico adoptado

$\delta d = 1.9 \text{ ton/m}^3$	Vol. anual	324400 m ³
$\delta d = 1.3 \text{ ton/m}^3$	Vol. anual	474000 m ³

Se observa en Tabla 1.4.5 como el método predice que la totalidad de los tamaños mayores (arenas) depositará completamente en el Tramo Exterior. Los tamaños mas finos presentan concentraciones de depósito progresivamente menores a medida que se consideran diámetros más pequeños. Esto resulta en que habrá una concentración saliente del tramo compuesta preponderantemente por limos finos a muy finos y arcillas. La metodología predice para estos tamaños depositaciones prácticamente nulas en el tramo de análisis.

Si bien la aplicación de este método exigió la adopción de datos de entrada obtenidos de la información histórica disponible

en el lugar, o extrapoladas de otros sectores del río, los resultados alcanzados guardan cierta lógica con las surgidas a partir de otros procedimientos.

Los resultados proporcionados por el método indicarían que el mayor porcentaje del depósito se daría en el Tramo Exterior, donde sedimentaría la totalidad de las arenas y una fracción importante de los limos gruesos. Los sedimentos más finos decantarían en el Canal de Acceso, permitiendo una concentración a la salida del tramo con predominancia de limos finos a muy finos y arcillas.

Se prevé que las mediciones de campo a efectuarse en el marco de este estudio posibiliten el ajuste de esta metodología y con ello se brinde una mayor confiabilidad en su aplicación con fines predictivos.

1.4.3.4 Continuidad del estudio.

A lo largo del desarrollo de este análisis ha sido constante la carencia de información hidráulica y sedimentológica que permita una aplicación confiable de las metodologías de cálculo previstas.

Estas circunstancias aconsejaron llevar a cabo una serie de mediciones de detalle en el Tramo Exterior y Canal de Acceso. Las mismas incluirían, además de las determinaciones habituales comunes a los restantes Pasos considerados en el estudio, la

siguiente información:

- Muestras de fondo: en una secuencia que abarque desde la desembocadura del río Colastiné - Tramo Exterior y Canal de Acceso.

- Concentración de sedimento en suspensión: al igual que las muestras de fondo serán tomadas en una secuencia que incluya desde el río Colastiné hasta la Boca Interior del Canal de Acceso.

- Determinación de velocidades puntuales a lo largo del Canal de Acceso.

Esta información, si bien de carácter puntual, permitirá mejorar el conocimiento acerca de las condiciones hidráulicas y sedimentológicas actuales del canal, que podrán ser contrastadas con los valores considerados por Navntoft. En particular, dos parámetros son de fundamental importancia en el proceso de sedimentación que se está evaluando, por un lado la concentración depositada observada a lo largo del Tramo Exterior y Canal de Acceso, y por otro el caudal entrante al canal.

Los datos a relevar darán lugar asimismo al ajuste de la metodología de Owen - Camp. Ello permitirá la aplicación posterior para diferentes concentraciones de aportes sólidos del Río Colastiné y caudales en el Canal de Acceso.

En resumen, la siguiente etapa del estudio perfeccionará las estimaciones aquí realizadas sobre la base de una más confiable información de partida. De todos modos debe remarcarse que los procedimientos empleados son simplificaciones de un proceso en sí muy complejo que exigiría un estudio de mayor alcance, sustentado en un relevamiento sistemático de información a lo largo de un período considerable de tiempo.

1.4.3.5 Recapitulación y Conclusiones

1) La complejidad de los procesos físicos que gobiernan la depositación de sedimentos en el Canal de Acceso al Puerto de Santa Fe, no permiten abordar totalmente el problema mediante el análisis clásico que se emplea, por ejemplo, para estudiar la sedimentación en los Pasos de navegación del cauce principal.

2) No existe, por el momento, una metodología de cálculo suficientemente probada en el lugar, que permita una estimación directa de los volúmenes sedimentados para determinadas condiciones hidráulicas y sedimentológicas.

3) La morfología del área y la presencia de un curso artificial como el Canal de Acceso, determinan una configuración de la corriente que da lugar a dos mecanismos de sedimentación en el tramo. El primero de ellos localizado en el Tramo Exterior (Km. 585-586) que afectaría primordialmente el transporte de la carga de arenas y por lo tanto estaría relacionado estrechamente a los caudales que escurren por el río.

El restante, se vincularía a la depositación de materiales finos (limos y arcillas) en el canal mismo. Este último no dependería solo de las condiciones generales del escurrimiento, sino además del caudal circulante por el canal, y de las concentraciones de carga de lavado presentes en la desembocadura del río Colastiné.

4) Dada la carencia de una metodología de cálculo confiable, se decidió estimar los volúmenes sedimentados a partir de diversas fuentes de datos, y apelando a procedimientos simples existentes en la literatura, que pudieran considerarse aplicables a esta situación. La expectativa se centró en el hecho que la comparación de los resultados obtenidos con los valores observados permita fijar criterios para la predicción de los volúmenes depositados; dentro de los niveles de precisión esperables para una factibilidad técnico económica.

5) Los valores observados de volúmenes sedimentados provinieron de dos fuentes de datos:

- a) Historial de dragado de la D.N.C.P. y V.N.
- b) Comparación de planos batimétricos del tramo.

Los procedimientos de cálculo empleados fueron los sugeridos por Navntoft (Ref. 5) y el método para el diseño de decantadores artificiales de Owen Camp (Ref. 1).

6) La principal dificultad encontrada para el empleo de los

procedimientos de cálculo mencionados fue la carencia de información actualizada, tanto de los parámetros hidráulicos como sedimentológicos. Esto obligó a considerar datos históricos, fundamentalmente los proporcionados en Ref. 4, o valores extrapolados de otros sectores del río Paraná.

7) El siguiente cuadro resume los volúmenes anuales de sedimentación obtenidos a partir de las diferentes fuentes de información y métodos de cálculo.

Sector	Volumen anual			
	Historial de dragado	Planos bat comparativos	Navntoft	Owen-Camp
Tramo Ext.	475803	227601		324400
Canal Acc.	180844 (*)	100313		
Total	656647		351372 (**)	

(*) No incluye volumen dragado en la Boca Interior año 1983, ni corte de la Isla Clucellas

(**) Qcanal: 400 m³/seg. Peso específico: 1,67 ton/m³, no considera el depósito de arena.

Los valores presentados en el cuadro anterior muestran que los volúmenes informados por la D.N.C.P.y V.N. superan holgadamente cualquiera de los obtenidos por las otras metodologías. Estos valores así considerados no deberían ser tomados como volúmenes de referencia, a menos que se introduzcan coeficientes de corrección adecuados que tengan en cuenta el rendimiento de los equipos de dragado.

Los datos obtenidos a partir de la comparación de batimetrías, si bien corresponden a dos valores puntuales

relevados para períodos de tiempo diferentes, arrojan, en el caso de sumarse, un volumen total de aproximadamente 328000 m³. La viabilidad de sumar los resultados así obtenidos se sustenta en la independencia de los mecanismos que dan origen a uno y otro proceso, lo que estaría generando una situación hipotética donde se superpongan en el tiempo las condiciones imperantes en cada uno de los relevamientos considerados.

La metodología de Navntoft, arroja como resultado un valor de 351372 m³, similar al observado a partir de comparaciones batimétricas. Este cálculo supone un caudal en el canal de 400 m³/seg, en acuerdo con el supuesto de Navntoft en su trabajo. Debe remarcarse que este volumen así calculado sólo considera el depósito de finos, por lo cual este valor se vería incrementado por la sedimentación de arenas que se produciría en el Tramo Exterior.

El método de Owen Camp, aplicado al Tramo Exterior dio un volumen de sedimento depositado de 324400 m³, valor éste que debe ser considerado sólo tentativo, dado los supuestos introducidos para el cálculo.

8) El resumen de valores observados y estimados de volúmenes de sedimentación que podría verificarse en el Tramo Exterior y Canal de Acceso al Puerto de Santa Fe, si bien no pueden considerarse más que preliminares, por las razones expuestas en 1.4.3.3, muestran un umbral inferior que se ubicaría alrededor de los 300000 metros cúbicos.

9) Las mediciones a efectuar en la siguiente etapa del estudio, descriptas en 1.4.3.4, en conjunto con un análisis más detallado de la información existente (Ref. 4), permitirán efectuar un ajuste de las metodologías de cálculo presentadas. Ello brindará una mayor precisión en la estimación de los volúmenes de sedimentación y una discriminación más confiable de la influencia que sobre este proceso tienen los distintos mecanismos señalados en 1.4.3.1.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1) CAMP, T.R., "Sedimentation and the Design of Setting Tanks", Transaction, ASCE, Vol. 111, paper 2285, 1946
- 2) DRAGO, E.C. y AMSLER, M.L., "Suspended Sediment at a Cross Section of the Middle Paraná River: Concentration Granulometry and Influence of the Main Tributaries", Sediment Budgets, Proceedings of the Porto Alegre Symposium, IAHS. Publ. n° 174, Diciembre 1978.
- 3) FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS HIDRICAS (FICH), "Factibilidad Técnico Económica para la Navegación con Ultramarinos en el Tramo Santa Fe - Puerto San Martín del Río Paraná". Primer Informe de Avance. Convenio Universidad Nacional del Litoral - Gobierno de la Provincia de Santa Fe, Consejo Federal de Inversiones, Santa Fe, Agosto de 1993.
- 4) 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.

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

GOBIERNO DE LA PROVINCIA DE SANTA FE

CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

CONTRATO Nº 2515

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

SEGUNDO INFORME DE AVANCE

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS HIDRICAS

SANTA FE, Octubre de 1993

UBICACION PLANIMETRICA RUTA DE NAVEGACION

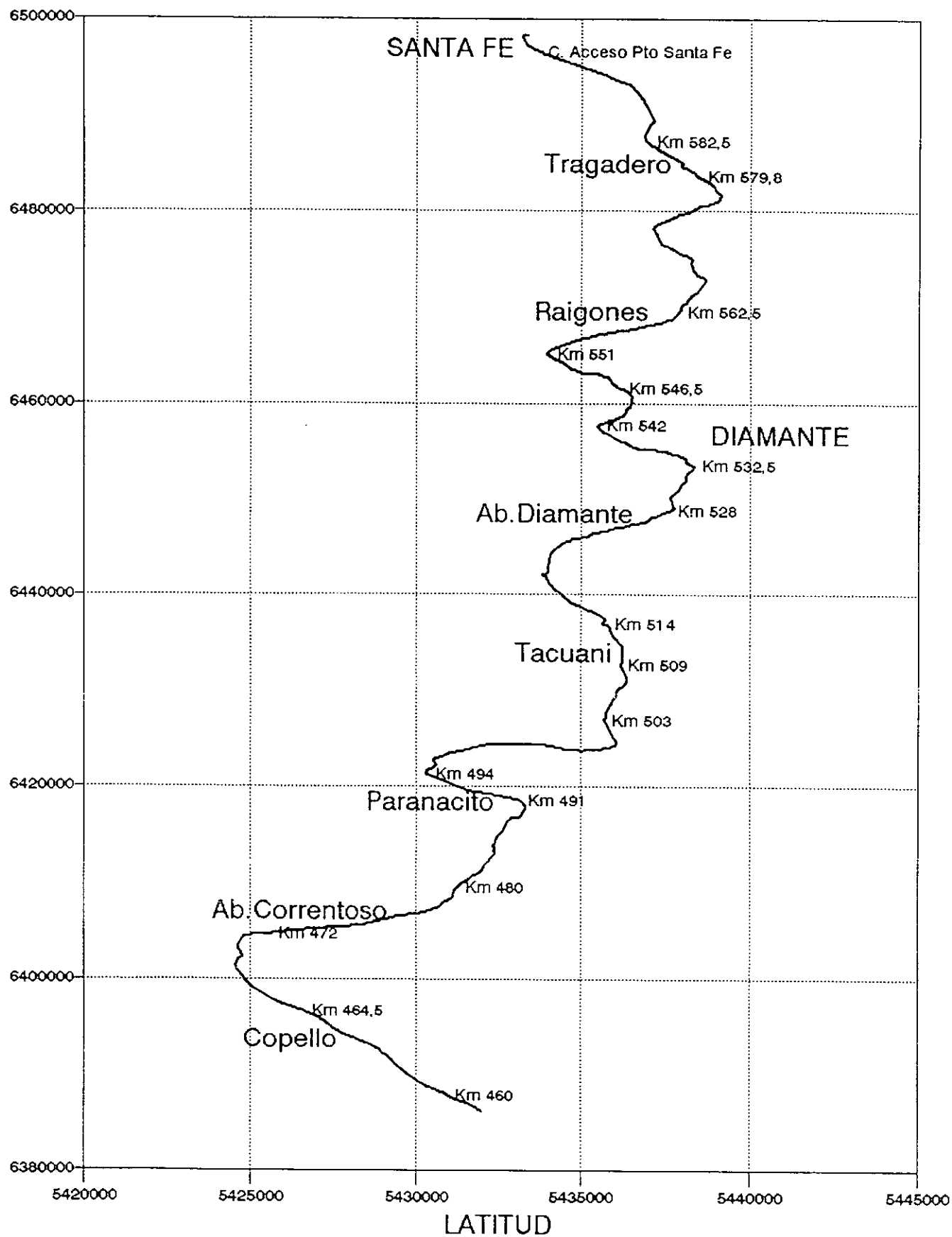


Fig. 1.2.1

PERFIL LONGITUDINAL RUTA DE NAVEGACION Km 460 - 530

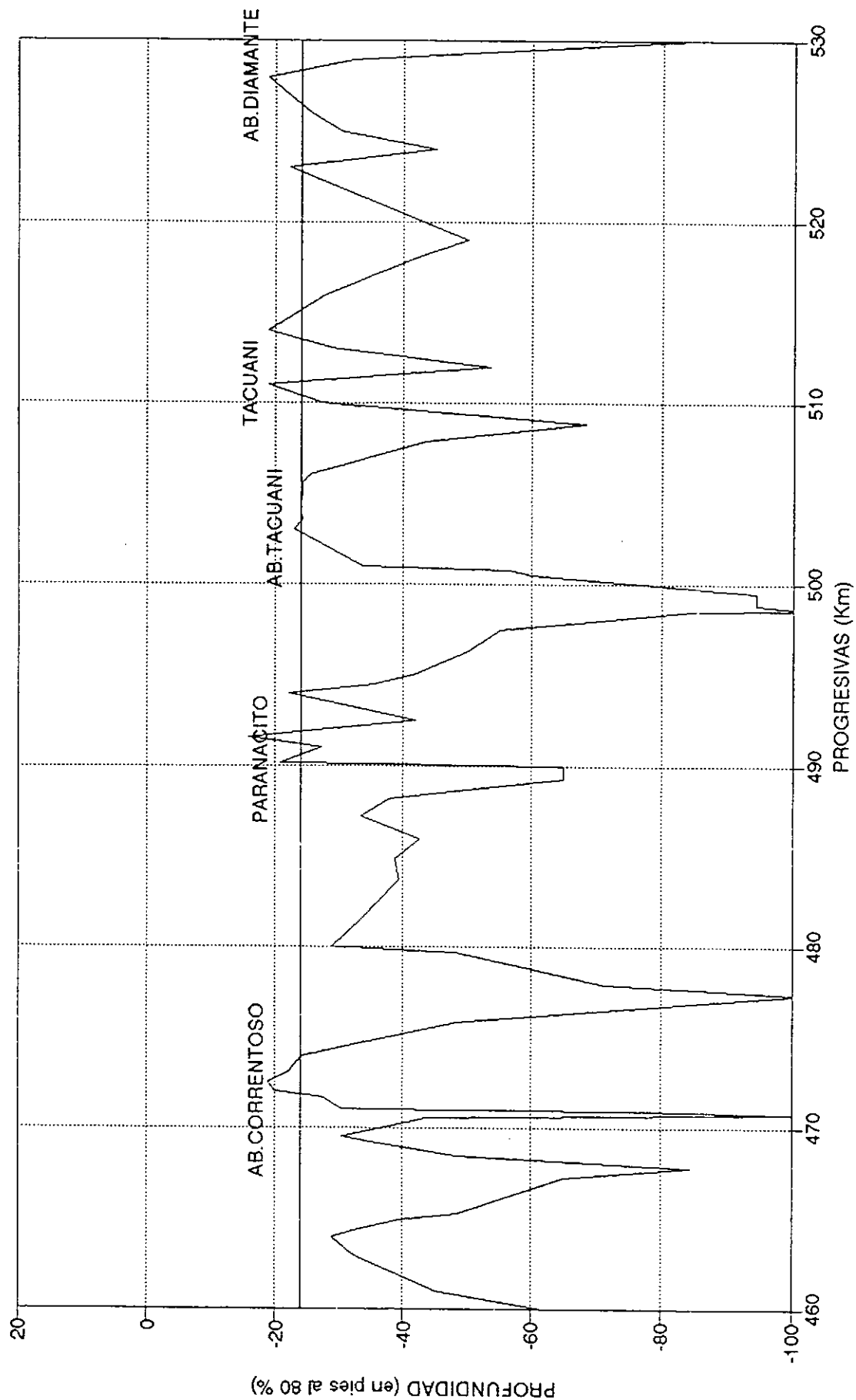


Fig.1.2.2

PERFIL LONGITUDINAL RUTA DE NAVEGACION Km 530 - 590

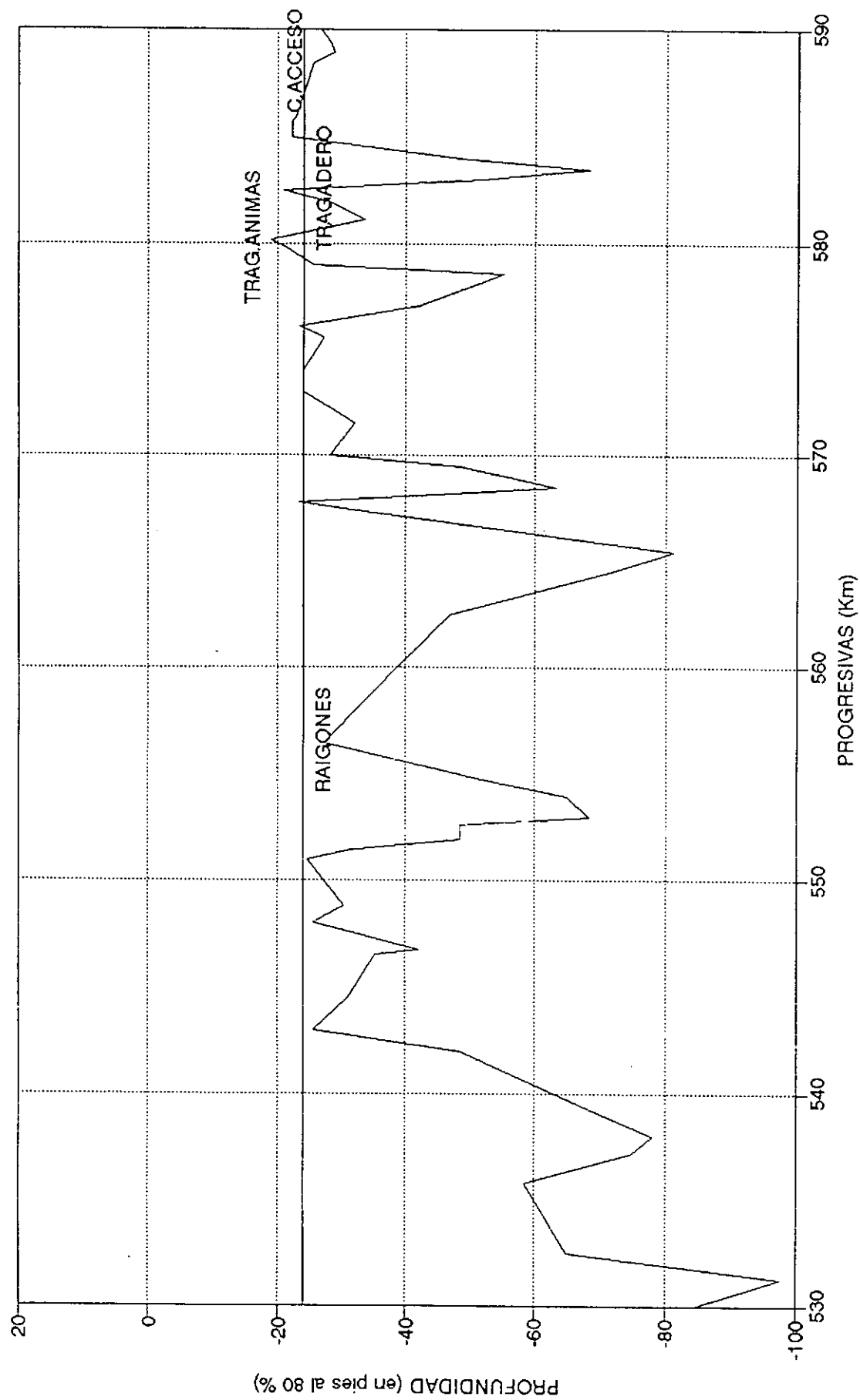
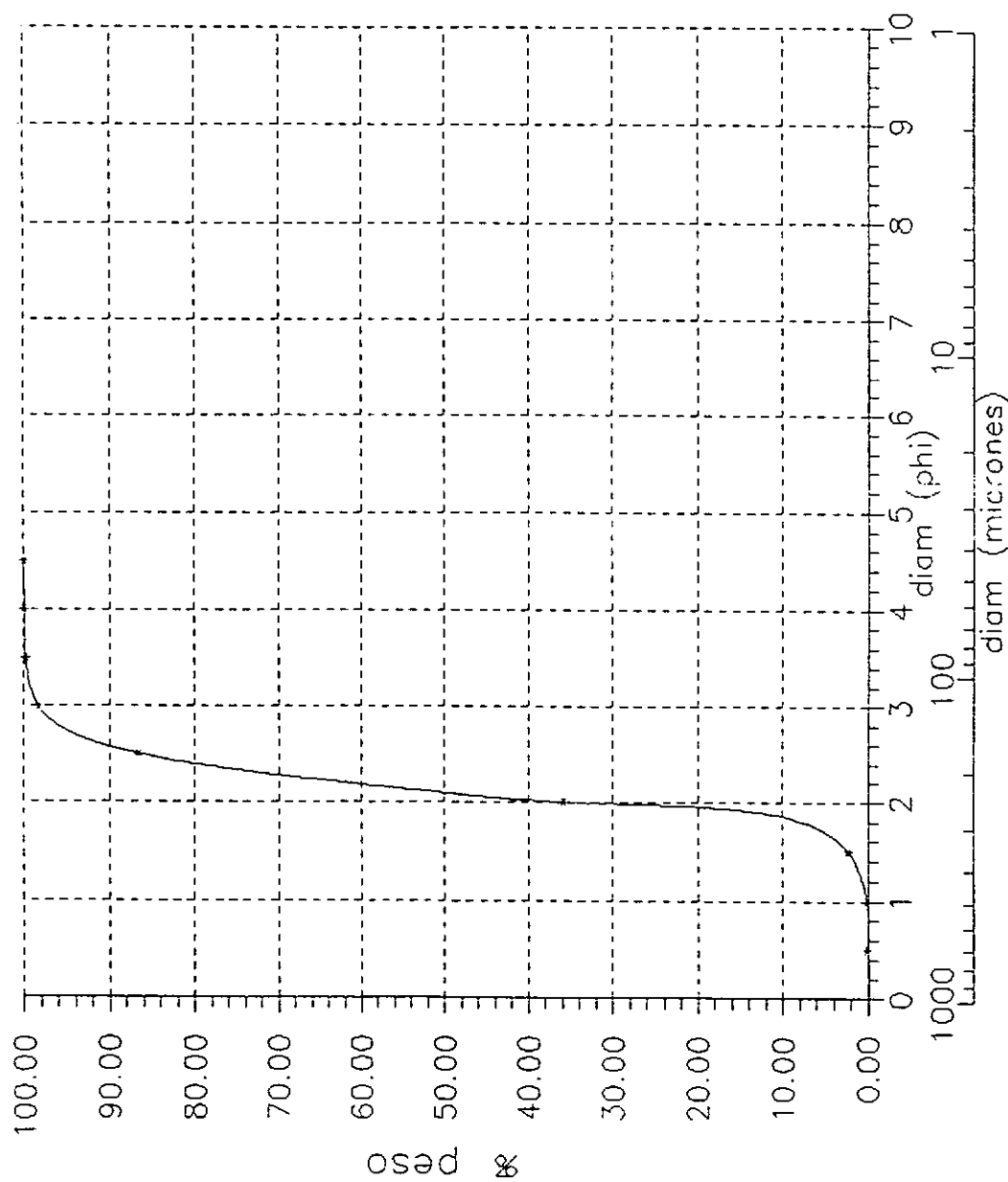


Fig.1.2.2

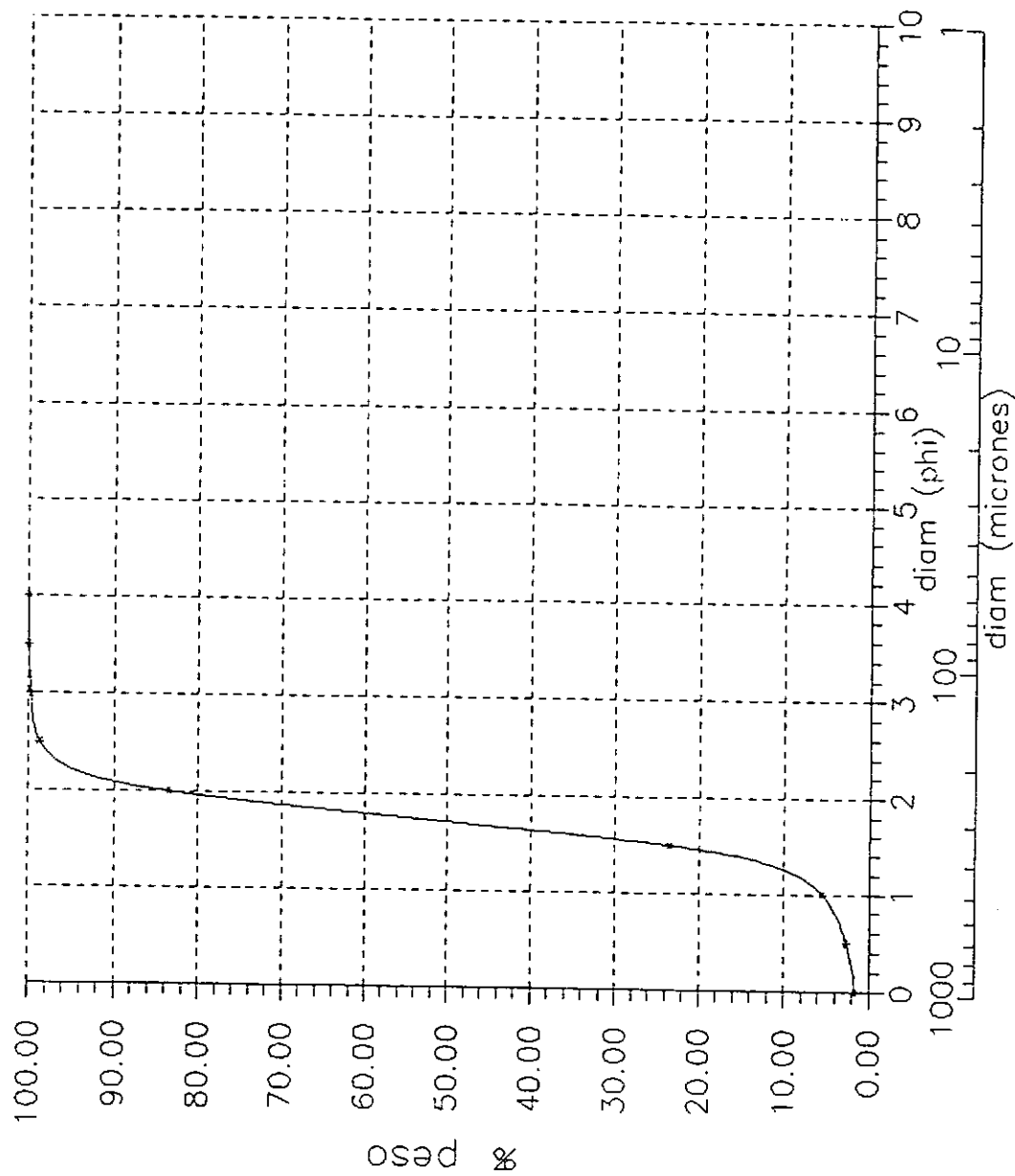
ABAJO CORRENTOSO Km 472.8 GRANULOMETRIA MATERIAL DEL LECHO



d16 = 0.268 mm
d35 = 0.250 mm
d50 = 0.233 mm
d65 = 0.215 mm
d84 = 0.179 mm
d90 = 0.165 mm
d med = 0.227 mm
desv = 1.22

Fig. 1.2.3

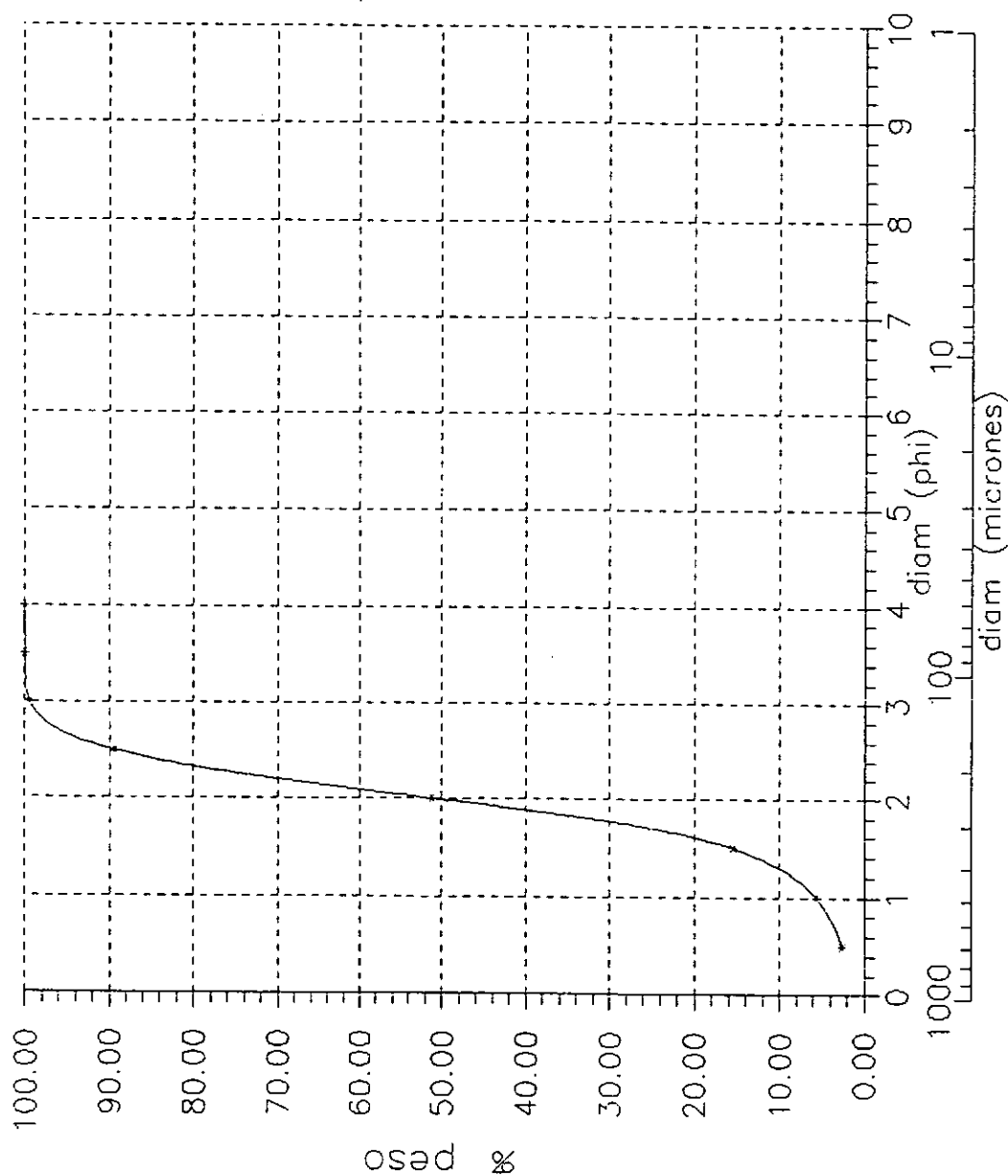
PASO CORRENTOSO Km 480 GRANULOMETRIA MATERIAL DEL LECHO



d16 = 0.379 mm
 d35 = 0.329 mm
 d50 = 0.308 mm
 d65 = 0.287 mm
 d84 = 0.250 mm
 d90 = 0.232 mm
 d med = 0.312 mm
 desv = 1.23

Fig. 1.2.4

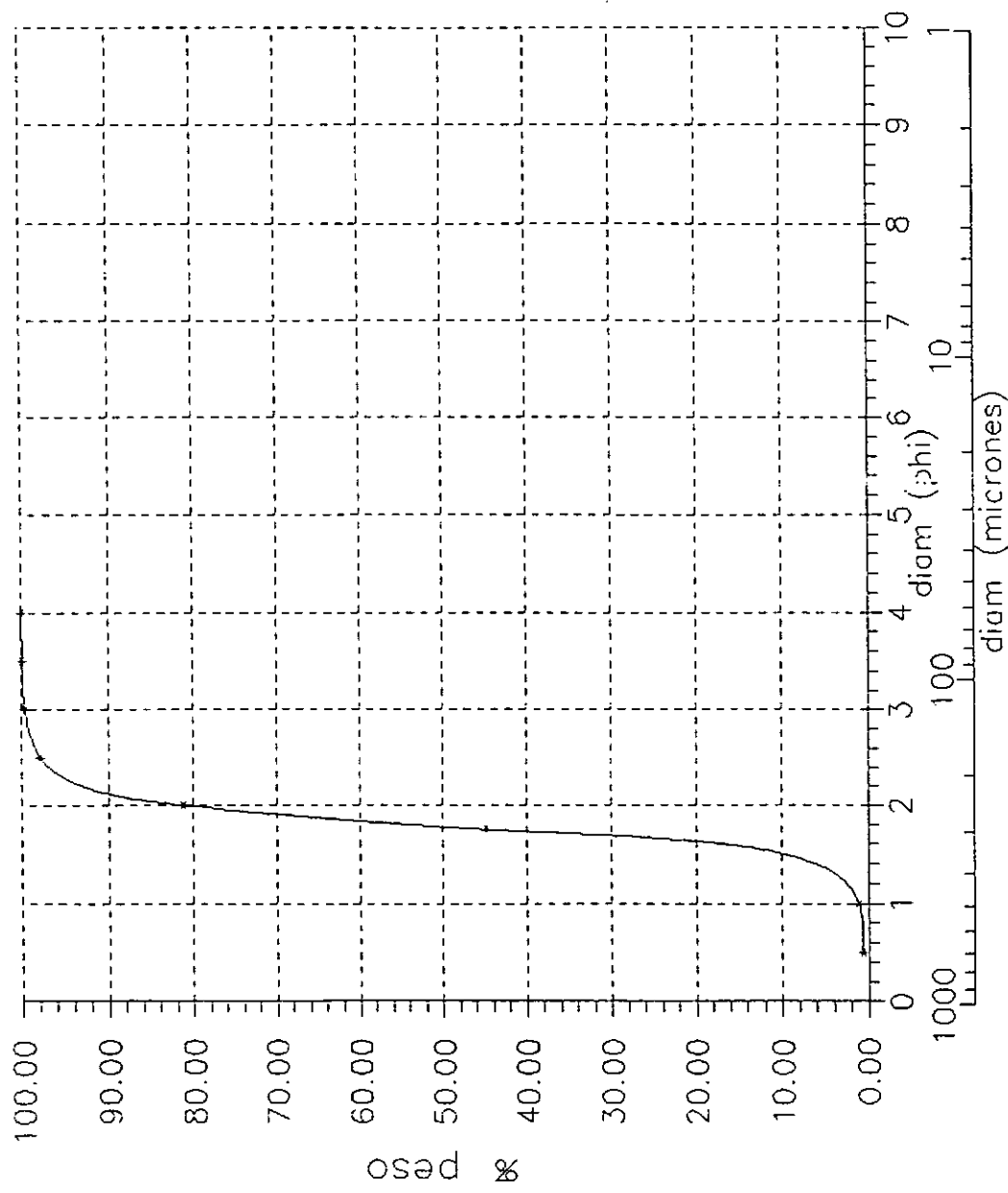
PARANACITO GRANULOMETRIA MATERIAL DEL LECHO



d16 = 0.353 mm
 d35 = 0.285 mm
 d50 = 0.250 mm
 d65 = 0.221 mm
 d84 = 0.189 mm
 d90 = 0.171 mm
 d med = 0.264 mm
 desv = 1.37

Fig. 1.2.5

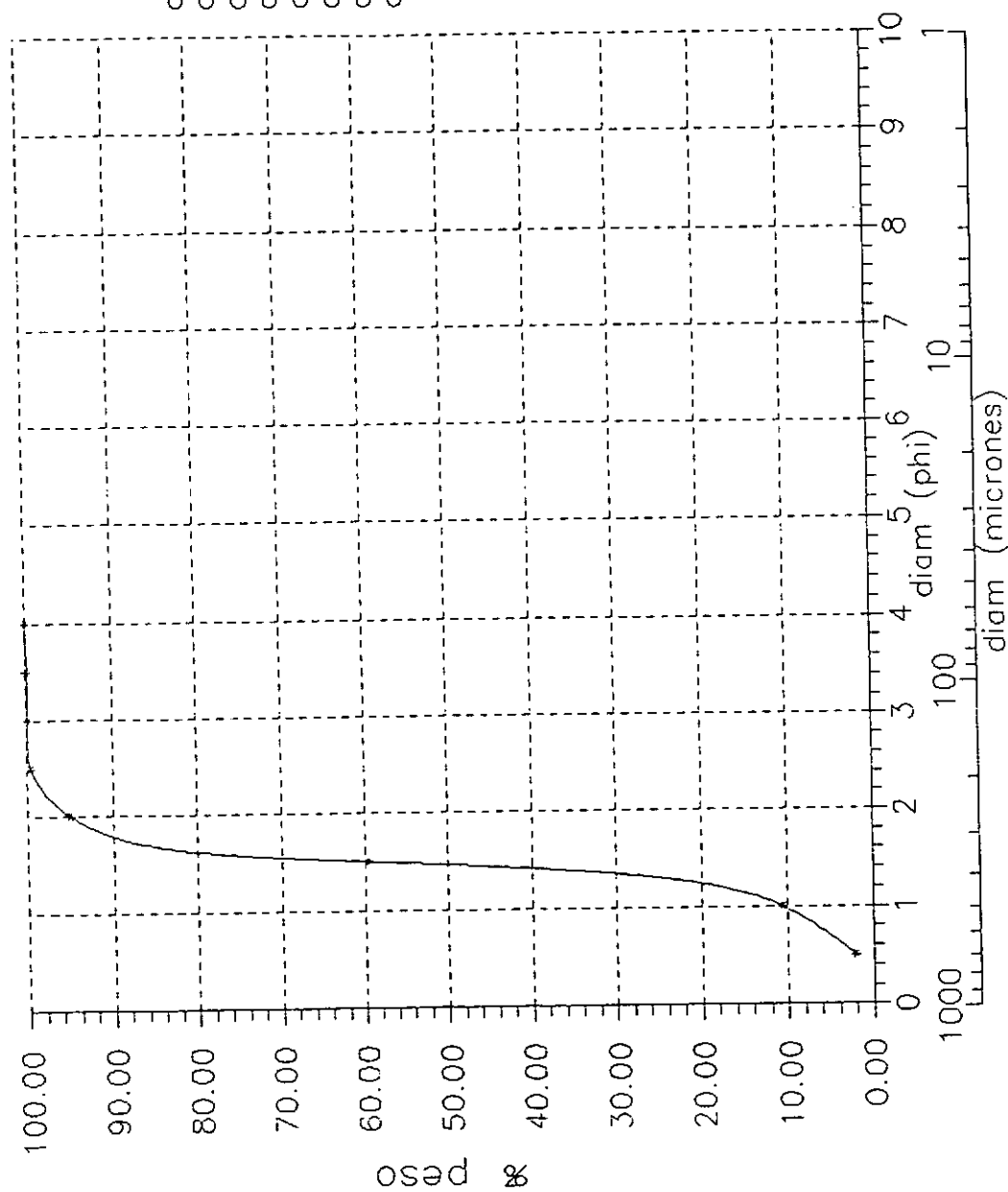
ABAJO TACUANI GRANULOMETRIA MATERIAL DEL LECHO



d16 = 0.329 mm
d35 = 0.308 mm
d50 = 0.287 mm
d65 = 0.268 mm
d84 = 0.250 mm
d90 = 0.225 mm
d med = 0.289 mm
desv = 1.15

Fig. 1.2.6

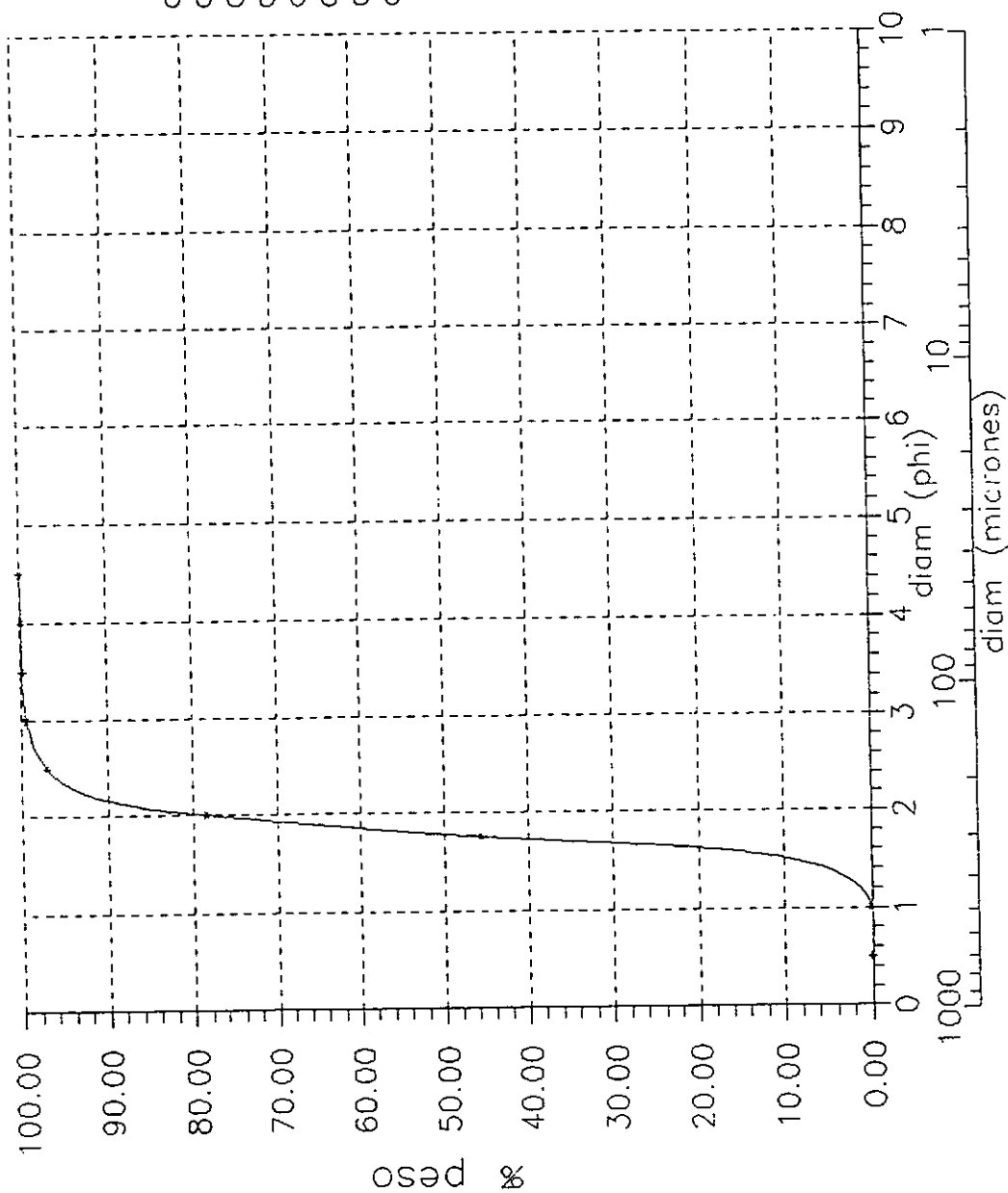
PASO TACUANI Km 509 - 512 GRANULOMETRIA MATERIAL DEL LECHO



d16 = 0.438 mm
 d35 = 0.382 mm
 d50 = 0.353 mm
 d65 = 0.342 mm
 d84 = 0.319 mm
 d90 = 0.287 mm
 d med = 0.370 mm
 desv = 1.17

Fig. 1.2.7

PASO ABAJO DIAMANTE GRANULOMETRIA MATERIAL DEL LECHO



d16 = 0.329 mm
 d35 = 0.308 mm
 d50 = 0.287 mm
 d65 = 0.268 mm
 d84 = 0.233 mm
 d90 = 0.219 mm
 d med = 0.283 mm
 desv = 1.19

Fig. 1.2.8

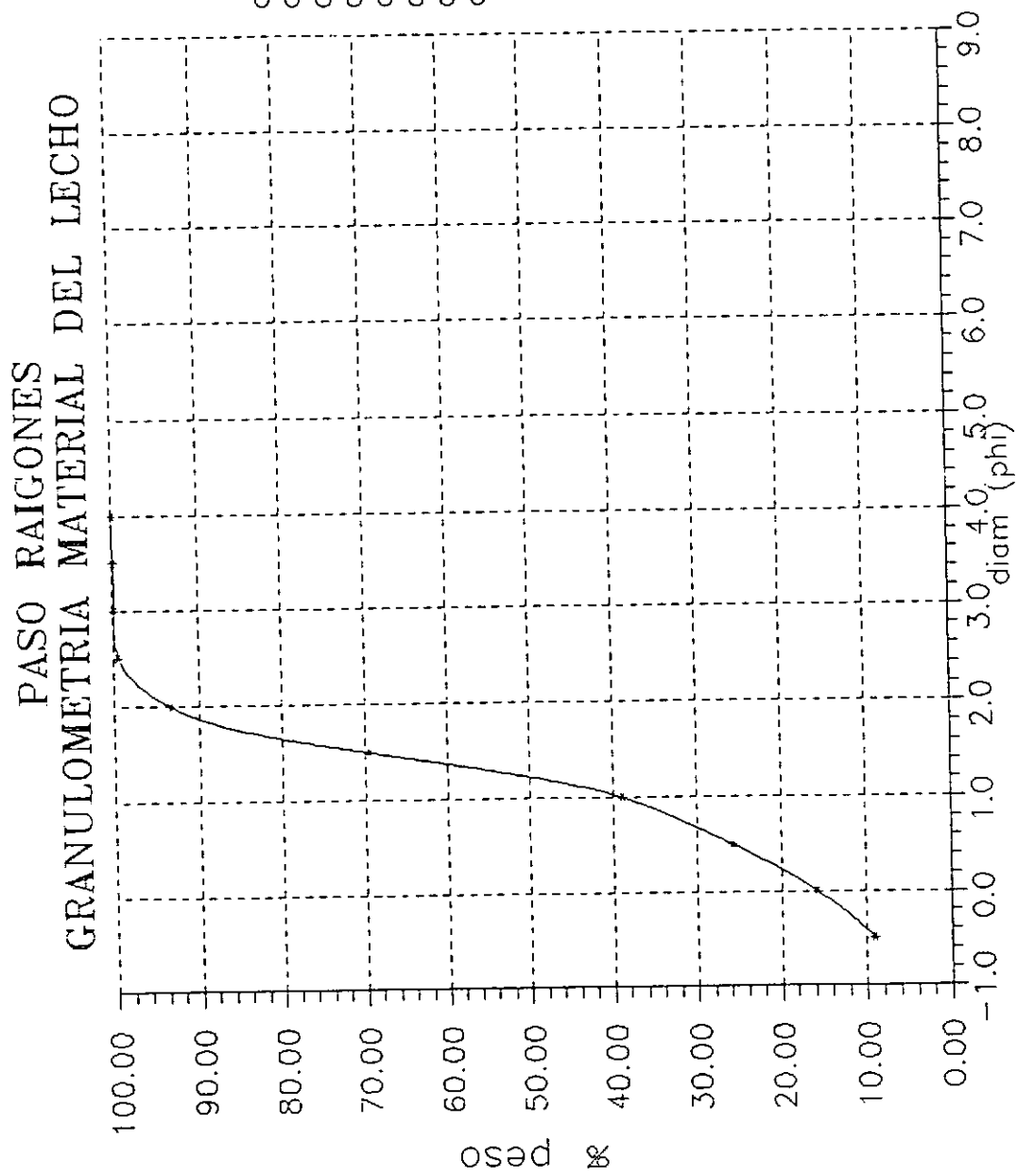
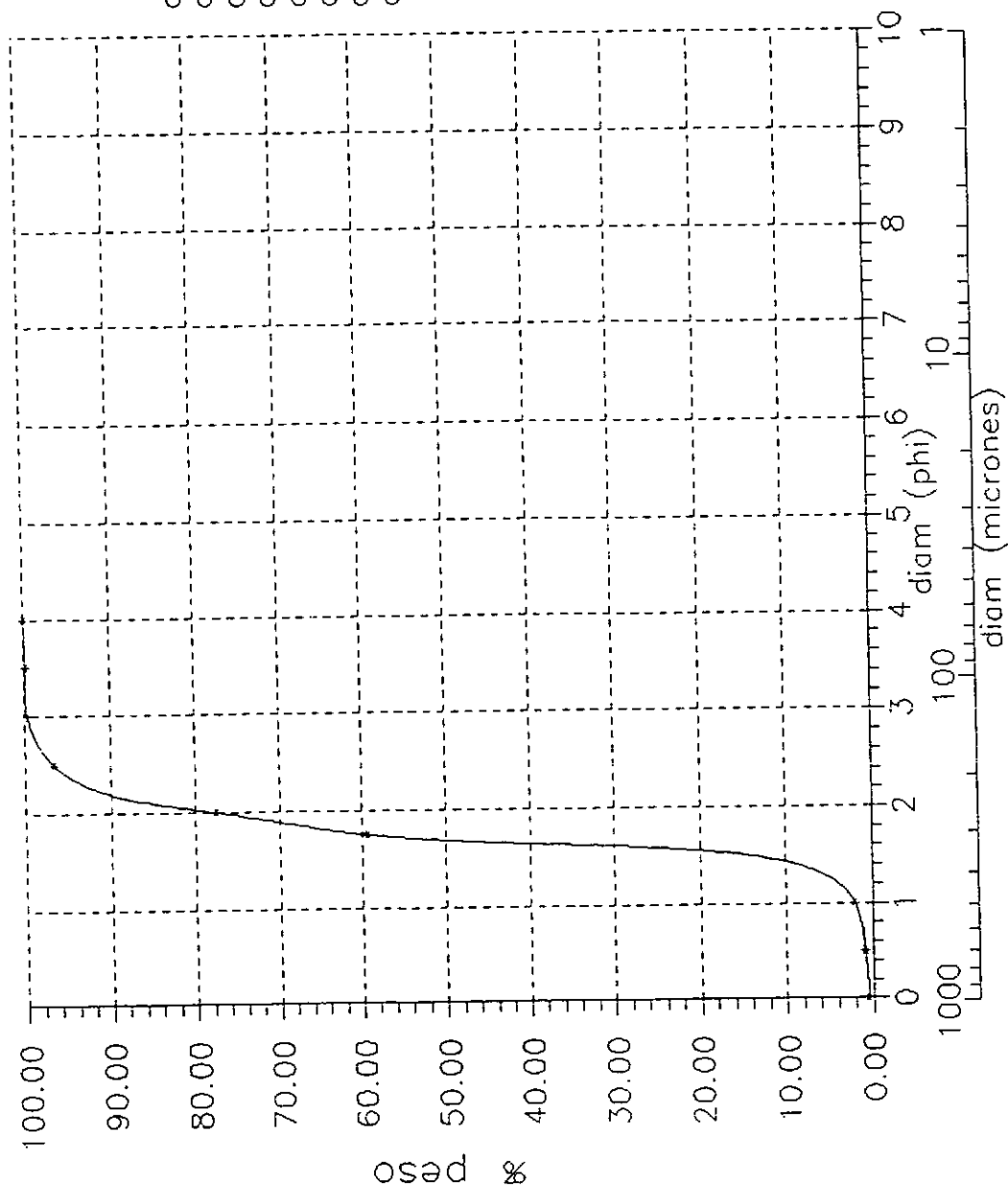


Fig. 1.2.9

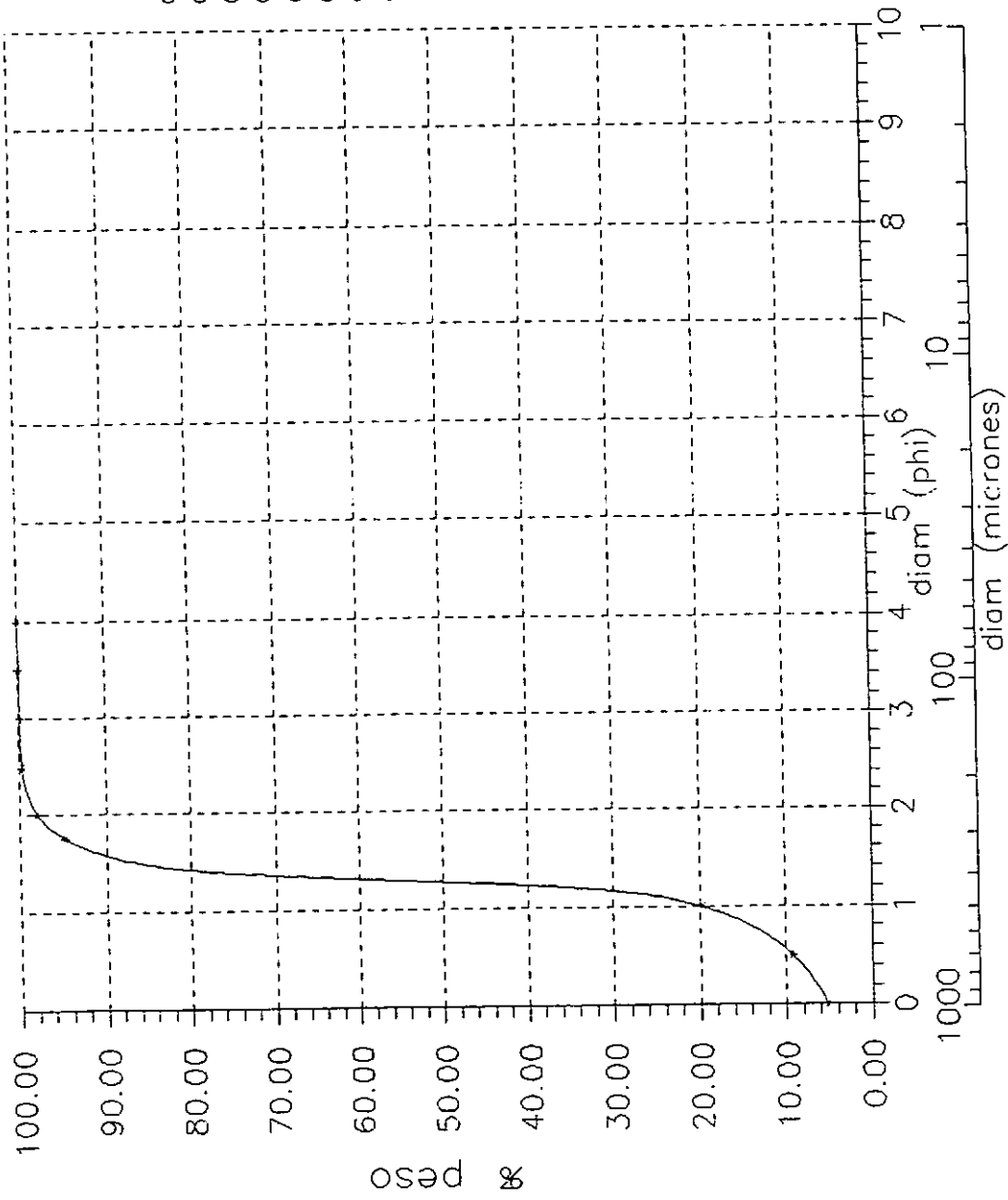
VINCULACION - TRAGADERO - ANIMAS GRANULOMETRIA MATERIAL DEL LECHO



d16 = 0.353 mm
 d35 = 0.325 mm
 d50 = 0.308 mm
 d65 = 0.287 mm
 d84 = 0.233 mm
 d90 = 0.218 mm
 d med = 0.298 mm
 desv = 1.23

Fig. 1.2.10

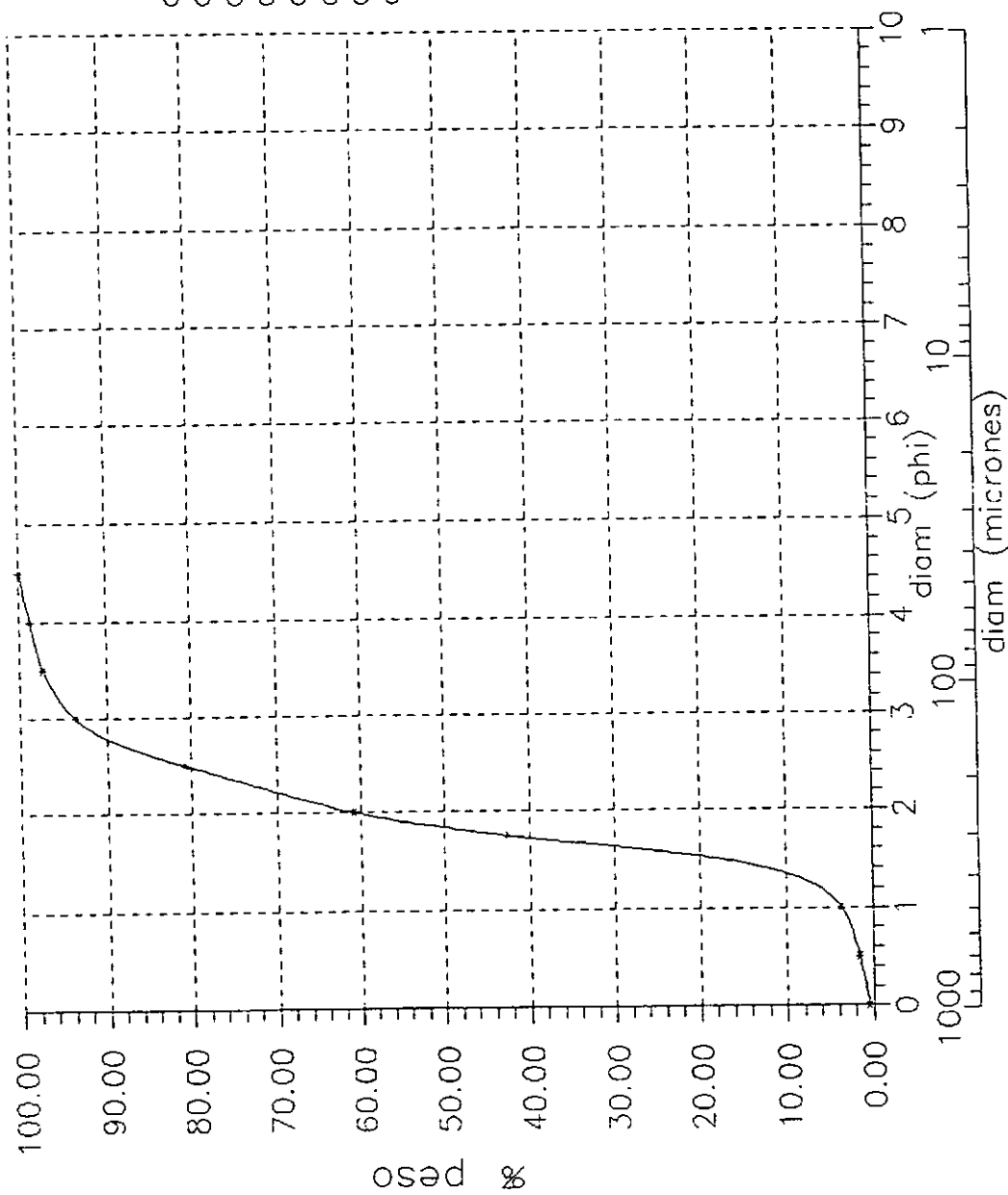
PASO TRAGADERO Km 582 GRANULOMETRIA MATERIAL DEL LECHO



d16 = 0.555 mm
 d35 = 0.467 mm
 d50 = 0.406 mm
 d65 = 0.392 mm
 d84 = 0.354 mm
 d90 = 0.325 mm
 d med = 0.438 mm
 desv = 1.25

Fig. 1.2.11

TRAMO EXTERIOR RIO COLASTINE GRANULOMETRIA MATERIAL DEL LECHO



d16 = 0.374 mm
d35 = 0.308 mm
d50 = 0.285 mm
d65 = 0.233 mm
d84 = 0.165 mm
d90 = 0.144 mm
d med = 0.275 mm
desv = 1.51

Fig. 1.2.12

CANAL DE ACCESO GRANULOMETRIA MATERIAL DEL LECHO

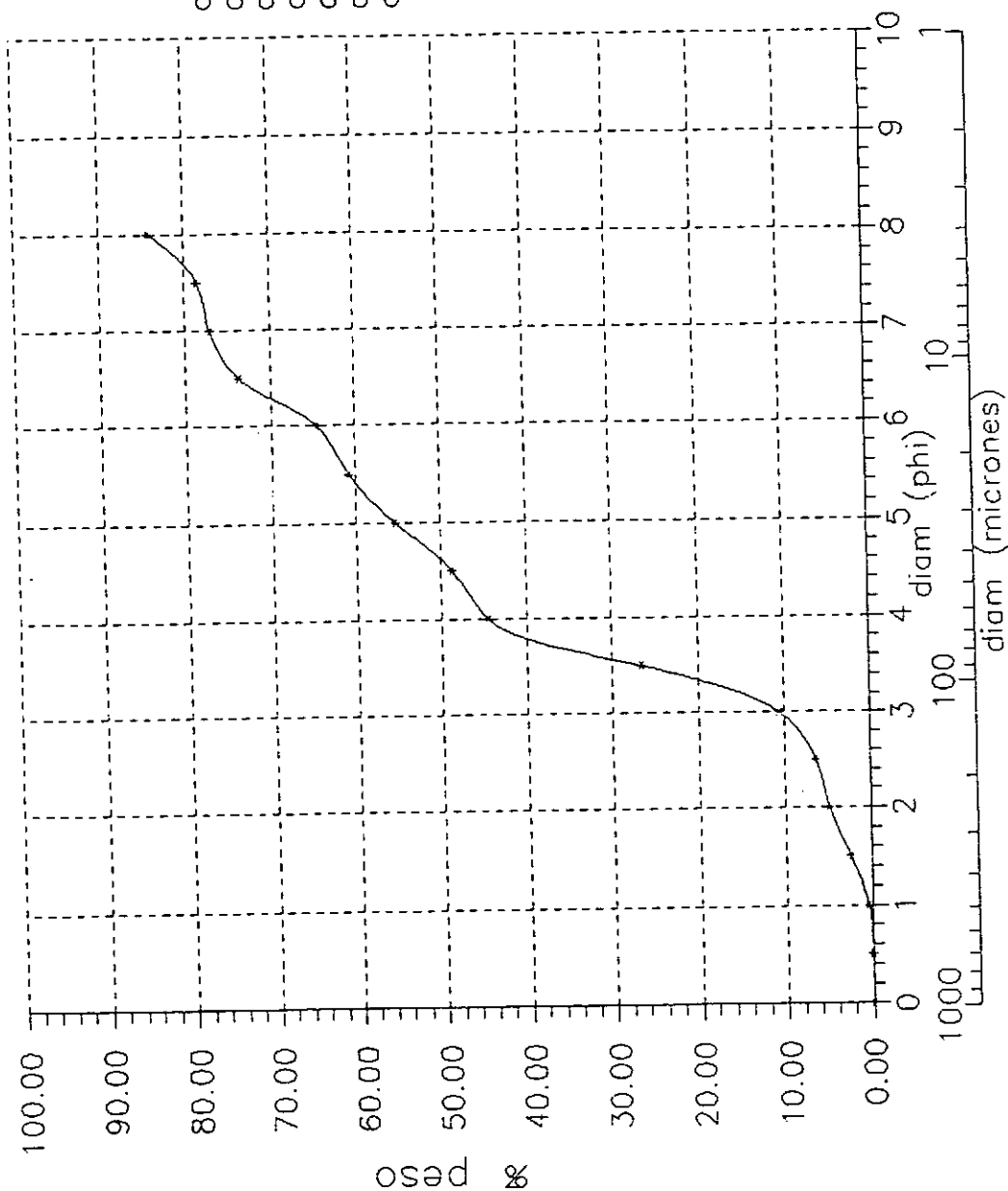
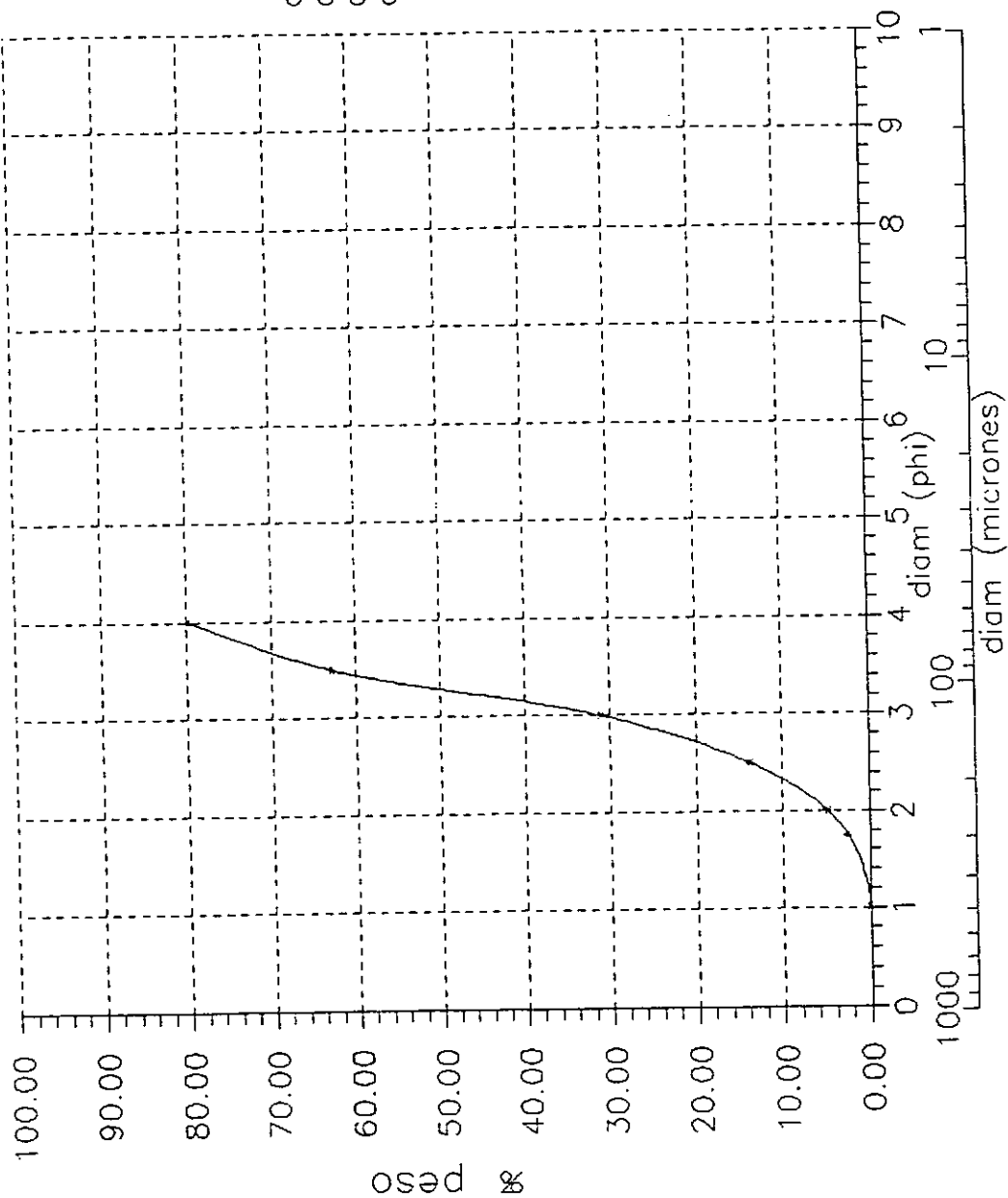


Fig. 1.2.13

PUERTO DIAMANTE GRANULOMETRIA MATERIAL DEL LECHO



d16 = 0.165 mm
d35 = 0.117 mm
d50 = 0.102 mm
d65 = 0.087 mm

Fig. 1.2.14

ARRIBA TACUANI Km 512 - 515 GRANULOMETRIA MATERIAL DEL LECHO

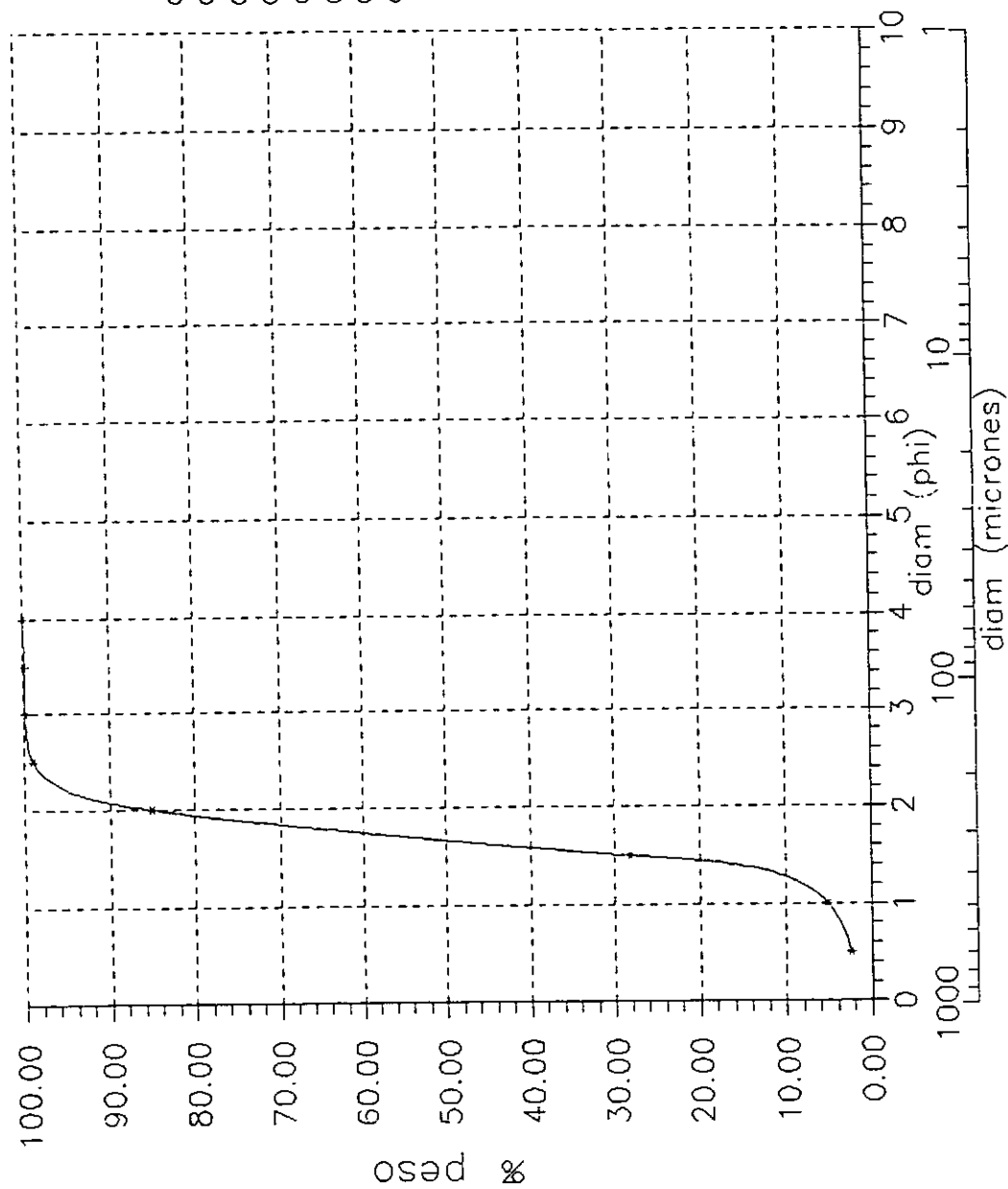
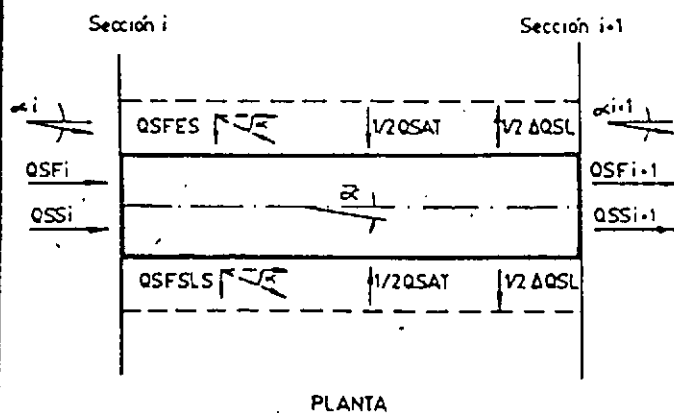
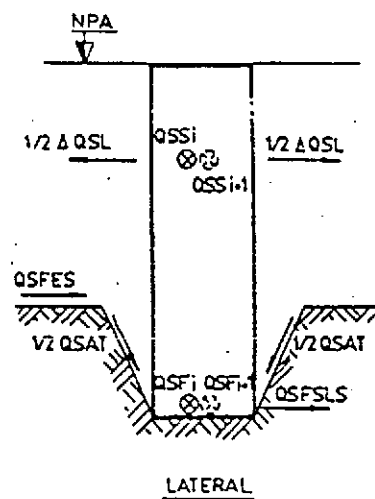
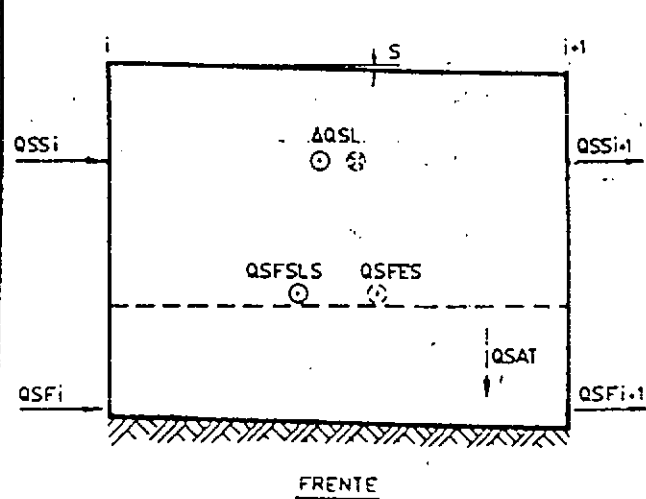
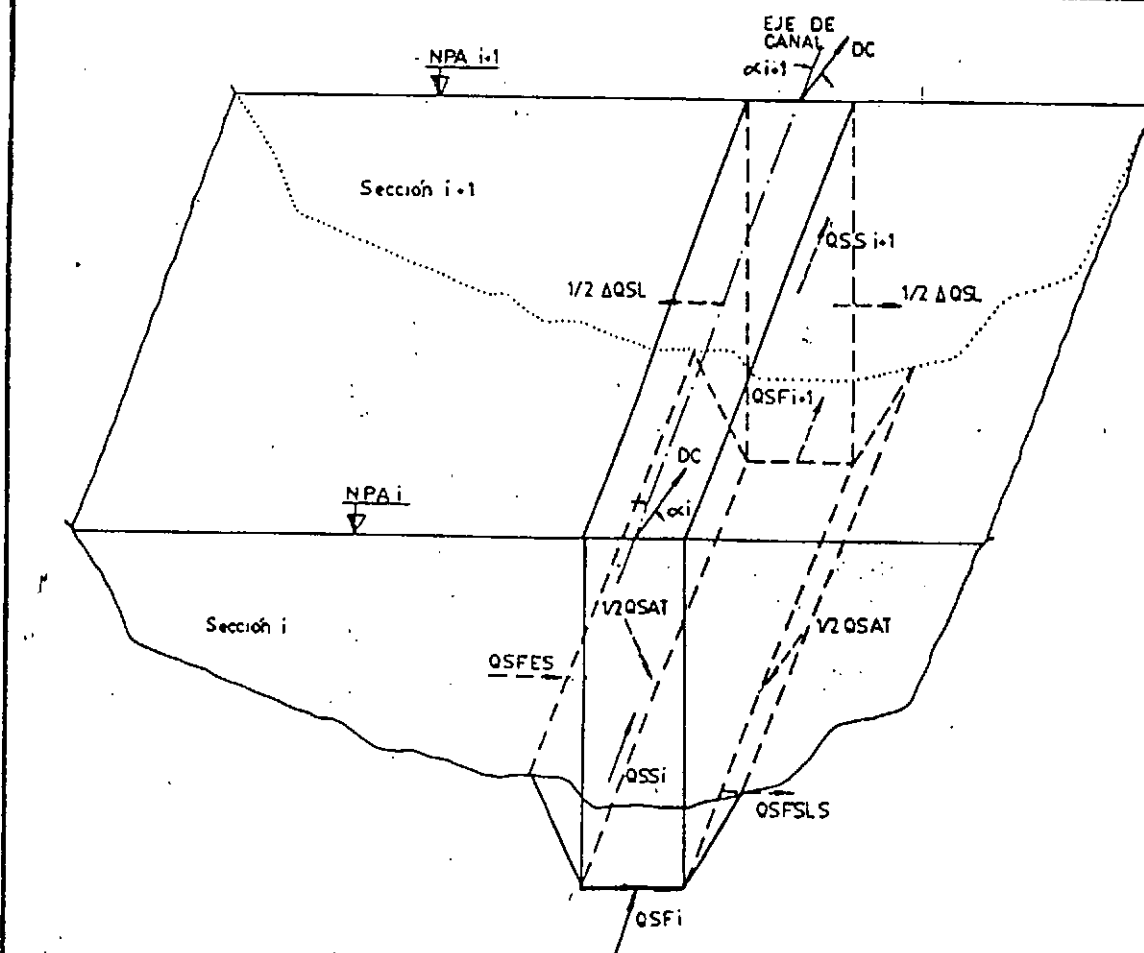


Fig. 1.2.15



REFERENCIAS:

- QSSi**: Caudal solido en suspensión
- QSF i**: Caudal solido de fondo
- S**: Pendiente del pelo de agua
- QSAT**: Caudal solido de aporte por efectos de taludes
- ΔQSL**: Variación de caudal solido longitudinal
- QSFES**: Caudal solido de fondo entrante lateral por sesgo
- QSFSLs**: Caudal solido de fondo saliente lateral por sesgo
- : Límite de aplicación del modelo.
- α**: Sesgo entre dirección de corriente y canal

RIO PARANA - PASO LAS HERMANAS ANALISIS P/DIF.DIST.CTE.

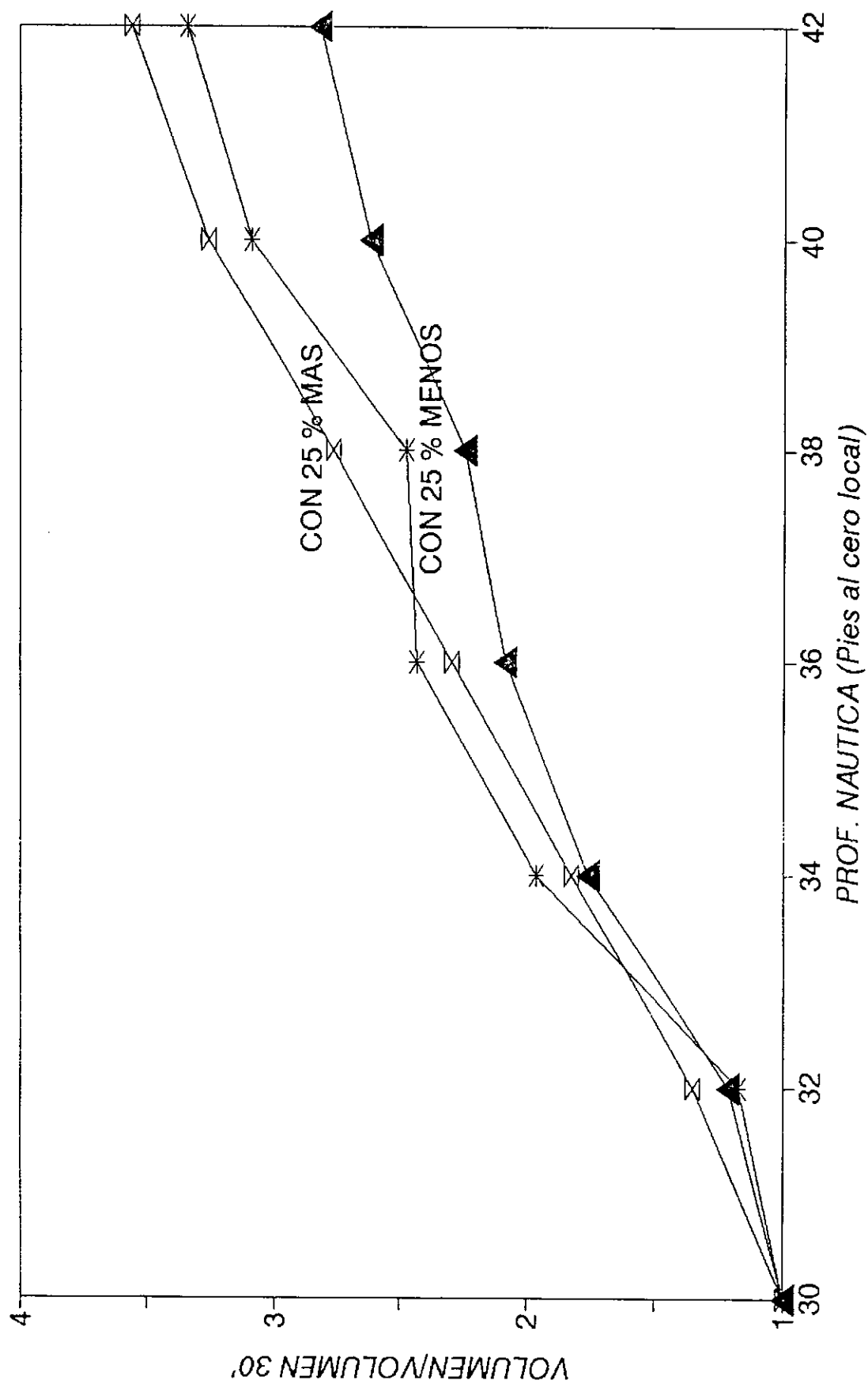
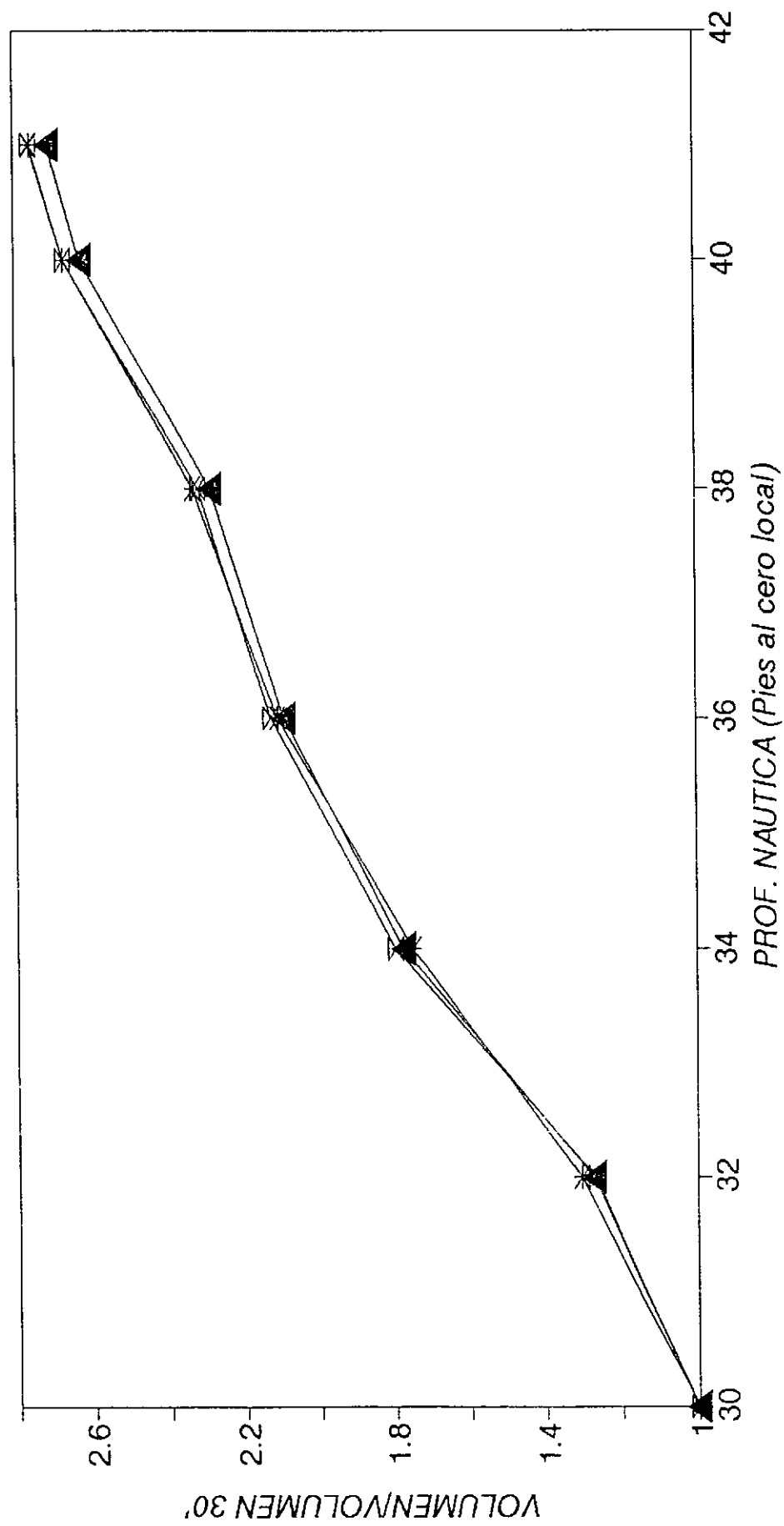


Fig. 1.4.2

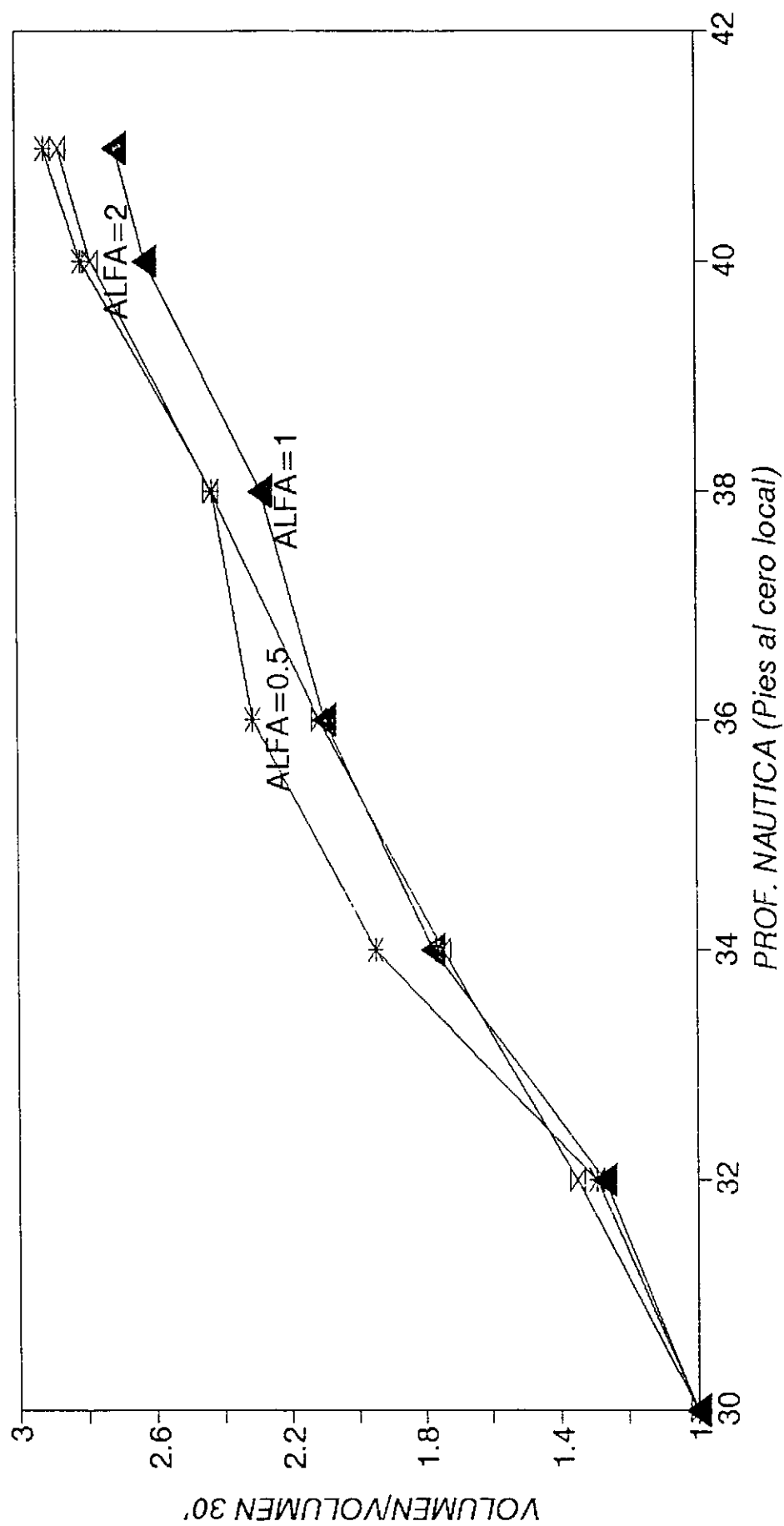
RIO PARANA - PASO LAS HERMANAS
ANALISIS DIF.TAM.DE SEDIM.



→*→ D=0.20 mm →▲→ D=0.25 mm →×→ D=0.3 mm

Fig. 1.4.3

RIO PARANA - PASO LAS HERMANAS ANALISIS DIF.TASAS TRANSP.



—*— ALFA=0.5 —▲— ALFA=1 —x— ALFA=2

Fig. 1.4.4

RIO PARANA - PASO LAS HERMANAS ANALISIS P/DIST. EST. RIO

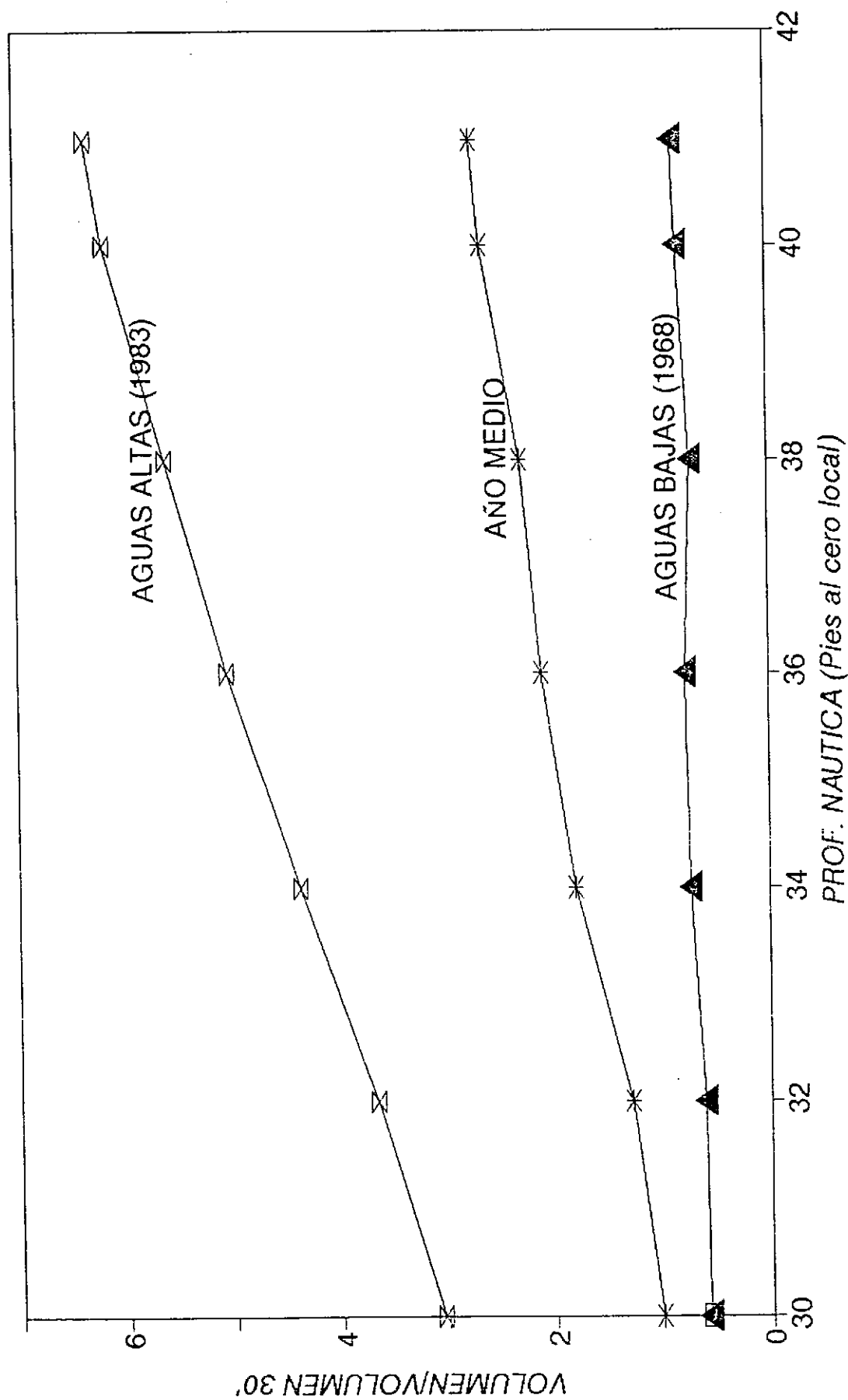


Fig. 1.4.5

HIDROGRAMA MEDIO
PARA CALCULO DE SEDIMENTACION

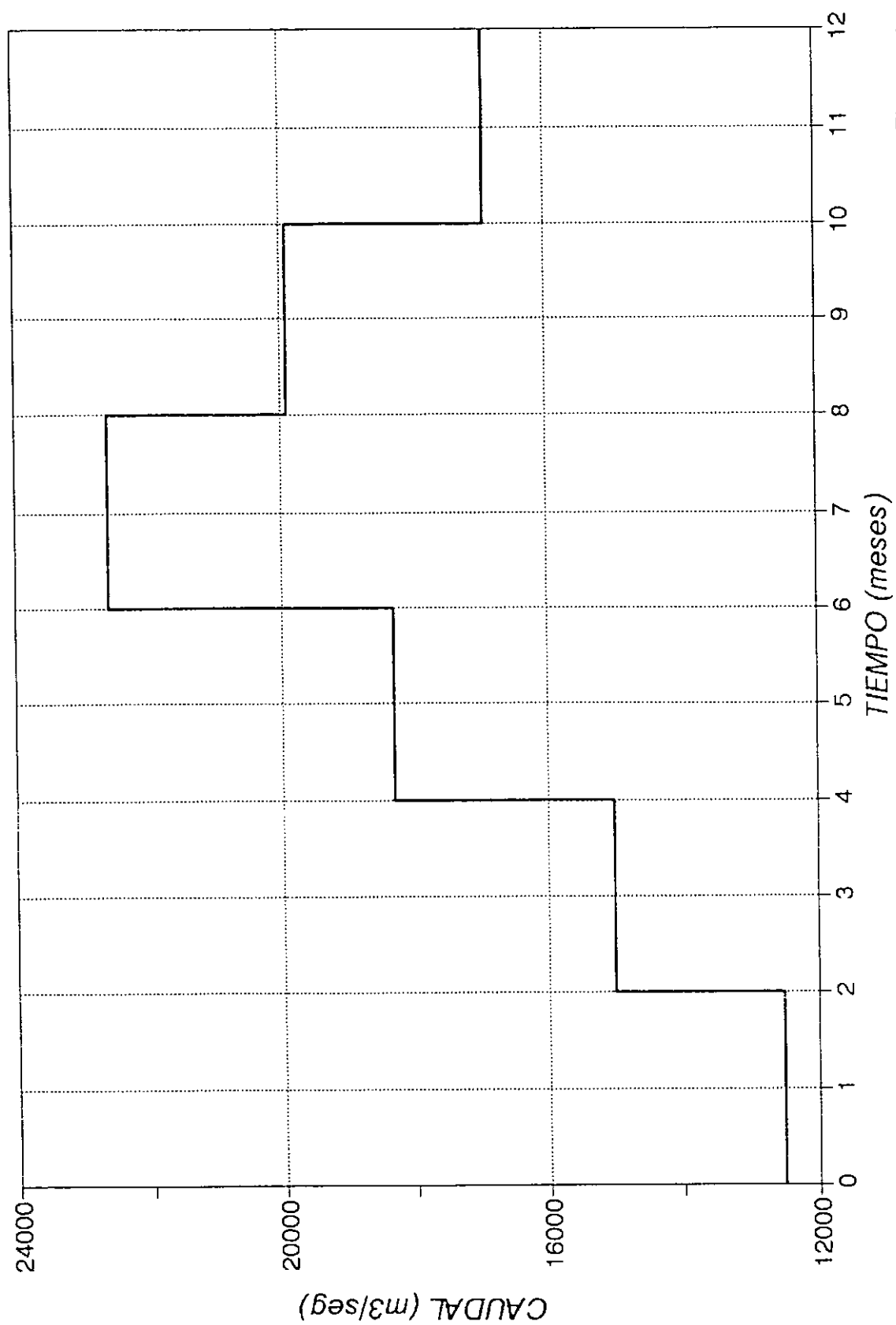


Fig. 1.4.6

PASO ABAJO CORRENTOSO (Km 472 - 474) LIMNIGRAMA DE CALIBRACION

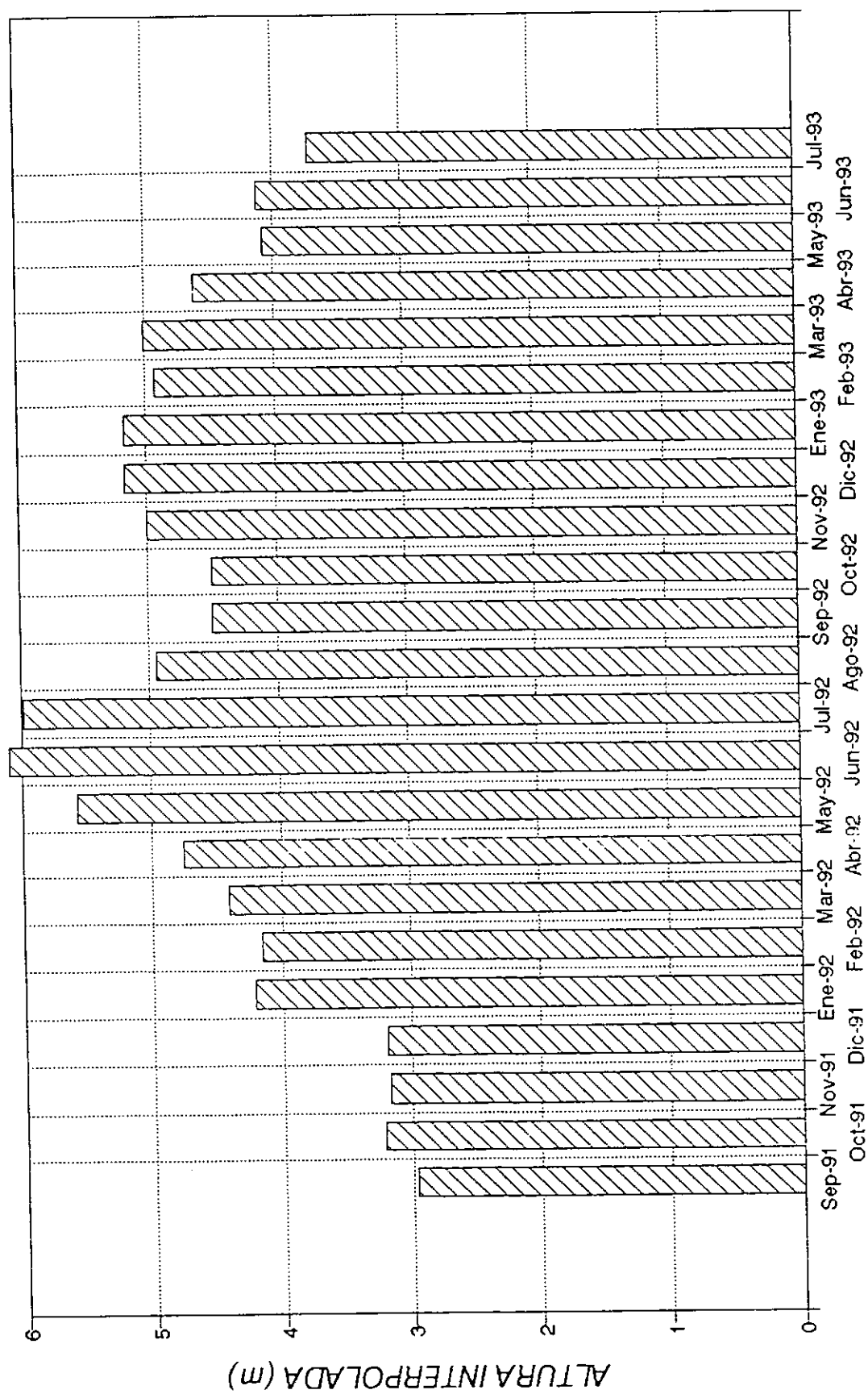


Fig. 1.4.7

PASO ABAJO CORRENTOSO (Km 472-474) PERFIL LONGITUDINAL DE CALIBRACION

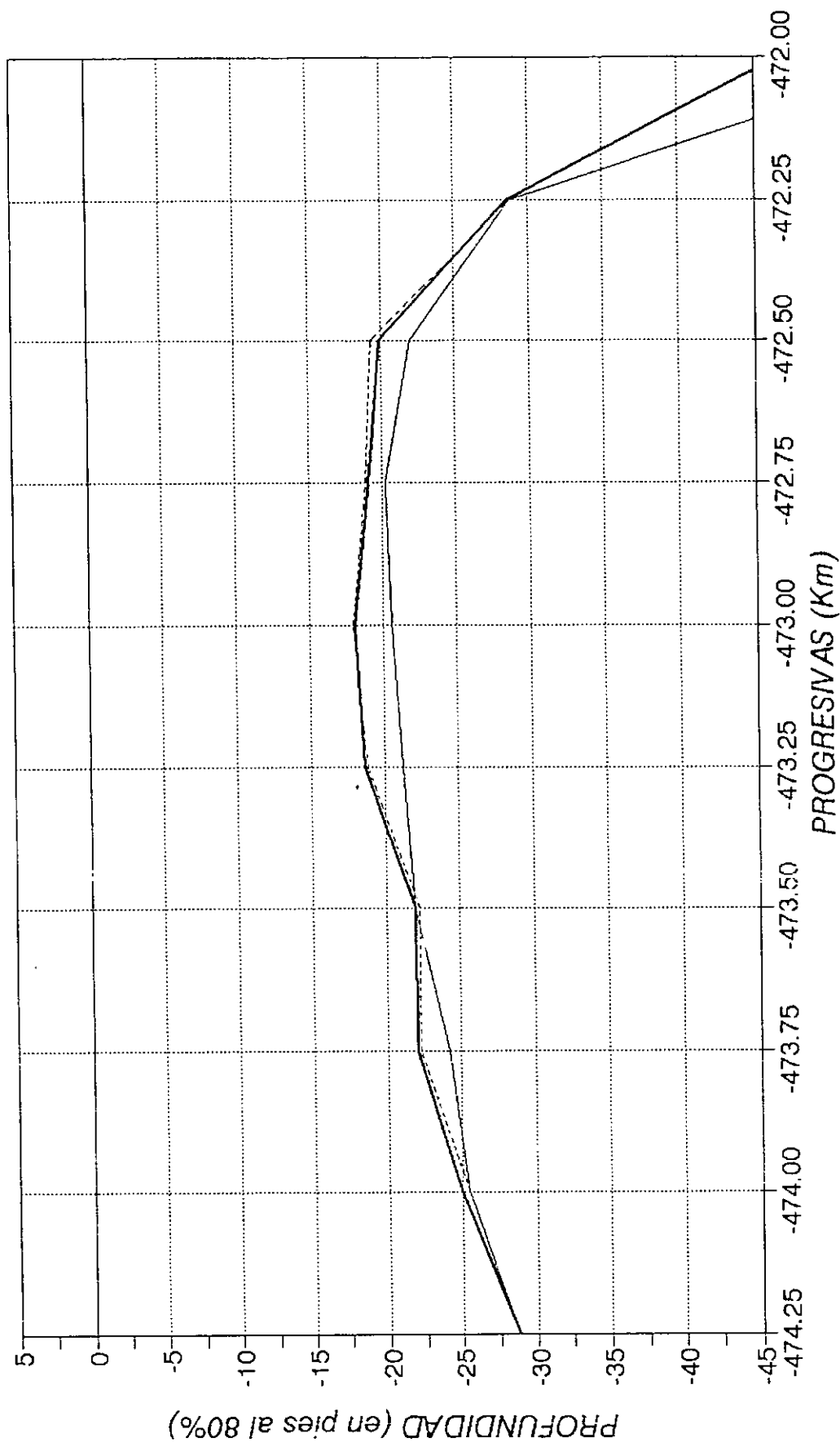
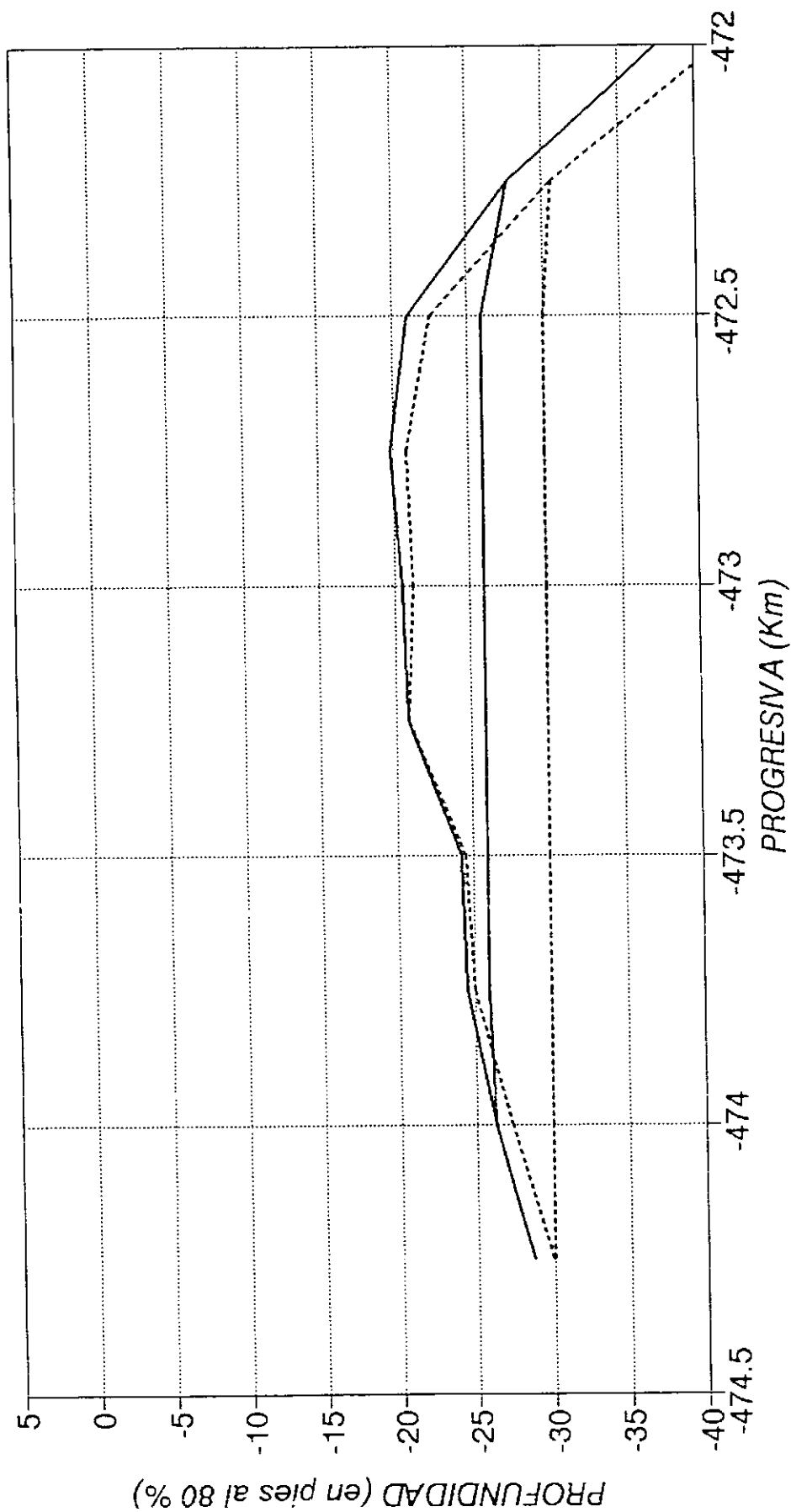


Fig. 1.4.8

— INICIAL 09/91 - - - - - FINAL 06/93 — MODELO 634 DIAS

PASO ABAJO CORRENTOSO (Km 472 - 474)
 PERFIL LONGITUDINAL FINAL (1 año)



— Dragado Inicial 26' Dragado Inicial 30'

Fig. 1.4.9

PASO ABAJO CORRENTOSO (Km 472 - 474)
VOLUMEN DE SEDIMENTACION ANUAL

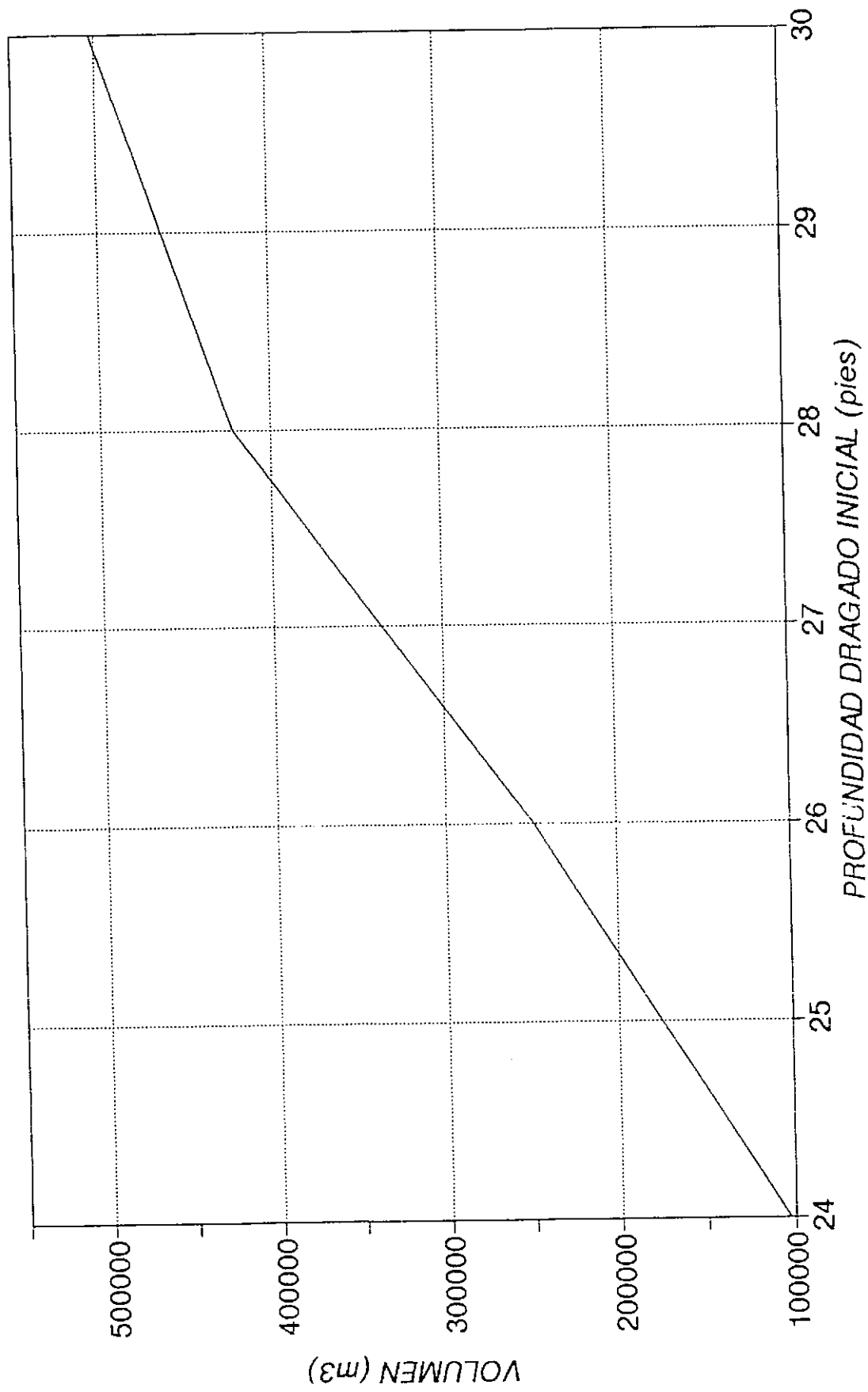
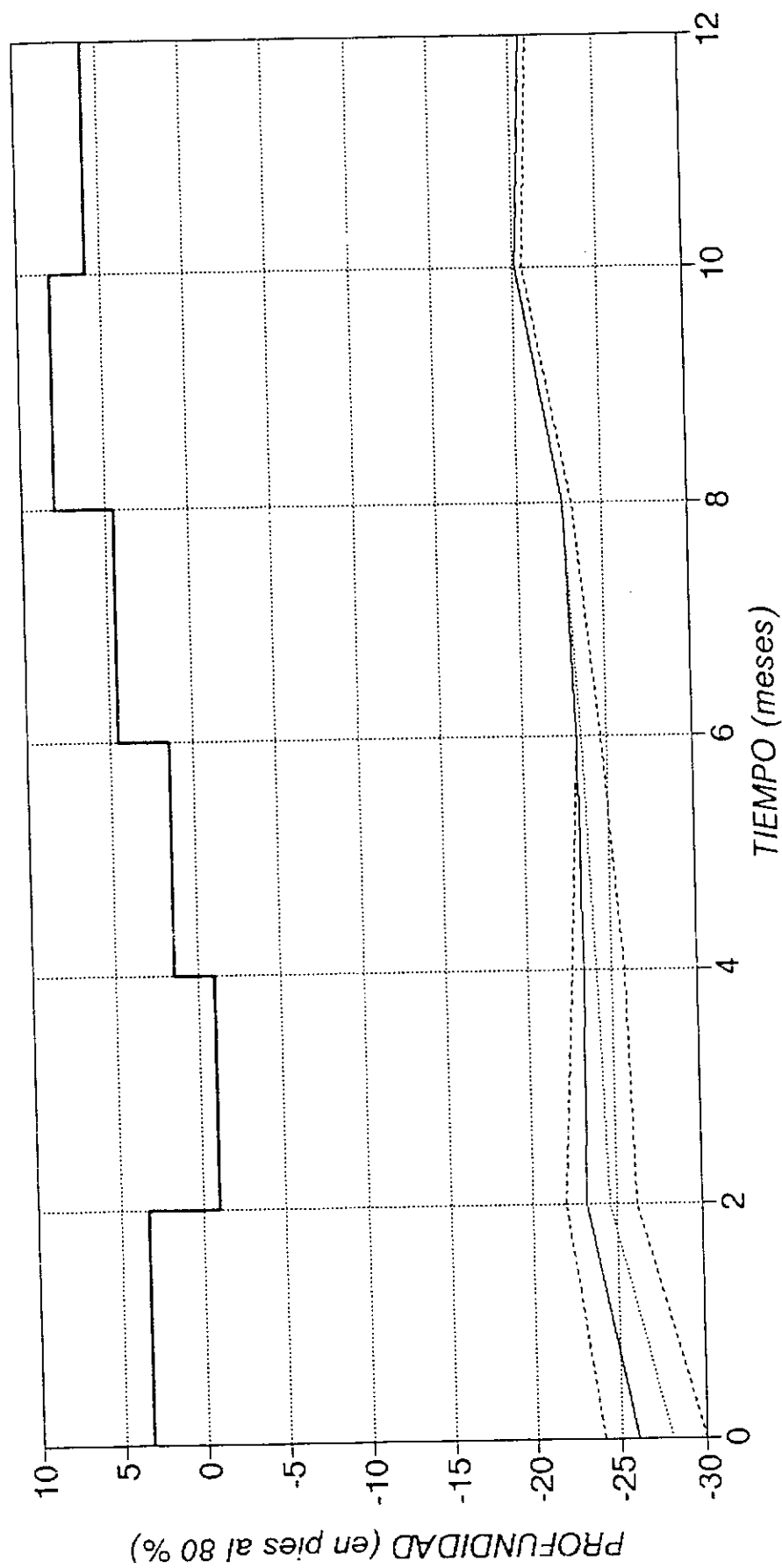


Fig. 1.4.10

PASO ABAJO CORRENTOSO (Km 472 - 474) PERDIDA DE PROFUNDIDAD



— HIDROG.MEDIO 70/90 - - - - - DRAG. 24' — DRAG. 26'
 DRAG. 28' - . - . - DRAG. 30'

Fig. 1.4.11

PASO PARANACITO (Km 490 - 492) LIMNIGRAMA DE CALIBRACION

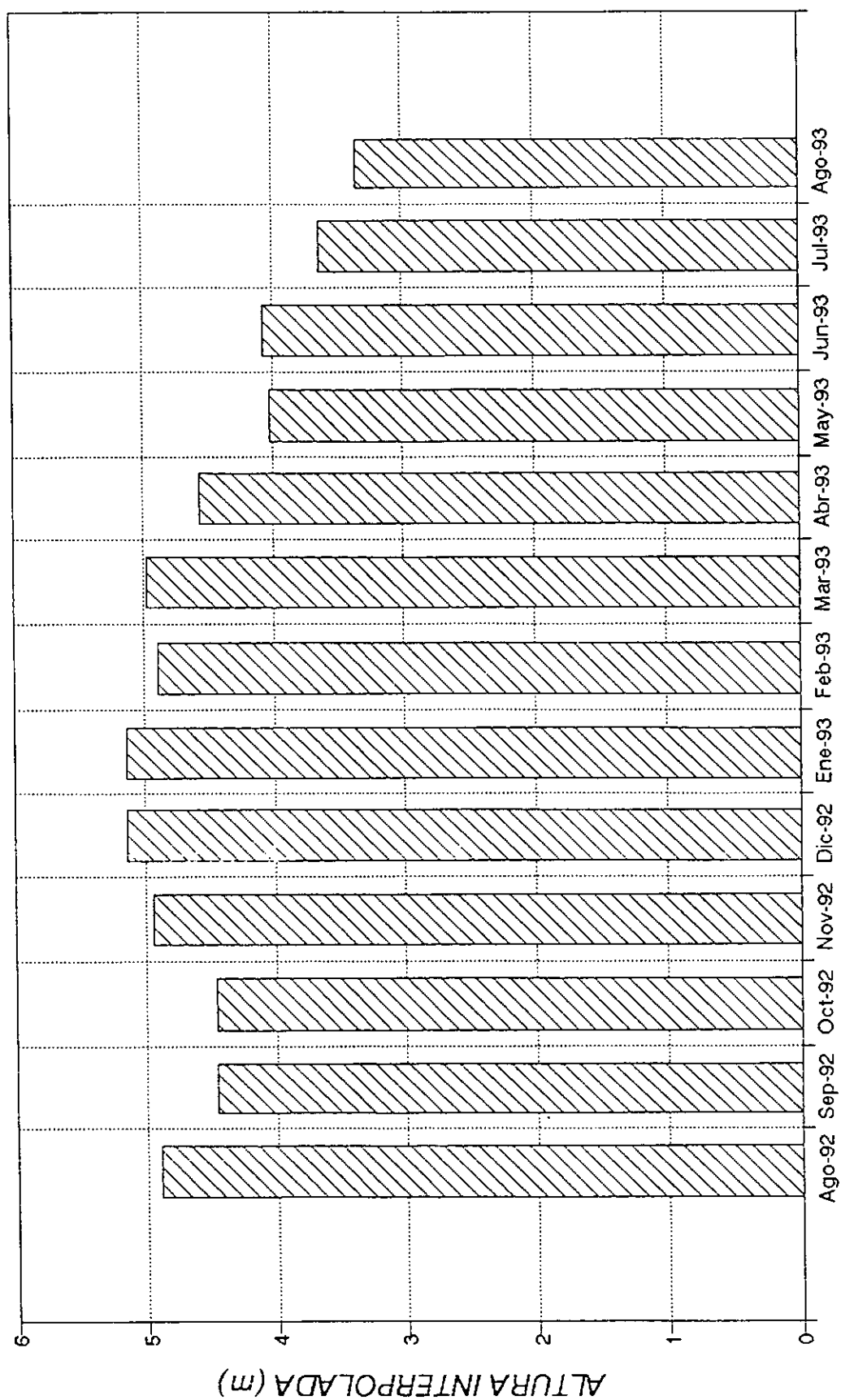


Fig. 1.4.12

PASO PARANACITO (Km 490-492) PERFIL LONGITUDINAL DE CALIBRACION

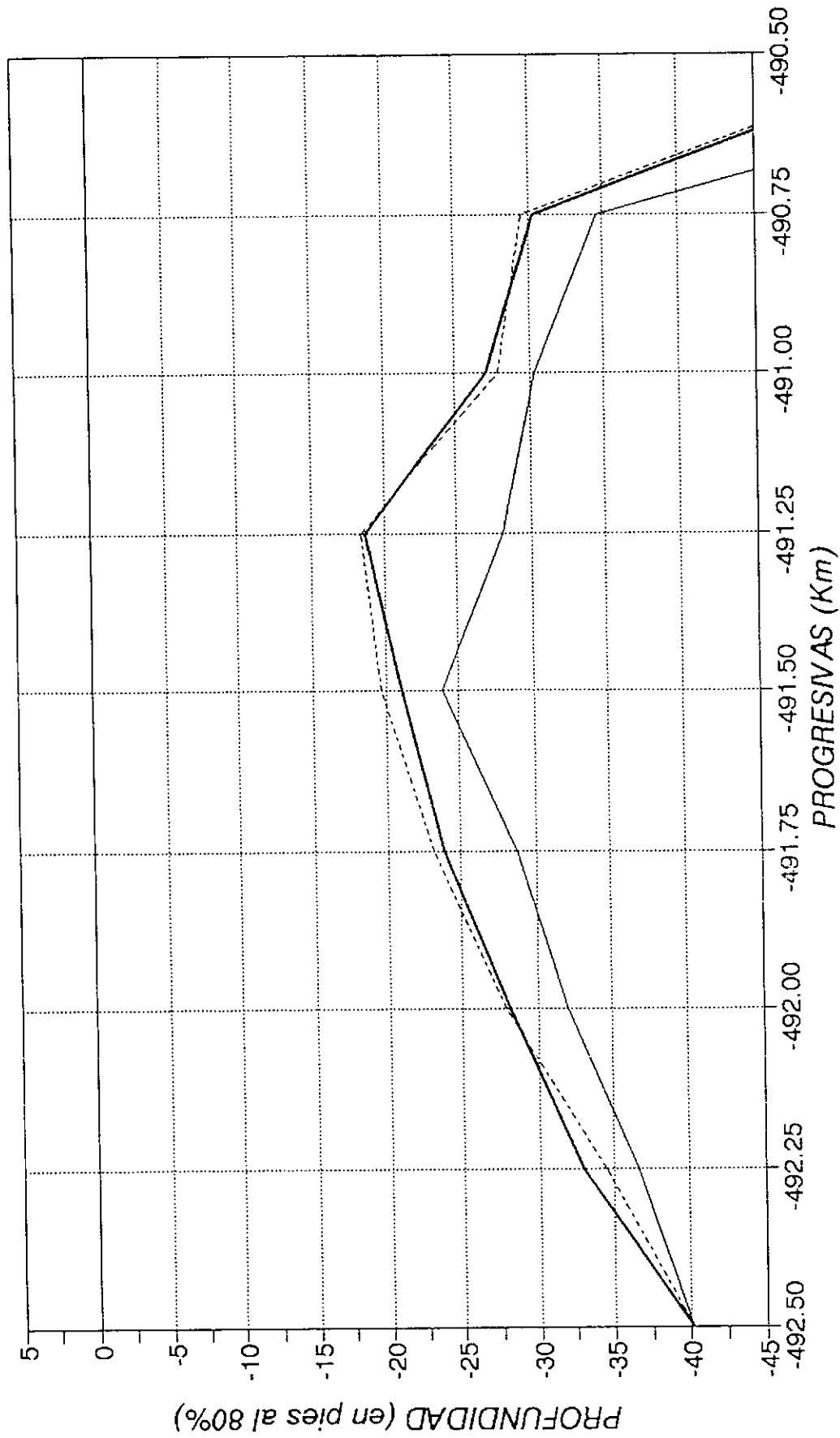
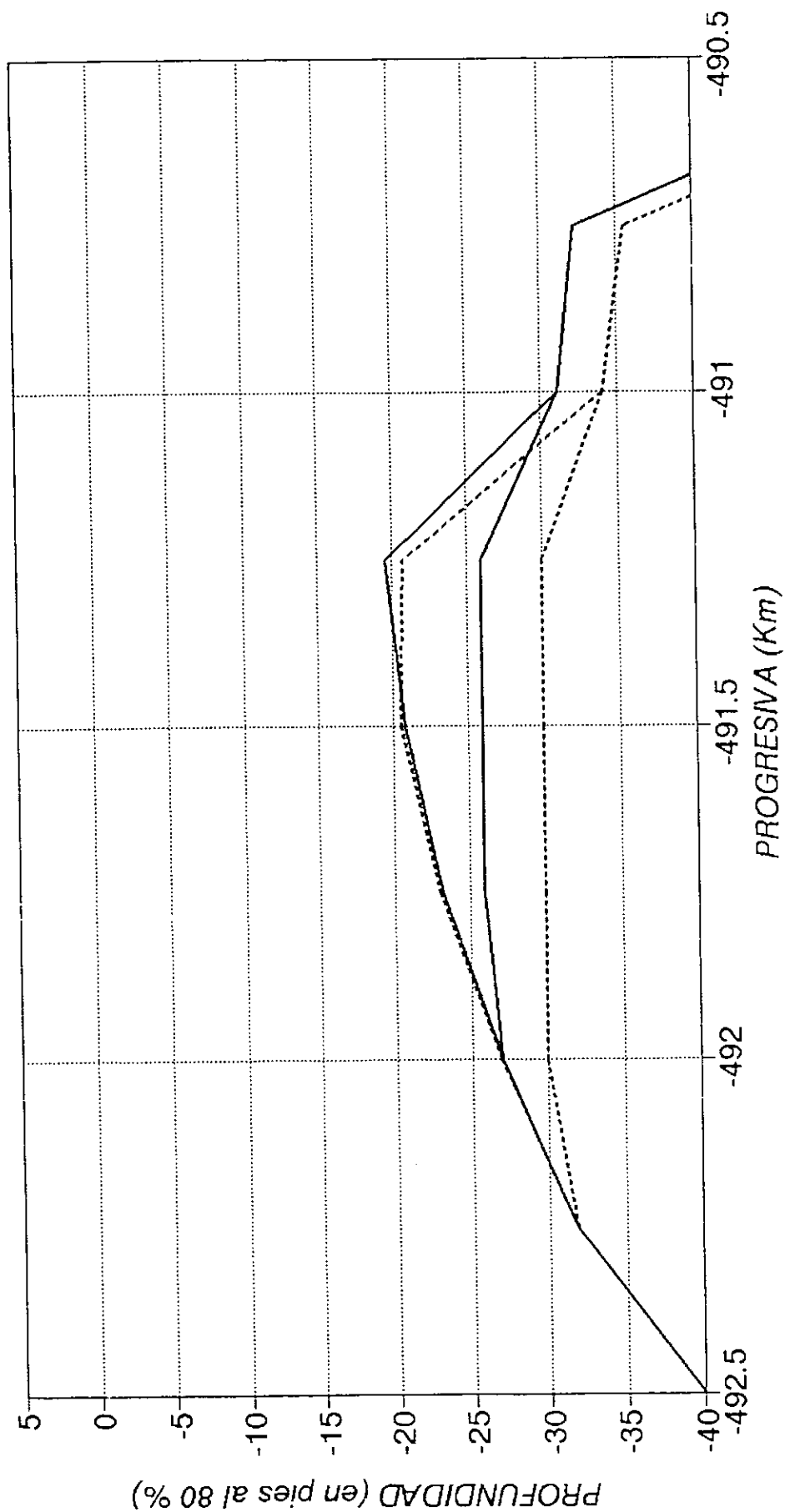


Fig. 1.4.13

— INICIAL 08/92 - - - - - FINAL 08/93 — MODELO 361 DIAS

PASO PARANACITO (Km 490 - 492)
 PERFIL LONGITUDINAL FINAL (1 año)



— Dragado Inicial 26' Dragado Inicial 30'

Fig. 1.4.14

PASO PARANACITO (Km 490 - 492)
VOLUMEN DE SEDIMENTACION ANUAL

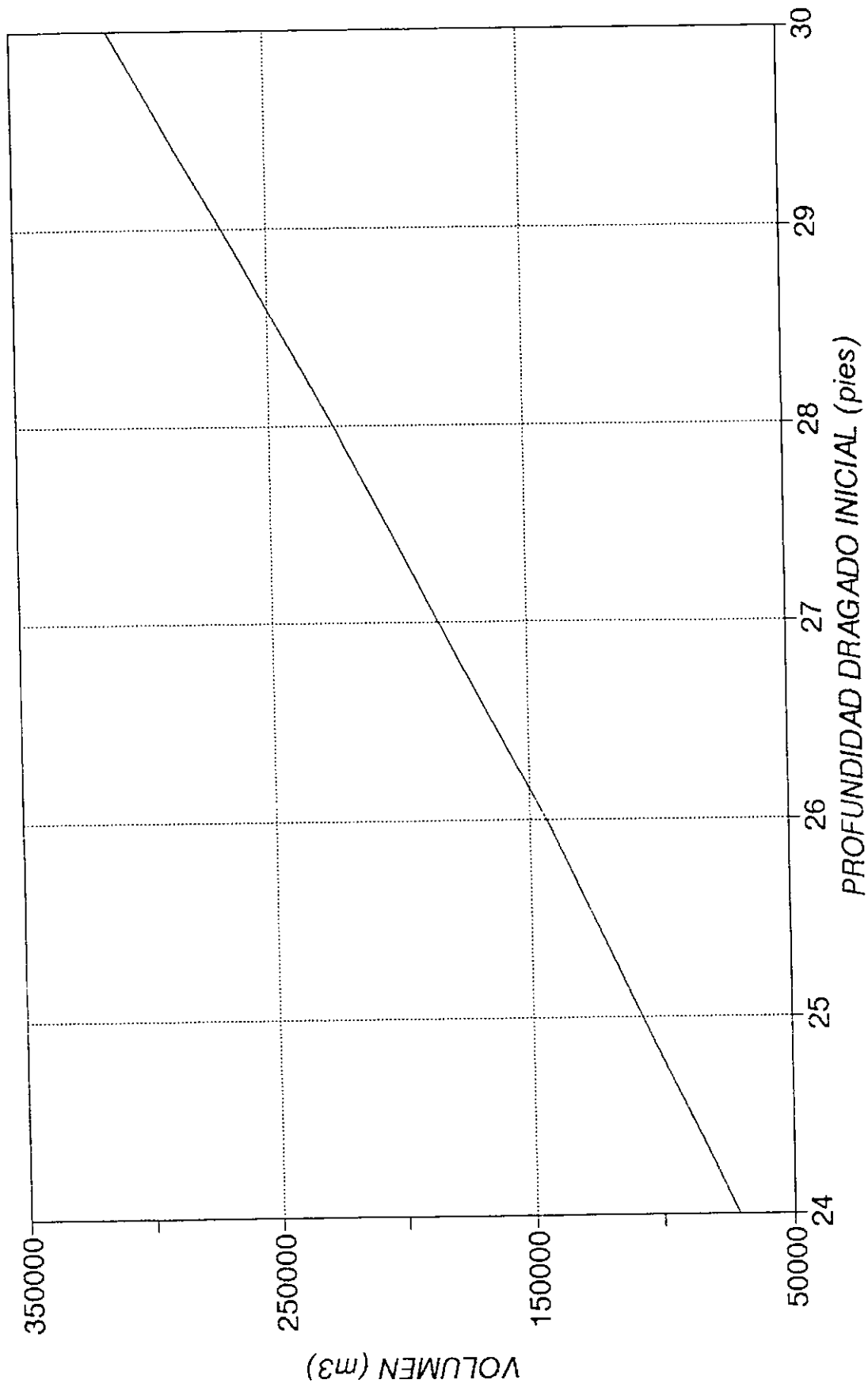


Fig. 1.4.15

PASO PARANACITO (Km 490 - 492) PERDIDA DE PROFUNDIDAD

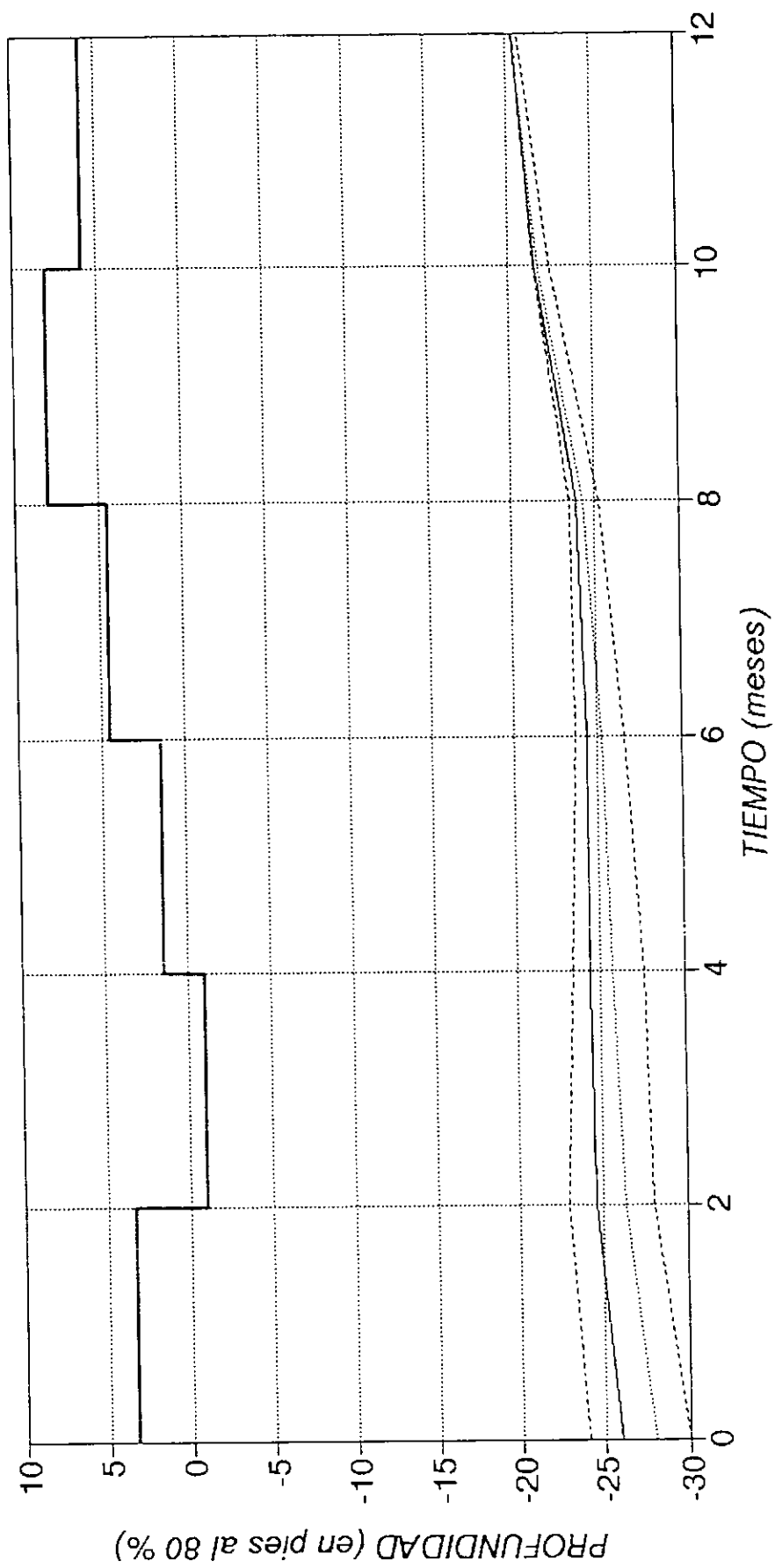


Fig. 1.4.16

PASO ABAJO TACUANI (Km 503 -506)
 LIMNIGRAMA DE CALIBRACION

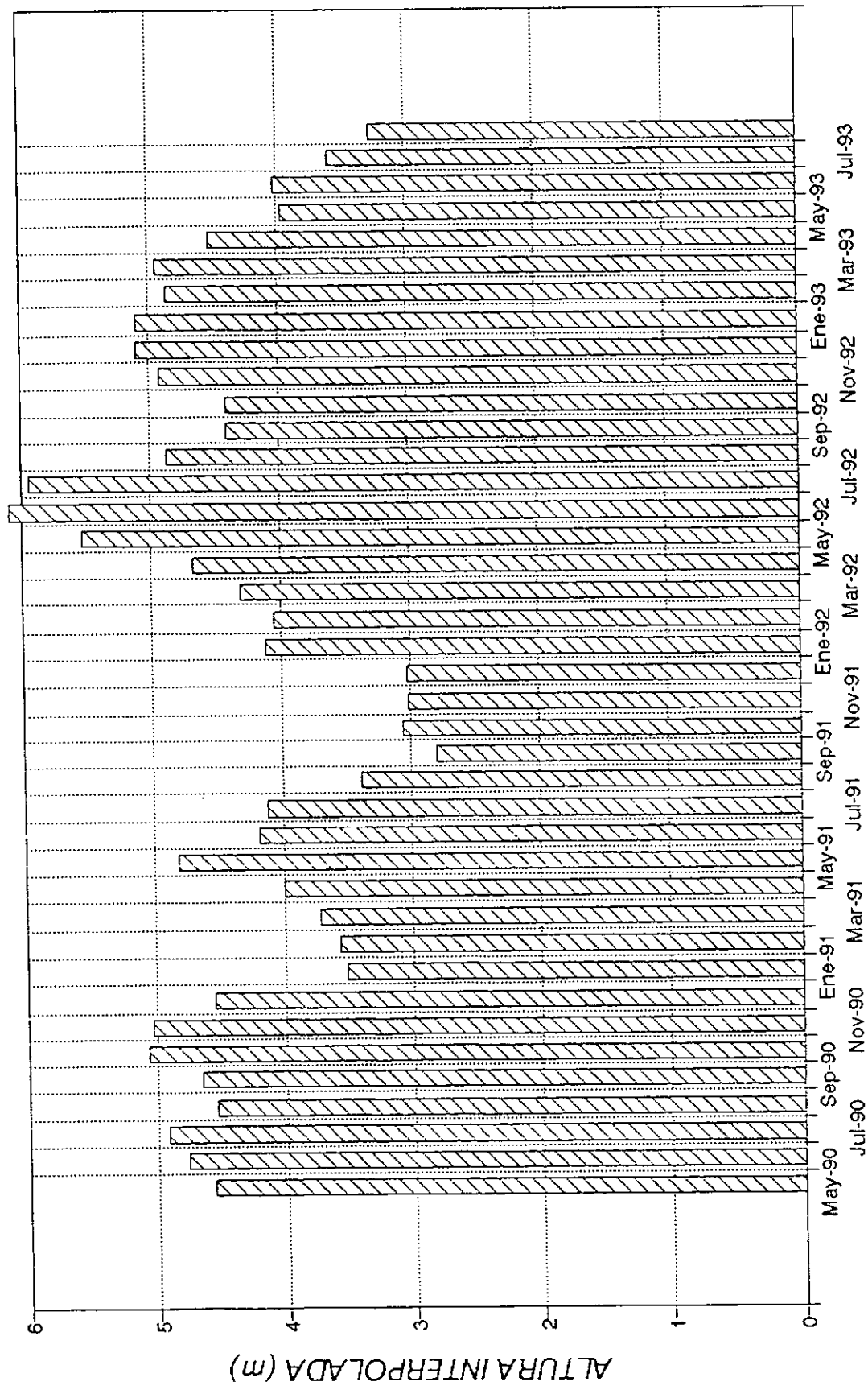


Fig. 1.4.17

PASO PARANACITO (Km 490-492) PERFIL LONGITUDINAL DE CALIBRACION

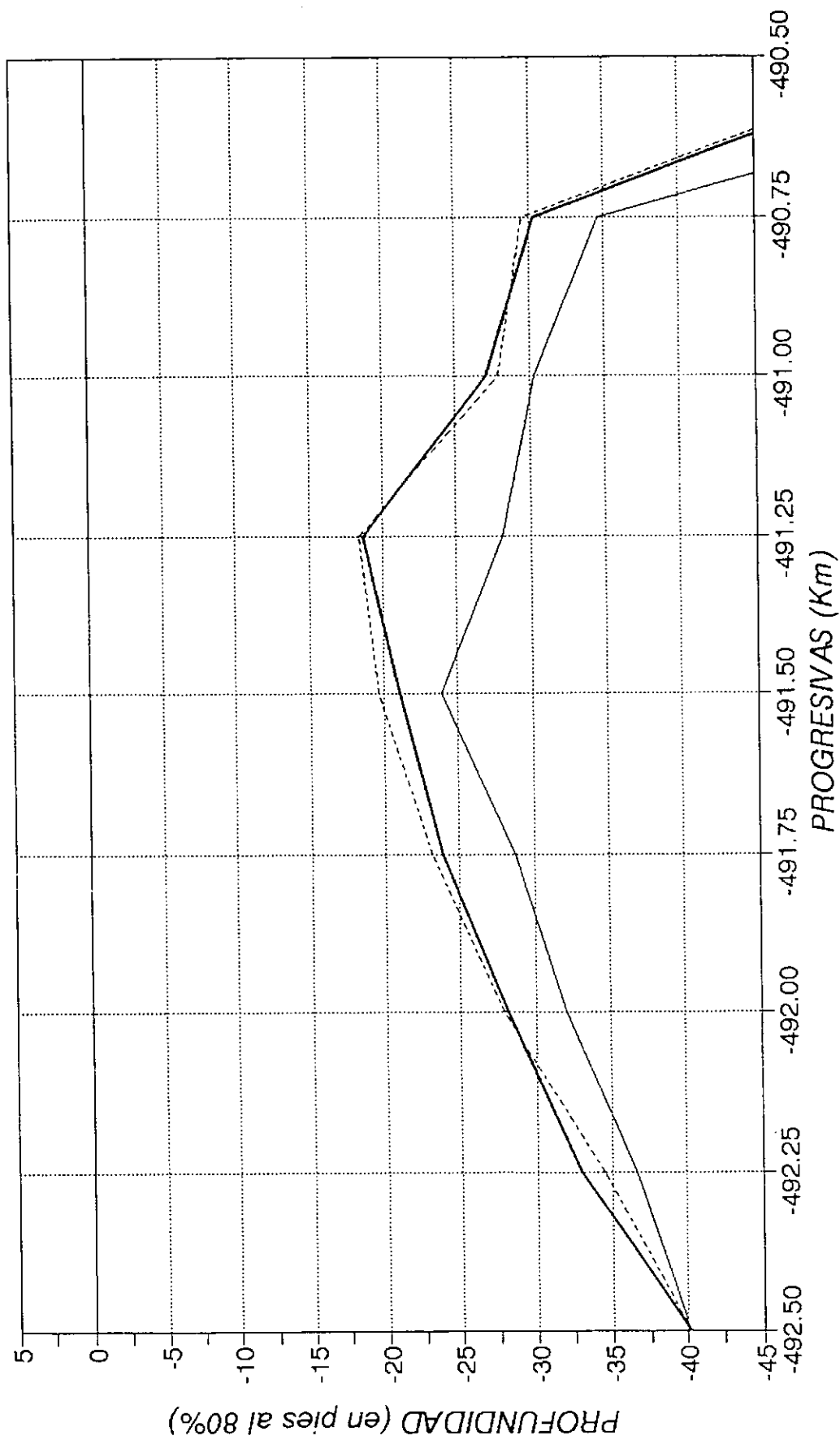
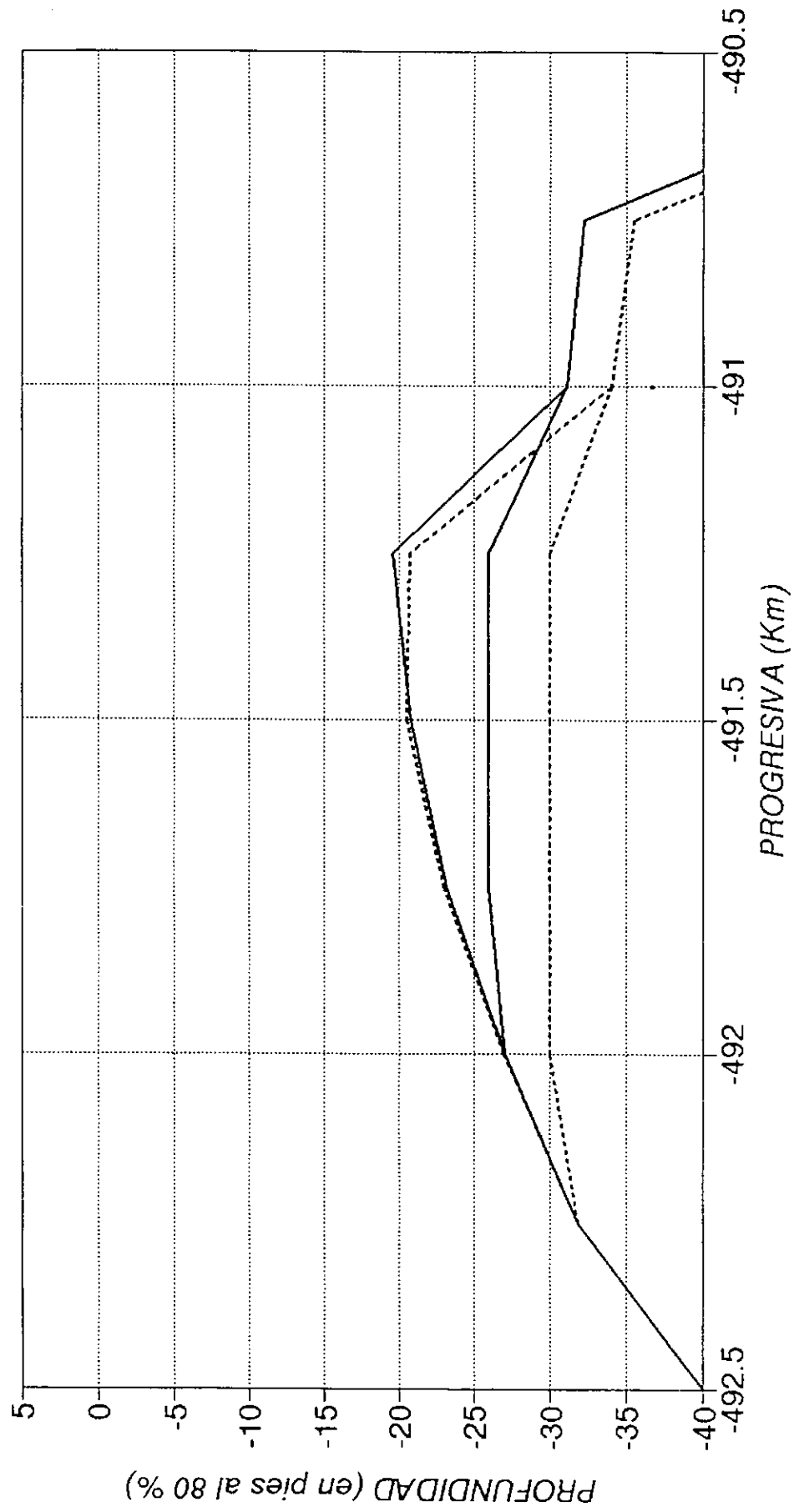


Fig. 1.4.13

— INICIAL 08/92 - - - - FINAL 08/93 — MODELO 361 DIAS

PASO PARANACITO (Km 490 - 492) PERFIL LONGITUDINAL FINAL (1 año)



— Dragado Inicial 26' Dragado Inicial 30'

Fig. 1.4.14

PASO PARANACITO (Km 490 - 492)
VOLUMEN DE SEDIMENTACION ANUAL

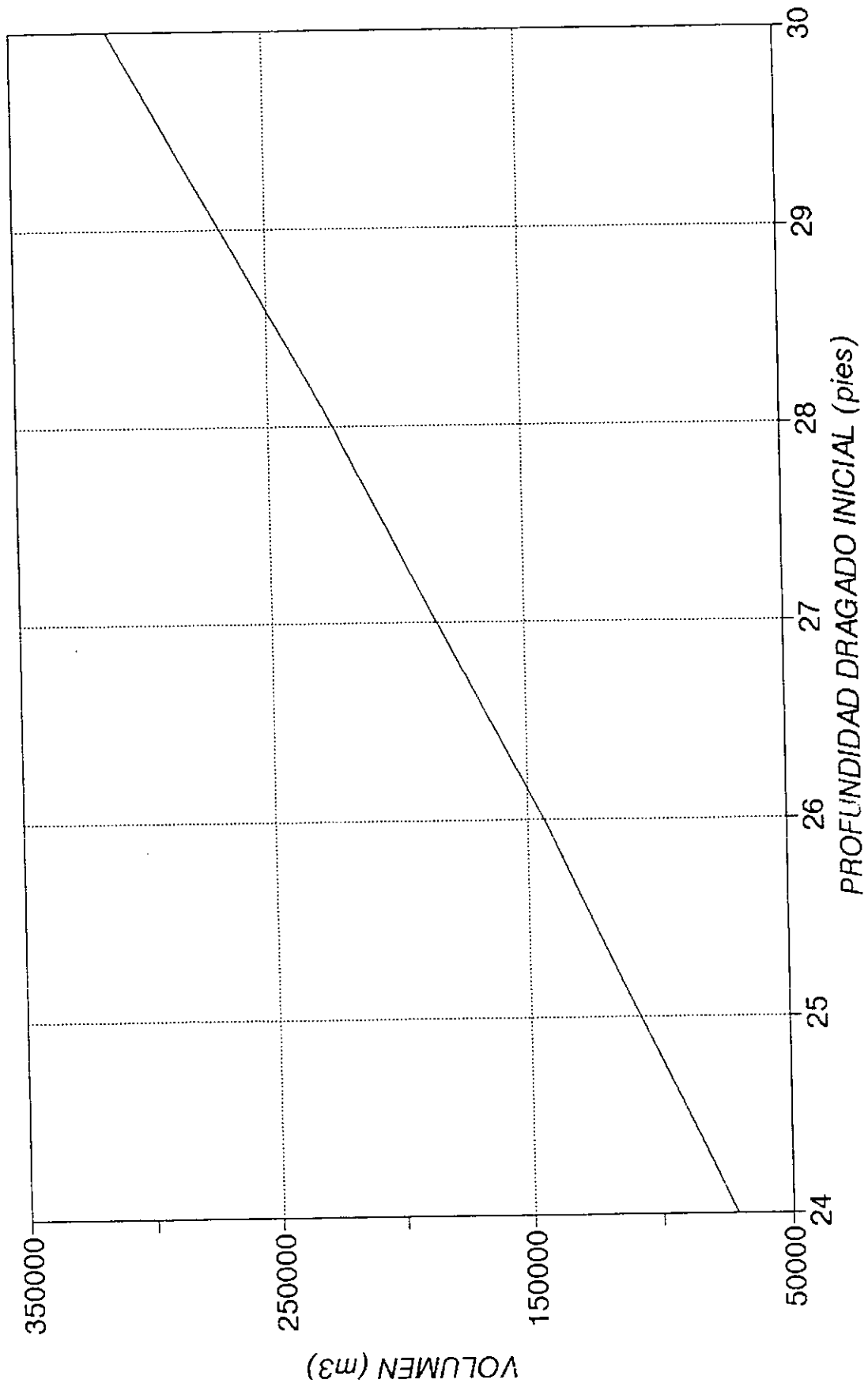
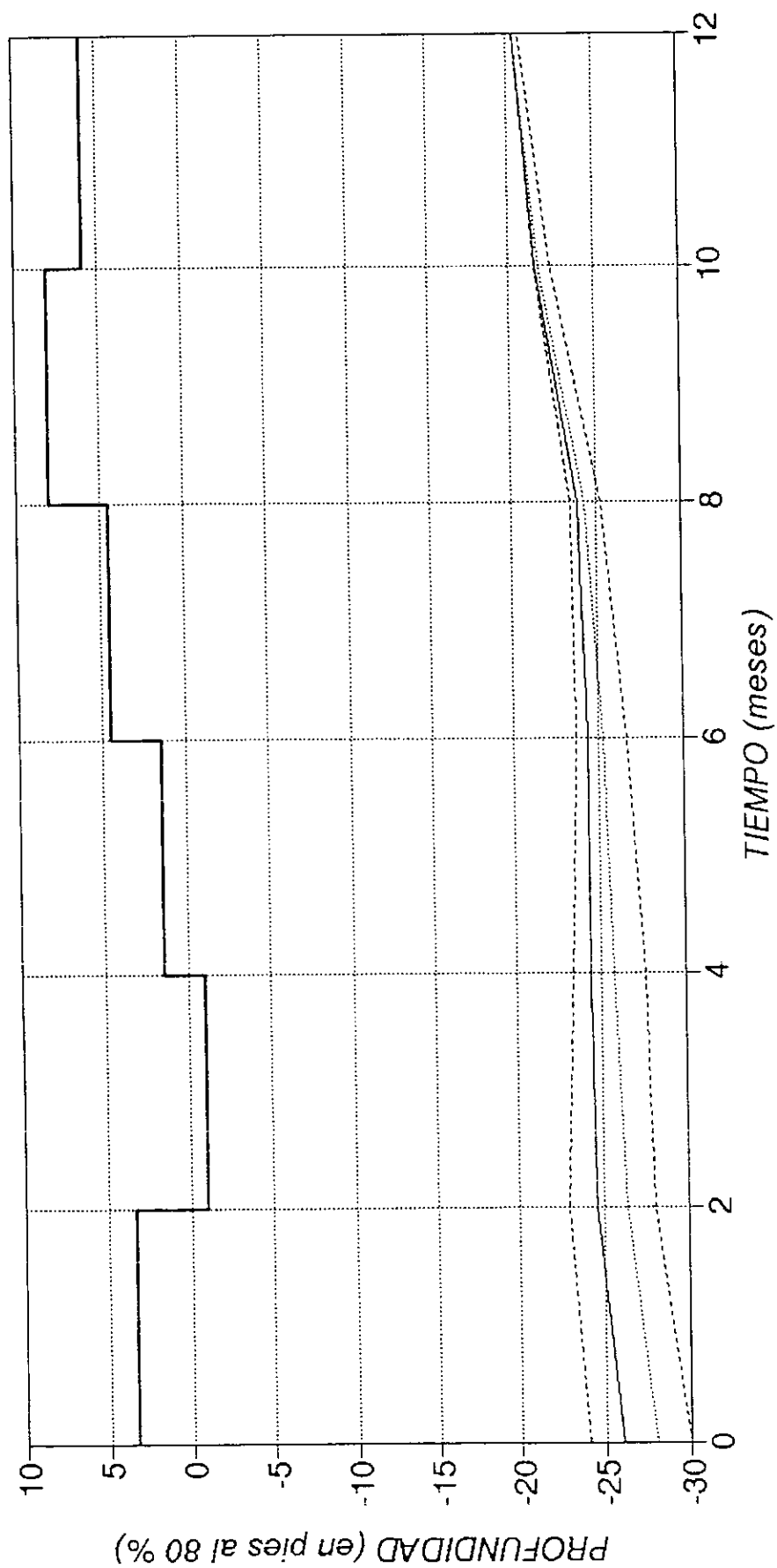


Fig. 1.4.15

PASO PAFANACITO (Km 490 - 492) PERDIDA DE PROFUNDIDAD



— HIDROG. MEDIO 70/90 — DRAG. 24' — DRAG. 26'
 DRAG. 28' DRAG. 30'

Fig. 1.4.16

PASO ABAJO TACUANI (Km 503 -506) LIMNIGRAMA DE CALIBRACION

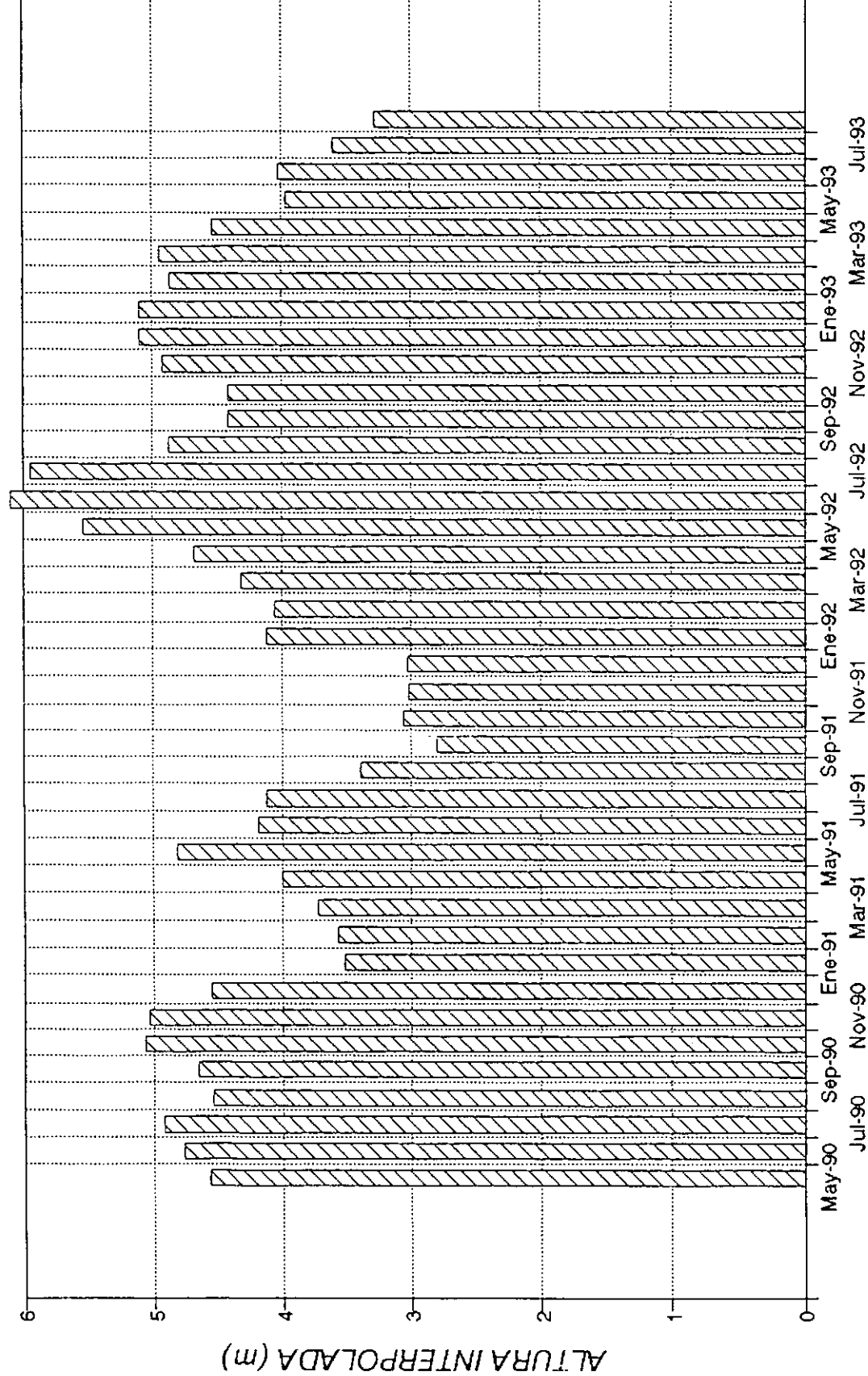


Fig. 1.4.17

PASO ABAJO TACUANI (Km 503 -506) LIMNIGRAMA DE CALIBRACION

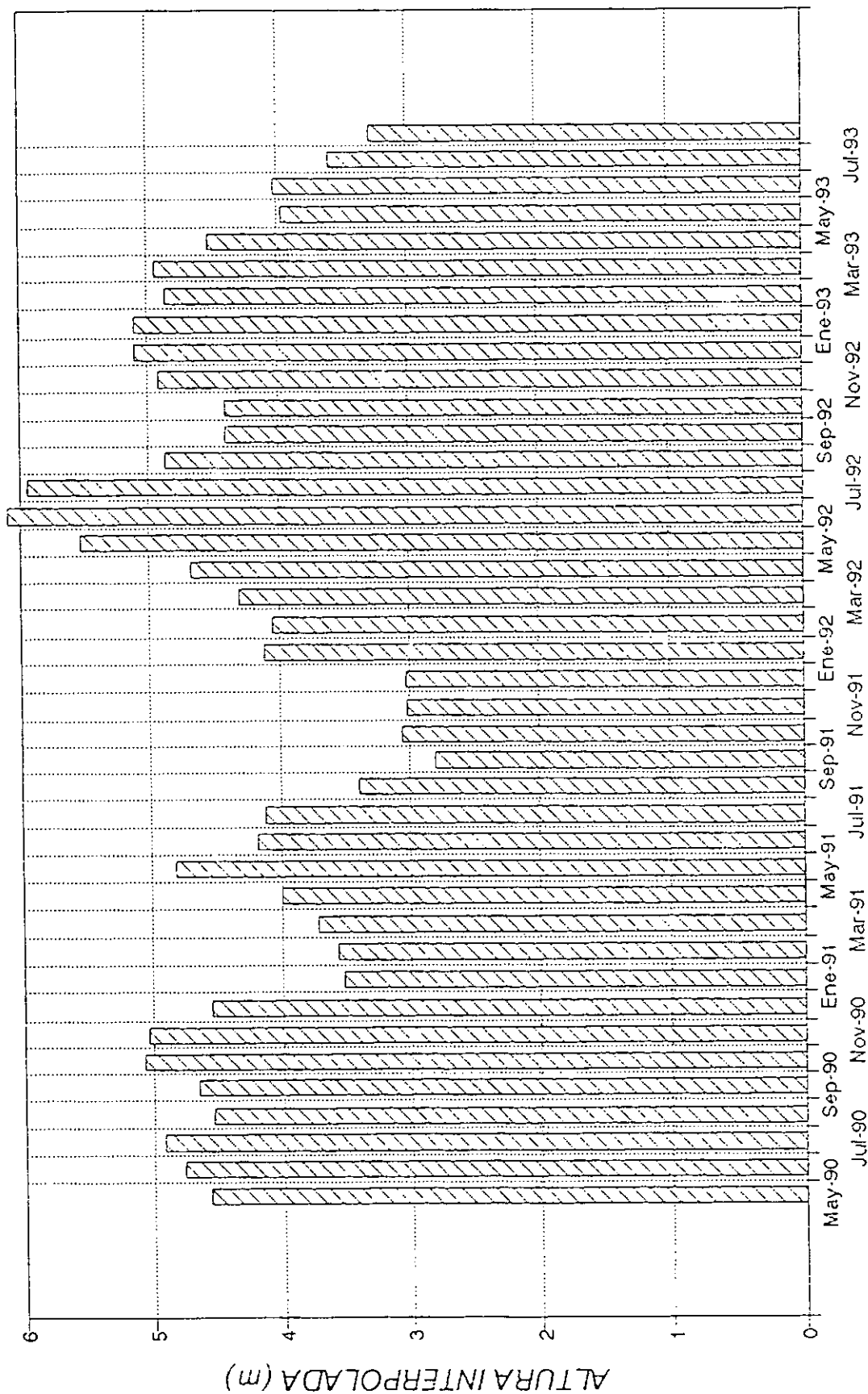


Fig. 1.4.17

PASO ABAJO TACUANI (Km 503 -506)
 LIMNIGRAMA DE CALIBRACION

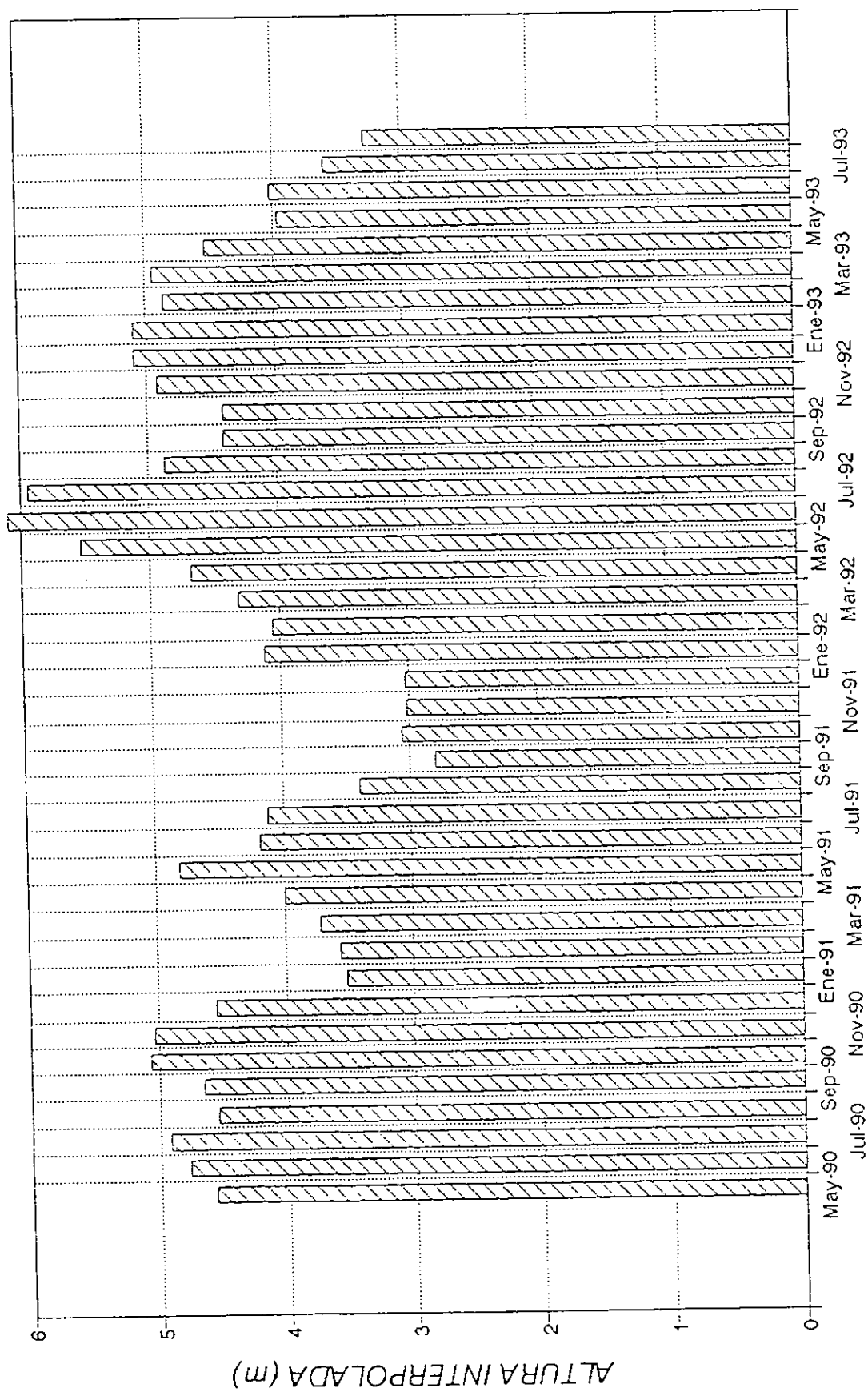


Fig. 1.4.17

PASO ABAJO TACUANI (Km 504-506) PERFIL LONGITUDINAL DE CALIBRACION

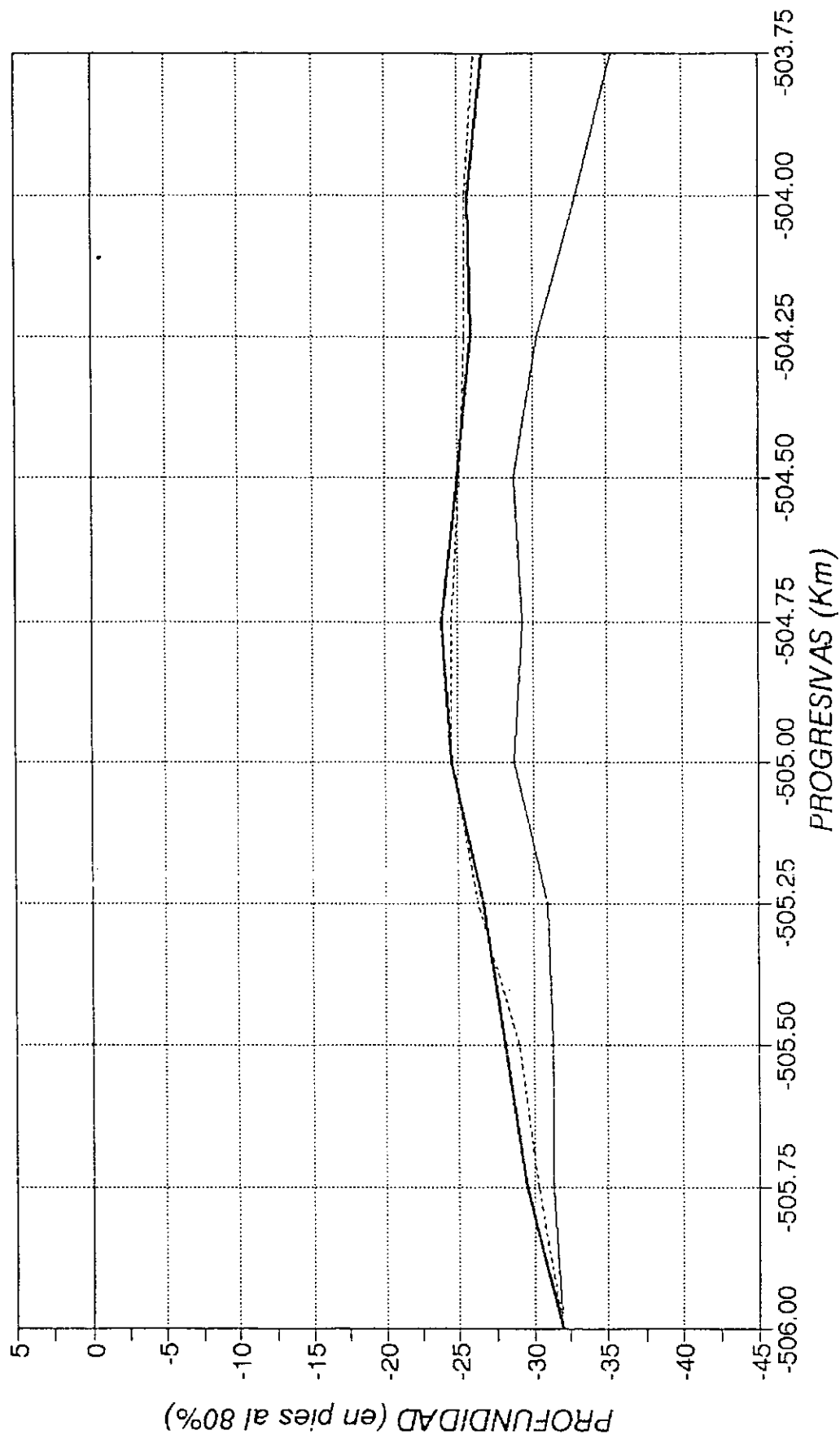
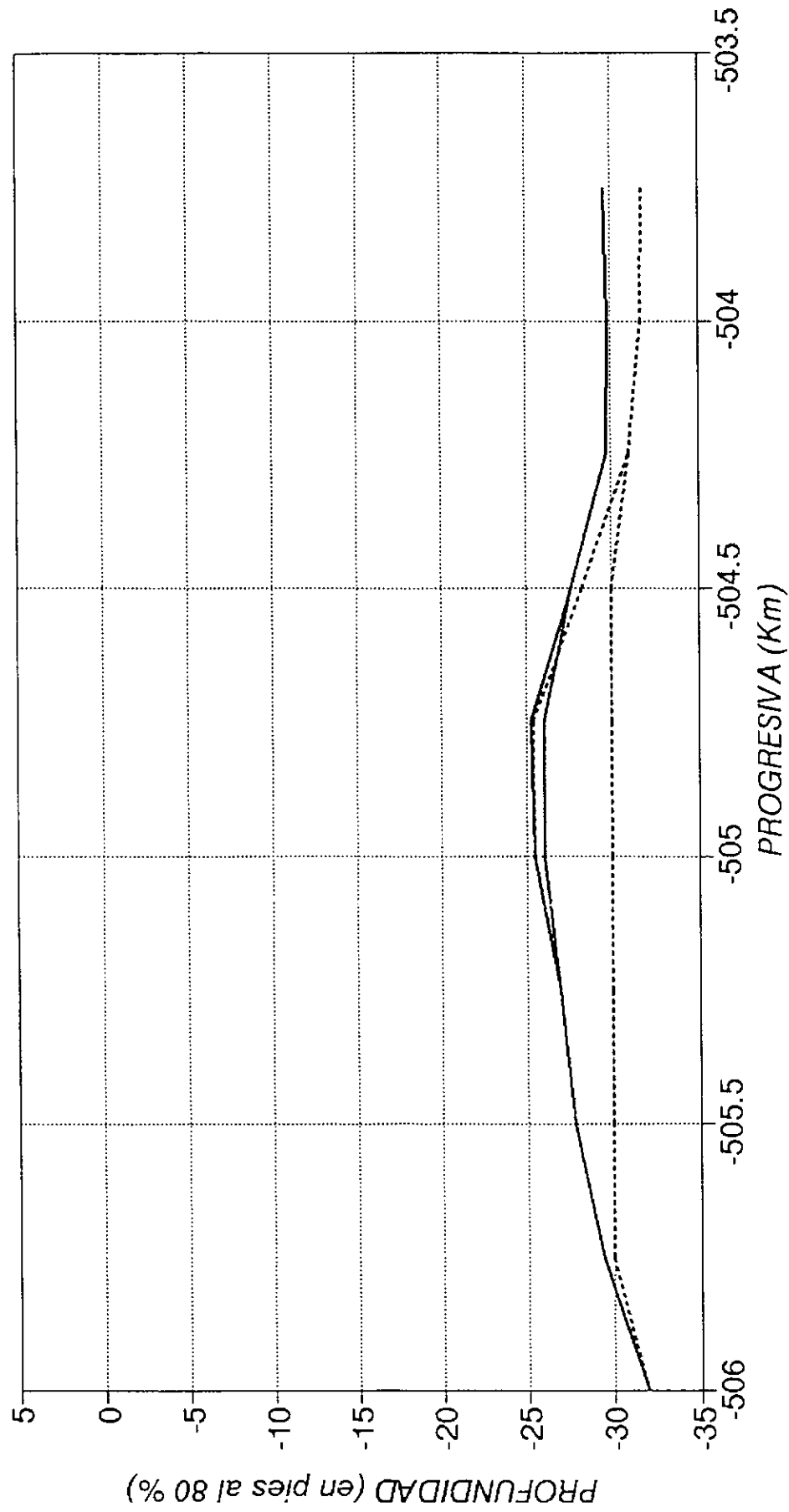


Fig. 1.4.18

PASO ABAJO TACUANI (Km 504 - 506)
 PERFIL LONGITUDINAL FINAL (1 año)



— Dragado Inicial 26' Dragado Inicial 30'

Fig. 1.4.19

PASO ABAJO TACUANI (Km 504 - 506)
VOLUMEN DE SEDIMENTACION ANUAL

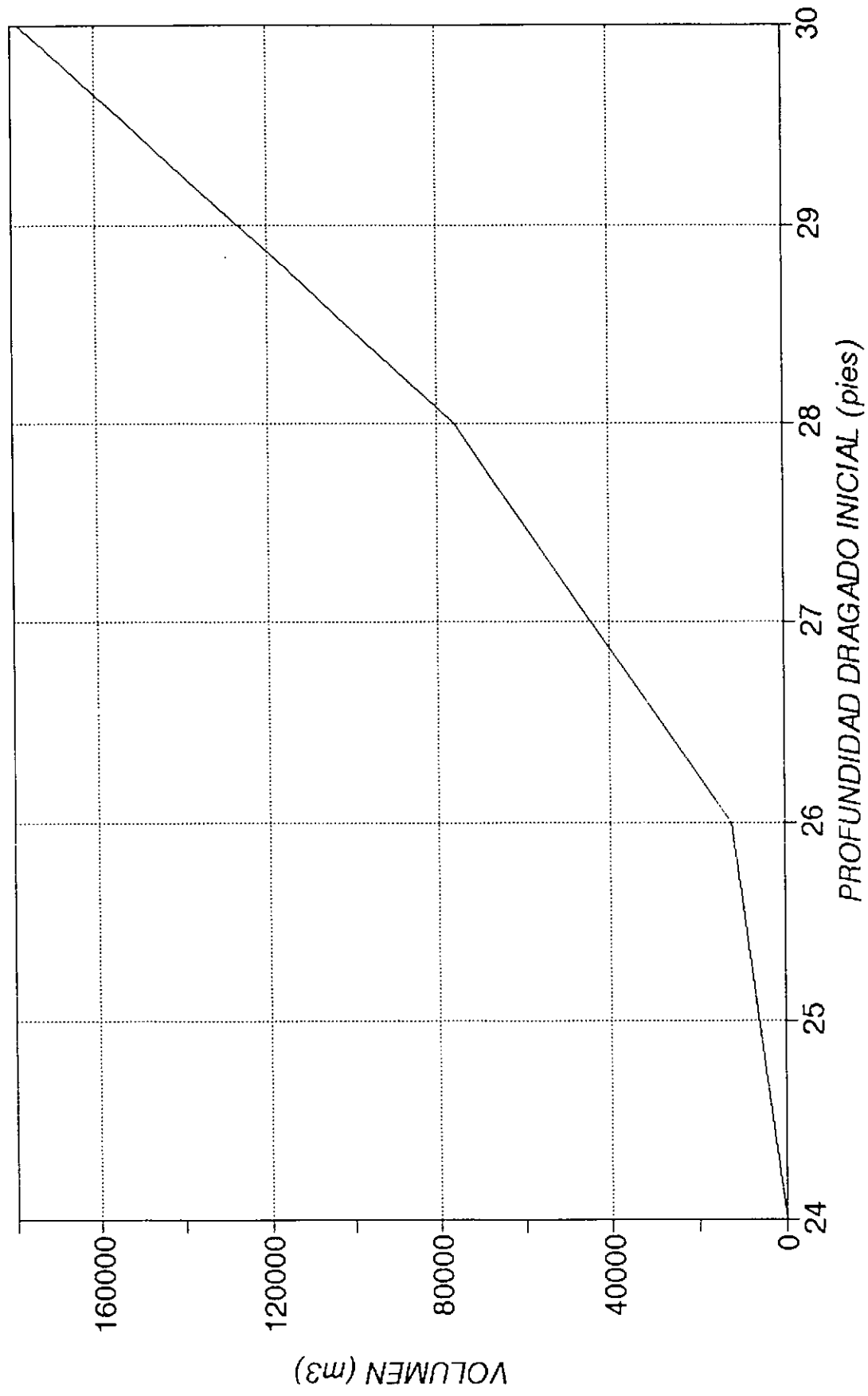
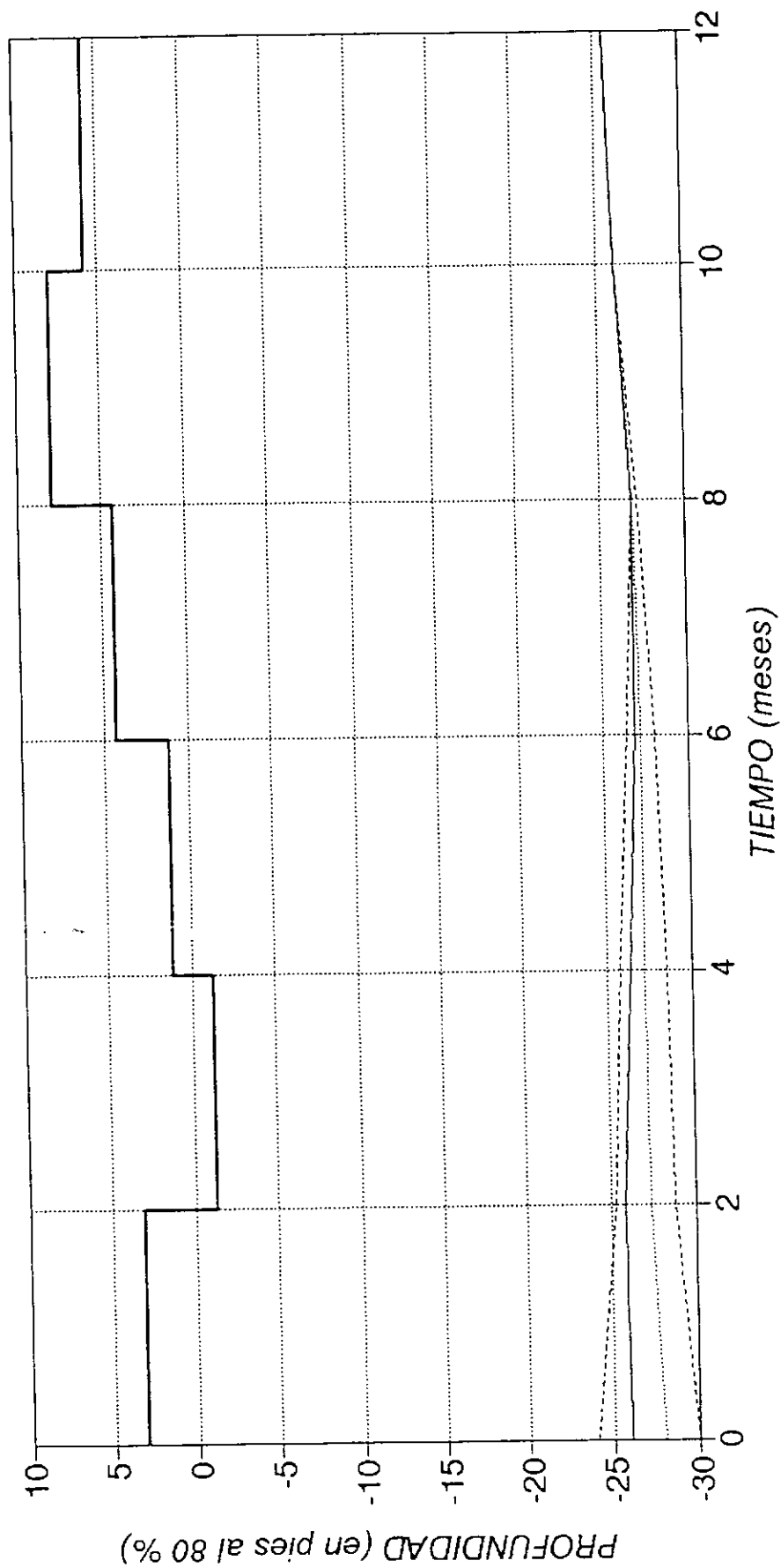


Fig. 1.4.20

PASO ABAJO TACUANI (Km 504 - 506) PERDIDA DE PROFUNDIDAD



— HIDROG. MEDIO 70/90 - - - - - DRAG. 24'
 DRAG. 28' - - - - - DRAG. 30'
 — DRAG. 26'

Fig. 1.4.21

PASO TACUANI (Km 509 -512)
LIMNIGRAMA DE CALIBRACION

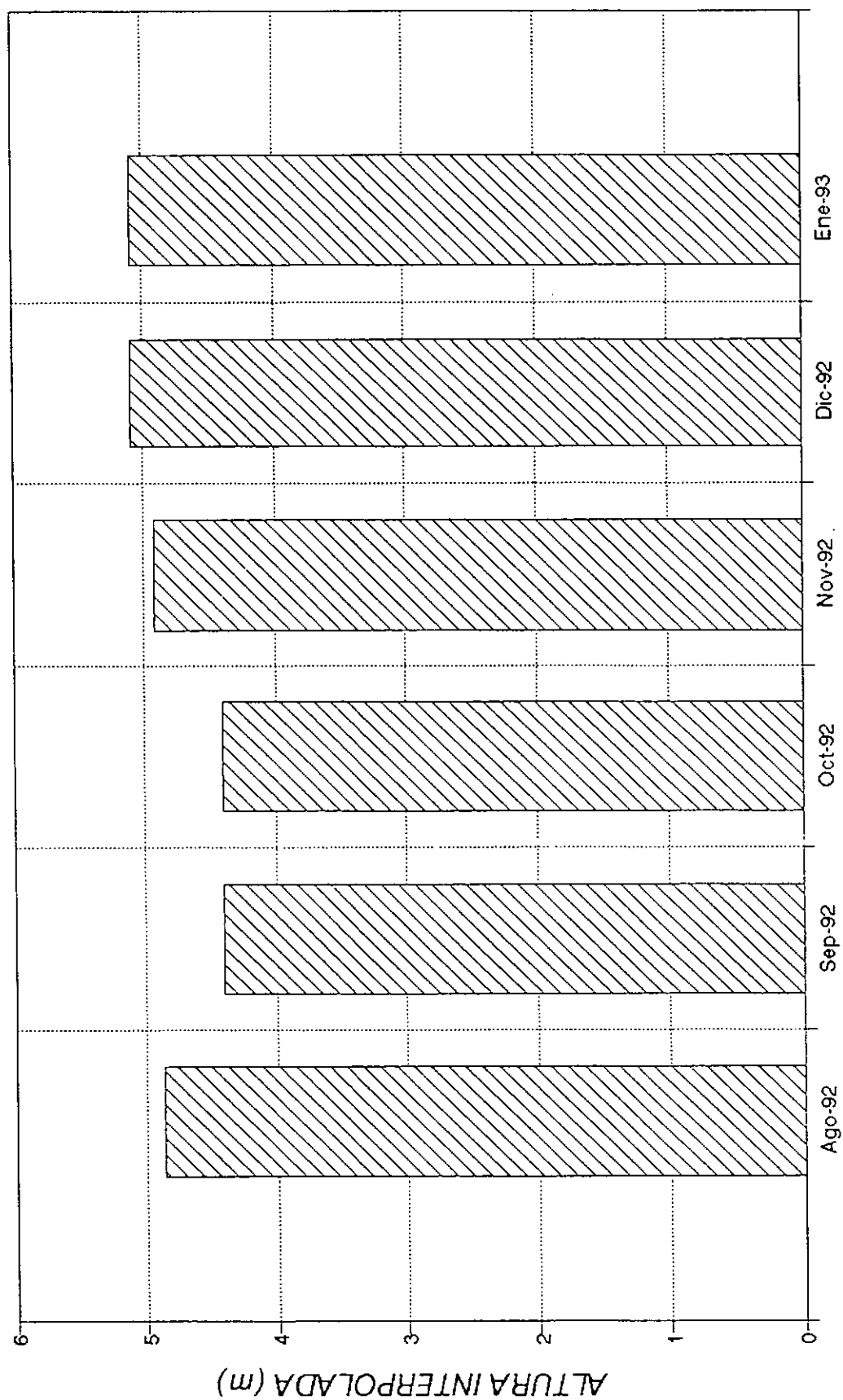


Fig. 1.4.22

PASO TACUANI (Km 509-512) PERFIL LONGITUDINAL DE CALIBRACION

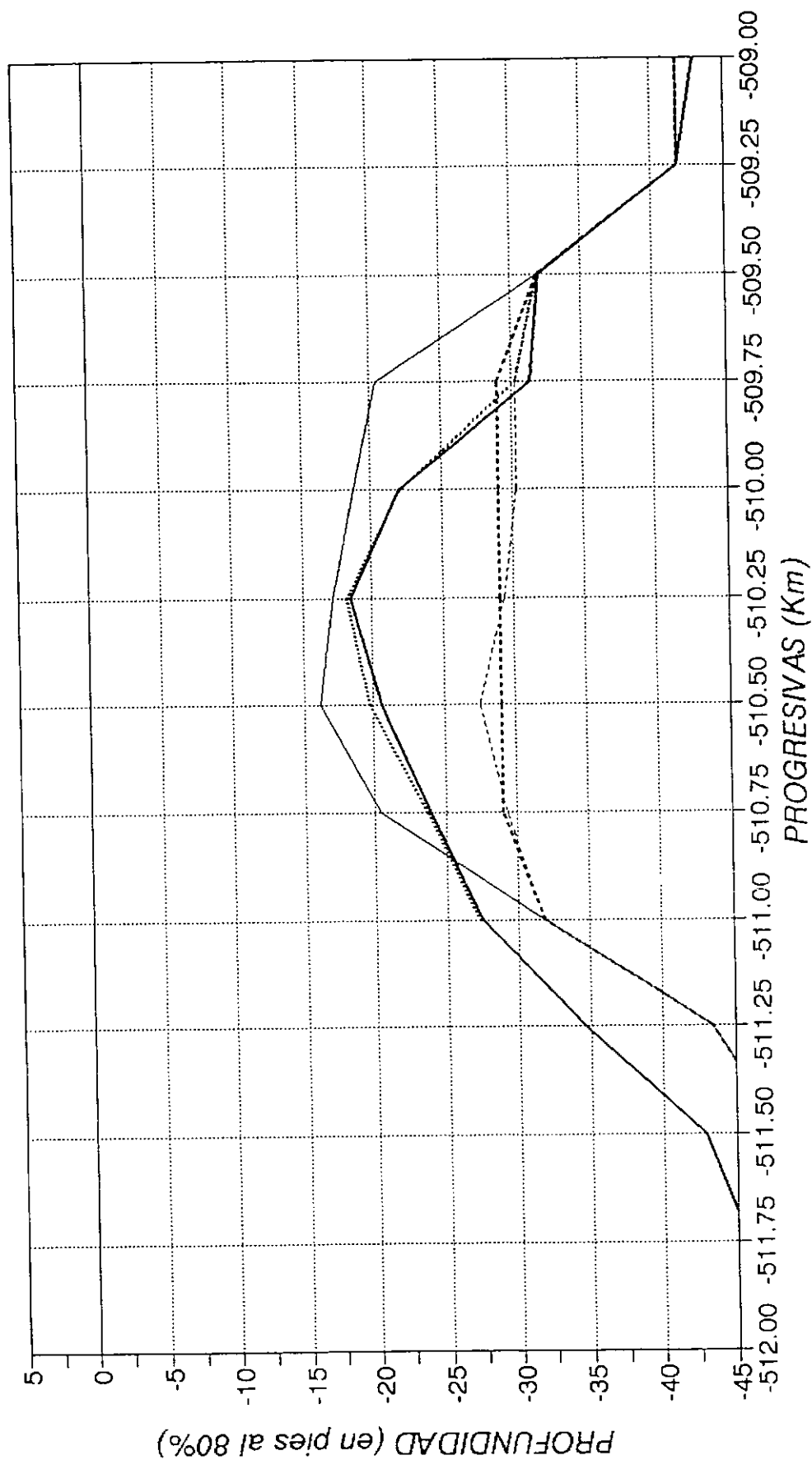
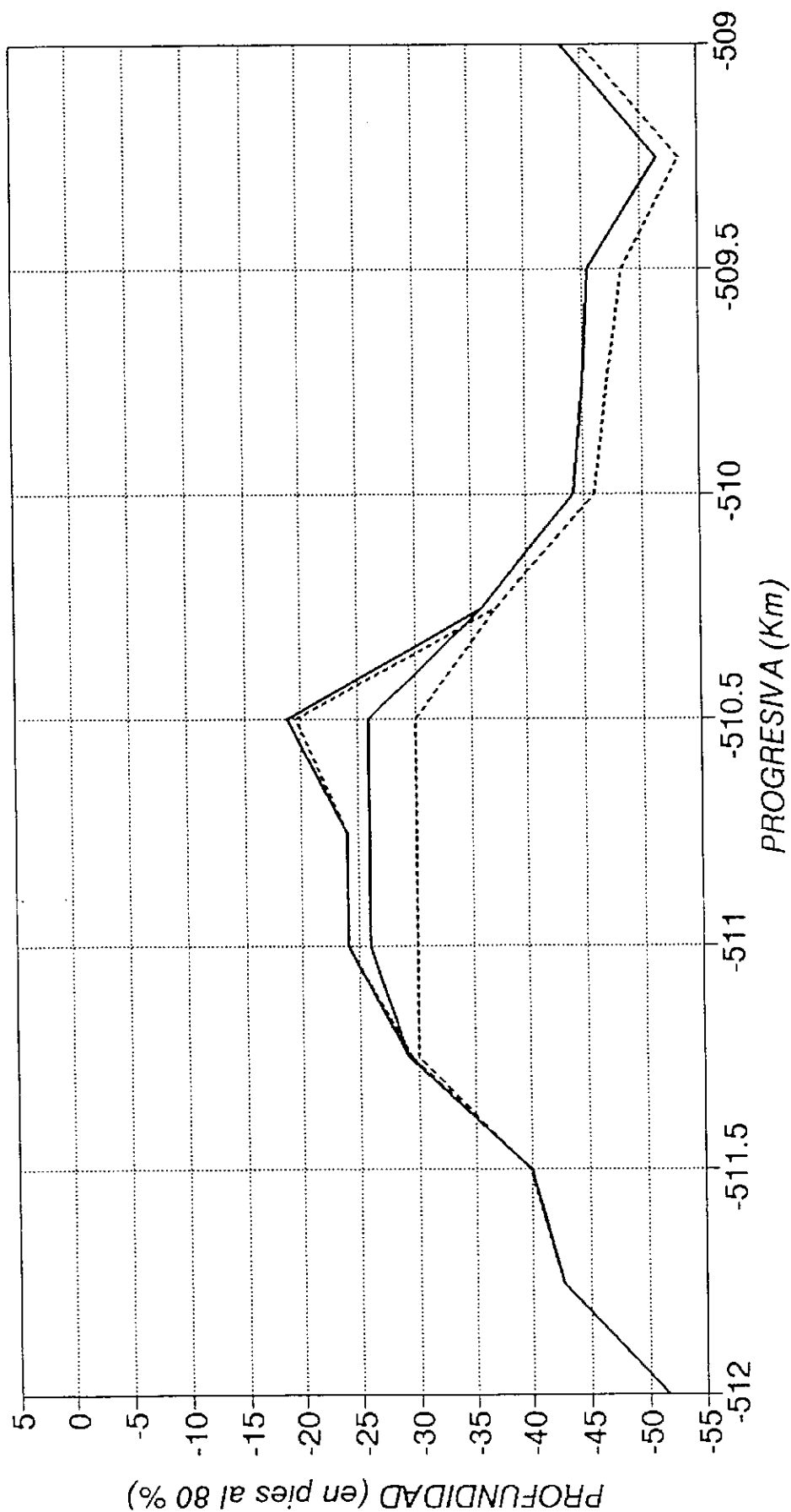


Fig. 1.4.23

PASO TACUANI (Km 509 - 512)
PERFIL LONGITUDINAL FINAL (1 año)



— Dragado Inicial 26' Dragado Inicial 30'

Fig. 1.4.24

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

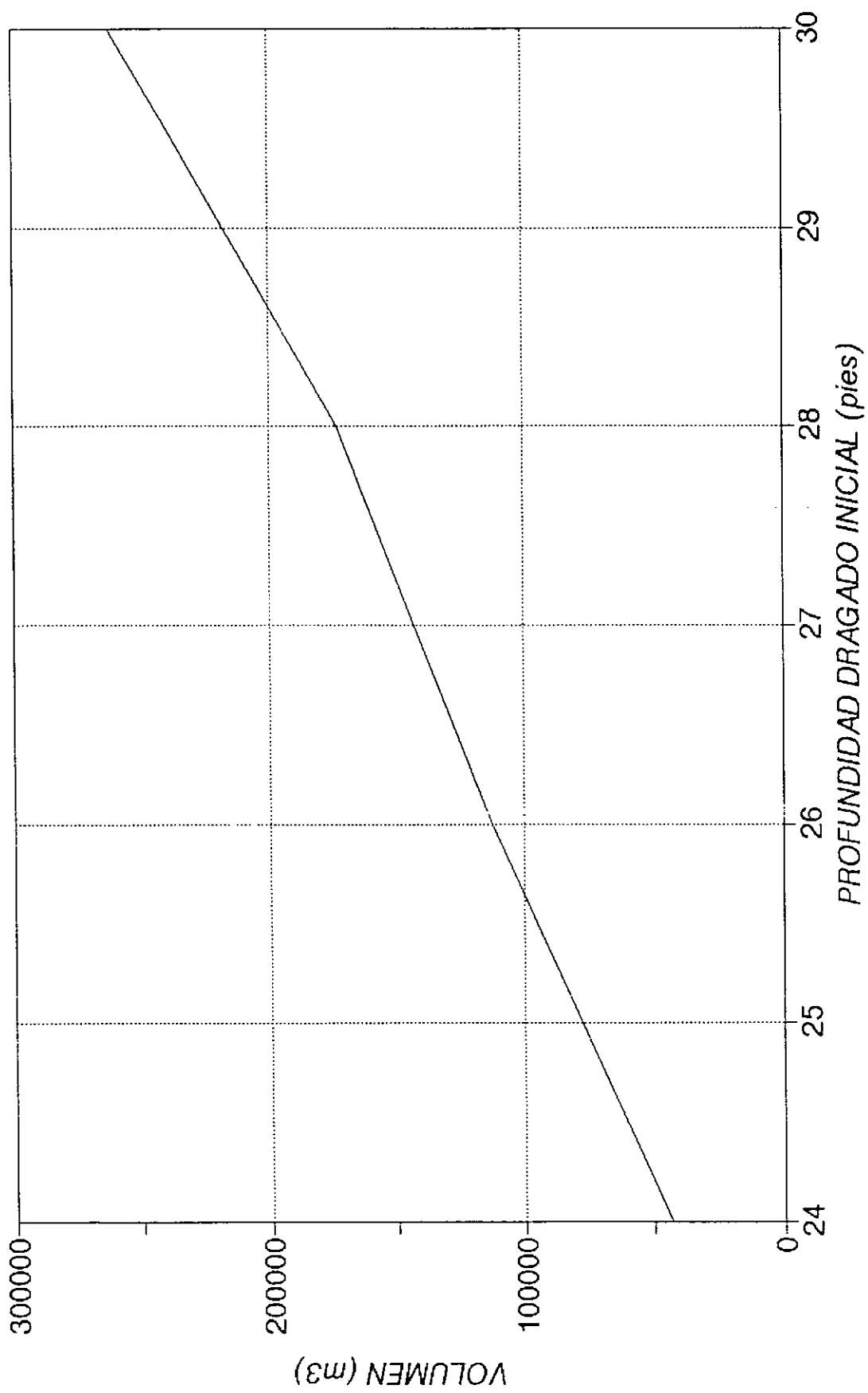
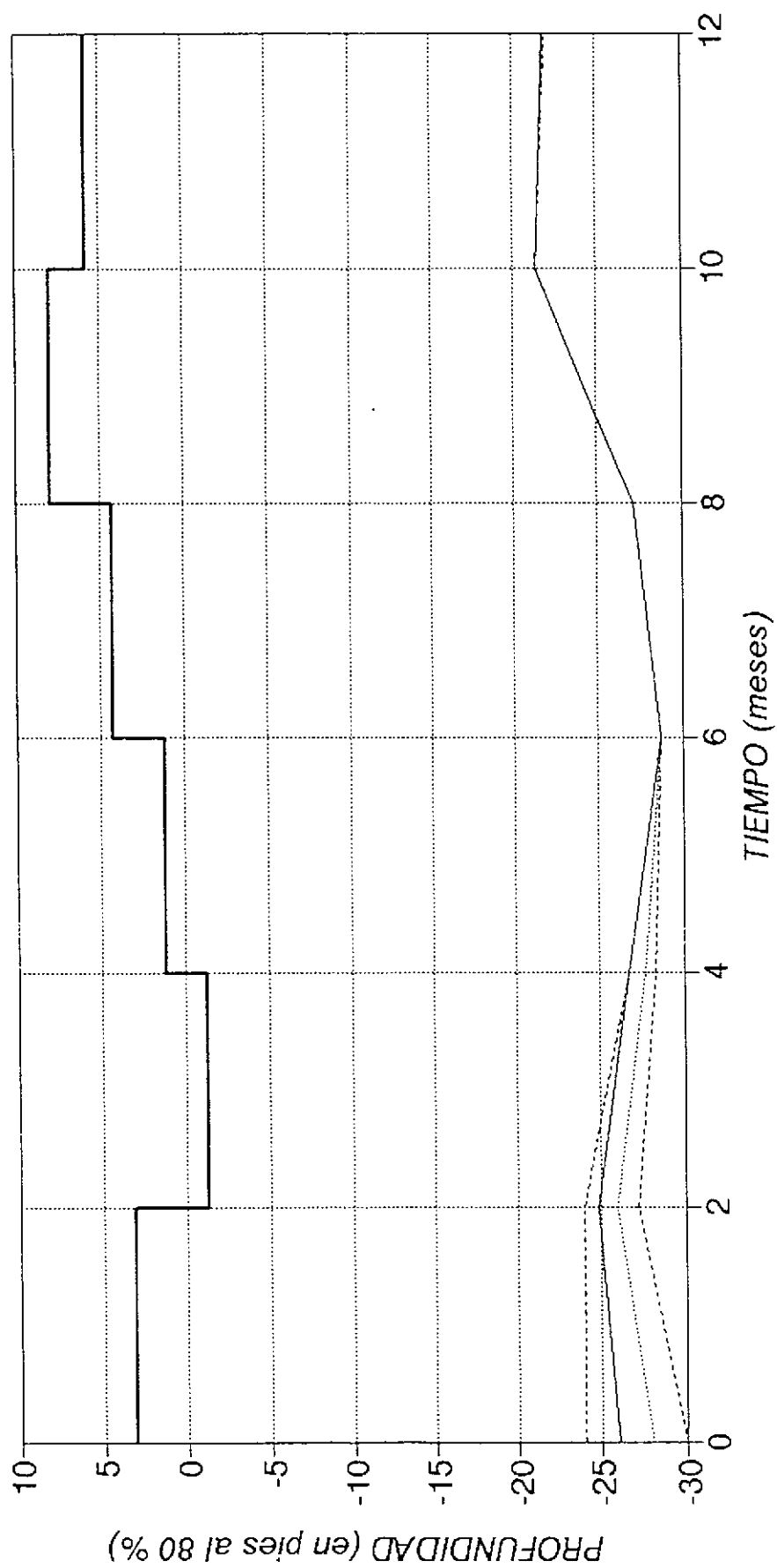


Fig. 1.4.25

PASO TACUANI (Km 509 - 512) PERDIDA DE PROFUNDIDAD



— HIDROG.MEDIO 70/90 DRAG. 24' — DRAG. 26'
 DRAG. 28' -.-.-.- DRAG. 30'

Fig. 1.4.26

PASO TACUANI (Km 514 -515)
LIMNIGRAMA DE CALIBRACION

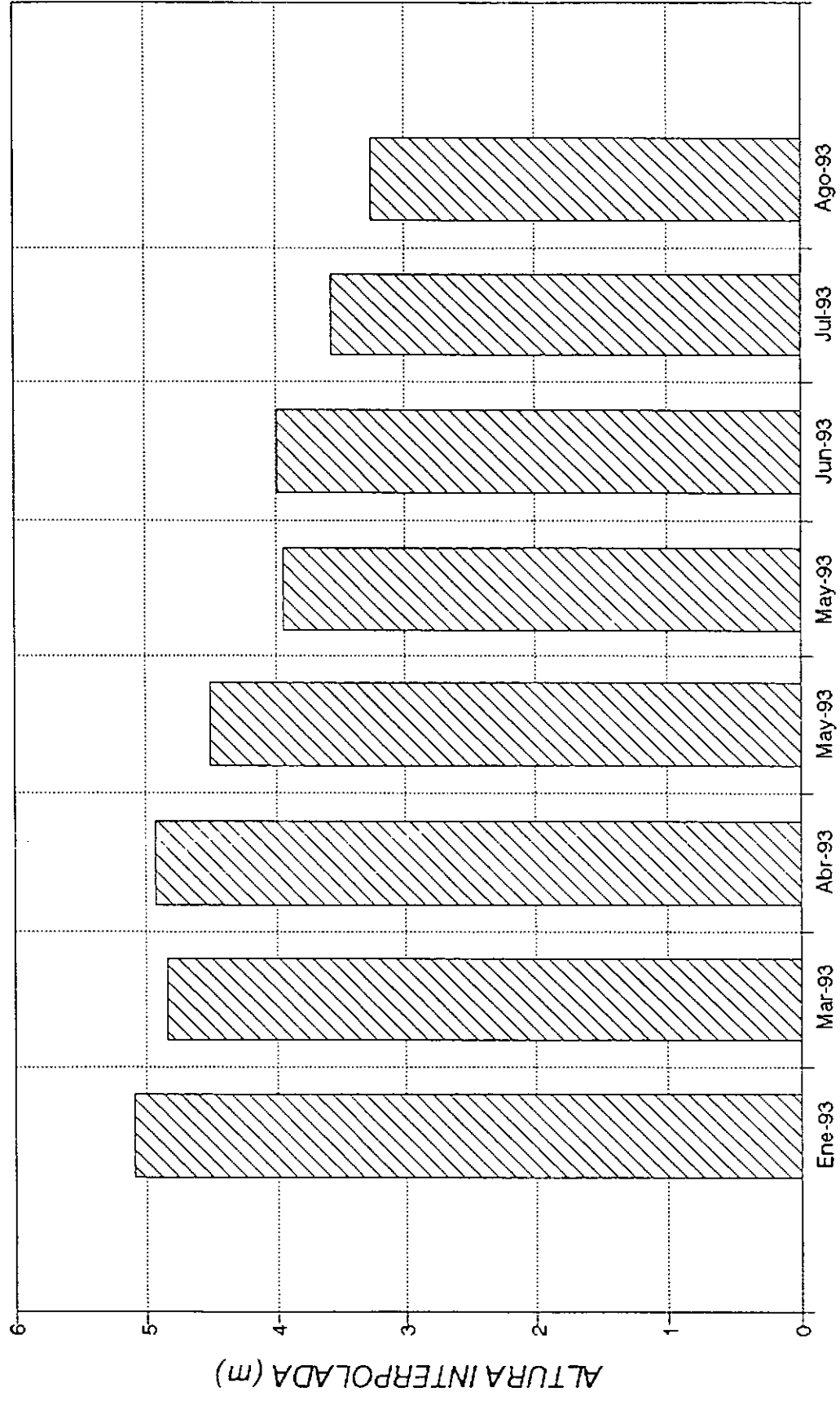


Fig. 1.4.27

PASO TACUANI (Km 514-515) PERFIL LONGITUDINAL DE CALIBRACION

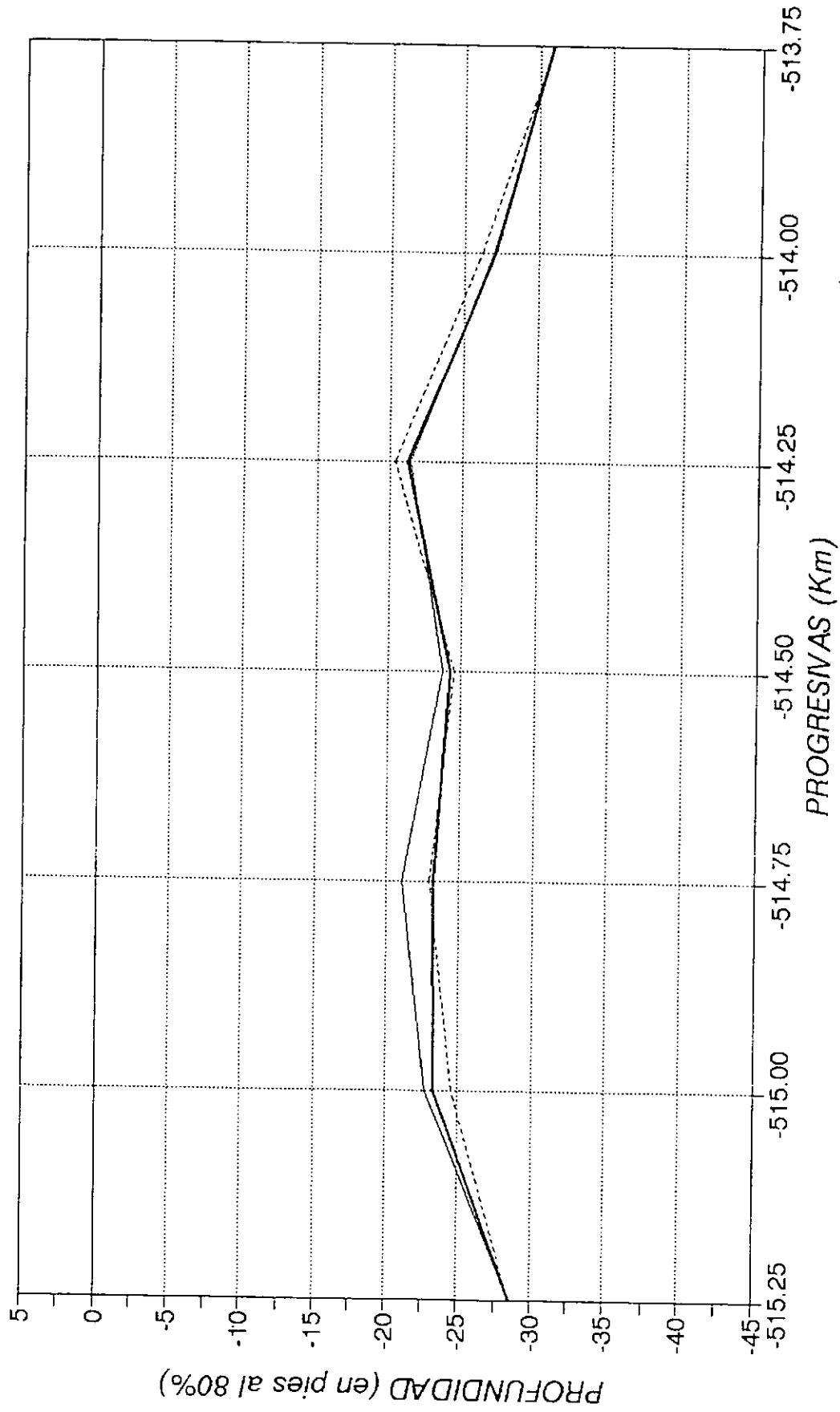
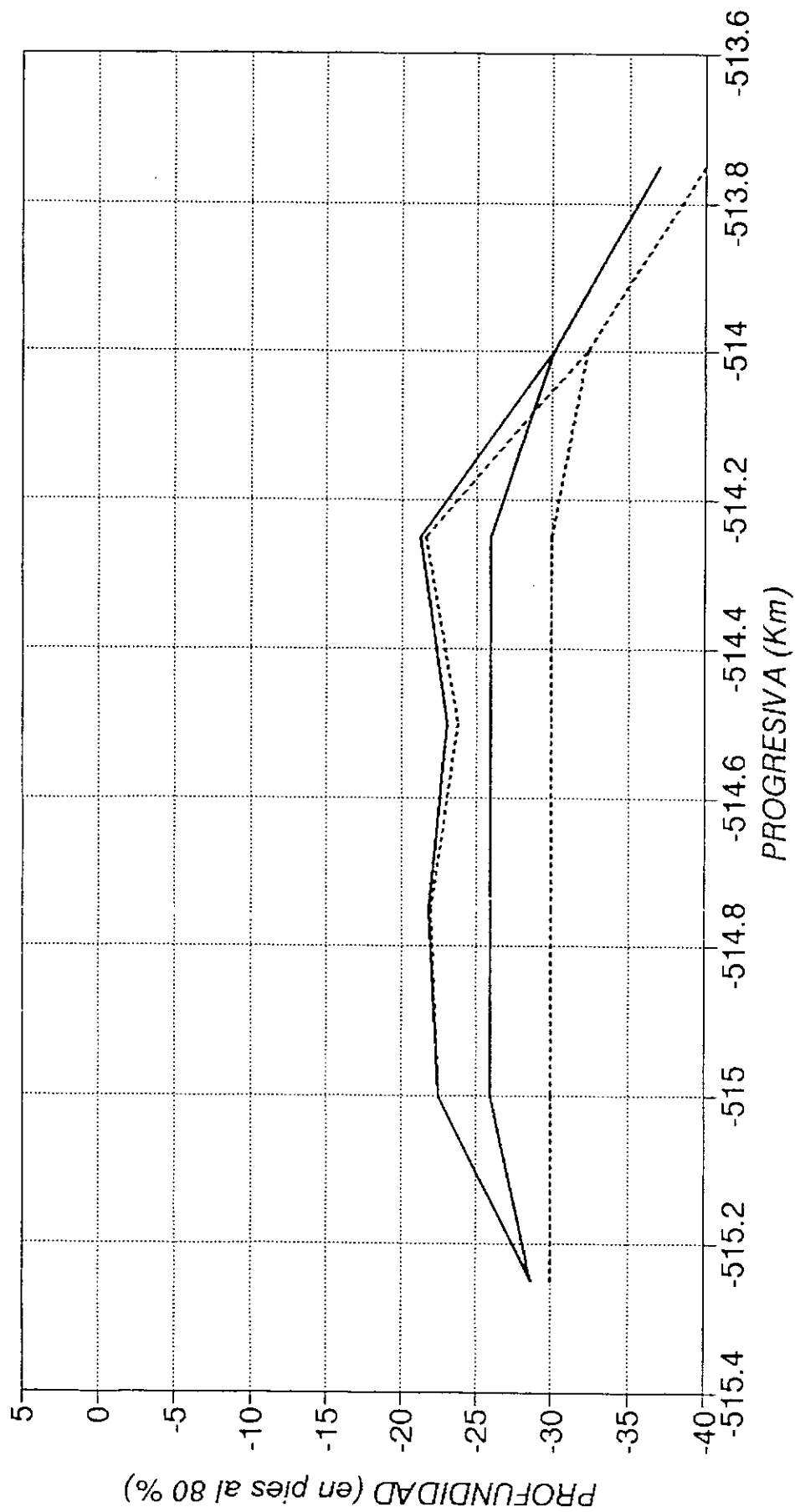


Fig. 1.4.28

PASO TACUANI (Km 514 - 515) PERFIL LONGITUDINAL FINAL (1 año)



— Dragado Inicial 26' - - - - - Dragado Inicial 30'

PASO TACUANI (Km 514 - 515)
VOLUMEN DE SEDIMENTACION ANUAL

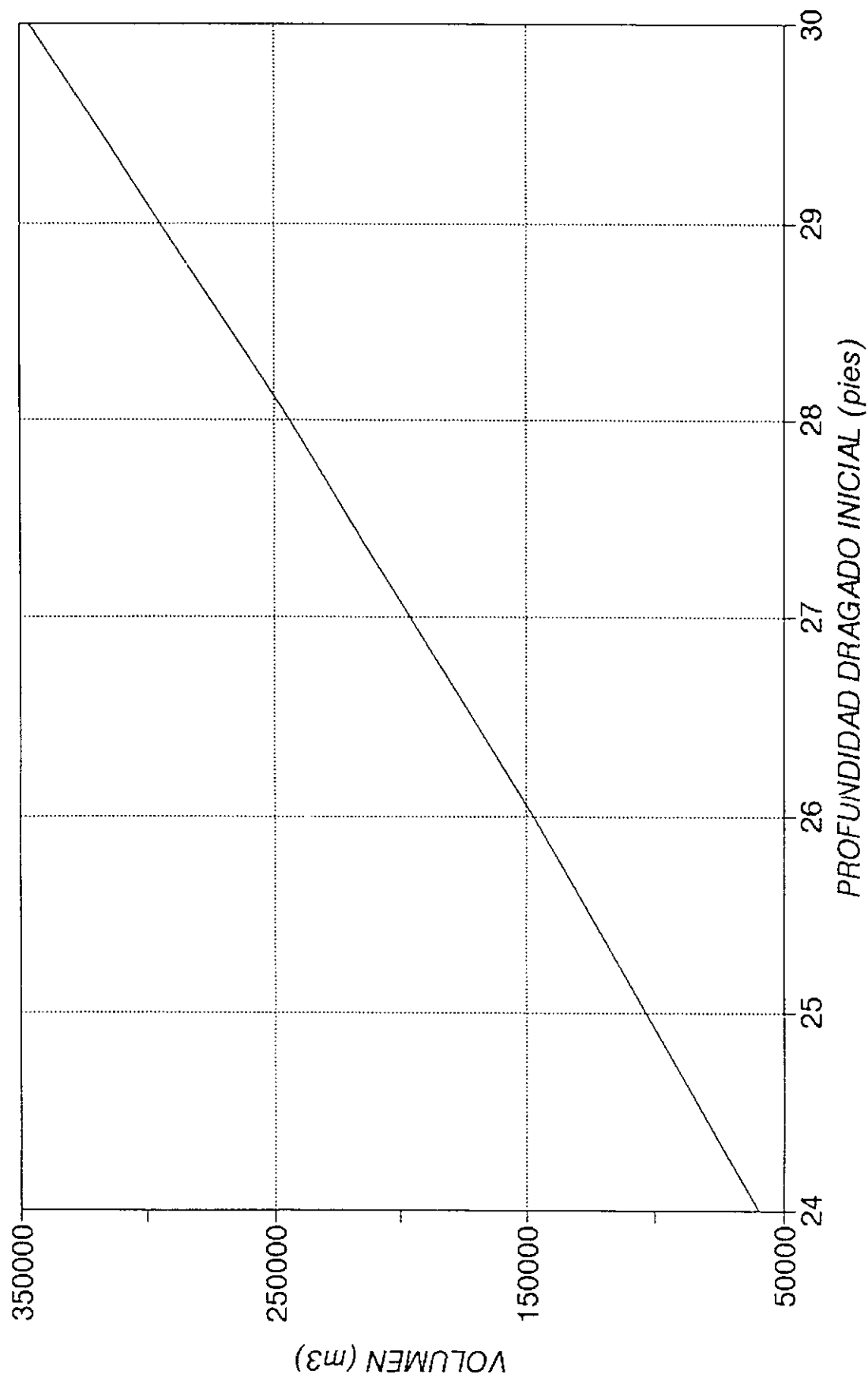


Fig. 1.4.30

PASO TACUANI (Km 514 - 515) PERDIDA DE PROFUNDIDAD

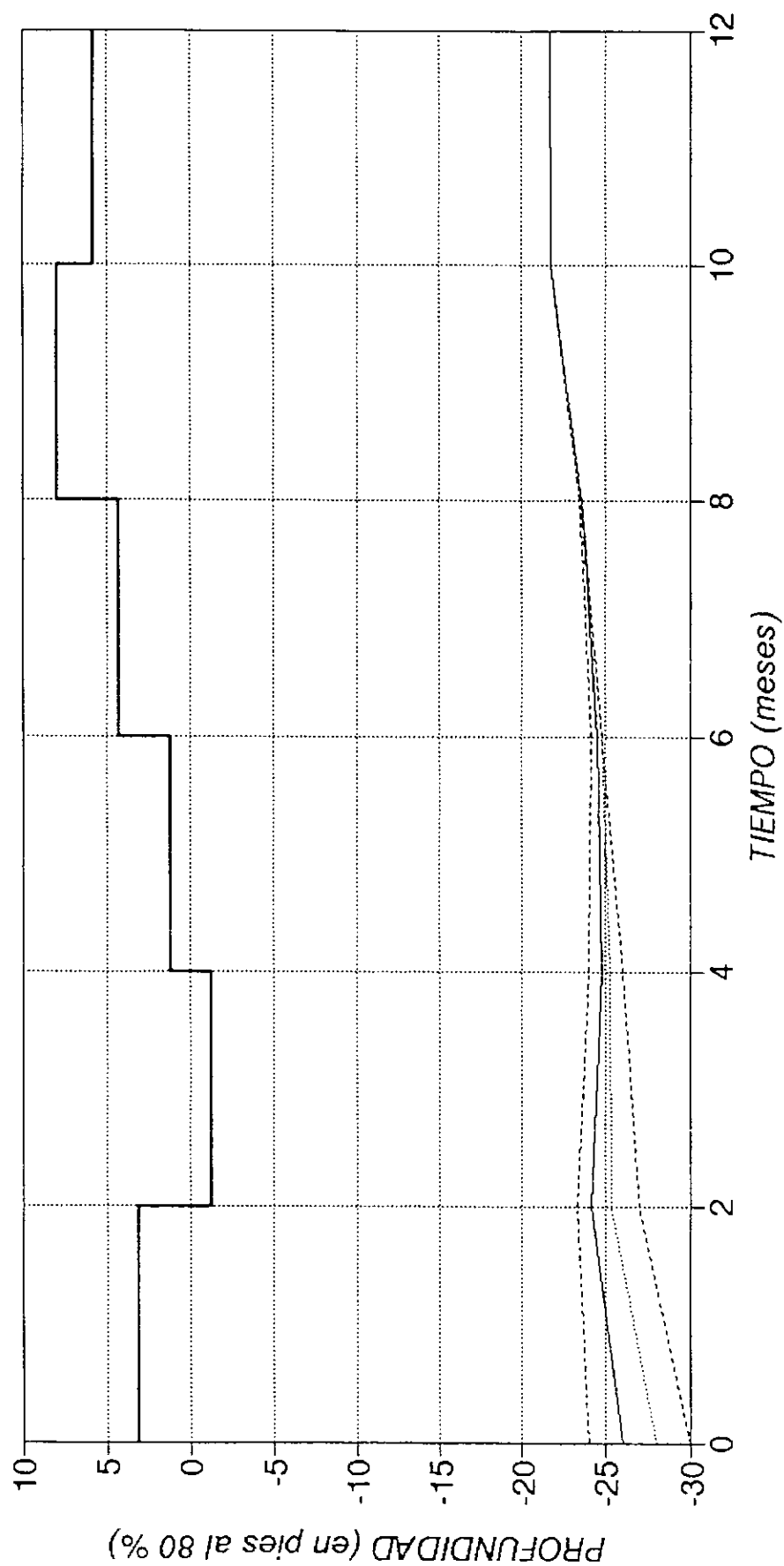


Fig. 1.4.31

PASO ABAJO DIAMANTE (Km 525 -527) LIMNIGRAMA DE CALIBRACION

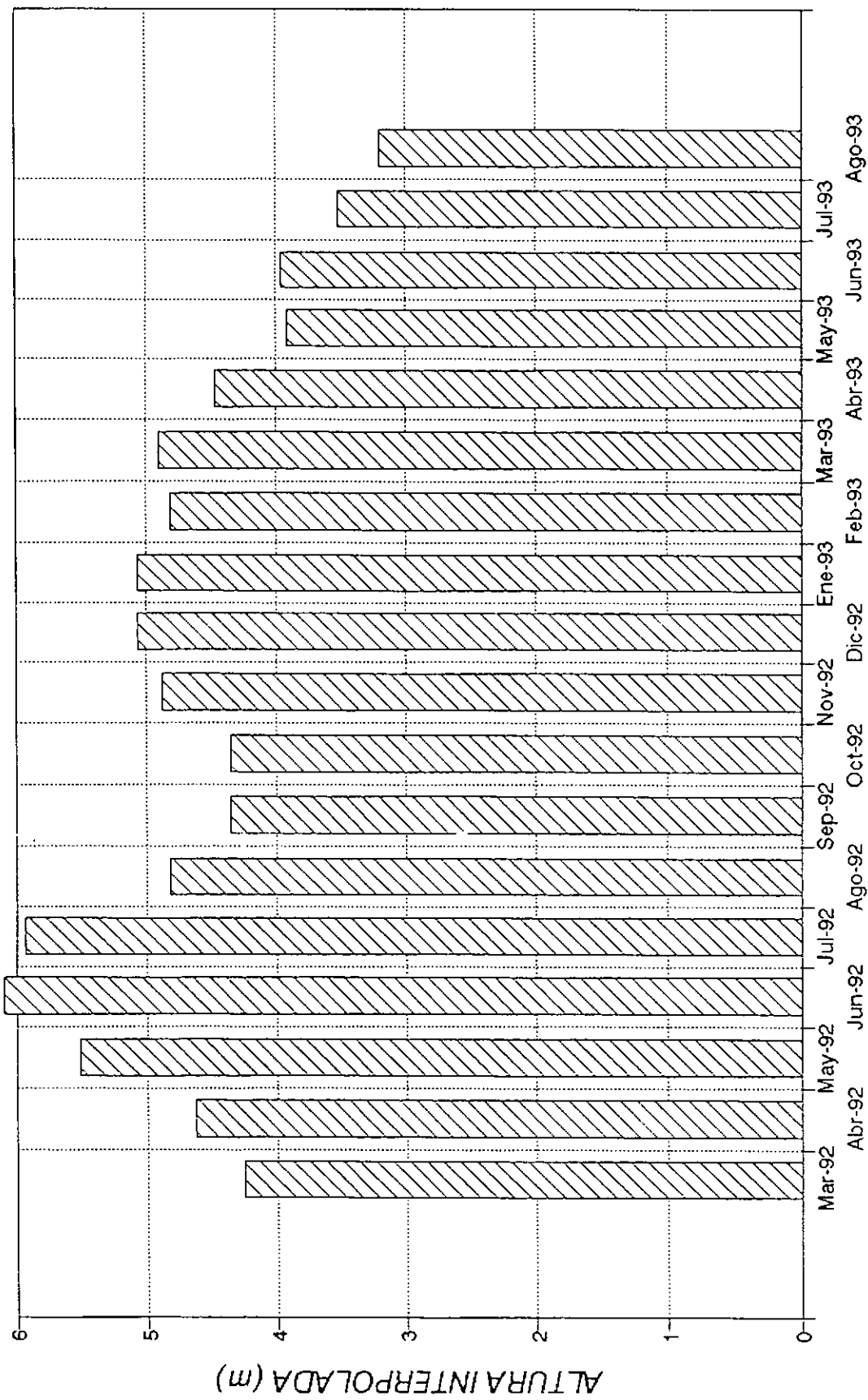


Fig. 1.4.32

PASO ABAJO DIAMANTE (Km 525-527) PERFIL LONGITUDINAL DE CALIBRACION

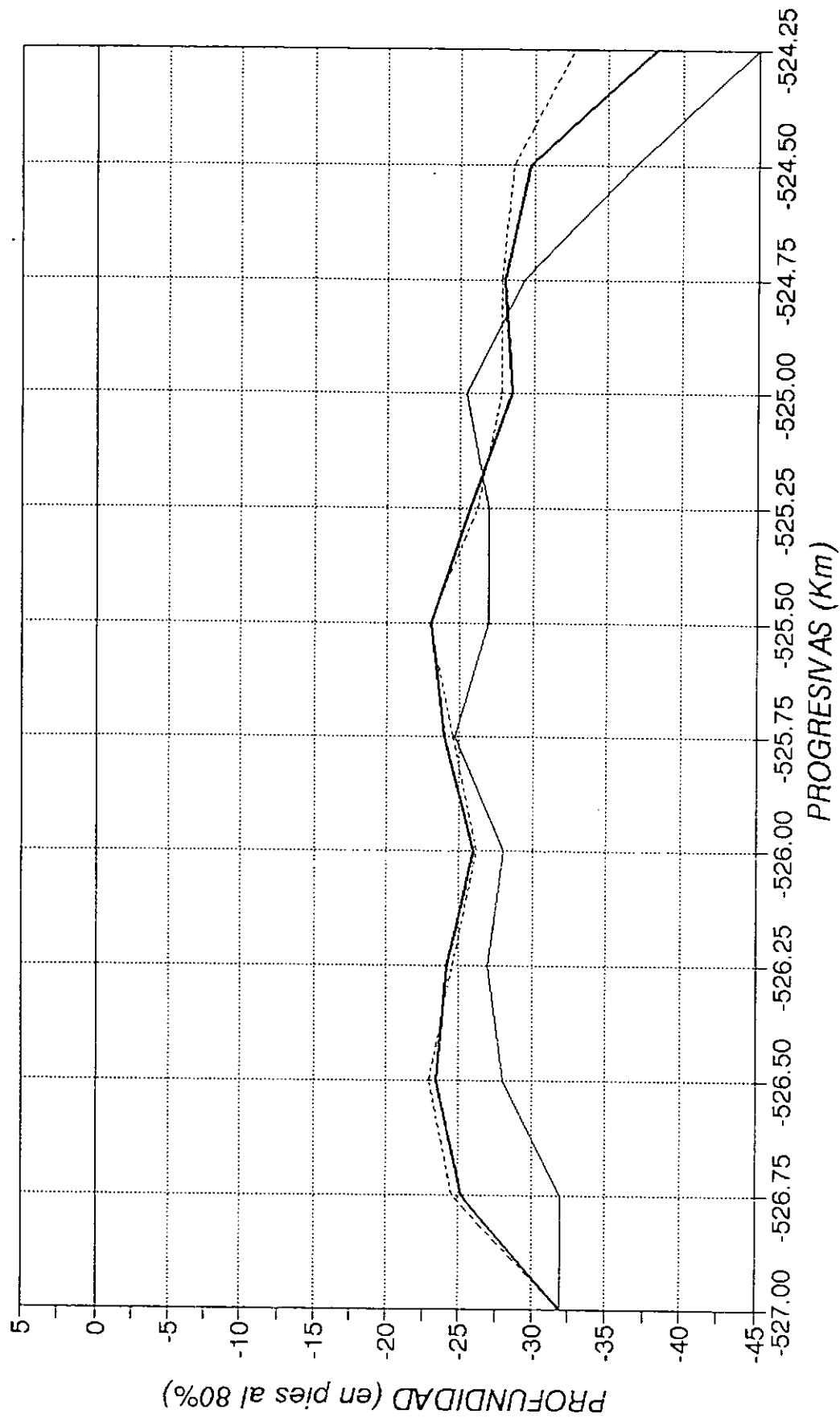
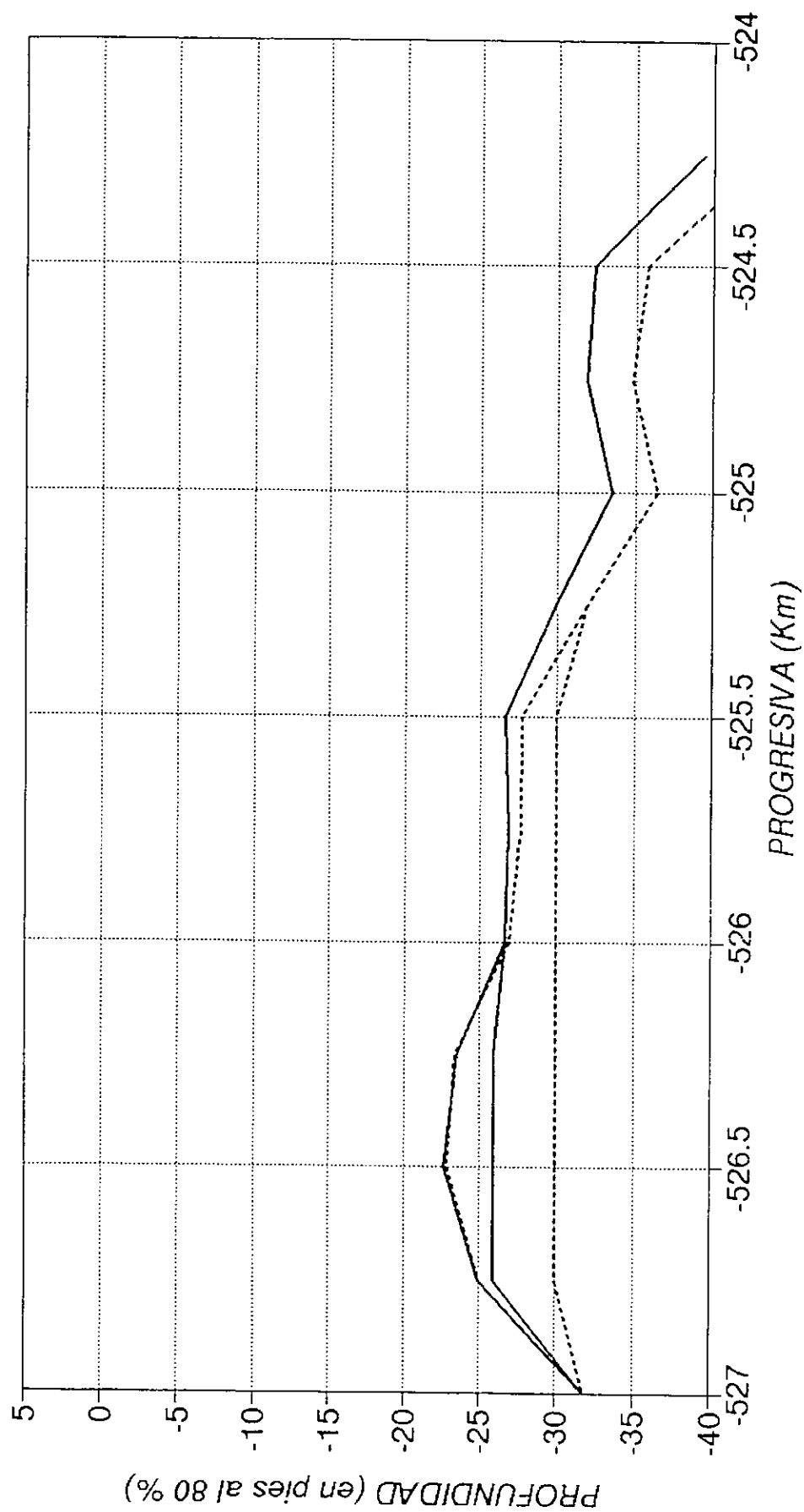


Fig. 1.4.33

PASO ABAJO DIAMANTE (Km 525- 527) PERFIL LONGITUDINAL FINAL (1 año)



— Dragado Inicial 26' - - - - - Dragado Inicial 30'

Fig. 1.4.34

PASO ABAJO DIAMANTE (Km 525 - 527)
VOLUMEN DE SEDIMENTACION ANUAL

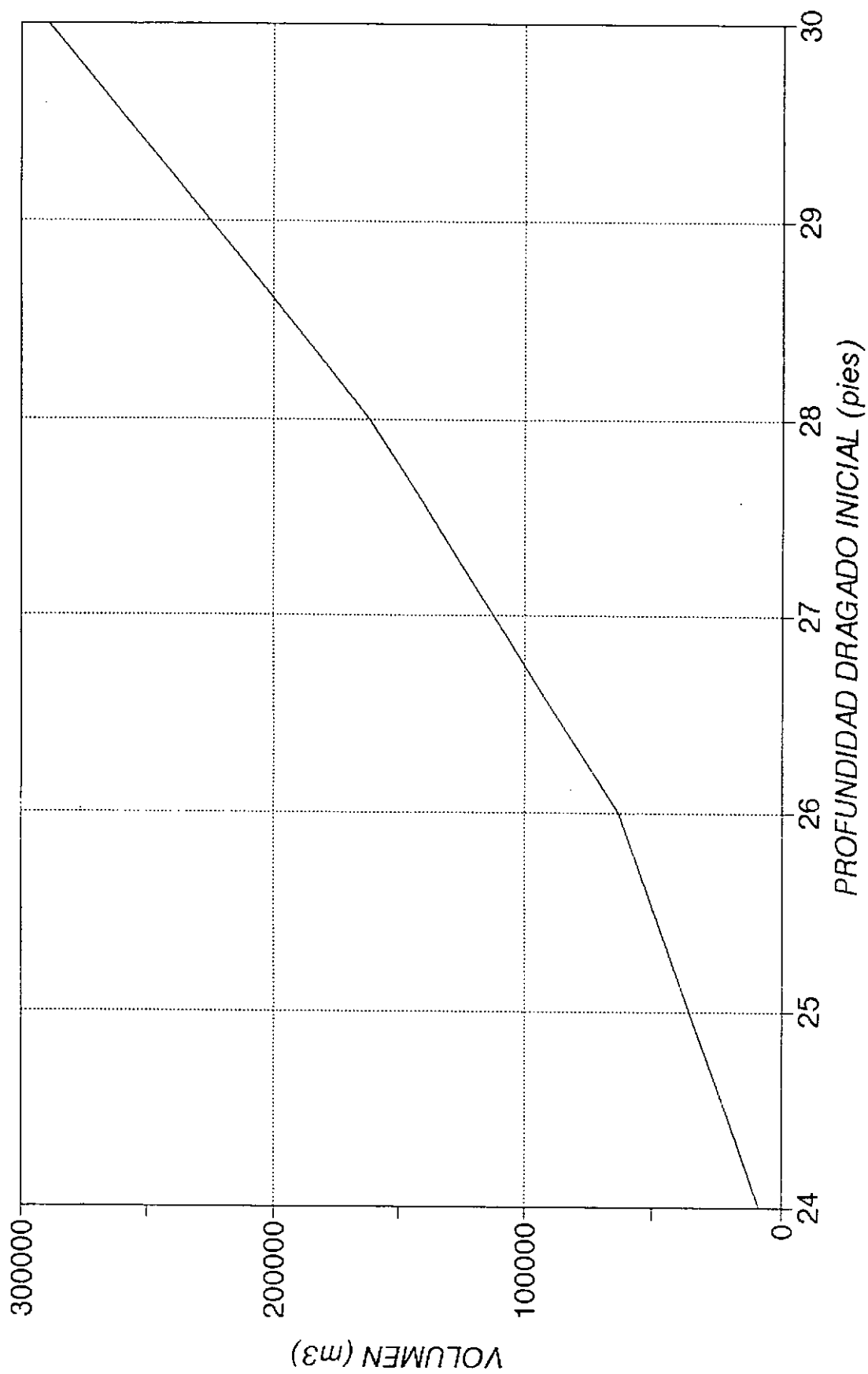
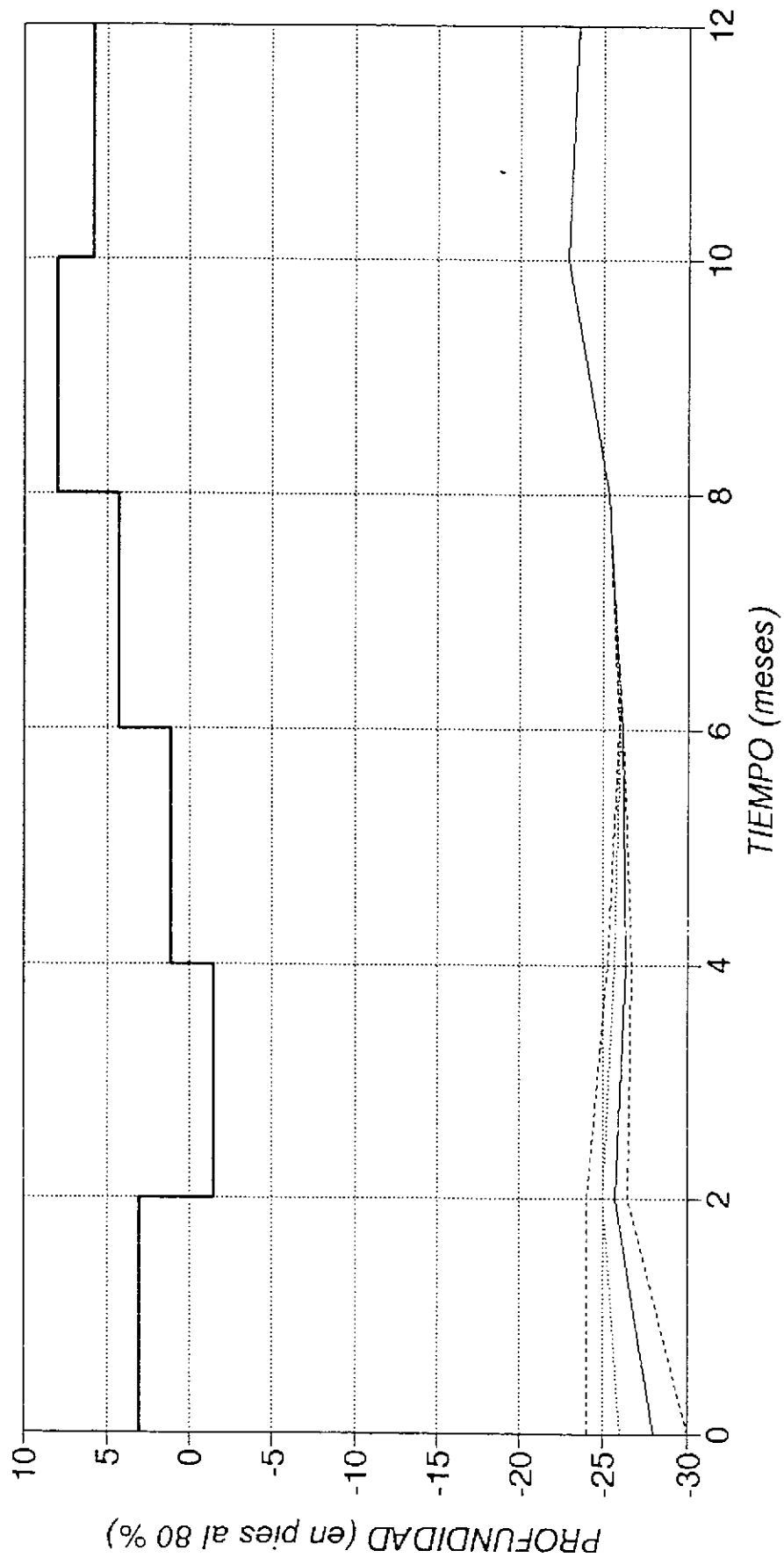


Fig. 1.4.35

PASO ABAJO DIAMANTE (Km 525 - 527) PERDIDA DE PROFUNDIDAD



— HIDROG.MEDIO 70/90 - - - - - DRAG. 24' DRAG. 26' - - - - - DRAG. 28' - . - . - DRAG. 30'

Fig. 1.4.36

PASO VINCULACION (Km 579 -581)
LIMNIGRAMA DE CALIBRACION

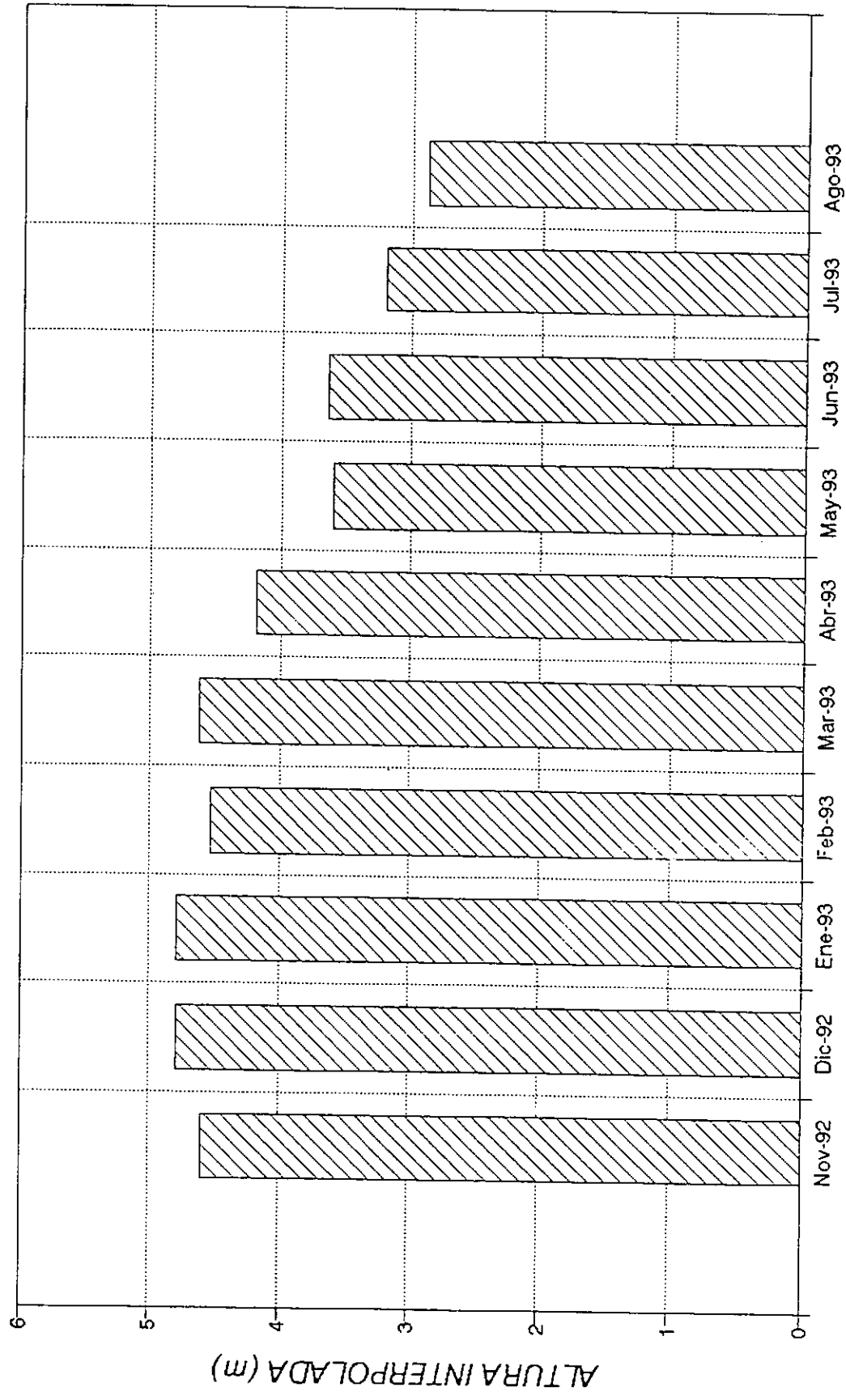


Fig. 1.4.37

PASO TRAGADERO ANIMAS (Km 579-581) PERFIL LONGITUDINAL DE CALIBRACION

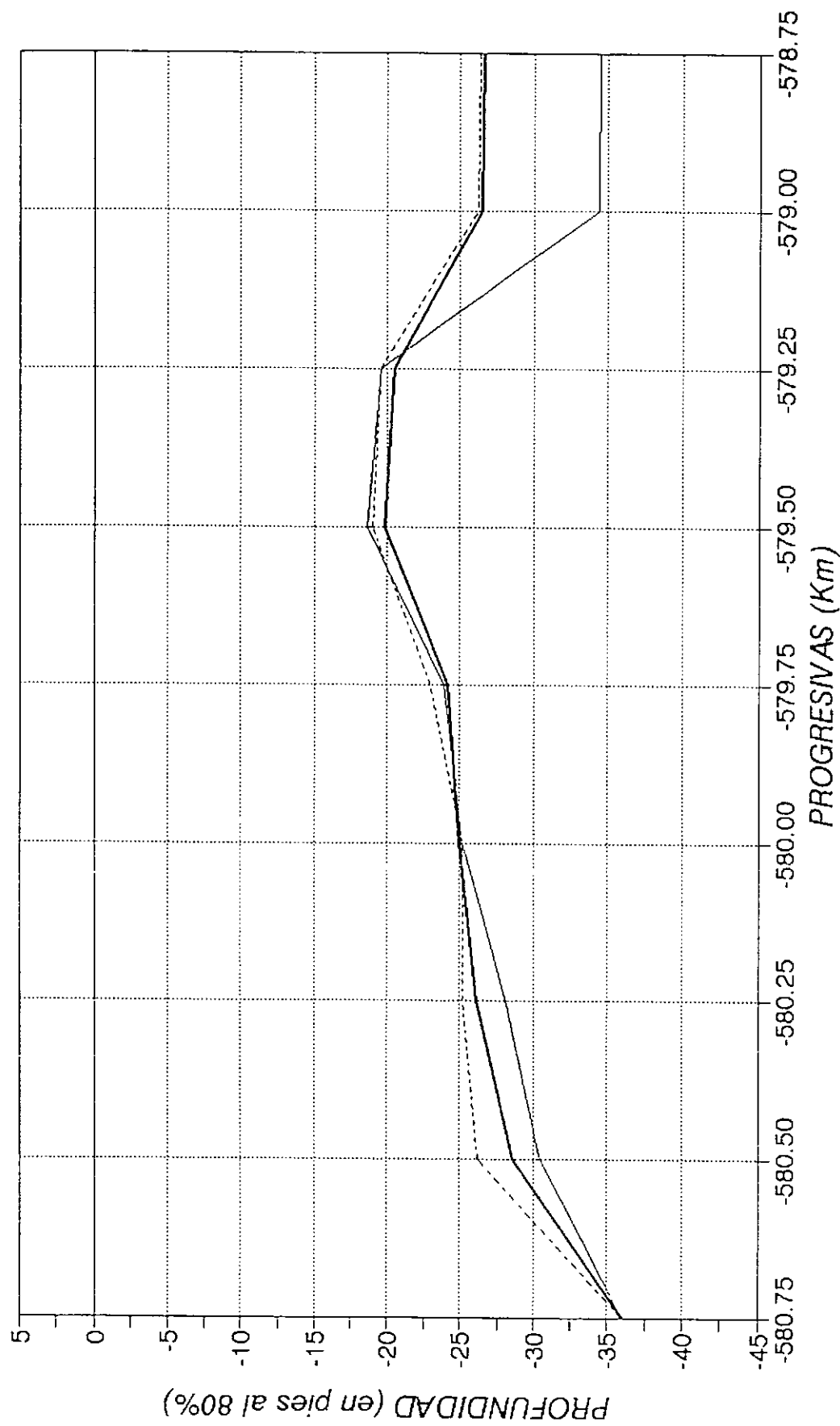
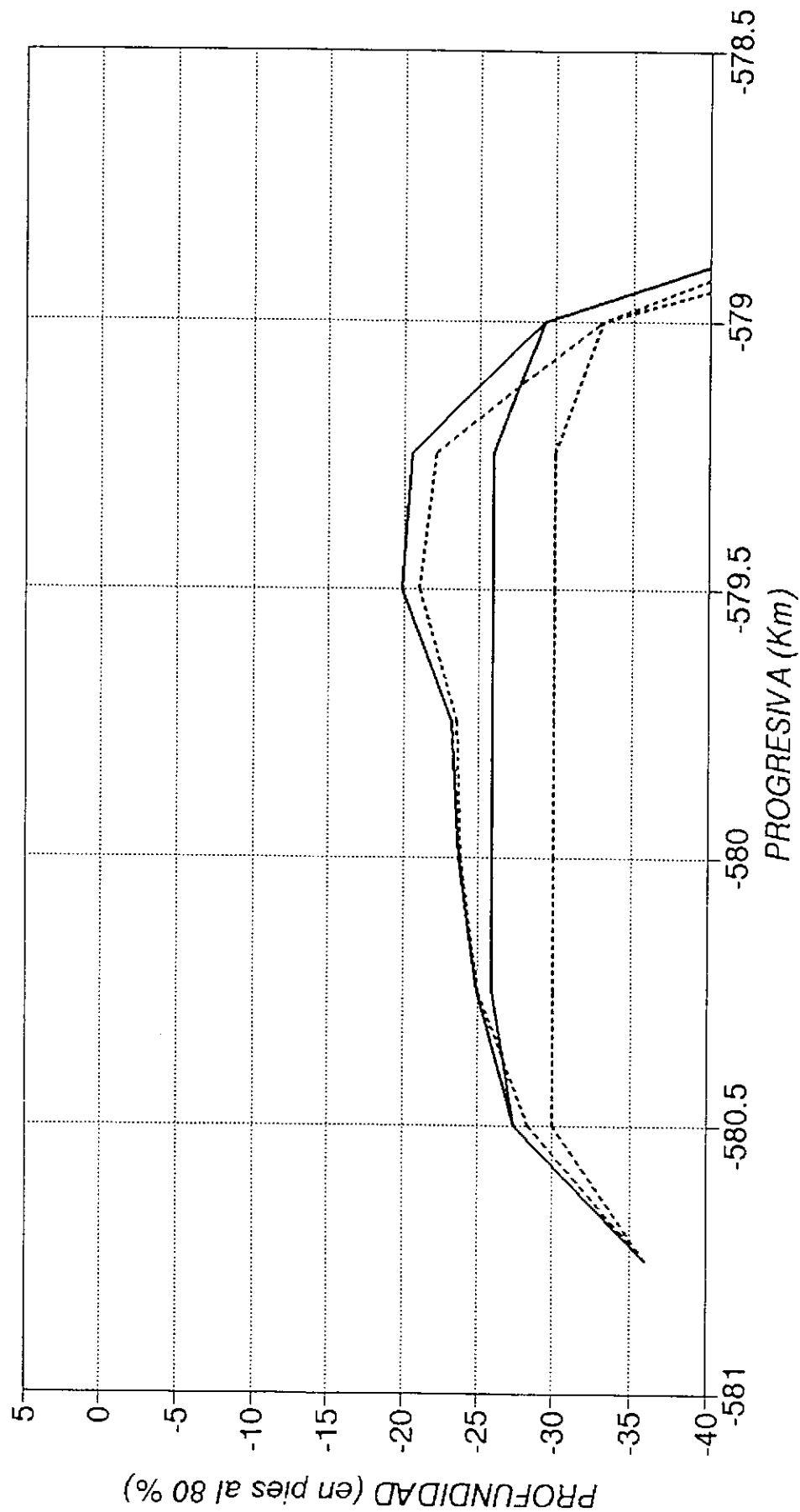


Fig. 1.4.38

PASO TRAGADERO ANIMAS (Km 579 - 581) PERFIL LONGITUDINAL FINAL (1 año)



— Dragado Inicial 26' Dragado Inicial 30'

Fig. 1.4.39

PASO TRAGADERO ANIMAS (Km 579 - 581)
VOLUMEN DE SEDIMENTACION ANUAL

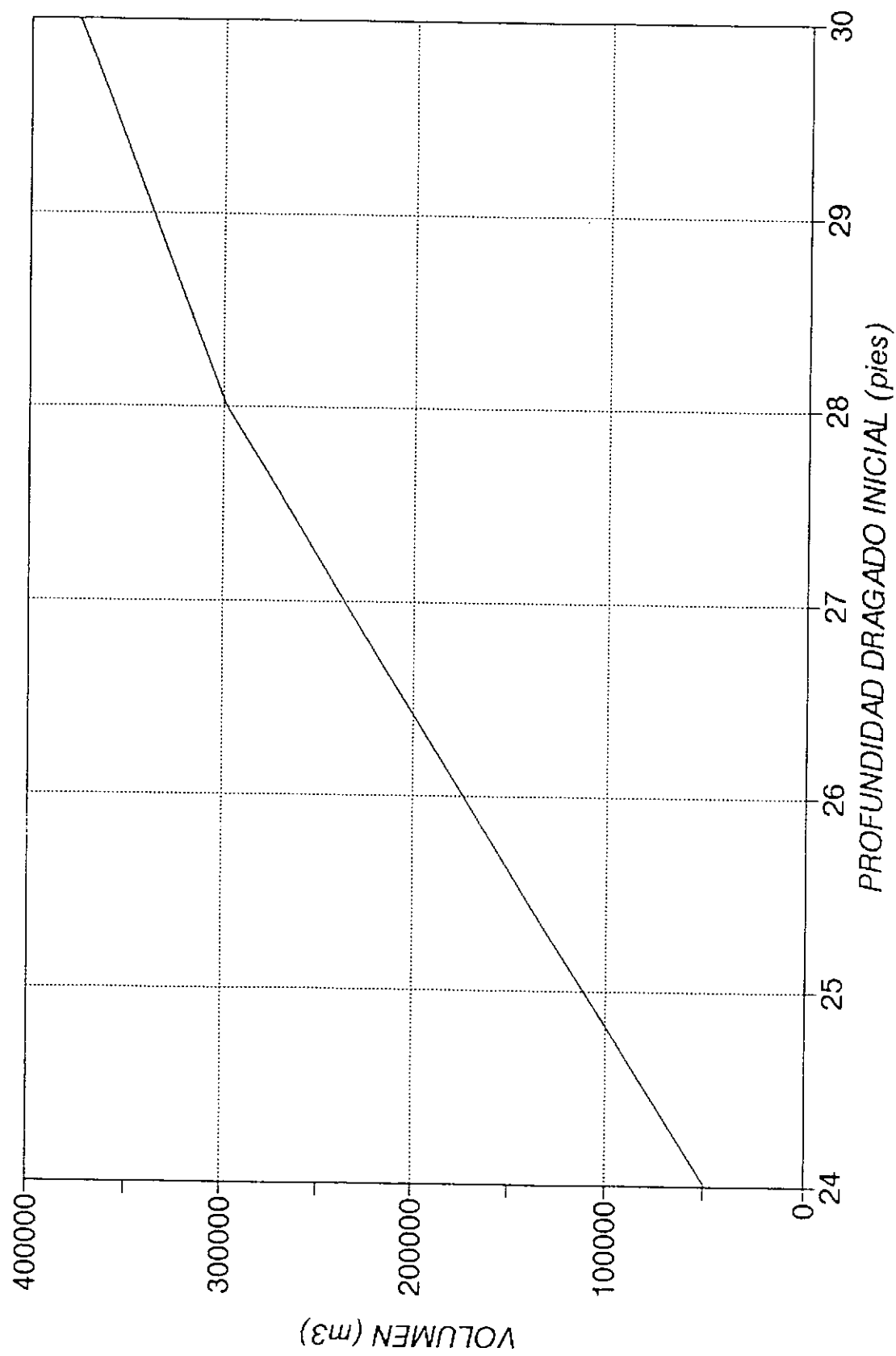


Fig. 1.4.40

PASO TRAGADERO ANIMAS (Km 579 - 581) PERDIDA DE PROFUNDIDAD

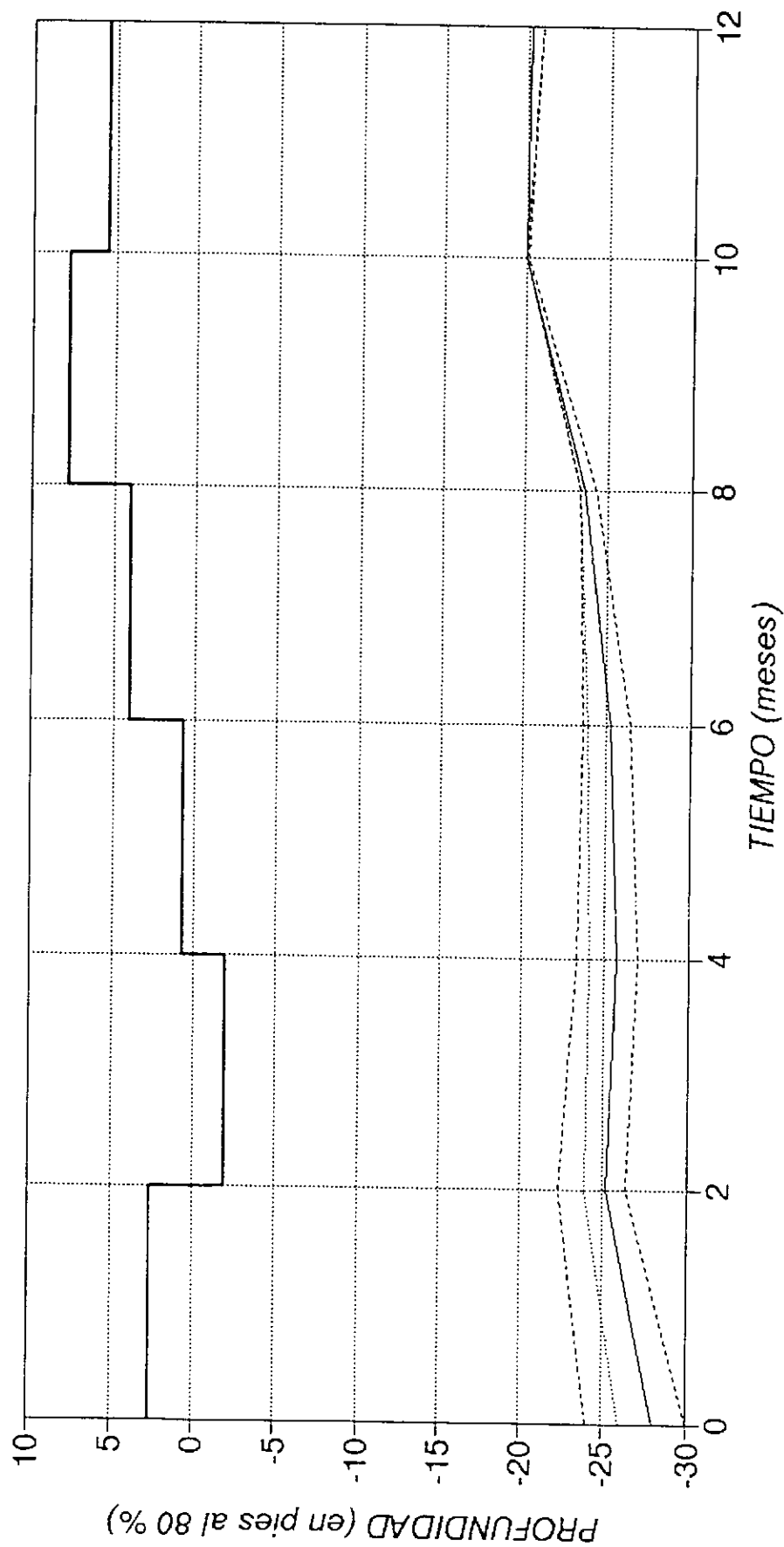


Fig. 1.4.41

PASO TRAGADERO (Km 581 - 583)
LIMNIGRAMA DE CALIBRACION

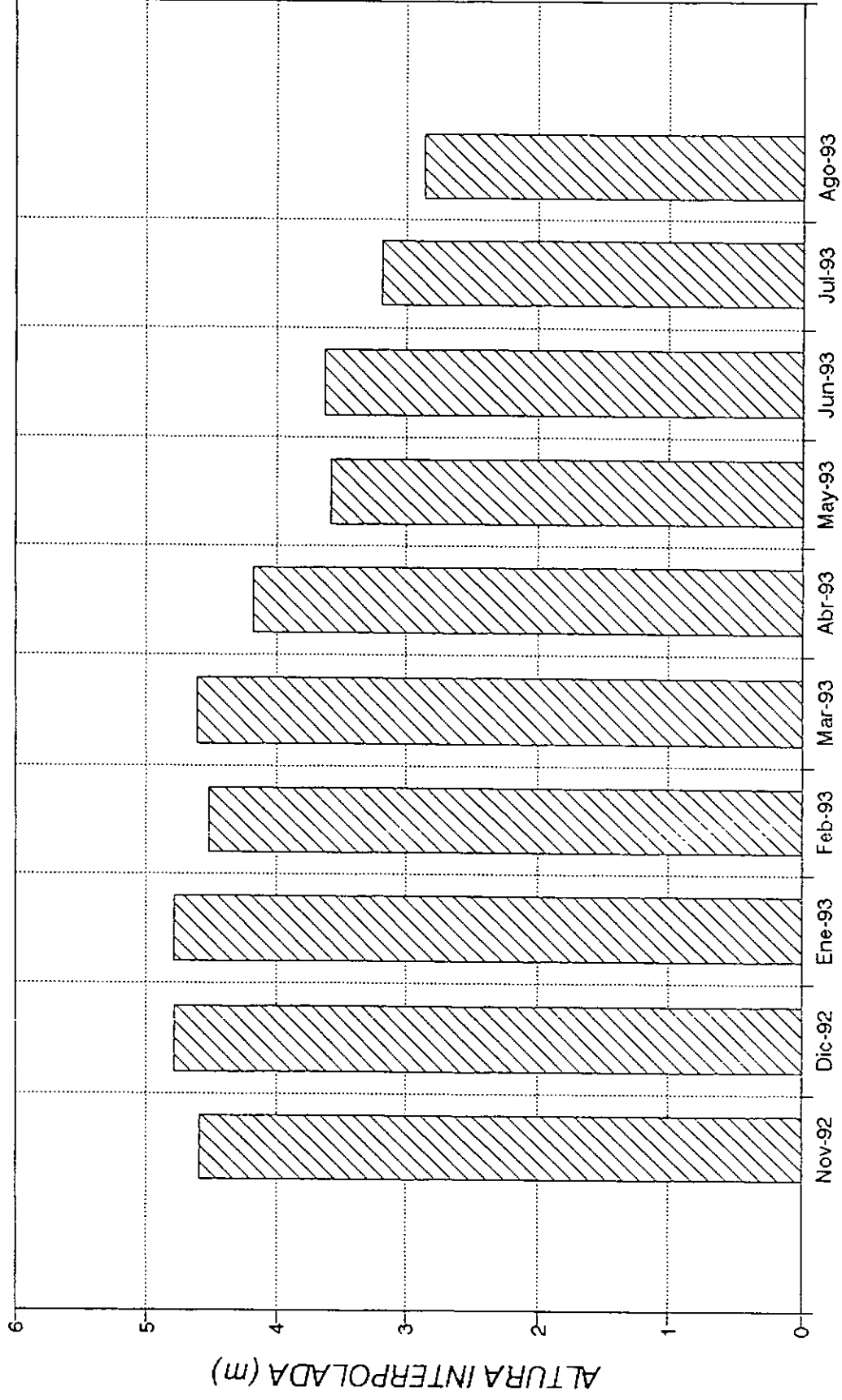


Fig. 1.4.42

PASO TRAGADERO (Km 581-583) PERFIL LONGITUDINAL DE CALIBRACION

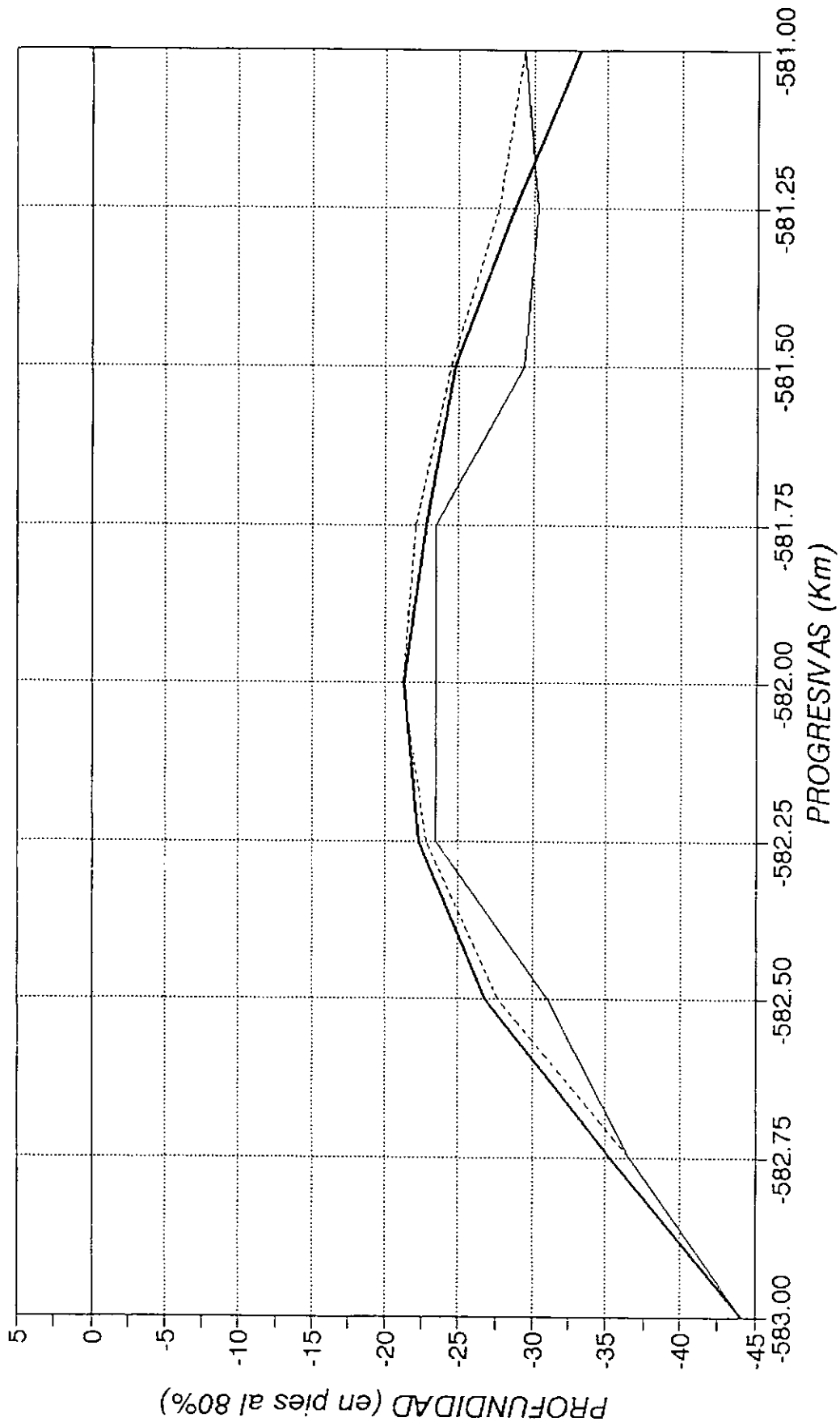
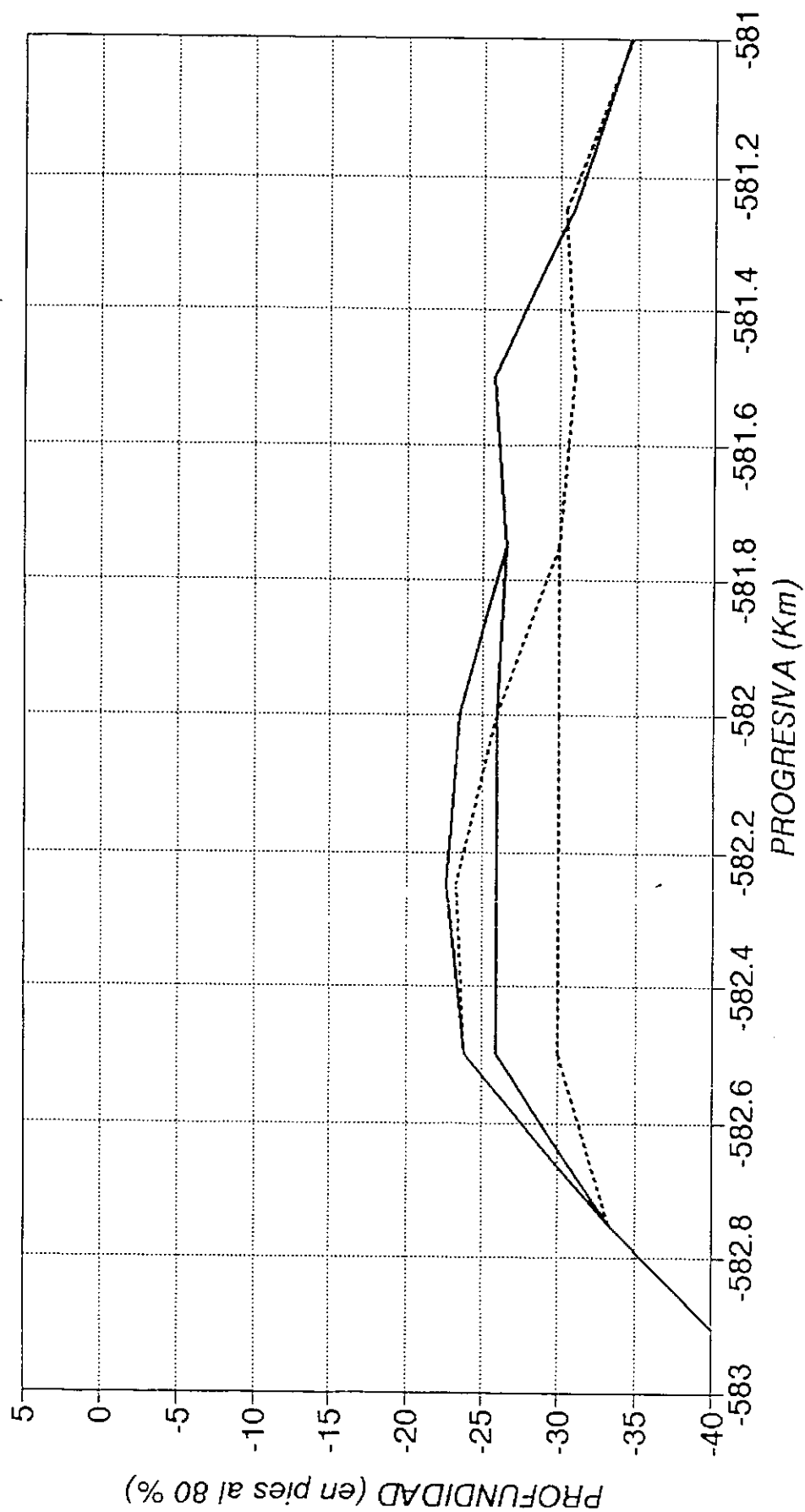


Fig. 1.4.43

PASO TRAGADERO (Km 581 - 583)
 PERFIL LONGITUDINAL FINAL (1 año)



— Dragado Inicial 26' Dragado Inicial 30'

Fig. 1.4.44

PASO TRAGADERO (Km 581 - 583)
VOLUMEN DE SEDIMENTACION ANUAL

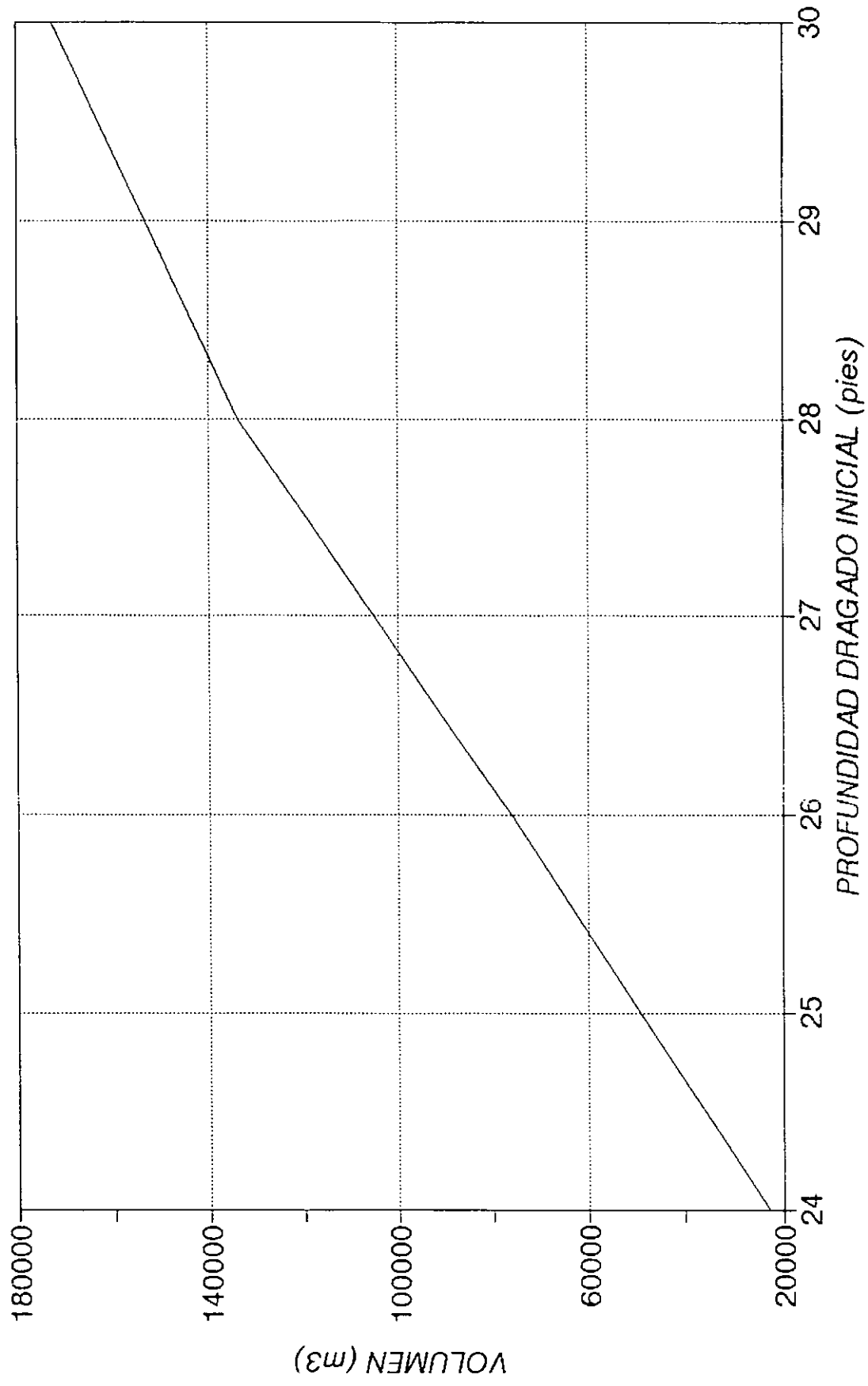
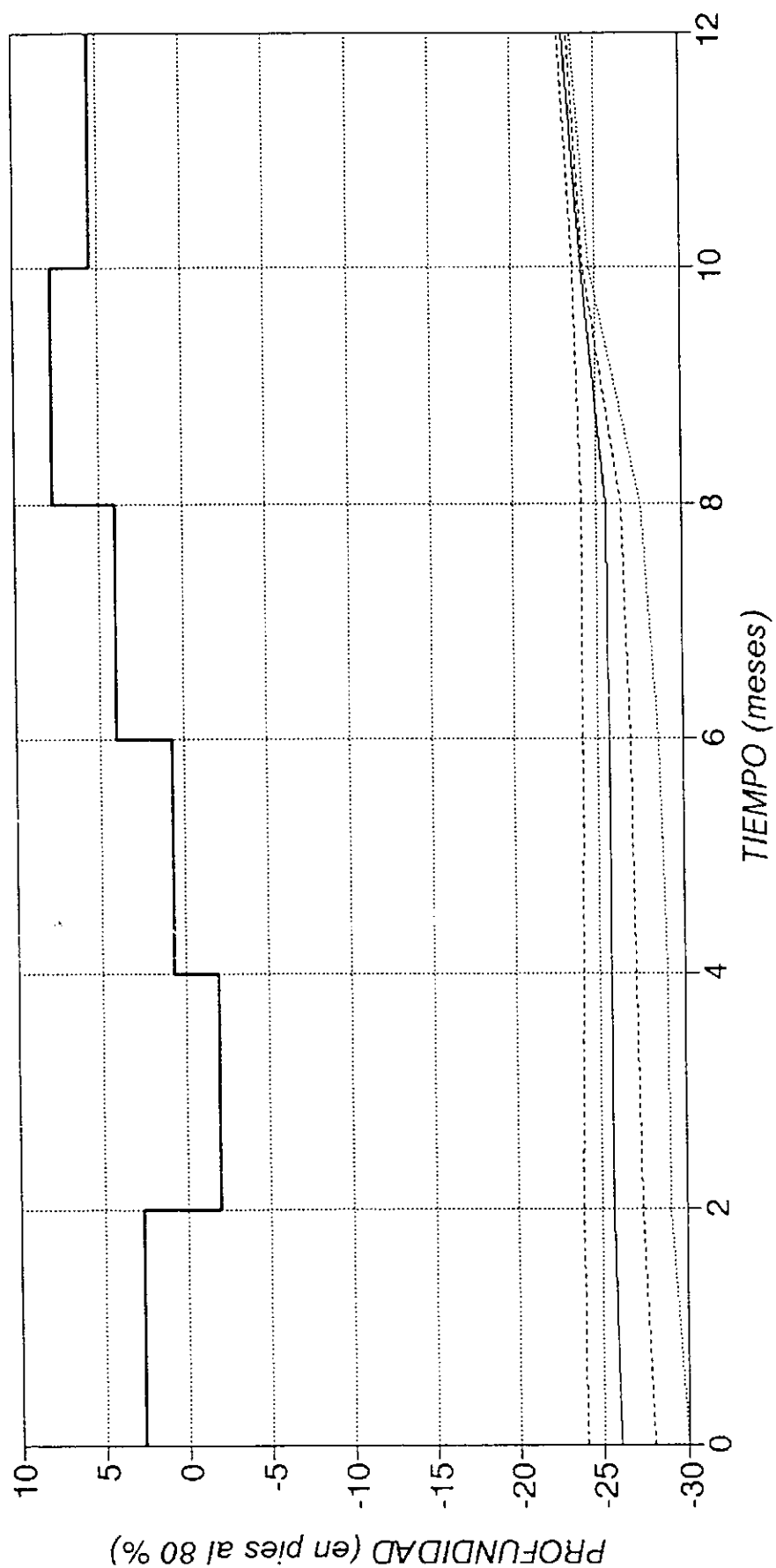


Fig. 1.4.45

PASO TRADERO (Km 581 - 583) PERDIDA DE PROFUNDIDAD



— HIDROG.MEDIO 70/90 - - - - - DRAG. 24' — DRAG. 26'
 DRAG. 28' - . - . - DRAG. 30'

Fig. 1.4.46

EVOL. DE LA SEDIMENTACION EN CANAL ACC. Km. 586,6 - 591,0 - Per. Ene/86-Dic/86

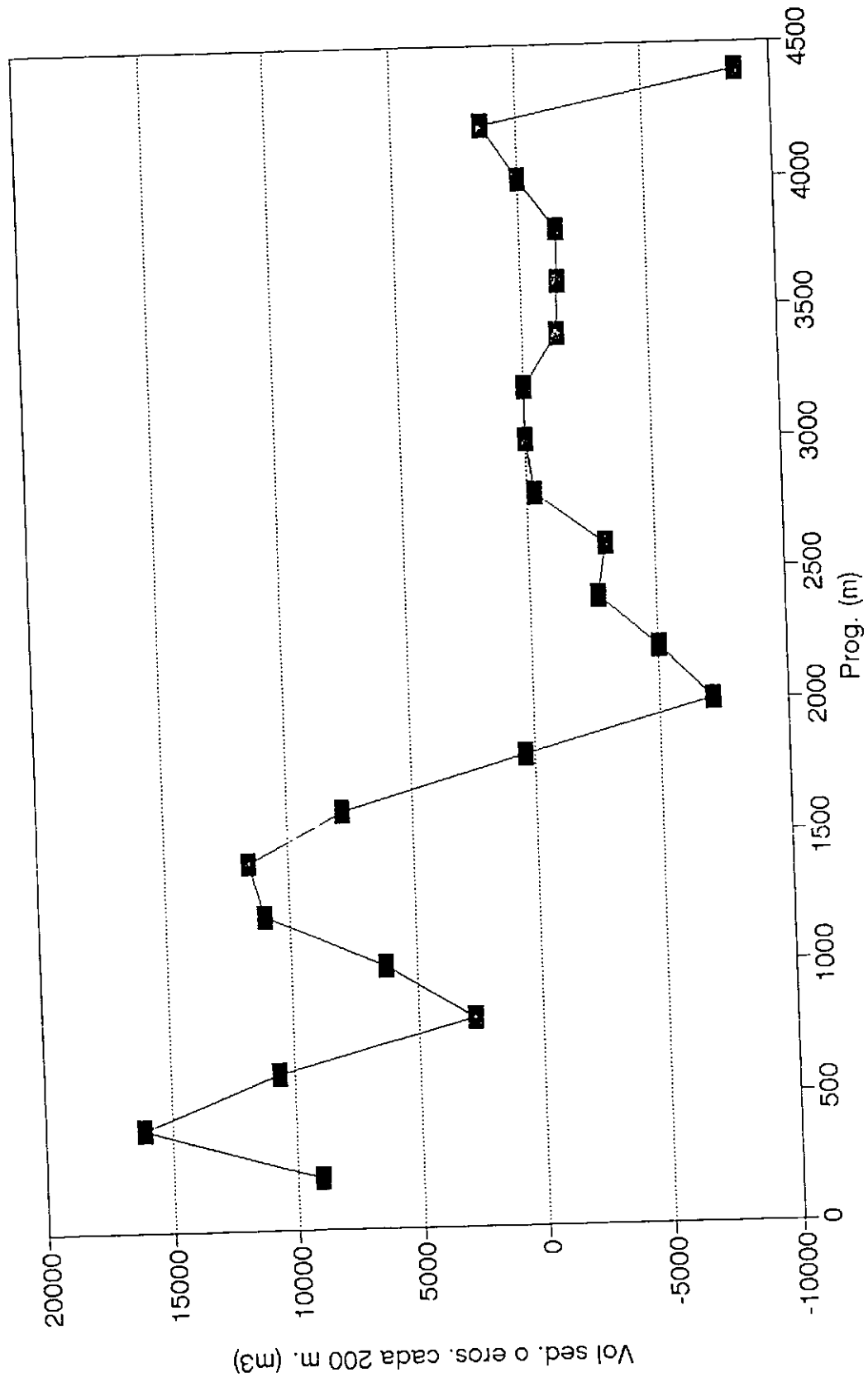


Fig. 1.4.47

TABLA 1.4.1 Historial de Dragado Tramo Exterior

Año	Tramo Exterior												
	ene.	feb.	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ago.	sep.	oct.	nov.	dic.	Total
1974	-	-	-	49725	174025	203150	151659	6560	-	-	-	-	585119
1975	-	-	156496	118360	19700	132450	-	-	-	-	-	-	427006
1976	-	-	-	-	210750	60000	138875	175890	243060	51850	-	260832	1141257
1977	128875	83100	-	-	16025	133865	54510	17150	52300	-	-	-	485825
1978	-	-	82000	176500	174250	76450	-	-	-	-	-	213430	722630
1979	126350	98800	90450	78200	71000	5850	185700	200900	242780	154200	-	-	1254230
1980	52150	88280	29800	-	46200	153500	44950	-	-	-	-	-	414880
1981	-	-	-	100150	105250	54700	89069	-	-	-	-	-	349169
1982	-	-	-	-	68500	122400	-	19200	-	-	-	-	210100
1983	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	95500	95500
1984	-	-	-	133200	77700	-	-	-	-	120400	-	-	331300
1985	-	100500	136100	70600	13500	-	5600	10000	-	109600	277700	-	723600
1986	-	-	-	-	-	-	299860	55900	77100	-	-	-	432860
1987	-	-	8200	102650	271100	36050	-	85300	88800	-	-	-	592100
1988	-	-	57000	55770	-	-	-	97200	109800	-	-	-	319770
1989	-	-	125850	-	-	-	-	-	77400	137050	61950	-	402250
1990	-	-	98100	-	-	49600	-	-	-	-	-	-	147700
1991	-	-	-	-	-	119500	225200	68000	-	-	-	-	412700
1992	-	-	-	-	-	-	-	-	-	204640	129950	15900	350490
1993	-	-	-	-	-	-	71950	45620	-	-	-	-	117570
													Promedio 475802.8

Promedio 475802.8

Desvio 302810.2

TABLA 1.4.2 Historial de Dragado Canal de Acceso

Año	Canal de Acceso												
	ene.	feb.	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ago.	sep.	oct.	nov.	dic.	Total
1974	-	-	-	-	-	-	-	105174	171586	187998	173590	181822	820170
1975	156280	-	-	30550	171433	-	-	-	-	-	-	-	358263
1976	-	-	-	-	-	-	-	-	-	98450	-	-	98450
1979	206340	129500	-	89400	49100	-	-	-	-	-	-	-	474340
1980	-	-	-	-	-	-	92500	36000	91100	-	-	-	219600
1981	-	-	-	-	-	-	81531	6900	-	-	-	-	88431
1982	-	-	-	-	-	-	200000	18000	-	-	-	-	218000
1983	-	-	-	121850	157360	-	233700	-	132900	128530	191230	17500	983070
1984	-	56400	194000	22900	-	-	-	-	-	43600	88900	-	405800
1985	-	-	-	-	97500	-	-	2500	14700	36550	-	-	151250
1987	-	-	-	-	-	64500	-	-	127200	184950	44900	-	421550
1988	-	-	-	47875	57700	-	-	-	1500	133700	42900	114600 *	398275
1989	-	82500 *	129300 *	129500 *	104985 *	46450 *	174610 *	53175 *	28100 *	-	-	-	632250
1992	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	77360	77360

* Corte en Isla Clucellas

Consideran. corte l.Cluc.

S/considerar corte l.Cluc.

Promedio 267340
Desvío 290725

Promedio 229998
Desvío 280923.9

Tabla 1.4.3. ESTIMACION DE VOLUMENES SEDIMENTADOS POR DIFERENCIA DE BATIMETRIAS

Sector	Km	Periodo considerado	Volúmenes de dragado informados en el periodo		Prof. det. al inicio (m al cero)	Vol sed. por dif. de batimetrías (m³)	Vol. considerando dragados (m³)	Vol. anual (m³)
			Fecha	Volumen				
Tramo Exterior	584,7-586,7	Jul-Ago/82 - Dic/83	Ago/82/Dic/83	114700	-5.4	188768	303468	227601
Tramo Exterior	584,8-585,3	Feb/93 - Mayo/93	-	-	-2.8	18245	18245	89992
Canal Acceso	586,6-591,0	Ene-Feb/86-Sep-Dic/86	-	-	-4.5	75235	75235	100313

Tabla 1.4.4. Volúmenes sedimentados

Q canal (m³/s)	Volumen depositado anual (m³)	
	(1)	(2)
100	71492	104194
200	142984	208388
300	214477	312581
400	285969	416775
500	357461	520969
600	428953	625163
		promedio
		87843
		175686
		263529
		351372
		439215
		527058

Conc. depositada: 45 gr/m³ (según Navtolt)

(1) Peso específico del depósito: 1,98 ton/m³

(2) Peso específico del depósito: 1,36 ton/m³

TABLA 1.4.5 Estimación del Volumen depositado.
Método de Owen - Camp

d (mm)	%	W (cm/seg)	W/U*	Co (gr/m3)	Cd (gr/m3)	Cd/Co
0.125	10	1.2	0.486	40	40	1
0.082	30	0.55	0.222	40	32	0.8
0.0412	50	0.18	0.073	40	12.8	0.32
0.0126	70	0.011	0.004	40	0.91	0.02275
0.0032	90	0.00092	0.00037	40	0	0

d: diámetro del sedimento

W: velocidad de caída

U*: velocidad de corte

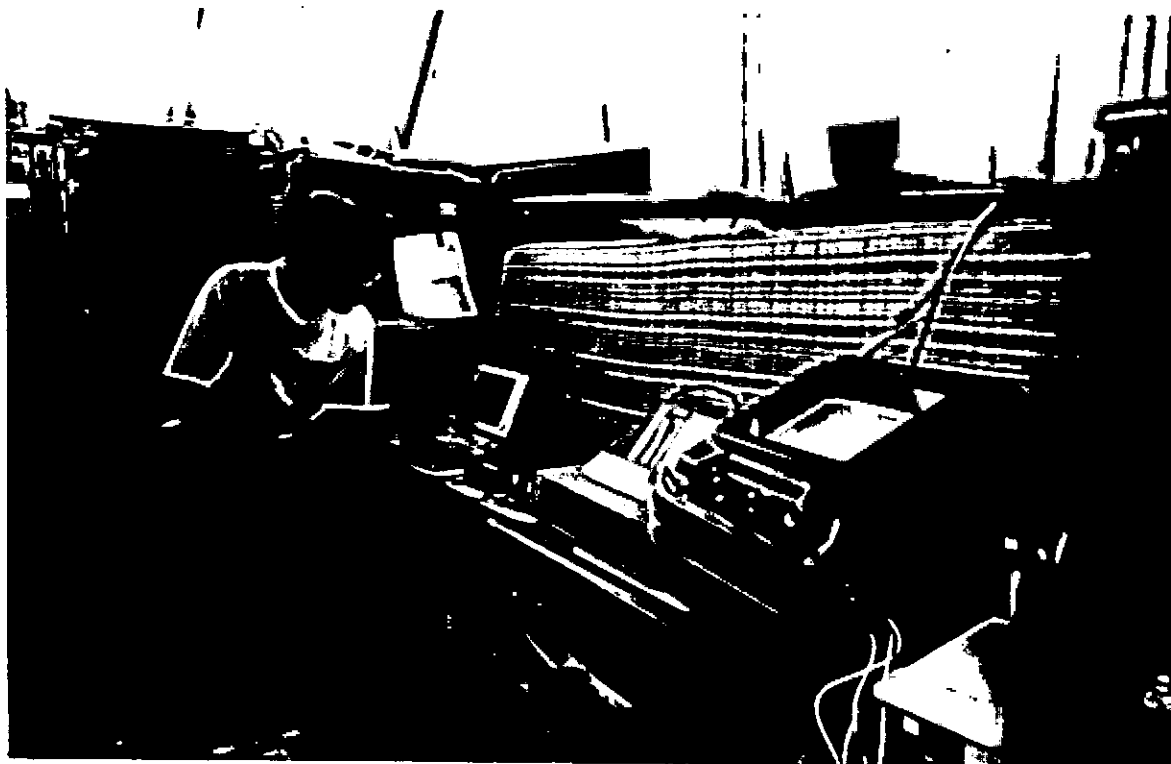
Co: concentración de ingreso

Cd: concentración depositada

85.71



Embarcación utilizada en el relevamiento.



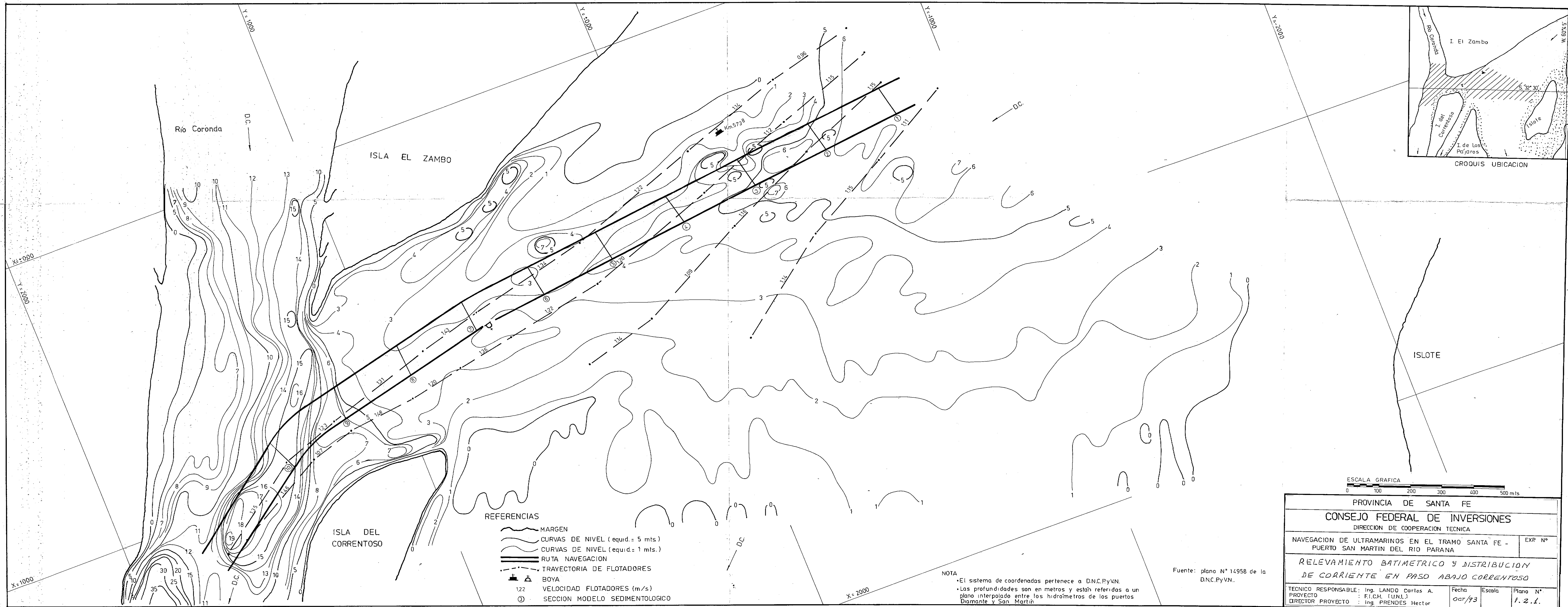
Posicionador satelital (GPS) y sonda ecógrafa.

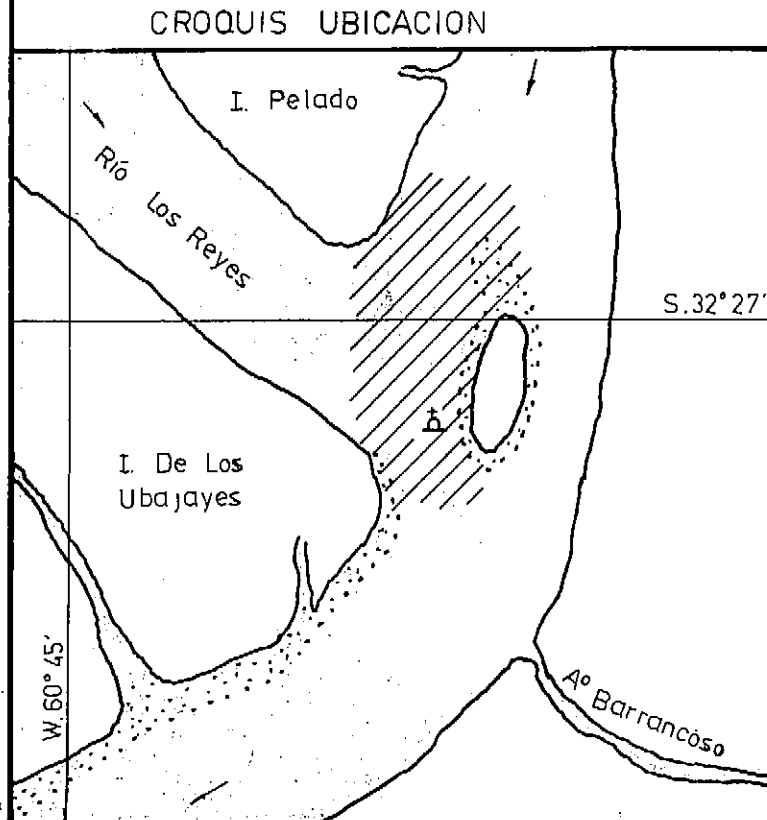
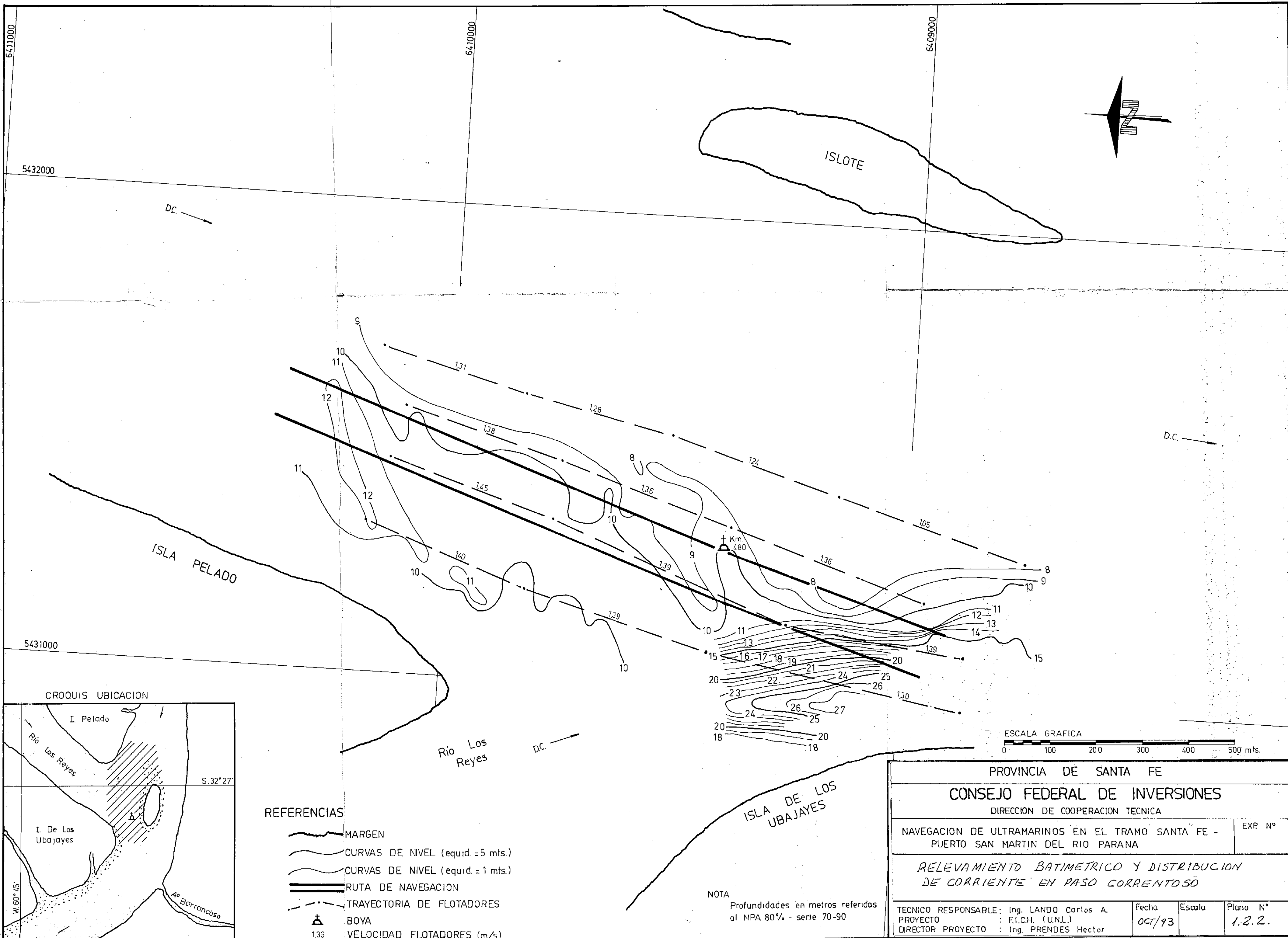


Flotador seguido desde embarcación.



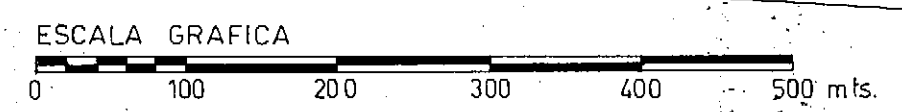
Captador de sedimentos.



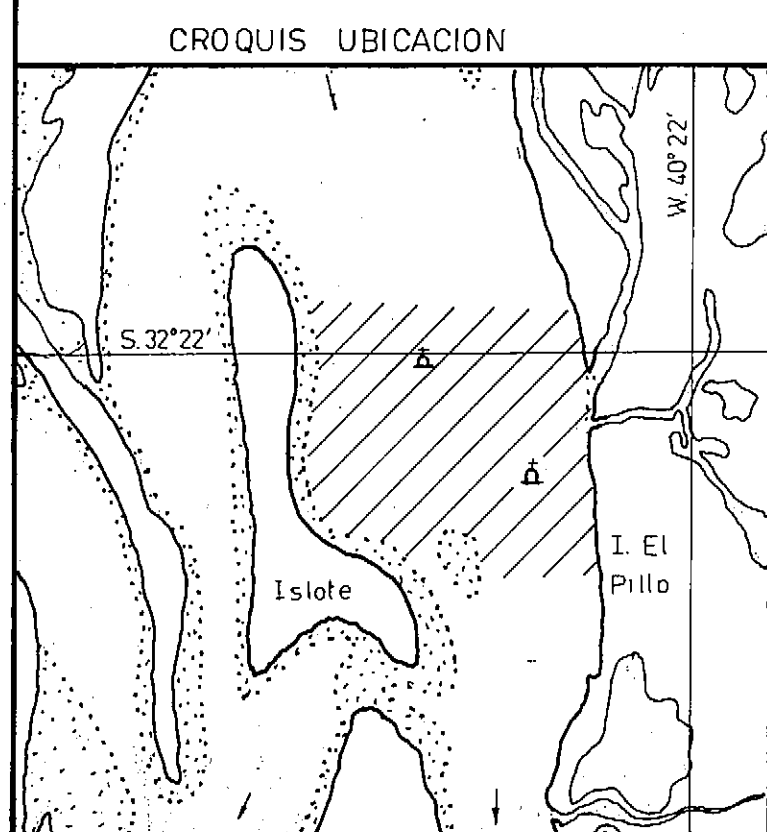
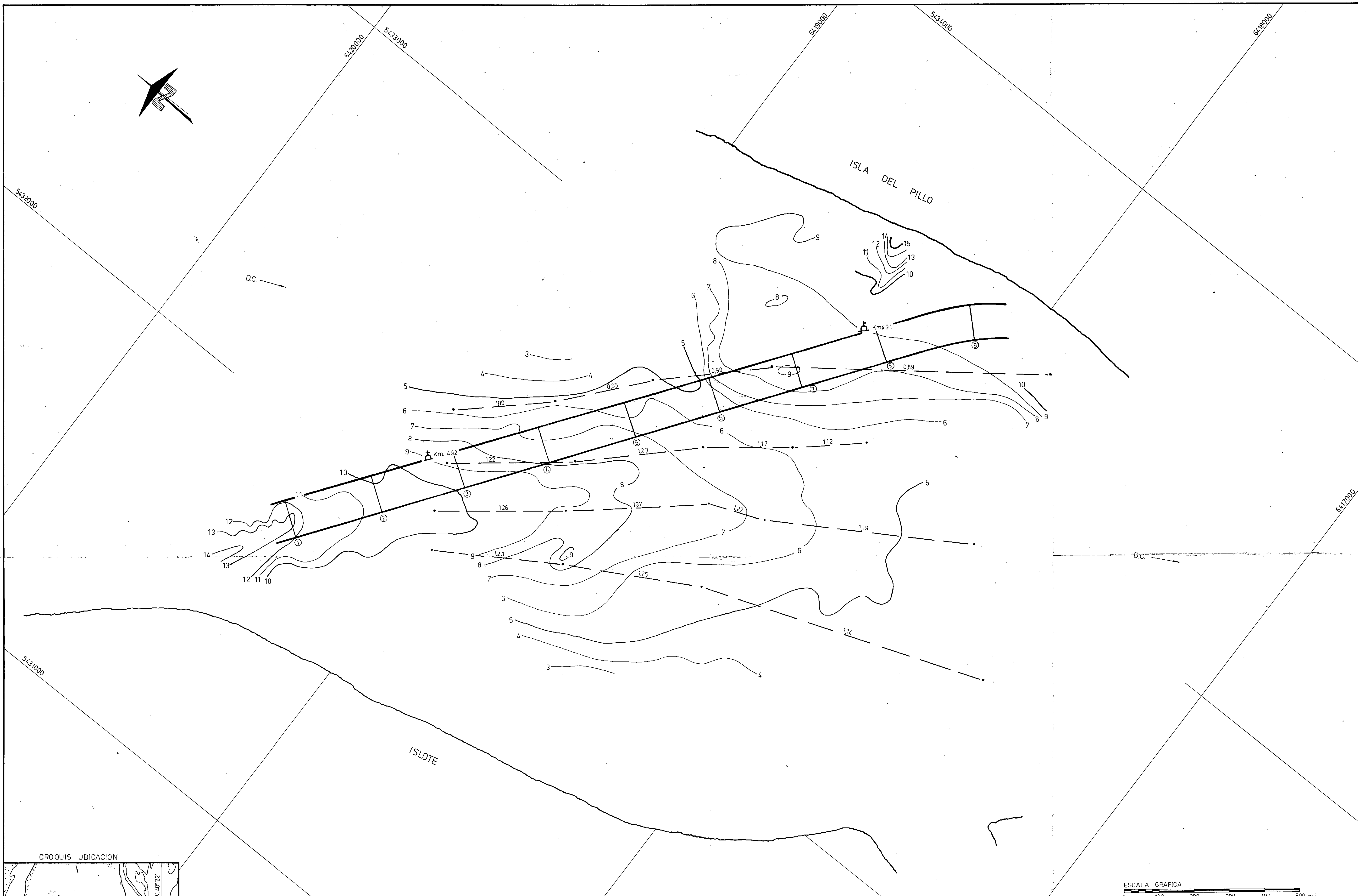
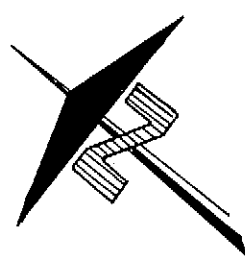


- REFERENCIAS
- MARGEN
 - CURVAS DE NIVEL (equid. = 5 mts.)
 - CURVAS DE NIVEL (equid. = 1 mts.)
 - RUTA DE NAVEGACION
 - TRAYECTORIA DE FLOTADORES
 - BOYA
 - VELOCIDAD FLOTADORES (m/s)

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



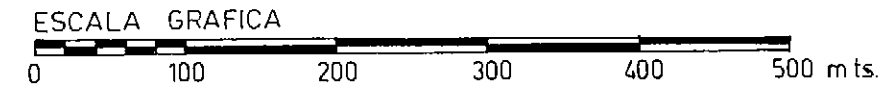
PROVINCIA DE SANTA FE			
CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES			
DIRECCION DE COOPERACION TECNICA			
NAVEGACION DE ULTRAMARINOS EN EL TRAMO SANTA FE - PUERTO SAN MARTIN DEL RIO PARANA			EXP N°
RELEVAMIENTO BATIMETRICO Y DISTRIBUCION DE CORRIENTE EN PASO CORRENTOSO			
TECNICO RESPONSABLE:	Ing. LANDO Carlos A.	Fecha	OCT/93
PROYECTO	F.I.C.H. (U.N.L.)	Escala	
DIRECTOR PROYECTO	Ing. PRENDES Hector	Plano N°	1.2.2.



NOTA
Profundidades en metros referidas al
NPA 8% - serie 70-90

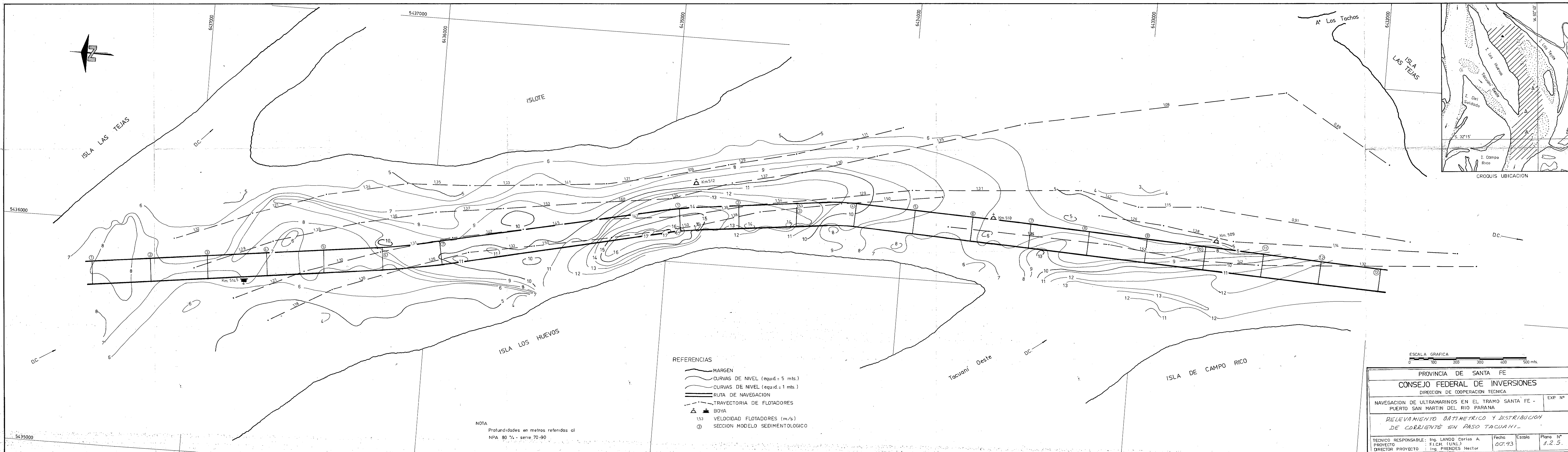
REFERENCIAS

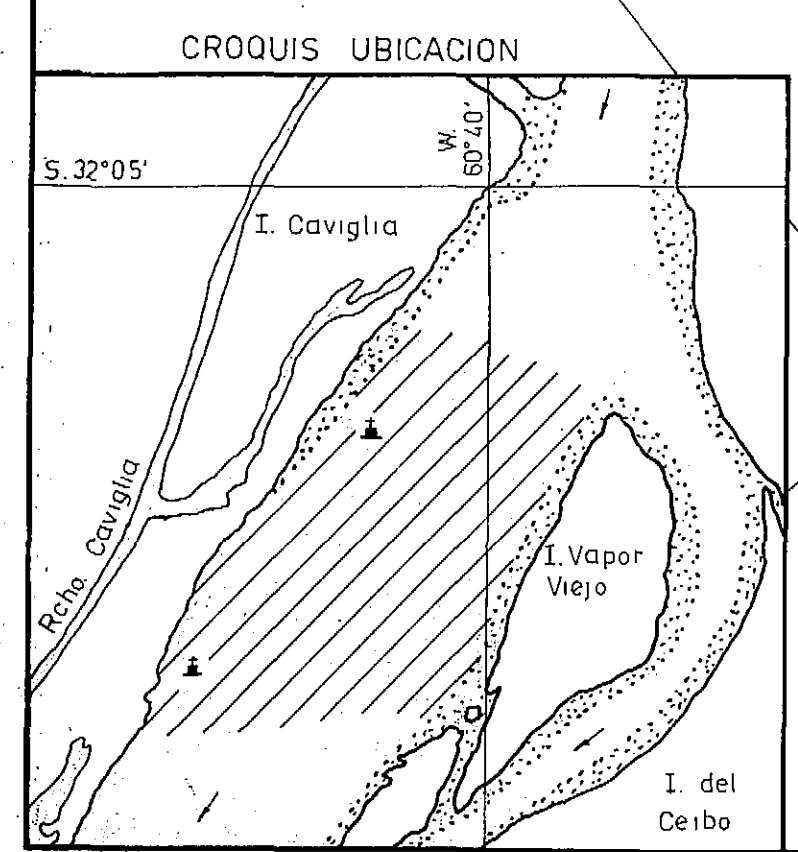
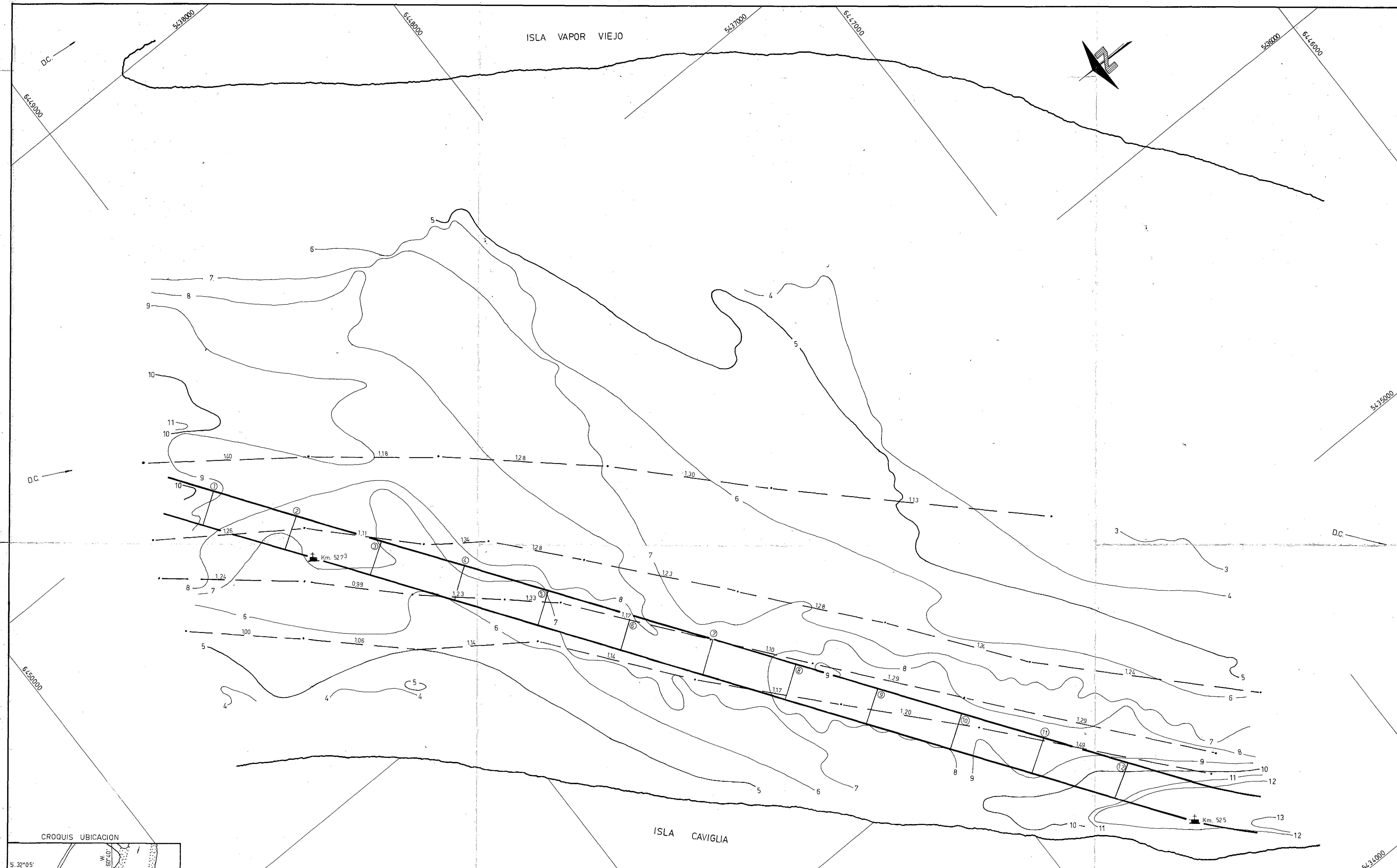
- MARGEN
- CURVAS DE NIVEL (equid. = 5 mts.)
- CURVAS DE NIVEL (equid. = 1 mts.)
- RUTA NAVEGACION
- TRAYECTORIA DE FLOTADORES
- BOYA
- VELOCIDAD FLOTADORES (m/s)
- SECCION MODELO SEDIMENTOLOGICO



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°
RELEVAMIENTO BATIMETRICO Y DISTRIBUCION DE CORRIENTE EN PASO PARANACITO			
TECNICO RESPONSABLE: Ing. LANDO Carlos A.	Fecha	Escala	Plano N°
PROYECTO : F.I.C.H. (UNL)	10/93		1.2.3.
DIRECTOR PROYECTO : Ing. PRENDES Hector			



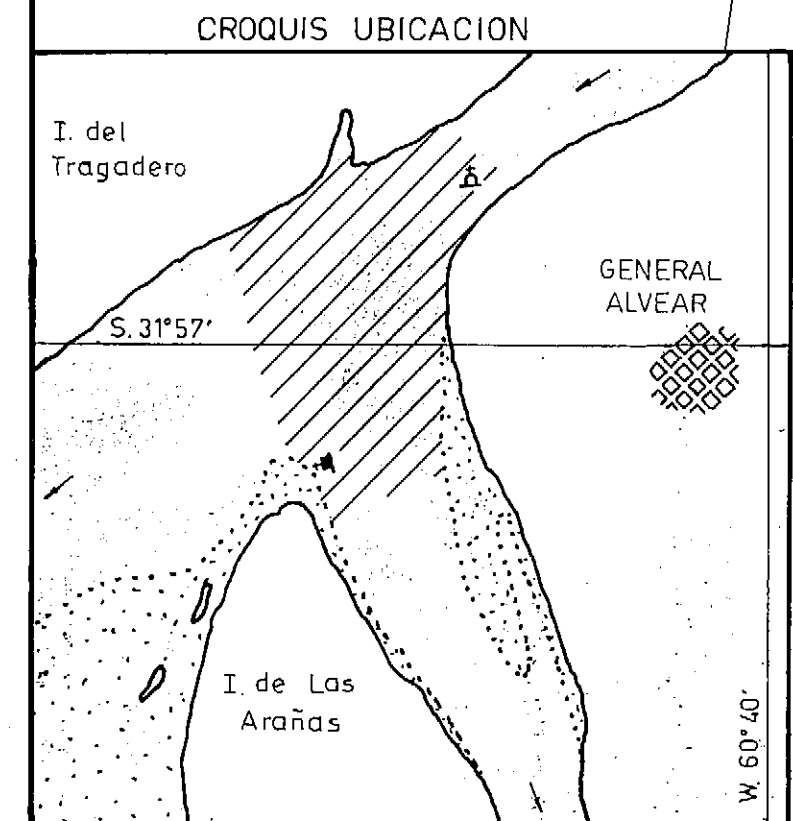
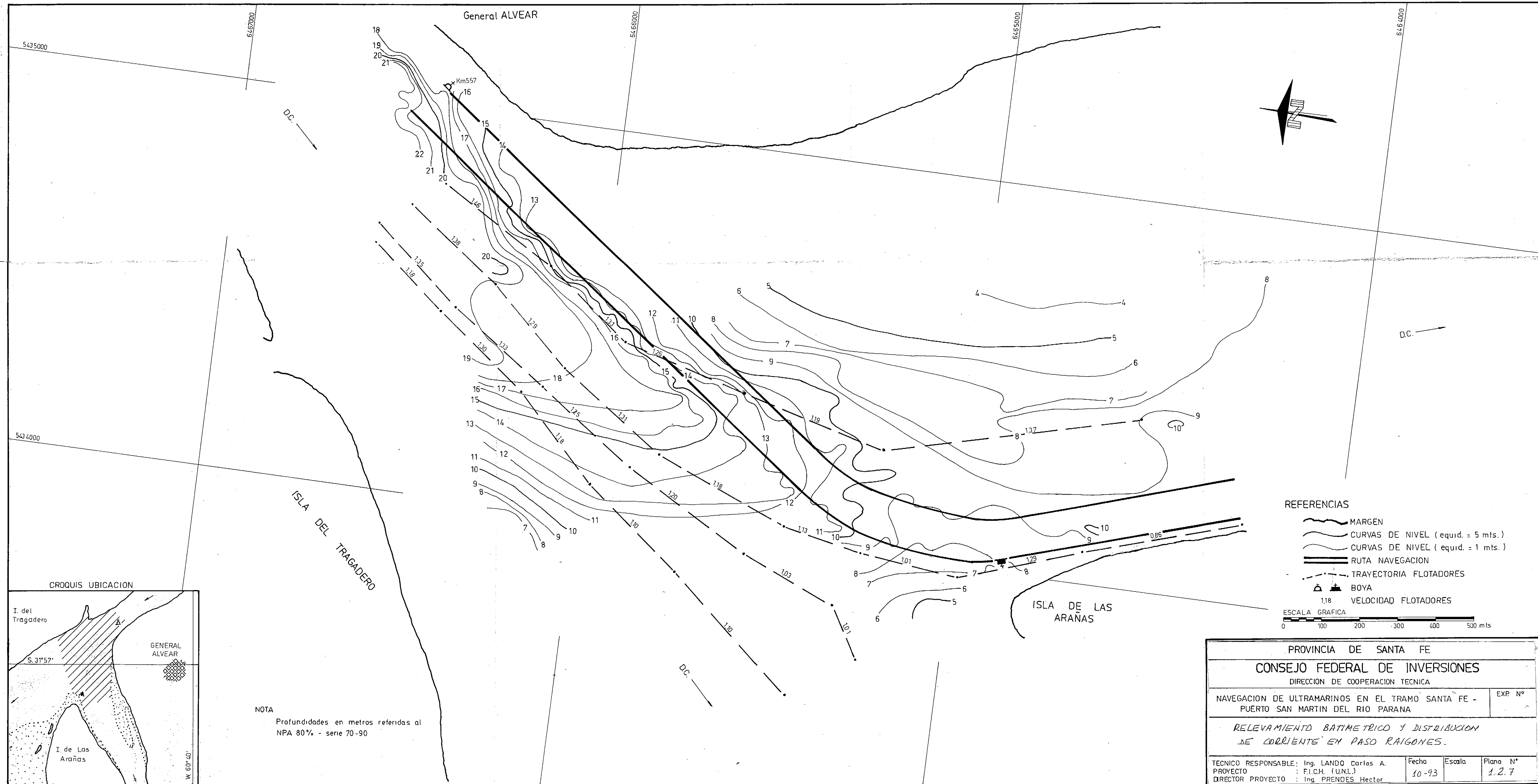




- REFERENCIAS
- MARGEN
 - CURVAS DE NIVEL (equid. = 5 mts.)
 - CURVAS DE NIVEL (equid. = 1 mts.)
 - RUTA NAVEGACION
 - TRAYECTORIA DE FLOTADORES
 - BOYA
 - 123 VELOCIDAD FLOTADORES (m/s)
 - ③ SECCION MODELO SEDIMENTOLOGICO

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

ESCALA GRAFICA 0 100 200 300 400 500 mts.			
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°
RELEVAMIENTO BATIMETRICO Y DISTRIBUCION DE COORDENADAS EN PASO ABAJO DIAMANTE.			
TECNICO RESPONSABLE: Ing. LANDO Carlos A.	Fecha	Escala	Plano N°
PROYECTO : F.I.C.H. (U.N.I.)	10-93		1.2.6
DIRECTOR PROYECTO : Ing. PRENDES Hector			



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

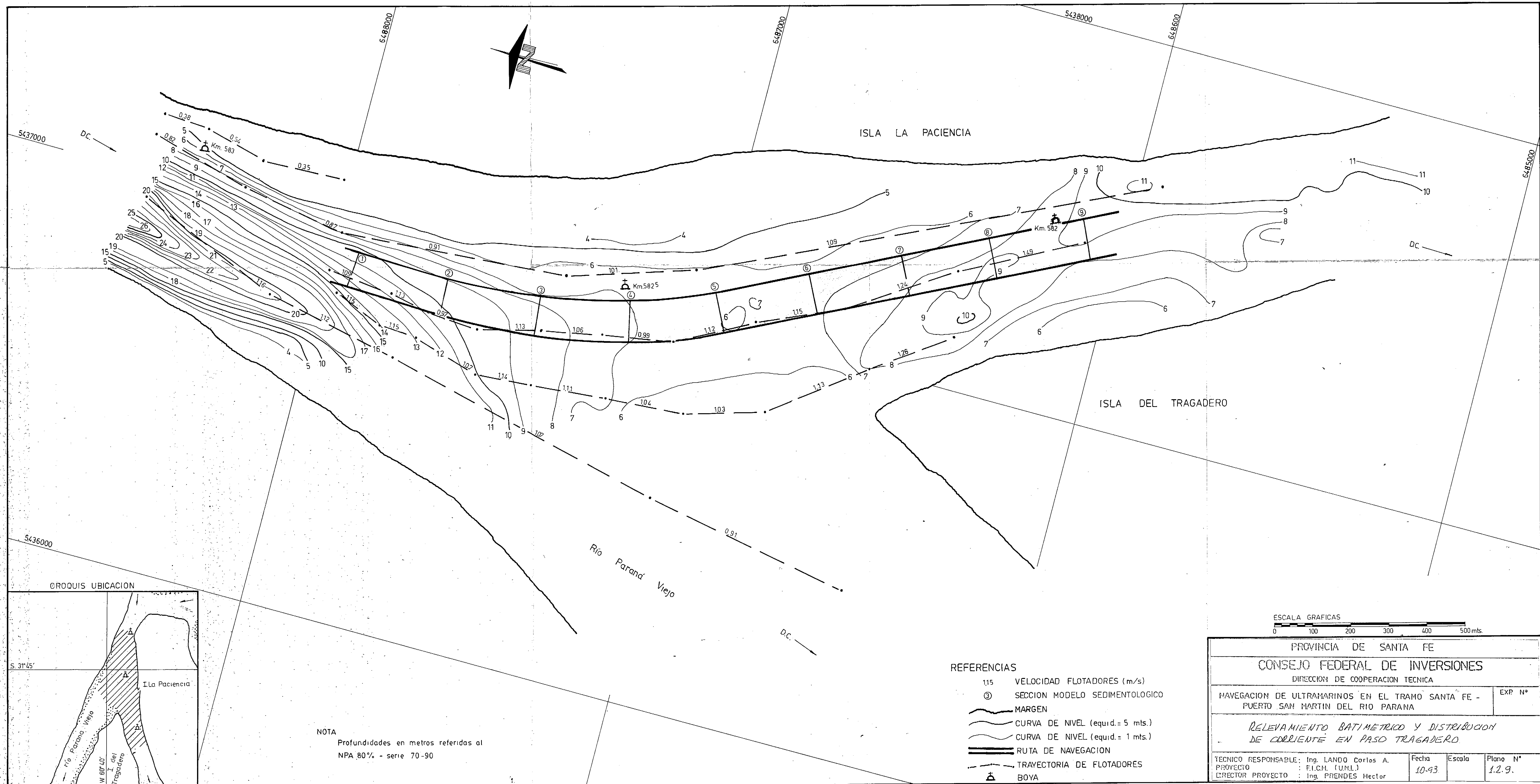
REFERENCIAS

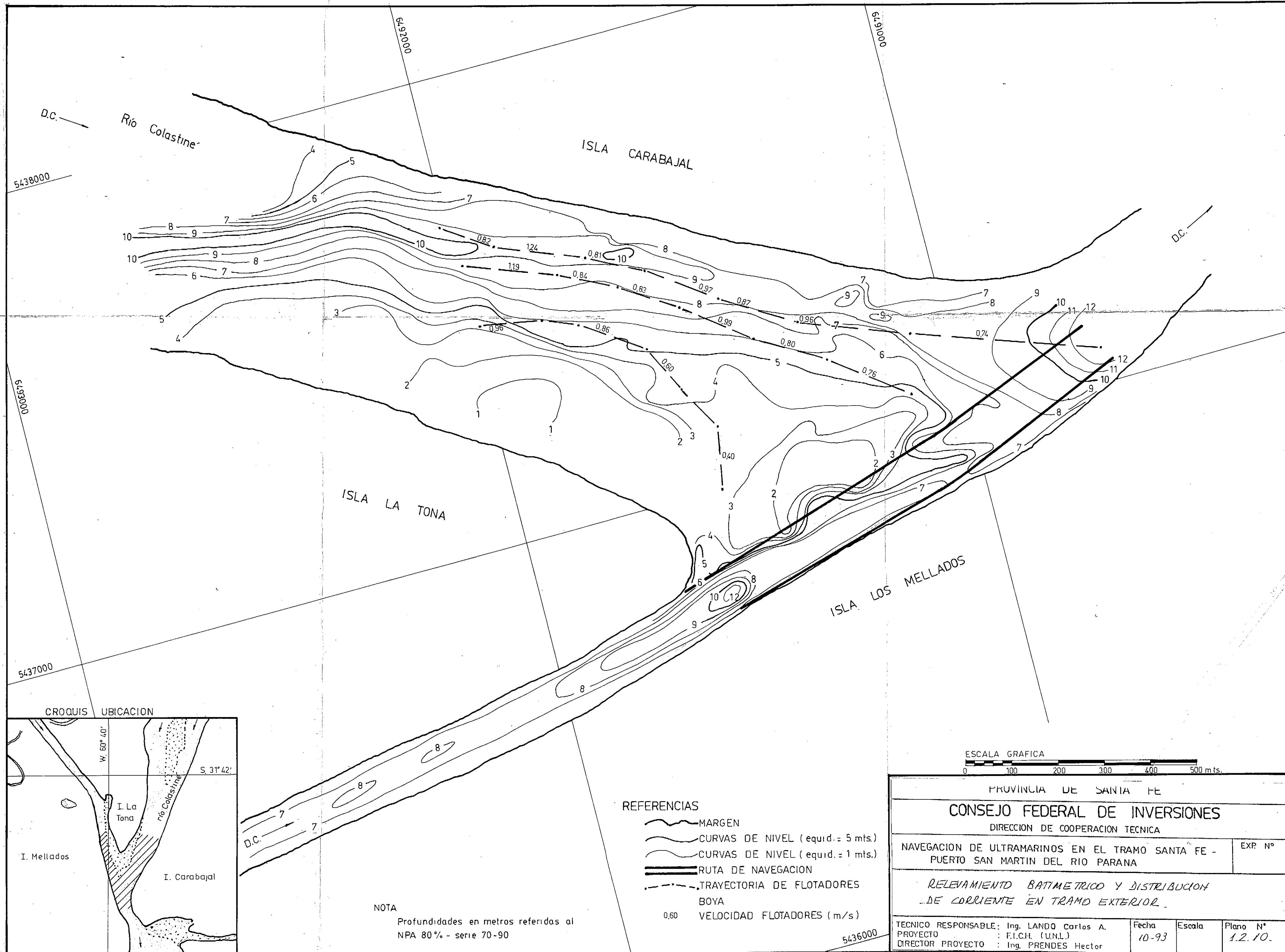
- MARGEN
- CURVAS DE NIVEL (equid. = 5 mts.)
- CURVAS DE NIVEL (equid. = 1 mts.)
- RUTA NAVEGACION
- TRAYECTORIA FLOTADORES
- BOYA
- VELOCIDAD FLOTADORES

ESCALA GRAFICA

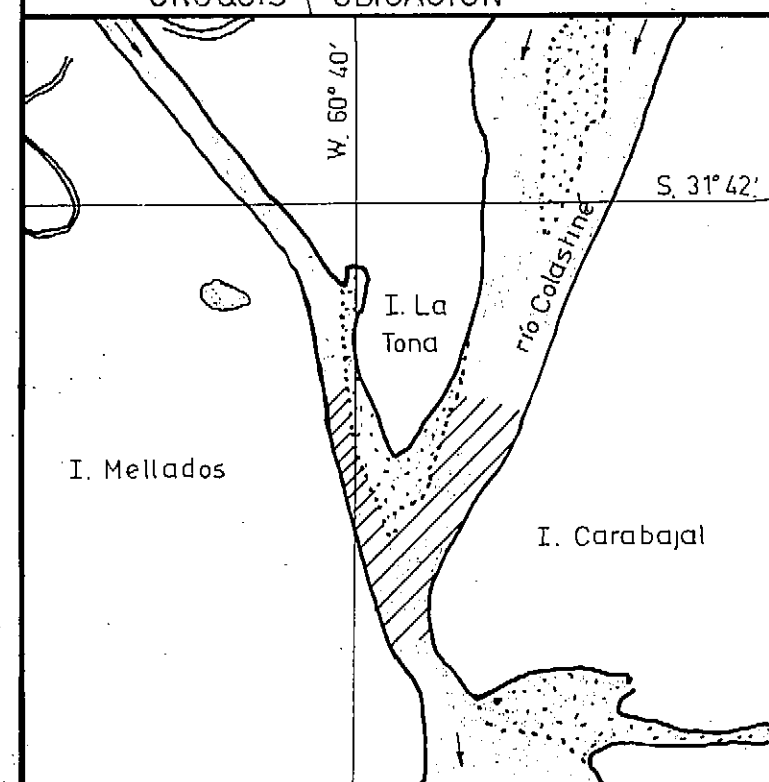
0 100 200 300 400 500 mts

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°
RELEVAMIENTO BATIMETRICO Y DISTRIBUCION DE CORRIENTE EN PASO RAIGONES.			
TECNICO RESPONSABLE: Ing. LANDO Carlos A.	Fecha	Escala	Plano N°
PROYECTO : F.I.C.H. (UNL.)	10-93		1.2.7
DIRECTOR PROYECTO : Ing. PRENDES Hector			





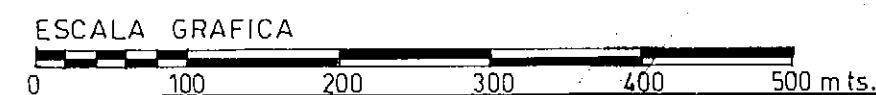
CROQUIS UBICACION



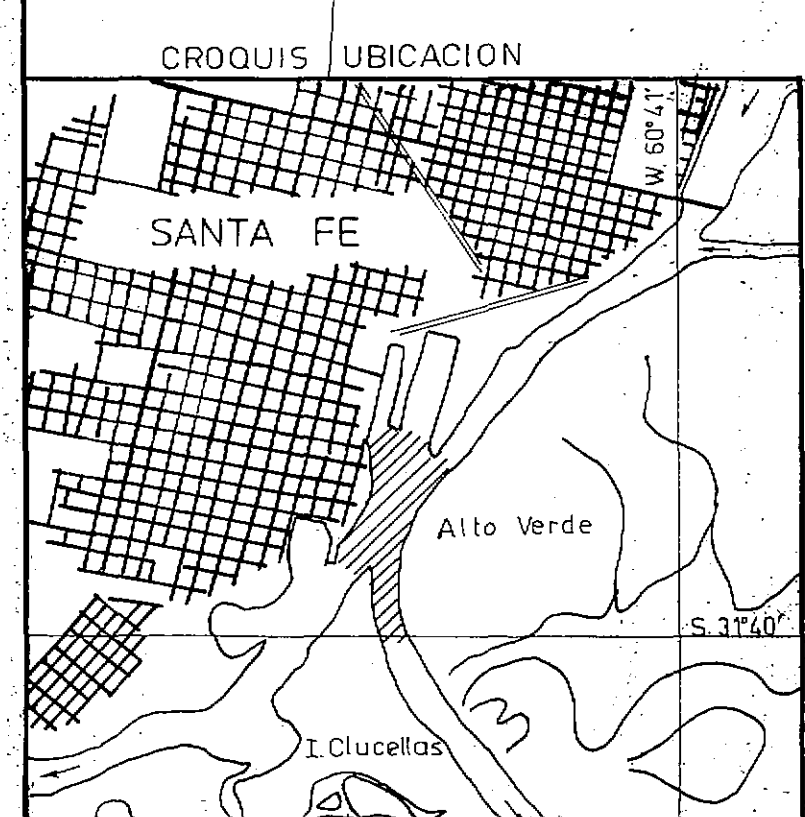
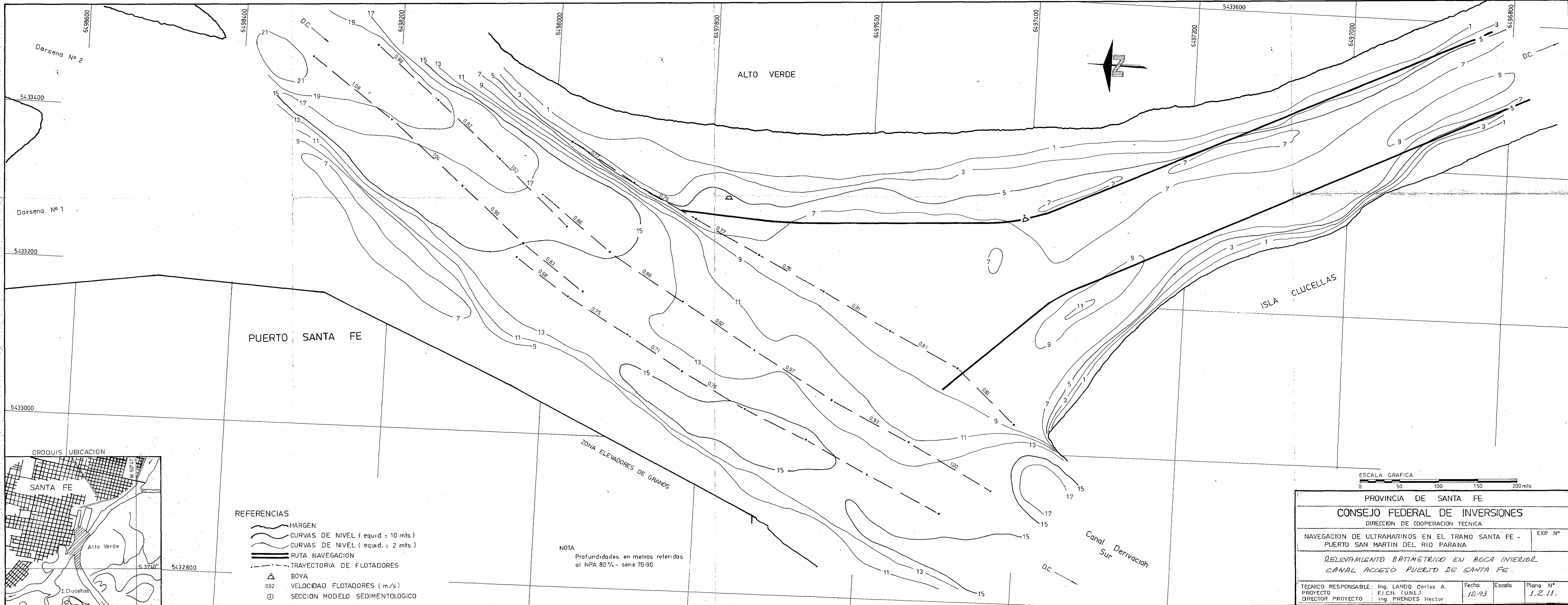
NOTA
Profundidades en metros referidas al
NPA 80% - serie 70-90

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)

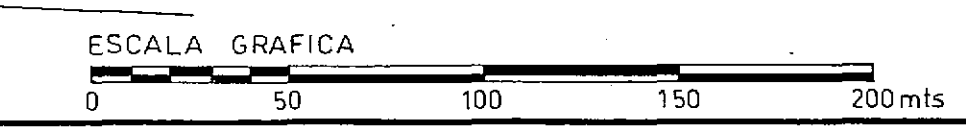


PROVINCIA DE SANTA FE			
CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES			
DIRECCION DE COOPERACION TECNICA			
NAVEGACION DE ULTRAMARINOS EN EL TRAMO SANTA FE - PUERTO SAN MARTIN DEL RIO PARANA			EXP. N°
RELEVAMIENTO BATIMETRICO Y DISTRIBUCION DE CORRIENTE EN TRAMO EXTERIOR			
TECNICO RESPONSABLE: Ing. LANDO Carlos A.	Fecha	Escala	Plano N°
PROYECTO : F.I.C.H. (U.N.L.)	10-93		1.2.10.
DIRECTOR PROYECTO : Ing. PRENDES Hector			

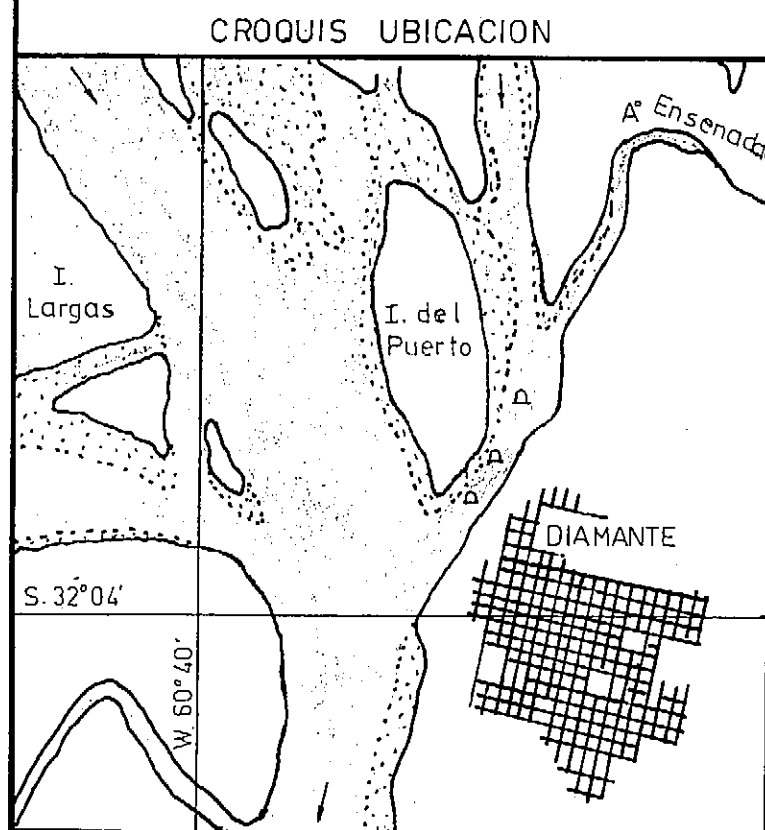
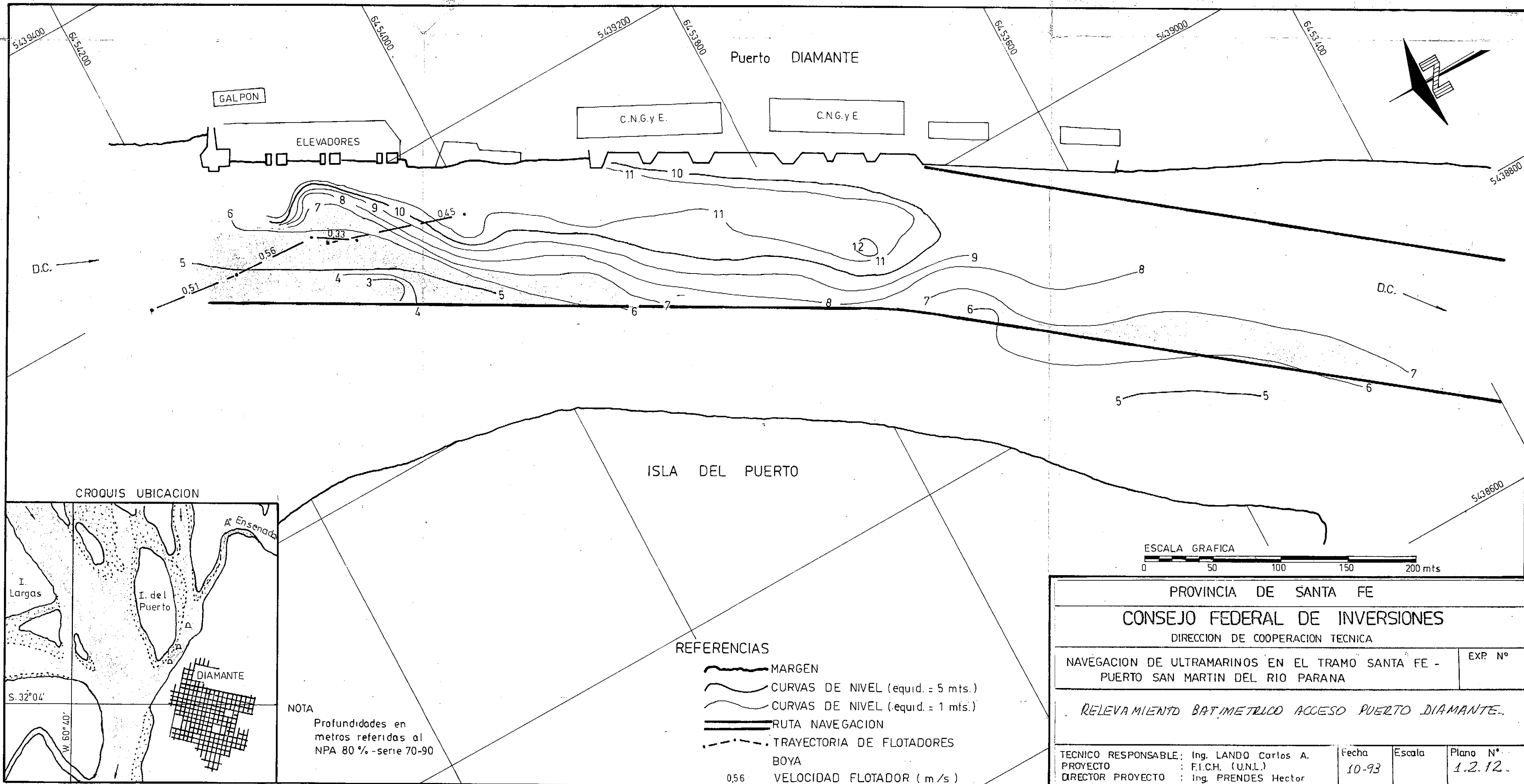


- REFERENCIAS
- MARGEN
 - CURVAS DE NIVEL (equid. = 10 mts.)
 - CURVAS DE NIVEL (equid. = 2 mts.)
 - RUTA NAVEGACION
 - TRAYECTORIA DE FLOTADORES
 - △ BOYA
 - 092 VELOCIDAD FLOTADORES (m/s)
 - ③ SECCION MODELO SEDIMENTOLOGICO

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



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°
RELEVAMIENTO BATIMETRICO EN BOCA INTERIOR CANAL ACCESO PUERTO DE SANTA FE			
TECNICO RESPONSABLE:	Ing. LANDO Carlos A.	Fecha	10-93
PROYECTO	F.I.C.H. (U.N.L.)	Escala	
DIRECTOR PROYECTO	Ing. PRENDES Hector	Plano N°	1.2.11.



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

REFERENCIAS

- MARGEN
- CURVAS DE NIVEL (equid. = 5 mts.)
- CURVAS DE NIVEL (equid. = 1 mts.)
- RUTA NAVEGACION
- TRAYECTORIA DE FLOTADORES
- BOYA
- 0.56 VELOCIDAD FLOTADOR (m/s)

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°
RELEVAMIENTO BATIMETRICO ACCESO PUERTO DIAMANTE.			
TECNICO RESPONSABLE: Ing. LANDO Carlos A.		Fecha	Plano N°
PROYECTO : F.I.C.H. (U.N.L.)		10-93	1.2.12.
DIRECTOR PROYECTO : Ing. PRENDES Hector			