

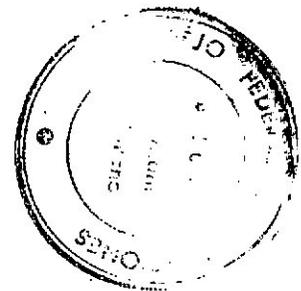
CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

27598

PROVINCIA DE FORMOSA

ESTUDIO Y PROYECTO DE DEFENSA
DE COSTAS EN LA CIUDAD
Y PUERTO DE FORMOSA

TOMO III



AÑO 1982

T O M O I I I

T O M O III

CAPITULO 1 : LISTADO DE ANTECEDENTES

CAPITULO 2 : EXTRACTO DE LA INFORMACION

1. EXTRACTO DE LA INFORMACION
2. RECONOCIMIENTO DEL LUGAR

CAPITULO 3 : ANALISIS DE LA INFORMACION

1. ANALISIS DE LOS ESTUDIOS DE BASE
 - 1.1. La degradación de costa
 - 1.2. Instalaciones existentes
 - 1.3. Soluciones ensayadas
 - 1.4. Parámetros de diseño
2. LIMITES DEL AREA AFECTADA
 - 2.1. Consideraciones generales
 - 2.2. Sector primario
 - 2.3. Sector secundario
 - 2.4. Otros sectores no considerados
 - 2.5. El banco frente al sector secundario

CAPITULO 4 : ESTUDIO HIDRODINAMICO

1. PROCESAMIENTO DE DATOS
 - 1.1. Morfología del cauce
 - 1.2. Datos hidrológicos
 - 1.3. Datos fluviométricos
 - 1.4. Estudio geotécnico

2. HIDROLOGIA

2.1. Caudales

2.2. Alturas máximas de agua

2.3. Curvas de duración y frecuencia

2.4. Curva altura de agua - período de retorno

3. FLUVIOMETRIA

3.1. Caudales - Alturas del río

3.2. Corrientes

3.3. Rugosidad superficial de fondo

TABLAS Y GRAFICOS

CAPITULO 5 : ESTUDIOS GEOTECNICOS

1. INTRODUCCION

2. PRIMER ESTUDIO GEOTECNICO

2.1. Sondeos profundos

2.2. Conclusiones

2.3. Toma de muestras del lecho del Río Paraguay

GRAFICOS

3. SEGUNDO ESTUDIO GEOTECNICO

3.1. Introducción

3.2. Trabajos realizados en campaña

3.3. Ensayos de laboratorio

3.4. Consideraciones geológico - geotécnicas

3.5. Conclusiones

GRAFICOS

CAPITULO 6 : RELEVAMIENTO TOPOBATIMETRICO

PLANOS

- 6.1. Relevamiento topobatimetrico Zona Norte
- 6.2. Relevamiento topobatimétrico Zona Central
- 6.3. Relevamiento topobatimétrico Zona Sur
- 6.4. Relevamiento batimétrico

CAPITULO 7 : NUEVO PUERTO DE FORMOSA

1. DESCRIPCION GENERAL

CAPITULO 8 : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. CONCLUSIONES
2. RECOMENDACIONES

C A P I T U L O I I I . 1

L I S T A D O D E A N T E C E D E N T E S

LISTADO DE ANTECEDENTES

- 1- Relevamientos batimétricos del Río Paraguay, Dirección Nacional de Construcciones Portuarias y Vías Navegables, Distrito Paraná Superior Año 1964 y Comparativos entre 1926 y 1946 y 1964.
- 2- Detalle del Subsuelo en Puerto Formosa
DNCP y VN, Perforaciones de 1940, 1964 y 1965.
- 3- Puerto Formosa. Planimetría y Cortes
DNCP y VN. Años 1942 y 1947.
- 4- Estudio del Puerto de Formosa
Comisión Diposición N°2400/68 DNCP y VN y Resolución N°312/68 AGP.
- 5- Relleno de la ribera-Municipalidad de Formosa
Antecedentes varios y relevamiento batimétrico
- 6- Estudio de crecidas Ríos Paraná y Paraguay
Informe Preliminar de Reconocimiento, Junio 1978. Motor Columbus y Asociados.
Ente Binacional Yaciretá.
- 7- Hidrología Básica. Informe Parcial, noviembre 1978.
E.B.Y.
- 8- Estudio del transporte fluvial desde Corumbá a Campana.
Informe de Shiptraco-Ship & Transport Consultants
G.m.b.H
- 9- Anuarios Hidrográficos
Armada Nacional del Paraguay
- 10- Fotogramas del Relevamiento Aerofotogramétrico. Vuelos efectuados en 1977 durante el pico de crecida y en 1978 con nivel normal del río. Escalas 1:5000 y 1:2500 respectivamente, esta última admite ampliaciones hasta 1:625
Aeroterra S.A.
- 11- Monografía de la Estación Hidrométrica Formosa
DNCP y VN y Prefectura Naval Argentina. 1958-1974
- 12- Mapa Urbano Base-Ciudad de Formosa
Provincia de Formosa
- 13- Planta Urbana Ciudad de Formosa-Curvas de Niveles
Ministerio de Obras y Servicios Públicos de Formosa. Dirección de Hidráulica.
- 14- Inundación 1966-Provincia de Formosa
Informe de Asesoría Técnica del Poder Ejecutivo.

- 15- Inundación 1966- Anteproyecto de ley de Reconstrucción
Junta de Gobernadores del Nordeste; Asesoría Técnica de la Gobernación
de la Provincia de Formosa.
- 16- Inundación Río Pilcomayo 1968-Promedio de lluvias 1975-1966
Asesoría Técnica, Gobierno de Formosa
- 17- Inundaciones Años 1968 y 1971-Informe Técnico.
Asesoría Técnica, Gobierno de Formosa
- 18- Daños ocasionados por las precipitaciones pluviales y desbordes de los
ríos. Enero 1971
- 19- Informe Especial de Fotointerpretación
Operativo Inundación. Región afectada por los ríos Paraná y Paraguay.
Año 1966.
Asesoría Técnica de la Gobernación.
Departamento Fotointerpretación del Comando en Jefe del Ejército. Secretaria
de Guerra.

C A P I T U L O I I I . 2

E X T R A C T O D E L A I N F O R M A C I O N

1. EXTRACTO DE LA INFORMACION

De los antecedentes enumerados en el capítulo III.1 se obtuvieron los datos que se describen a continuación según el mismo orden de dicho capítulo.

1. Los relevamientos batimétricos dan la configuración morfológica del fondo del Río Paraguay frente a Formosa. Como fueron realizados en diferentes fechas se pueden observar los cambios de fondo habidos. Sin embargo las escalas usadas y la finalidad original de esos relevamientos (determinar los cauces para la navegación), no permitirán un estudio detallado del proceso de los cambios morfológicos. Por otra parte estas mediciones tampoco fueron ligadas a situaciones extraordinarias del río (crecientes, desmoronamientos, etc).
2. Las investigaciones del subsuelo fueron realizadas según se desprende de la documentación a la vista, para una identificación descriptiva de los estratos. No se cuenta con resultados de ensayos en laboratorio. Por lo tanto este trabajo ofrece datos generales pero insuficientes para nuestro trabajo. También debe destacarse que la cantidad y ubicación de las perforaciones no concuerdan con lo requerido.
3. Los planos del puerto de Formosa permiten tener un conocimiento general de las obras, instalaciones y defensas de margen existentes en la época que fueron realizados. Pero en razón de la época de origen como de las escalas usadas no proveen información topobatimétrica suficiente y adecuada al presente estudio.
4. Este estudio contiene una serie de datos sobre los diferentes proyectos efectuados para el puerto de Formosa y también incluye referencias a condiciones de los suelos, características hidrológicas, comportamiento del río frente al sector bajo estudio, etc, todo lo cual permite completar un cuadro general de información.
5. El relleno de la ribera fue un proyecto realizado por la Municipalidad de Formosa para ganar ³tierras en el bajo del riacho Formosa. Como datos

interesantes de este estudio se cuenta con un relevamiento del área y algunos comentarios de funcionarios de la Dirección Nacional de Construcciones Portuarias y Vías Navegables.

- 6 y 7. Estos dos estudios permiten conocer una serie de datos de interés referidos a la hidrología del Río Paraguay. Con esta información se podrán determinar diferentes parámetros como frecuencias de alturas máximas anuales, duración de alturas de agua, crecidas máximas, caudales medios diarios, etc.
8. Se trata de un estudio fluvial que en parte se ocupa del Río Paraguay. Si bien las referencias son generales, se dan allí niveles de agua, profundidades, etc, que se agregan como datos al cuadro general de información.
9. Todos los datos se refieren al puerto de Asunción, para el cual se dan parámetros hidrológicos y mediciones de caudales, alturas de agua, etc. en diferentes años.
10. Los fotogramas dan una excelente visión de la costa y del puerto de Formosa. Las ampliaciones son de una gran claridad. Esta documentación es muy útil, pero debe ser completada con un relevamiento topobatimétrico en detalle.
11. La monografía da todos los valores y referencias de la estación hidrométrica, lo que permitirá enlazar el relevamiento topobatimétrico con ella.
- 12 y 13. En el mapa urbano y la planta con curvas de niveles queda claramente definida la zona relevada de la ciudad de Formosa. El puerto y la franja costera no se hallan incluidas en esa zona.
- 14 y 19. Toda esta documentación está referida a las inundaciones ocurridas en la Provincia de Formosa y los daños ocasionados por ellas. Las referencias directas a la franja costera del puerto de Formosa son mínimas. Pero son útiles algunos datos meteorológicos y registros de lluvias que se proveen en estos antecedentes.

2. RECONOCIMIENTO DEL LUGAR

El día 19.12.1979 se efectuó un viaje por el río con una lancha, con el objeto de poder apreciar el grado de inestabilidad de las barrancas que configuran la costa argentina en la Ciudad de Formosa.

El viaje se extendió desde la desembocadura del riacho Formosa al norte, hasta la Isla de Oro al sur.

Se efectuaron las siguientes observaciones siguiendo la costa de norte a sur.

- 1- El lecho del riacho Formosa se encuentra en un gran bajo inundable con las crecidas, que se extiende hasta el "Bajo Náutico".
En toda esa zona la costa es baja y no se observan signos de alteraciones.
El cauce principal del río se recuesta sobre el lado argentino. Un cauce secundario corre sobre el lado paraguayo, y entre ambos se ha formado un banco, cuyo extremo en forma de lengua llega hasta el embarcadero flotante.
- 2- A continuación del "Bajo Náutico" se encuentran instalaciones de O.S.N. sobre una elevación cuyas barrancas parecen estables porque no muestran modificaciones.
- 3- Entre O.S.N. y la rampa norte del embarcadero flotante hay un sector cuya longitud no llega a alcanzar 100 mts., donde sí se observan derrumbes aún cuando no de gran intensidad. Allí hay un caño de desagüe importante que avanza hacia el río y parece estar relativamente estable.
- 4- En las rampas y el frente del embarcadero flotante no se observaron daños por encima del nivel del agua. Como éste se encontraba muy alto (+6,00 mts. referido al cero), no fue posible conocer la situación en niveles inferiores.
- 5- Entre la rampa sur del embarcadero, por detrás del edificio de la Prefectura hasta el galpón "C" del puerto, sobre una longitud de aproximadamente 100 mts. (altura calle Uriburu), se observaron desmoronamientos de la

barranca que evidencian una falta de estabilidad apreciable de la barranca.

- 6- Frente al galpón "C" (altura calle Brandsen) existen tres espigones para el atraque de barcasas contruídos con pilotes y vigas de madera. Dos de ellos se encuentran en buen estado y están equipados en el frente de atraque con grúas. Allí se efectúan los movimientos de carga y descarga del puerto.

En ese sector la costa está protegida por un revestimiento de hormigón en una longitud de 100 mts. aprox. El pie de este revestimiento no pudo reconocerse porque estaba sumergido, pero aparentemente descansa sobre un tablestacado anclado de madera, de unos 3,00 metros de altura, en cuyo frente hay un pequeño pedraplén.

En términos generales la protección de costa está en buenas condiciones y no se ven señales de roturas y asentamientos.

- 7- Del galpón "C" en adelante, la costa muestra derrumbes importantes y otros fenómenos que evidencian un alto grado de inestabilidad de la barranca.

Frente al galpón "A" (entre calles Irigoyen y Fotheringham) se encuentran espigones caídos. En la costa, dos tablestacados escalonados de madera y hormigón han cedido y se vuelcan hacia adelante. El mismo galpón "A" muestra serias averías por asentamientos, por lo que está inhabilitado.

- 8- Mas allá del galpón "A", hay otros espigones derrumbados y un frente de tablestacas metálicas y construcciones de hormigón (altura calle Salta) está totalmente derrumbado. Allí la vía férrea del puerto quedó cortada. En este sector se intentó proteger un pequeño frente de costa mediante piedra arrojada al río. Pero la piedra fue desapareciendo en parte, posiblemente por hundimiento en el suelo blando y arrastre.

- 9- Luego se encuentran dos espigones para carga de cereales que ya hace muchos años están fuera de uso (altura calle Ayacucho). También se han derrumbado completamente.

- 10- A continuación están las instalaciones de la Compañía Argentina de Quebracho La Formosa (altura calle Paraguay y boulevard Uriburu).

Allí la barranca avanza hacia el río y forma una punta.

Cabe destacar que aguas abajo de esta punta ya no se observan signos de inestabilidad de la barranca, que a partir de allí va perdiendo altura. La costa está protegida mediante un cierre vertical formado por pilotes de madera (algunos reemplazados por hormigón) anclados con tensores y tablas de madera, todo ello en un estado de conservación aceptable. Sin duda la protección se mantiene y repara en casos de roturas.

En el frente hay un espigón de atraque con algunos daños.

- 11- Inmediatamente después hay un embarcadero de combustible de Y.P.F. formado por dolfinos y un espigón de atraque, que está fuera de uso y que muestra algunos daños por choques de barcasas. Las instalaciones de bombeo fueron desmontadas.
- 12- Aguas abajo la barranca se retira y da paso a un pequeño arroyo que desagua en el río. Sigue la Compañía de quebracho Dubos que cuenta con un atracadero en buen estado, si bien con algunos daños por choques de barcasas.
- 13- A partir del arroyo la barranca se hace cada vez mas baja. Después de la fábrica se encuentran unas playas para carga y descarga de pedregullo y piedra.
Luego sigue un frente protegido con tablestacas de madera en buen estado que corresponde a la planta demotadora de algodón de Bunge y Born.
- 14- A continuación hay un sector de 300 metros ocupado por areneras, y antes de llegar al Riacho de Oro hay una planta de citrus y un frigorífico. Toda esta área es de tierras bajas y costas tendidas y no se observan allí fenómenos hidrodinámicos de importancia en cuanto a la estabilidad de la costa.

CAPITULO III.3

ANALISIS DE LA INFORMACION

1. ANALISIS DE LOS ESTUDIOS DE BASE

Los capítulos precedentes y el informe del estudio geotécnico contienen los resultados de los estudios de base realizados para el presente estudio así como el relevamiento topo-batimétrico detallado, utilizado para la preparación del proyecto.

El conocimiento proporcionado por esos resultados constituye la base de una interpretación del problema de la degradación de costas en Formosa y sus posibles causas. Su descripción sigue a continuación.

1.1. LA DEGRADACION DE COSTA

El fenómeno de degradación de costa que nos ocupa, es el que está ocurriendo en el frente del puerto de Formosa.

Este fenómeno se presenta también en otros tramos del río, pero interesa el que aquí hemos limitado por las graves consecuencias que origina.

El puerto de Formosa se fue construyendo a lo largo de la margen que sigue a la cara cóncava del río, donde las profundidades naturales están muy cerca de la costa. Estas profundidades han alcanzado valores muy importantes, llegan hasta 26 metros respecto al cero local. A su vez el plano superior de las tierras al lado del río se encuentra unos 12 metros por encima del mismo cero, por lo que la barranca alcanza una altura extrema de 38 metros. En otras partes esa altura está en el orden de los 25 a 30 metros, estos son también valores importantes.

La barranca está sufriendo un proceso de degradación, que se viene observando desde hace mucho tiempo y que intentó remediarse en varias oportunidades. El fenómeno se produce por deslizamientos localizados de cuñas de suelo que caen en el lecho del río provocando el consiguiente retroceso de la barranca.

Los suelos desmoronados luego son arrastrados por el río, lo que impide la formación de un talud de equilibrio. Hay entonces una permanente socavación en el pie del talud, que si bien no parece ser la causa primera de los deslizamientos, contribuye a que el fenómeno del deslizamiento se perpetúe ya que no permite alcanzar un estado de equilibrio.

Los deslizamientos se generan por fisuras internas del suelo, que pueden observarse ocasionalmente en el coronamiento de la barranca. Estas fisuras se extienden a lo largo de planos curvos separando cuerpos de suelo del resto de la barranca. Al producirse esta separación, el cuerpo o cuña pierde la capacidad de mantenerse adherido por cohesión, y por su propio peso tiende a deslizarse originando en un primer momento a lo largo de la falla, fuerzas de fricción que se oponen al movimiento. Pero como el ángulo de fricción interna de estos suelos en Formosa es sumamente bajo, las fuerzas de fricción disponibles son bajas y la cuña termina por desmoronarse.

El análisis de todos los antecedentes nos lleva a considerar dos posibles causas de la formación de fisuras y planos de deslizamiento:

- a- Las características físicas de los suelos que forman los mantos arcillosos revelan variaciones de volumen importantes para diferentes contenidos de humedad. A mayor humedad los suelos se expanden, a menor humedad se contraen.

De tal forma al secarse los suelos se fisuran ya que no resisten las tensiones de tracción. Luego al humedecerse se vuelven a expandir, en tal caso pueden llegar a cerrar la fisura, pero ya no se produce una nueva adherencia por cohesión, el plano de rotura se mantiene como falla del suelo. Más aún, si la expansión sigue aumentando, la cuña se apoya en esa falla y crece hacia el lado libre, pudiéndose profundizar la falla. En una nueva contracción el proceso sigue avanzando hasta que finalmente se produce el desprendimiento.

Podemos admitir entonces que son los cambios de humedad los que en principio generan las fisuras.

Estos cambios de humedad se presentan normalmente en los estratos superiores de la barranca, ya sea por las variaciones de nivel de agua del río, como por acción de las lluvias, este último caso agravado por ciertas concentraciones de aguas pluviales debidas a la falta de desagües.

- b- La acción del río, que por un lado arrastra los suelos desmoronados impidiendo la formación de un talud suficientemente tendido, en el cual por razones geométricas las cuñas de deslizamiento van asumiendo formas

cuyos pesos se reducen y cuyas fuerzas de fricción aumentan hasta alcanzar el equilibrio.

Por otro lado no se descarta la posibilidad de una erosión de talud. Esto significa que además de trasladar el material desmoronado el río puede estar efectuando una remoción de las partículas del suelo en la superficie del talud, lo que contribuirá también a un retroceso de la barranca.

Al respecto observamos que los mantos arcillosos son de partículas muy finas, cuyo transporte por acción de las corrientes del río puede producirse a velocidades relativamente bajas, que sin duda se presentan en esos lugares.

Sin embargo este último fenómeno no parece ser de una gran preponderancia en la degradación de costa. Se trata a su vez de un proceso habitual en los ríos para cuya corrección se han desarrollado diversas soluciones.

1.2. INSTALACIONES EXISTENTES

La zona bajo estudio abarca la franja de costa en la que se fue desarrollando el puerto de Formosa. Actualmente solo esta siendo utilizada una primera parte, aquella donde se encuentra el Galpón "C" con dos espigones de atraque.

A continuación se encontraba el Galpón "B" que hace años tuvo que ser retirado porque habían cedido sus fundaciones. Este último problema se presenta hoy en el Galpón "C", que está clausurado y muestra a la vista importantes deformaciones por asentamientos de bases debidos a los movimientos de suelos en la barranca.

Las obras fluviales en todo el Sector son abundantes, hay espigones, embarcaderos, tablestacados de madera, tablestacados metálicos, defensas de piedra, construcciones de hormigón, etc. todo ello fuera de uso, en condiciones precarias de estabilidad o semiderrumbado.

En resumen, estamos en presencia de una gran cantidad de instalaciones cuyo retiro parece inevitable en cualquier diseño que se adopte para las futuras obras de defensa de margen.

De todas las construcciones existentes merece destacarse la defensa de talud mediante un revestimiento de hormigón cuyo pie apoya en un tablestacado, ubicado frente al Galpón "C", esto es en la zona que funciona como puerto. Con este revestimiento aparentemente se ha podido reducir el problema de la degradación, o al menos retardarlo por algunos años. De todos modos solo cubre la parte superior del talud, su protección no se extiende por debajo del coronamiento del tablestacado. La existencia de ese revestimiento y por supuesto también la de las actuales instalaciones portuarias en funcionamiento, requerirá un tratamiento diferente para las obras de defensa en este sector.

1.3. SOLUCIONES ENSAYADAS

El desmoronamiento de la barranca en Formosa se viene produciendo desde hace muchos años en Formosa. Los antecedentes disponibles revelan al menos que la Dirección Nacional de Construcciones Portuarias y Vías Navegables ya hace unos 50 años debió enfrentarse con este problema y buscarle soluciones.

En esa época el puerto tenía un movimiento de cierta importancia, por lo que las obras eran tan necesarias como justificables. Posteriormente la actividad portuaria fue declinando hasta pocos embarques mensuales de reducido volumen. Con ello paralelamente se fue perdiendo la necesidad de la protección y su justificación económica. Más aún, la mayor parte de las obras de atraque se fueron derrumbando sin que se procediera a su reparación o mantenimiento.

El problema de la degradación de costa originó en diferentes circunstancias la búsqueda de soluciones técnicas adecuadas para poner fin al mismo.

Entre ellas se destacan algunas que detallamos a continuación.

a- Tablestacados de madera

Fueron dispuestos a diferentes niveles en forma escalonada salvando diferencias de nivel alrededor de los 2,0 metros.

Actualmente se encuentran en general fuera de eje mostrando sinuosidades y en algunos casos han cedido y están parcialmente destruídos.

Estos tablestacados no se han conservado; en aquellos lugares donde se produjeron roturas, no se observan trabajos de mantenimiento, reconstrucción, etc.

Sin embargo esta solución no ha funcionado tan mal. Ello puede constatare por ejemplo en las instalaciones de la Compañía de Quebracho La Formosa, donde el frente de tablestacas es mantenido, las piezas dañadas se cambiaron por tablestacas de hormigón, etc. En ese lugar la protección de la costa todavía mantiene un grado de efectividad aceptable.

b-Tablestacados metálicos

En un sector se hincaron tablestacas metálicas, pero no se encontraron antecedentes del método constructivo empleado. Este tablestacado cedió totalmente y se volcó hacia el río. Las causas obedecen seguramente a un diseño no apropiado para este fin.

Por eso entendemos que la falla no es del tablestacado en sí, sino de la forma de su empleo.

c-Escollerado de piedra

En un tramo de la costa donde se han producido deslizamientos importantes, se dispuso un escollerado de piedra.

Esta solución no dio resultado. Desconocemos si la piedra fue asentada sobre un fajinado, pero aparentemente no se preparó adecuadamente la superficie de apoyo en el río. De esa manera, la socavación alrededor del escollerado terminó por producir el derrumbe del mismo. Además, la carga de piedra sobre el terreno, aumenta la posibilidad de deslizamientos ya que se agrega peso a la cuña sin mejorar su resistencia interna.

d-Protección de talud

Frente al Galpón "C" se hizo una protección del talud superior de la barranca, cubriendo el terreno natural con un revestimiento de hormigón cuyo pie apoya en un tablestacado de madera.

Esta solución ha dado hasta el presente resultado aceptable, solamente en sus bordes se observan algunos problemas.

Esta protección no tiene una vida útil muy larga, por ello debe ser mantenida y reparada cuando se presentan roturas.

e-Talud de equilibrio

En cierta oportunidad se intentó estabilizar un sector de la costa, mediante un retoque de la barranca hasta la obtención de un perfil que respondía teóricamente al talud de equilibrio.

Esta solución no dio resultados positivos, al poco tiempo la barranca comenzó nuevamente a degradarse.

Es de suponer que en este trabajo no se hayan tenido en cuenta debidamente los procesos de fisuración de suelos por variaciones de humedad que provocan dislocaciones superficiales y es posible que tampoco se atendieron los problemas de estabilidad de pie del talud, expuesto a la acción erosiva de las aguas del río.

En resumen podemos afirmar que las soluciones ensayadas hasta ahora no tuvieron el éxito esperado, en parte por no ser adecuadas y en parte por no haber sido mantenidas y reparadas a tiempo.

1.4. PARAMETROS DE DISEÑO

Para el diseño de las obras de protección se consideraron los parámetros siguientes:

a- Caudal

Tal como se indicó en I.4.1., se adoptó como período de retorno un tiempo de 30 años.

Para ese período y aplicando la fórmula de caudal-altura expresada en I.3.1., el caudal alcanza un valor de 7.400 m³/seg.

b- Tirante

El tirante máximo de agua también se obtiene para el mismo período de retorno. Su valor referido al cero local es de 9,00 metros. Cada variante de diseño deberá tener en cuenta esta altura de agua, aún cuando en el desarrollo en altura puedan presentarse soluciones discontinuas en cuanto a los sistemas constructivos.

c-Volúmenes de erosión y Niveles de socavación

Este parámetro no puede ser determinado por insuficiencia de datos. En su lugar se ha preferido fijar niveles de erosión, niveles hasta los cuales puede producirse socavación. Dichos niveles se expresan en profundidades respecto al terreno natural. Para estructuras frontales de paramentos verticales se adopta una profundidad de 4,0 metros, valor que se considera ampliamente suficiente para el período de retorno elegido.

d-Longitud de márgenes

La longitud de margen a proteger se ha fijado como la distancia entre el extremo aguas abajo de las instalaciones de la Prefectura Naval Argentina y el extremo aguas arriba del medio ocupado por la Compañía de Quebracho La Formosa. Esta distancia se subdivide en tres sectores:

- 1- entre la Prefectura y el Galpón "C"
- 2- el frente del Galpón "C" donde se encuentra el revestimiento de hormigón sobre el talud de la barranca.
- 3- el tramo entre el Galpón "C" y la Compañía de Quebracho La Formosa.

2. LIMITES DEL AREA AFECTADA

La degradación de la costa en la margen derecha del Río Paraguay puede ser observada sobre un tramo relativamente largo frente y en las inmediaciones de la ciudad de Formosa.

En este capítulo se determinarán dos zonas afectadas por este problema, el sector primario y el sector secundario. La subdivisión responde tanto al grado de gravedad del fenómeno como a la importancia de las consecuencias y de los daños que acarrea.

Dentro del esquema trazado se dispondrán en el sector primario las obras principales de protección y en el sector secundario obras menores si efectivamente fuesen necesarias.

2.1. CONSIDERACIONES GENERALES

Frente a Formosa el río describe una curva muy pronunciada y se recuesta sobre la costa argentina.

Como consecuencia de ello se presentan algunos fenómenos característicos como la concentración o convergencia de filetes de corriente en la mitad derecha del río y la socavación de fondo a la salida de la curva, en un lugar donde seguramente los suelos tienen características físicas por las cuales son fácilmente erosionables.

A la altura de la desembocadura del Riacho Formosa hasta la toma de agua de O.S.N. no se observan degradaciones en la costa. En ese sector la barranca se separa del Río Paraguay y sigue aproximadamente en forma paralela al Riacho Formosa. Las pendientes de la costa son muy extendidas, y esto lleva a suponer que han alcanzado un alto grado de estabilidad.

Esa larga playa termina en un canal profundo, el más profundo en la sección considerada, que a su vez está limitado por un barco sobre su lado izquierdo.

A partir de la toma de agua de OSN hasta el galpón "C" a la altura de la calle BRANDSEN, la línea de nivel cero se va acercando a la barranca y del galpón "C" en adelante la distancia entre esa línea y la barranca es reducida y se mantiene prácticamente invariable.

A mayor distancia entre la línea de nivel cero y la barranca, el talud es más extendido, la pendiente es menor y por ende la estabilidad de la playa es mayor. Por el contrario a distancias menores, la estabilidad del talud es menor, y es allí donde se observan los mayores problemas de estabilidad de costa.

El último sector, es decir el que arranca en el galpón "C" se extiende hasta las instalaciones de la Compañía Argentina de Quebracho La Formosa, donde la costa tiene una pequeña inflexión y el río vuelve a ensancharse.

Las obras de contención y el muelle de la compañía mencionada avanzan hacia el río y actúan como un estribo, como un espolón que protege la costa aguas abajo. A continuación de estas obras los fenómenos de erosión se van reduciendo, también porque la barranca va perdiendo altura. Por otra parte ya no hay obras ni instalaciones importantes que puedan resultar afectadas.

2.2. SECTOR PRIMARIO

El sector primario es aquel donde se están produciendo los más graves fenómenos de degradación de costa y donde las consecuencias son de mayor importancia.

Este sector está comprendido entre la Prefectura y la Compañía Argentina de Quebracho La Formosa.

A lo largo de este sector el fenómeno de degradación se presenta con intensidad parecida.

Aún cuando en algunos puntos los derrumbes actualmente son más marcados, podemos afirmar que todo ese tramo se comporta de manera casi uniforme.

Sin embargo las consecuencias que provoca la caída de la barranca no

alcanzan igual gravedad en el desarrollo del sector. En la primera parte (galpón "C") se encuentran las instalaciones portuarias en servicio. Luego sigue un área abandonada hace mucho tiempo (ex galpón "B") fuertemente afectada por la erosión, y a continuación se encuentra el galpón "A" fuera de uso por haber cedido sus bases y con deformaciones notables que aconsejan su demolición.

De ahí en más ya no hay instalaciones portuarias útiles. Quedan ramales ferroviarios que sirvieron antiguamente a espigones de atraque hoy derruídos, que parcialmente están descalzados, pero que en definitiva ya no tienen uso alguno. Solo debe considerarse allí la proximidad de la calle paralela a la costa hasta la altura de la calle Entre Ríos.

Las diversas consecuencias que en este sector tiene la degradación de costa, abre la posibilidad de un tratamiento diferente en cuanto a las obras a proyectar.

2.3. SECTOR SECUNDARIO

El sector secundario se extiende desde la toma de OSN hasta la Prefectura.

En este tramo la degradación de costa no reviste mayor gravedad y en principio puede considerarse que no requiere obras de protección. Tampoco se plantea la necesidad de prever obras secundarias cuyo fin sea contribuir a la protección del sector primario aguas abajo.

2.4. OTROS SECTORES NO CONSIDERADOS

Los sectores que no se considerarán en este proyecto son el que se encuentra aguas arriba de la toma de OSN y el que está aguas abajo de la Compañía La Formosa.

Aguas arriba de la toma se abre sobre la margen derecha del río un gran bajo por el cual desagua el Riacho Formosa. En esa parte no se observan fenómenos importantes de erosión ni hay obras o instalaciones que deban ser defendidos. En cierta oportunidad la Municipalidad de Formosa tuvo la intención de construir un terraplén allí bordeando el Río Paraguay

y rellenar el bajo para ganar espacio útil para la futura expansión de la ciudad.

A su vez aguas abajo de la compañía mencionada, si bien se pueden observar algunos fenómenos de degradación de costa, no existen tampoco allí obras que justifiquen la conservación de margen.

2.5. EL BANCO FRENTE AL SECTOR SECUNDARIO

En el comienzo de la curva del río se ha formado un banco que divide el cauce en dos: por la derecha o lado argentino pasa un canal profundo y angosto y por la izquierda o lado paraguayo el lecho es menos profundo pero más ancho.

En los ríos meandrosos que arrastran material de fondo es normal la formación de bancos en las caras concavas de las curvas o en los tramos entre curvas de sentidos opuestos.

La formación de los bancos obedece a variaciones en la mecánica de arrastre de las partículas, tales como disminuciones de velocidad de corriente, cambios de sentido, aparición de corrientes transversales helicoidales, tamaños de las partículas, etc. En general los bancos que se forman así no son fijos, sino que se desplazan, porque ellos mismos generan nuevos cambios en el comportamiento fluviométrico.

El banco frente a Formosa no responde a primera vista a una ubicación típica. En lugar de encontrarse sobre la cara convexa de la curva, se extiende desde el eje hacia la cara cóncava.

Las trayectorias de corriente, muestran que en el nacimiento del banco (aguas arriba) se produce una bifurcación, una divergencia de líneas de corriente, y en los cauces a ambos lados del banco hay una convergencia de dichas líneas y un aumento de la velocidad de corriente.

Sin duda las corrientes sobre el banco tienen velocidades menores que las medidas a sus costados.

La pregunta que se presenta es porque el banco se halla en un lugar donde las aguas del río debieran escurrir con mayores velocidades y porque en su nacimiento logra abrir y desviar las líneas de corriente.

Con los datos disponibles no es posible llegar a una explicación del problema. Se necesitarían cuidadosas mediciones puntuales de velocidad y dirección de corriente en el banco y alrededor del mismo durante un período suficientemente largo que abarque crecientes y bajantes y también una investigación geológica de los suelos que lo forman.

Tal vez el basamento del banco es de material mas duro que el resto del lecho, por lo que en su arranque actuaría como deflector que desvía las aguas por dos cauces. Sobre ese basamento el agua escurre entonces a menor velocidad perdiendo capacidad de arrastre para las partículas mayores (arenas), que de esa manera se acumularían sobre él.

Otra hipótesis, de no verificarse dicho basamento, podría basarse en una configuración particular de márgenes y fondo de río aguas arriba del banco, que originaría las desviaciones de los filetes de agua.

De todos modos este problema excede el marco y objetivo del presente estudio. Sin embargo la presencia del banco tiene cierta influencia sobre el comportamiento del río aguas abajo, precisamente en la zona que abarca nuestro proyecto.

A la divergencia de líneas de corriente aguas arriba del banco le corresponde una convergencia aguas abajo del mismo. Es en ese lugar donde pueden observarse las socavaciones más importantes del río. Pero la convergencia en si no es motivada por el banco sino por la curva y el estrechamiento del río. El efecto del banco aparece primordialmente en la ubicación de la zona donde se producen las socavaciones, esto es donde vuelven a converger las líneas de corriente, y eventualmente en la magnitud de dicha convergencia.

La segunda pregunta al formularse, es que ocurriría si el banco es removido por dragado y el cauce profundizado.

Como primer inconveniente ajeno a los aspectos técnicos se presenta un problema de jurisdicción, ya que el banco está mas allá de la línea más profunda del río y en consecuencia se encuentra bajo jurisdicción paraguaya.

El segundo inconveniente para responder a esta pregunta es el desconocimiento de las causas de generación del banco. Podría ser que se vuelva a reconstruir permanentemente, lo que exigiría un dragado continuo en toda aquella solución de defensa de costa que se apoye en la remoción del banco.

El tercer inconveniente es la falta de datos respecto a la estructura geológica del banco.

De cualquier manera, aún cuando se pudiera llegar a reunir toda la información básica necesaria, es imposible de ahí en más efectuar predicciones teóricas con un aceptable grado de seguridad, de cuales serían las consecuencias de una eliminación del banco. Este problema solo puede ser estudiado mediante un programa de ensayos sobre modelos físicos reducidos con fondo móvil.

Y el tiempo que insumiría un estudio de esta naturaleza, más todos los trabajos de campaña previos difícilmente puede concluirse en menos de tres años.

Por todas las razones aquí expuestas, en este proyecto el banco es considerado como característica no modificable de la morfología del fondo del cauce.

C A P I T U L O I I I . 4

E S T U D I O H I D R O D I N A M I C O

1. PROCESAMIENTO DE DATOS

La información existente y disponible sobre las características del Río Paraguay, fue recopilada y procesada para determinar las características hidrológicas y fluviométricas del río.

Los datos obtenidos comprenden los puntos que se señalan a continuación.

1.1. MORFOLOGIA DEL CAUCE

La morfología del cauce del Río Paraguay frente a Formosa constituye uno de los datos más importantes en este proyecto.

Consideramos esta información bajo dos aspectos diferentes: batimetría general del cauce y perfiles de la costa en el tramo bajo estudio.

a- Batimetría general

Comprende el río frente a la zona afectada y sus adyacencias.

Se han recopilado algunos relevamientos batimétricos del área, todos ellos efectuados por la Dirección Nacional de Construcciones Portuarias y Vías Navegables. De todos ellos resultó como mas adecuada el realizado entre junio y julio de 1978 por la escala elegida y el cuidado puesto en su ejecución.

A partir de esa información se representaron tres secciones características del cauce con el objeto de visualizar mejor las variaciones de forma, de profundidad y de ancho del río y permitir comparaciones de áreas y así establecer algunas hipótesis, aunque muy restringidas de velocidades de corrientes para caudales normales o debajo de normales.

b- Perfiles de costa

En la zona afectada por la degradación de costa, es necesario trabajar con una información mas detallada que la brindada por la batimetría general.

Por tal motivo se eligió como dato de primera aproximación un relevamiento de costa, también realizado por la Dirección Nacional de Construcciones Portuarias y Vías Navegables.

Esta información es adecuada para esta primer etapa de estudios hidrológicos y croquis preliminares, pero es insuficiente para la ejecución de un anteproyecto, razón por la cual se efectuó un relevamiento topobatemétrico de la costa.

También en este caso, tomando este relevamiento como base, se representaron 12 perfiles de costa.

1.2. DATOS HIDROLOGICOS

Los datos hidrológicos provienen de diversas fuentes. Para este estudio se eligieron los más confiables, que particularmente son aquellos obtenidos en los estudios de los ríos Paraná y Paraguay para el proyecto de la presa Yaciretá-Apipé.

También se dispuso de los datos de mediciones de alturas de aguas efectuadas entre 1911 y 1977 en el puerto de Formosa, provenientes de la Dirección de Recursos Hídricos de Formosa, con los cuales se confeccionaron diagramas de Frecuencia-Duración y Alturas de agua-Períodos de Retorno.

1.3. DATOS FLUVIOMETRICOS

En términos generales vale aquí lo expresado para la parte de datos hidrológicos.

En relación con el comportamiento de las corrientes del río frente a Formosa no se ha podido obtener más que un dato real. Es el correspondiente a las mediciones realizadas por la Dirección Nacional de Construcciones Portuarias y Vías Navegables el 5 de julio de 1978.

Para la determinación de la rugosidad del fondo del río se tuvieron en cuenta los resultados de los ensayos efectuados sobre las muestras de fondo recuperadas en diez lugares diferentes del río.

1.4. ESTUDIO GEOTECNICO

También se realizó el estudio geotécnico del área bajo estudio. Los resultados de este estudio se encuentran en otro capítulo de este tomo. Los datos del estudio geotécnico tienen una gran importancia en este proyecto, puesto que la constitución de los suelos y las características de los estratos intervienen de manera destacada en las causas de la degradación de costa.

2. HIDROLOGIA

El estudio de los antecedentes y la información hidrológica recopilada para este estudio, tiene como finalidad, la determinación de caudales y crecientes máximas en relación con la probabilidad de ocurrencia.

Esos dos parámetros se han relacionado por lo tanto con el "período de retorno" que indica la recurrencia del fenómeno a lo largo del tiempo.

Las investigaciones y los estudios efectuados para el proyecto de la presa Yaciretá-Apipé, ofrecen una serie de valores ya elaborados estadísticamente. Estos valores están referidos a diversos parámetros y a ciertos puntos del Río Paraguay.

Para nuestros efectos, fueron analizados y correlacionados para Formosa y finalmente graficados y tabulados, lo que permite una mejor visualización.

Como resultados de este estudio de caudales y crecidas se presentan entonces los gráficos números 1 a 7 y las tablas respectivas.

2.1. CAUDALES

Como se señaló anteriormente, no se han podido detectar registros de caudales del Río Paraguay frente a Formosa.

Sin embargo se pudieron obtener los resultados ya elaborados estadísticamente de dos aforos efectuados dentro de un estudio de los ríos Paraná y Paraguay para la presa Yaciretá-Apipé.

Para Formosa se establecieron las relaciones caudales máximos (en m³/seg) y período de retorno (años), que se representan en forma semilogarítmica en el Gráfico N°1 (ver también Tabla N°1).

La serie adoptada para el período de retorno se extiende hasta los 10.000 años, valor que sin duda excede los límites prácticos de este estudio. Para esa recurrencia el caudal llega a 13.000/seg.

Como veremos mas adelante en la correlación alturas de agua-caudales, los caudales máximos observados en los últimos años no sobrepasaron los valores correspondientes a un período de 50 años, al menos así resulta del análisis de los datos disponibles. Dichos caudales está referidos a crecientes muy importantes del Río Paraguay.

En este estudio la determinación de caudales y la recurrencia de los mismos tienen una significación menor, ya que no condicionan las obras a realizar ni estas los modifican. A su vez, no se dispone de mediciones de velocidades de corrientes que puedan correlacionarse con los caudales. El conocimiento de dichas velocidades para distintos caudales y las leyes de variación correspondiente, también tienen para las obras a proyectar una importancia reducida, ya que las observaciones efectuadas permiten inferir que la degradación de la costa en Formosa no responde solamente a un fenómeno de erosión hidráulica, sino que intervienen otros factores como la posible inestabilidad de algunos estratos de suelos. A este respecto cabe señalar que en general los desprendimientos y las socavaciones de la costa siempre se produjeron después de las crecientes cuando las aguas ya estaban volviendo a los niveles normales. Mas importante que el conocimiento de los caudales resulta para este proyecto la determinación de las alturas máximas de agua.

2.2. ALTURAS MAXIMAS DE AGUA

El primer análisis efectuado en este tema es la determinación de las alturas máximas anuales en relación con el período de retorno. En este caso se consideró como valor máximo una recurrencia centenaria , ampliamente suficiente para el objetivo de nuestro trabajo.

Los resultados se encuentran en el Gráfico N°2 y la Tabla N°2. Los valores de alturas están referidos al cero local de Formosa, cuya cota respecto aniveles IGM es de +46,75. En el mismo gráfico se indica el denomi-

0/0
||

nado "Nivel de emergencia local que se encuentra a 5,50 mts. sobre el cero local.

2.3. CURVAS DE DURACION Y FRECUENCIA

En la Figura 9 pueden observarse estas curvas para el Puerto de Formosa. Tanto los valores de duración como los de frecuencia son valores anuales promediados de las observaciones registradas entre 1911 y 1977, es decir durante 68 años, período este que permite asignarles un buen grado de representatividad.

Las alturas de agua están representadas en el eje de ordenadas, en tanto que las abscisas se dividieron de la siguiente manera:

- en la parte inferior se indica la cantidad de días por año en que un cierto nivel de agua es sobrepasado. Corresponde a la curva de duración.
- en la parte superior se indica la cantidad de días por año en que un cierto nivel de agua se mantiene. Corresponde a la curva de frecuencia.

Para una mejor ilustración se adoptaron diferentes escalas para las dos abscisas.

2.4. CURVA ALTURA DE AGUA - PERIODO DE RETORNO

En la Figura 10 se representa esta curva. Para su construcción se utilizó la distribución de Weibull, según la cual

$$Pr = \frac{n + 1}{m}$$

donde Pr es el período de retorno, n el número de años del registro y m la clasificación de la altura registrada según un orden de magnitud decreciente. Los puntos así obtenidos se enlazaron luego mediante una curva trazada en una representación semilogarítmica, ya que el eje de las abscisas, Período de retorno en años, está en escala logarítmica.

El análisis de esta curva da una sorprendente coincidencia con los otros análisis aquí efectuados, particularmente en los períodos de retorno menores. Las diferencias entre ambas estimaciones recién adquieren valo-

res mayores para un período de 100 años.

3. FLUVIOMETRIA

Las características fluviométricas del río comprenden en el marco de este estudio las relaciones entre caudales y alturas de río, el comportamiento de las corrientes y la rugosidad superficial del fondo del río. Cada uno de estos temas será tratado seguidamente en forma separada.

3.1. CAUDALES-ALTURAS DEL RIO

Dentro de los parámetros que muestran el comportamiento fluvial de un río, éste es uno de los más significativos.

La relación caudales-altura del río se obtiene por medio del registro sistemático de lecturas directas de escala realizadas durante muchos años (de 30 a 60 años) y mediciones de caudales a lo largo de un año o en algunas oportunidades características del río. Ninguno de estos dos trabajos fue realizado en Formosa, o al menos no han quedado datos disponibles originados en dichas tareas. Ello ha impedido la confección de diagramas de frecuencias y duración de alturas, información que se puede obtener comunmente para los puertos del Río Paraná.

Para establecer una relación entre caudales y alturas, se ha recurrido al análisis de los datos obtenidos del estudio hidrológico del Río Paraguay para la presa Yaciretá-Apipé. Esta relación se ha debido efectuar con respecto a las alturas máximas, que por otra parte son las que más interesan en este estudio.

La información disponible permitió expresar el caudal Q en función de la altura sobre cero H a través de una ecuación cuadrática, del tipo usual en estas relaciones, que se transcribe a continuación:

$$Q = 22037,9 - 5368,5 H + 233,4 H^2$$

La validez de esta expresión está limitada por los valores de $H_{\min} = 0,8$ y $H_{\max} = 10,0$

Como puede observarse, según esta ecuación el valor de H depende exclusi

vamente de Q , y esto es generalmente correcto en ríos de curso normal. Pero el Río Paraguay presenta una particularidad, por la cual esa relación no tiene porque cumplirse estrictamente. Las posibles desviaciones solo podrán determinarse por medio de un extenso programa de observaciones.

El fenómeno al que nos referimos, se debe a la influencia que el comportamiento del Río Paraná tiene sobre el curso inferior del Río Paraguay. Las crecientes del Paraná suelen repercutir sobre los niveles de agua del Paraguay, esto es, las alturas de agua en el Paraguay dependen en alguna medida del nivel de agua en Confluencia. Vemos así, que la expresión anterior, en la cual las alturas solo dependen del caudal del Río Paraguay, sufrirá modificaciones en relación con la altura de agua en Confluencia y también el caudal del Río Paraná.

Sin embargo, para este estudio, la relación caudales-altura no adquiere una importancia tal que justifique un largo proceso de observaciones y resulta aceptable el grado de ajuste al que aquí se arriba.

3.2. CORRIENTES

La única información que pudo obtenerse es la representación gráfica de una medición de corrientes efectuada por la Dirección Nacional de Construcciones Portuarias y Vías Navegables el 5 de julio de 1978. En la fecha de la medición la altura del río alcanzó 4,18 mts.

La medición de corrientes se hizo por seguimiento de flotadores lanzados al río. El método adoptado determina fundamentalmente trayectorias y velocidades instantáneas a lo largo de las mismas.

No se trata entonces de una medición de corrientes en puntos elegidos durante un cierto período de tiempo a lo largo de un perfil transversal a diferentes profundidades, para lo cual deben usarse correntómetros o correntógrafos.

En cuanto a las trayectorias, la información no aclara si son superficiales o tomadas a cierta profundidad.

Con todas estas reservas las mediciones de corrientes permiten efectuar las siguientes observaciones.

- a- las velocidades aumentan desde aguas arriba hacia aguas abajo.
- b- los filetes se van recostando sobre la costa argentina, también desde aguas arriba hacia aguas abajo.
- c- en cuanto a la distribución transversal de las velocidades hay cuatro sectores mas o menos definidos:

I- Desde aguas arriba hasta el Riacho Formosa donde las velocidades en la margen argentina son mayores que en la margen paraguaya, es decir el gabinete crece de izquierda a derecha.

II- Desde el Riacho Formosa hasta el Embarcadero donde las velocidades aumentan sobre la margen paraguaya hasta prácticamente igualar las de la margen argentina. No hay gradiente.

III- Desde el Embarcadero hasta la calle Salta donde las velocidades siguen aumentando en los filetes de la izquierda con respecto a los de la derecha produciendo una inversión de gradiente. Pero aquí debe tenerse muy en cuenta el alejamiento de dichos filetes de la margen paraguaya.

IV- Desde la calle Salta en adelante donde las velocidades de los filetes izquierdos vuelven a reducirse hasta igualarse nuevamente las velocidades en el ancho considerado.

d- sobre la margen argentina (filete extremo derecho) las velocidades varían entre 1,00 y 1,11 m/s, esto es la variación está en el orden del 10%, lo que indica una aceptable continuidad a lo largo del sector bajo estudio.

e- no hay datos de velocidades de corrientes sobre el banco de arena y tampoco aguas abajo de la semisección correspondiente a la margen paraguaya. Ello se debe sin duda a que los flotadores fueron arrastrados por las zonas de mayores velocidades.

Como no existen otras mediciones, no se puede determinar el comportamiento de las velocidades para otras alturas de agua y otros caudales.

Sin embargo y de acuerdo con observaciones generales, es posible que las máximas velocidades no sean muy superiores a las medidas en aquella oportunidad, dado que a mayores caudales y alturas hay aumentos considerables de sección, lo que impide crecimientos de velocidad.

3.3. RUGOSIDAD SUPERFICIAL DE FONDO

En un canal de superficie libre y pendiente determinada con un flujo de agua que lo atraviesa, se considera que la rugosidad de fondo está dada por la dimensión típica del elemento sobre el cual se produce una acción de empuje, mas correctamente por la altura típica de ese elemento. Tratándose de un fondo firme con partículas sueltas, esa altura típica podría ser tomada como el diámetro equivalente medio de dichas partículas.

Si el fondo es móvil la acción de la corriente produce ondulaciones, caso típico en suelos granulares finos y medianos. La rugosidad no toma entonces un valor derivado de las dimensiones de la partícula sino que depende de la longitud y altura de dichas ondulaciones.

El fondo del Río Paraguay frente a Formosa muestra características que lo ubican en este último caso. Las muestras de fondo obtenidas revelan la existencia de suelos limosos y arenosos.

Por tal razón la adopción de una rugosidad de fondo debe contemplar la formación de ondas cuyas dimensiones si bien son desconocidas por medición directa, pueden estimarse alrededor de 1 centímetro de altura y 10 centímetros de longitud.

La rugosidad de fondo estaría entonces entre esos valores, y en principio puede considerarse que se acerca más al valor menor con niveles bajos de agua, y al valor mayor con niveles altos.

T A B L A N°1

Caudales máximos

Período de retorno (años)	10	20	50	100	200	500	1000	5,000	10.000
Caudales (m3/seg.)	6.300	7.000	7.700	8.500	9.000	10.000	11.000	12.000	13.000

T A B L A N°2

Alturas máximas

Período de retorno (años)	2	5	10	20	50	100
Alturas máximas * (mts)	6,20	7,55	8,20	8,70	9,30	9,70

* referidas al cero local de Formosa a cuya cota IGM es + 46,75

T A B L A N°3

Duración de alturas mayores a 5,50 mts.

Período de retorno (años)	2	5	10	20	50	100
Duración (días)	40	130	190	240	310	360

T A B L A N°4

Duración de alturas mayores a 6,60 mts.

Período de retorno (años)	3	5	10	20	50	100
Duración (días)	18	57	100	130	170	200

T A B L A N°5

Duración de alturas mayores a 7,70 mts.

Período de retorno (años)	10	20	50	100
Duración (días)	19	45	65	77

T A B L A N°6

Frecuencia de crecidas - Período de retorno 10 años

Altura (mts)	5,50	6,00	6,50	7,00	7,50	8,00	8,50	9,00
Porcentaje anual de exceder la altura	67	55	43	31	21	12	7	5
Porcentaje anual de exceder la altura por mas de 30 días	55	42	32	20	10	5	2	-

GRAFICO N° 1
FRECUENCIA DE CAUDALES MAXIMOS ANUALES

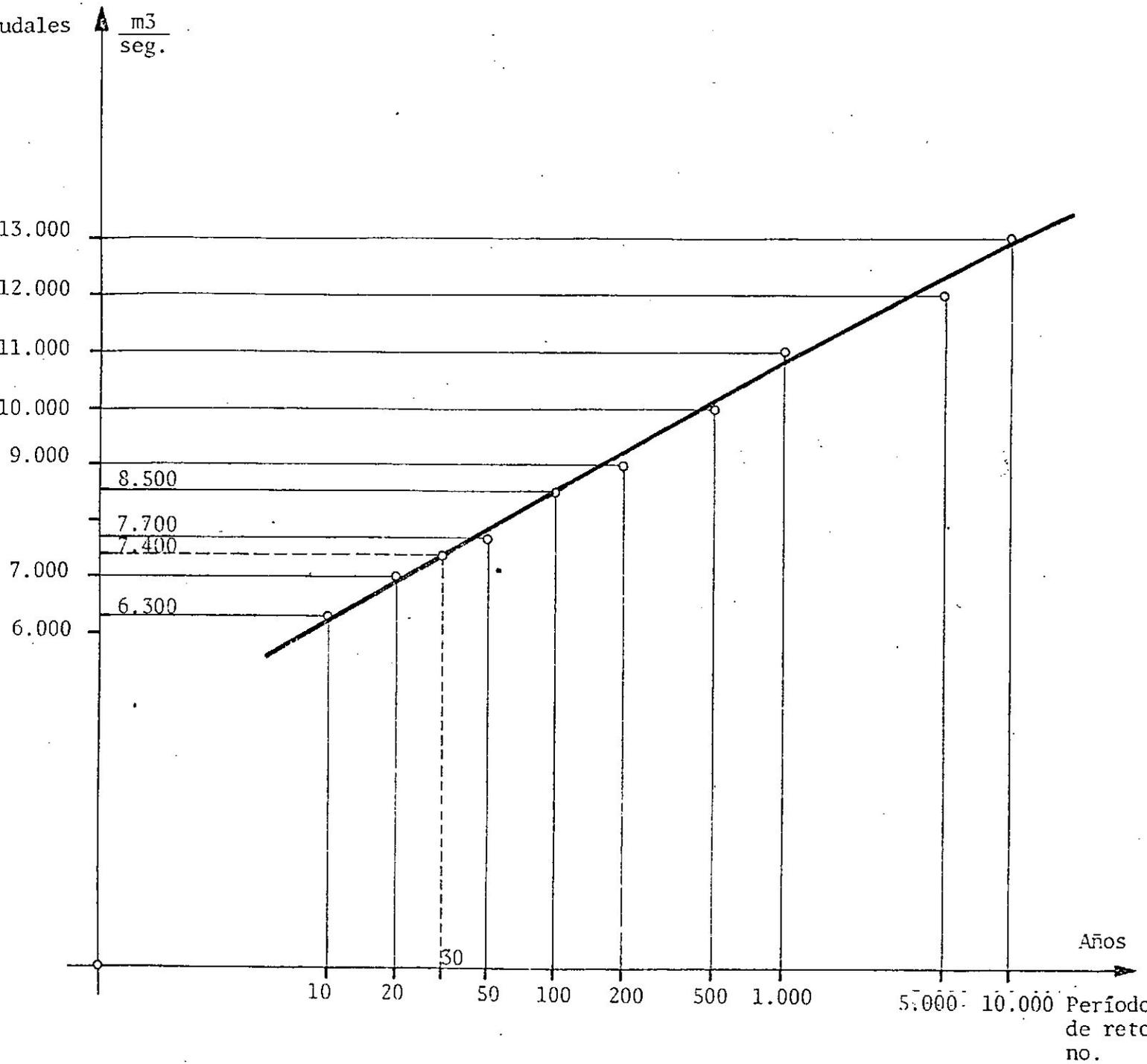


GRAFICO Nº 2

FRECUENCIA DE ALTURAS MAXIMAS ANUALES

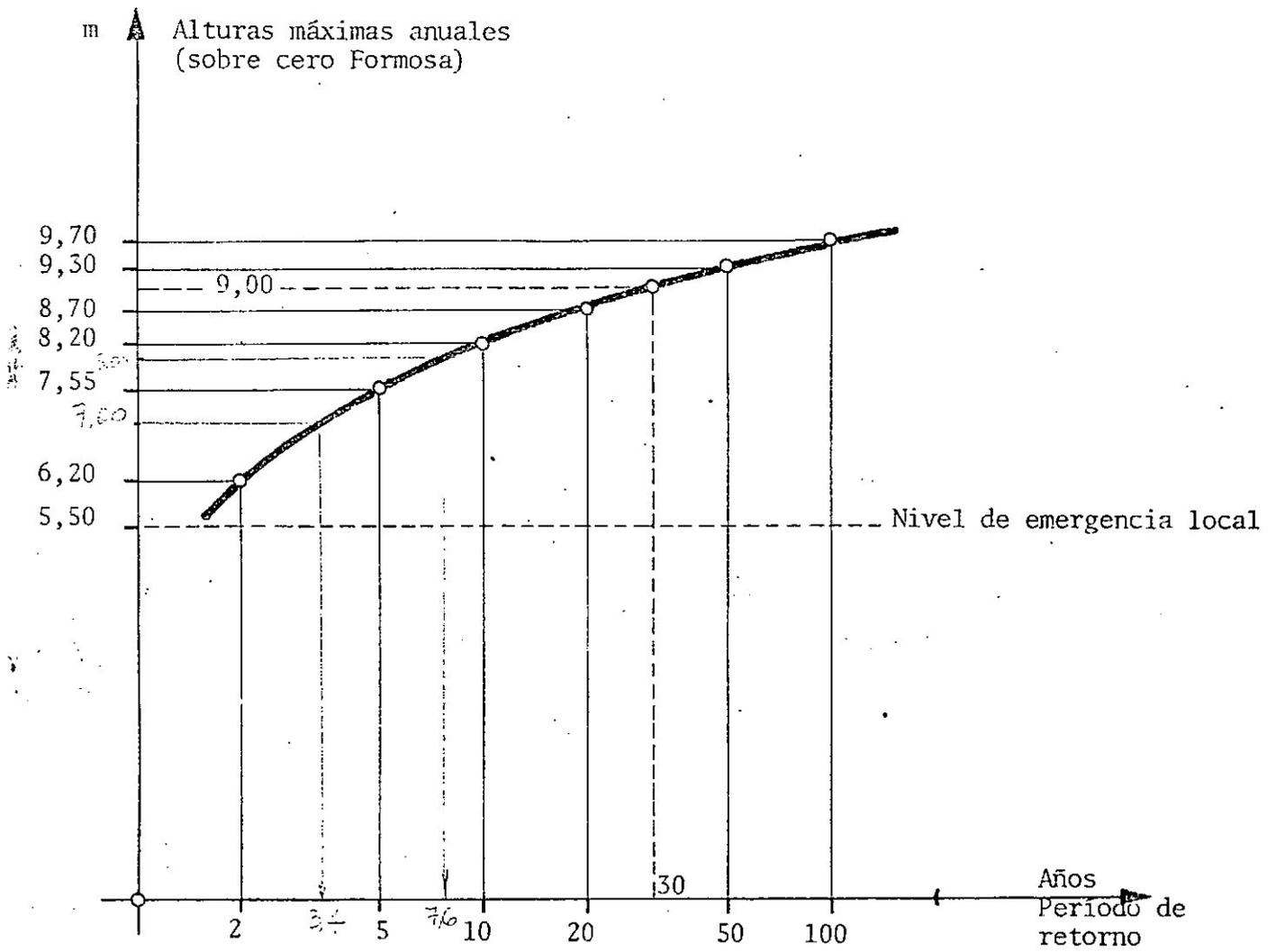


GRAFICO N°3

FRECUENCIAS ACUMULADAS DE DURACION DE ALTURAS

MAYORES A 5,50 mts

(referido cero Formosa)

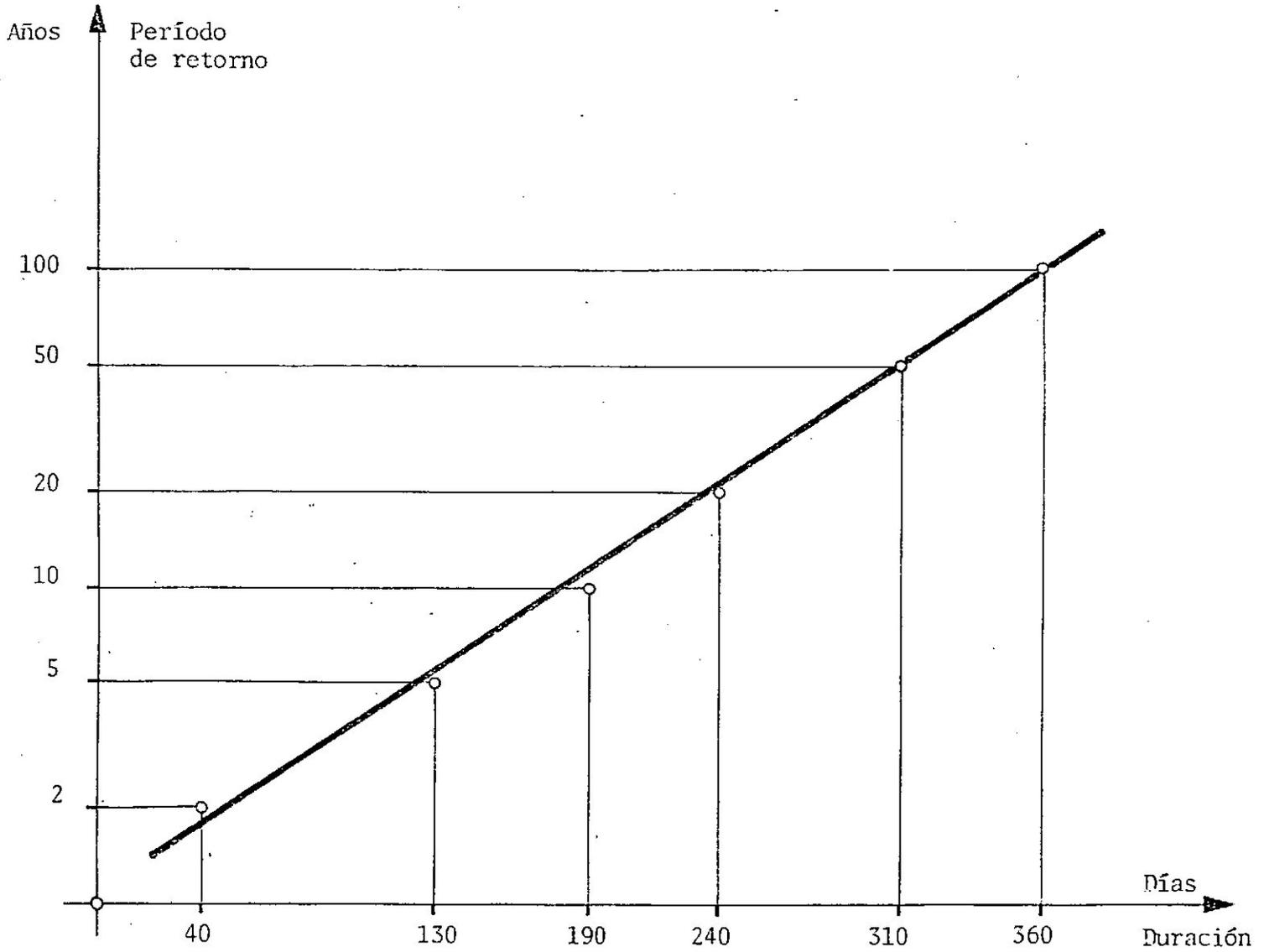


GRAFICO N°4

FRECUENCIAS ACUMULADAS DE DURACION DE ALTURAS

MAYORES A 6,60 mts.

(referido cero Formosa)

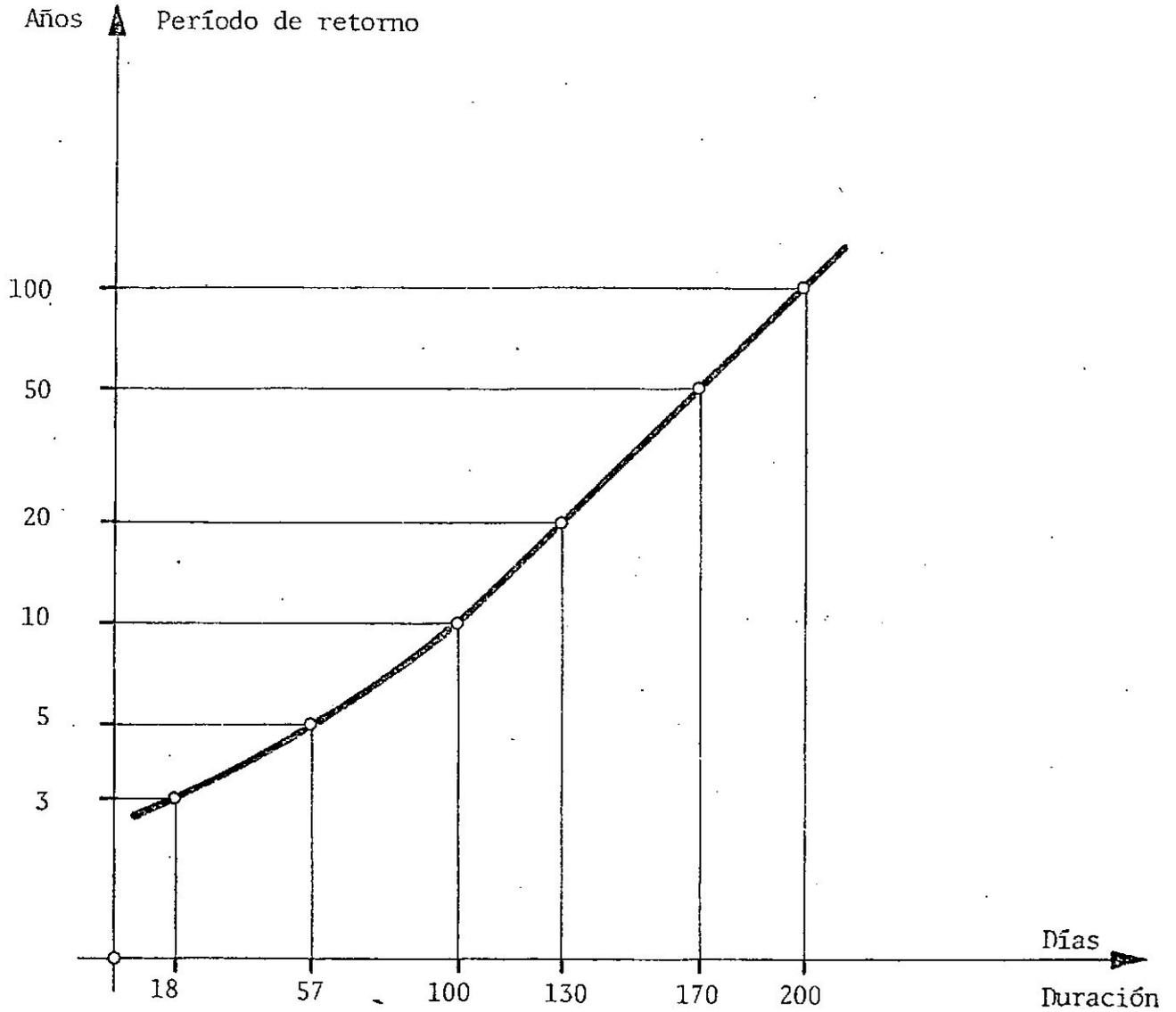


GRAFICO N°5

FRECUENCIAS ACUMULADAS DE DURACION DE ALTURAS

MAYORES A 7,70mts.

(referido cero Formosa)

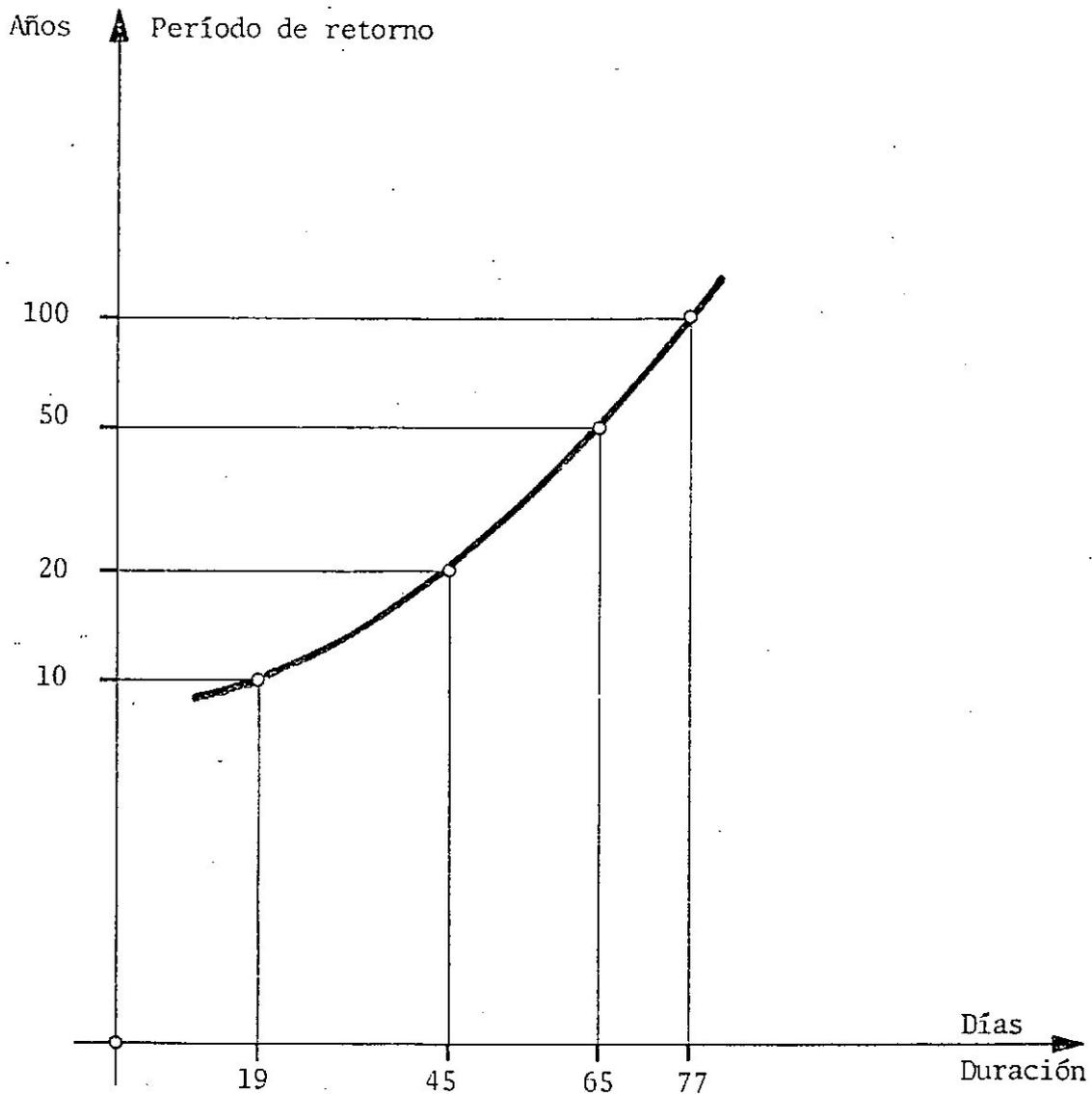


GRAFICO N°6

FRECUENCIAS DE CRECIDAS

(Período de retorno 50 años)

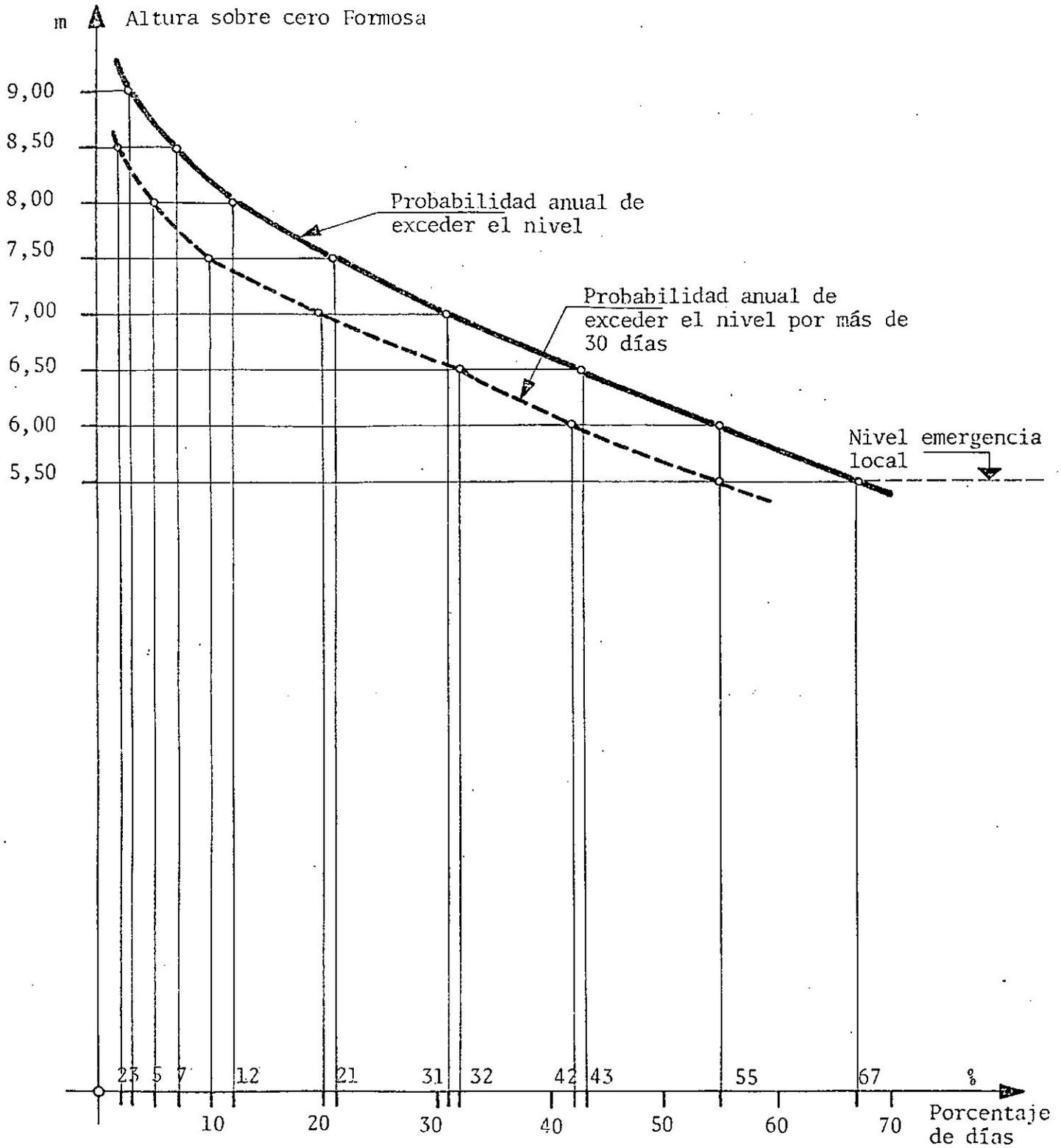
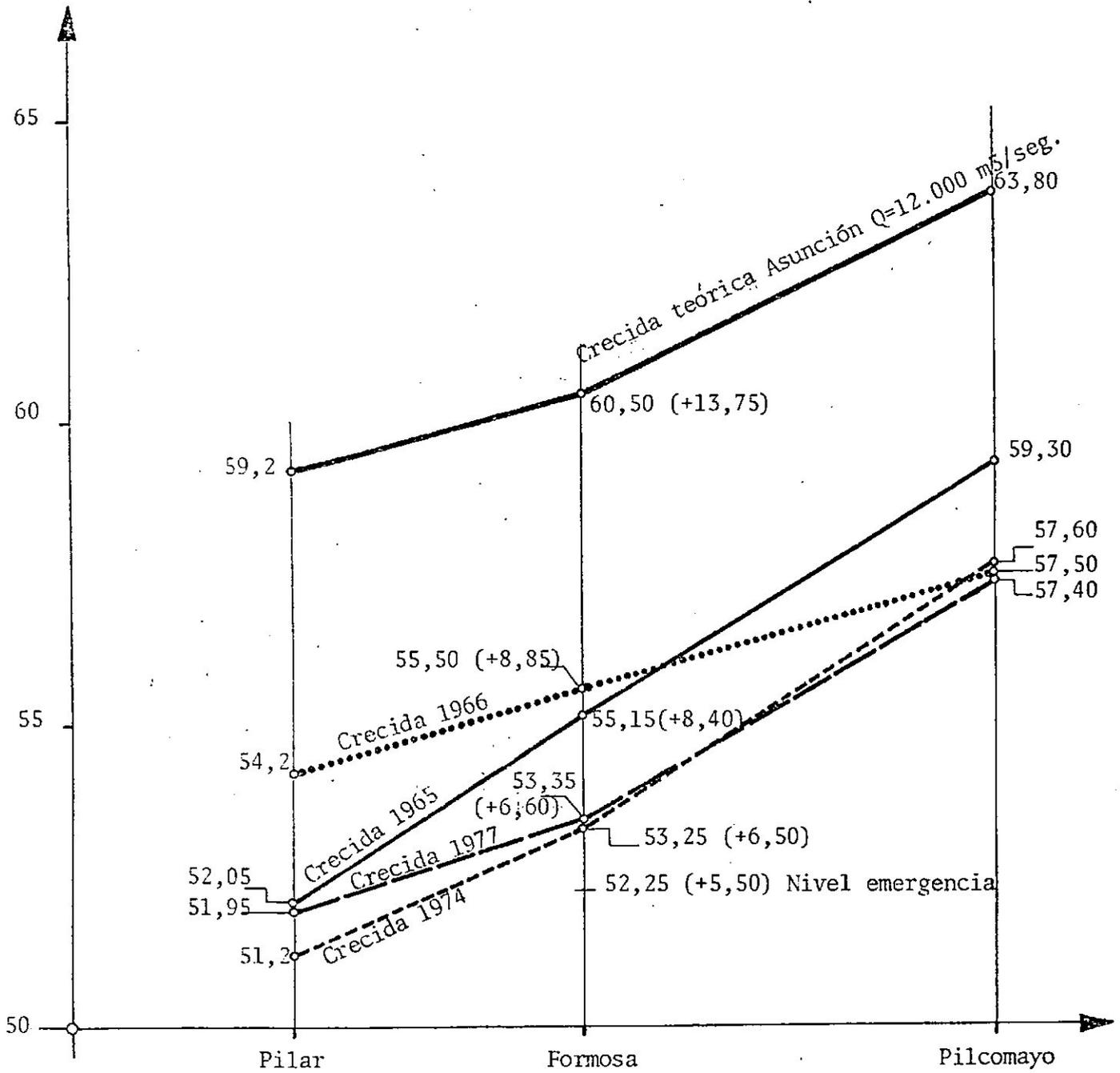


GRAFICO Nº7

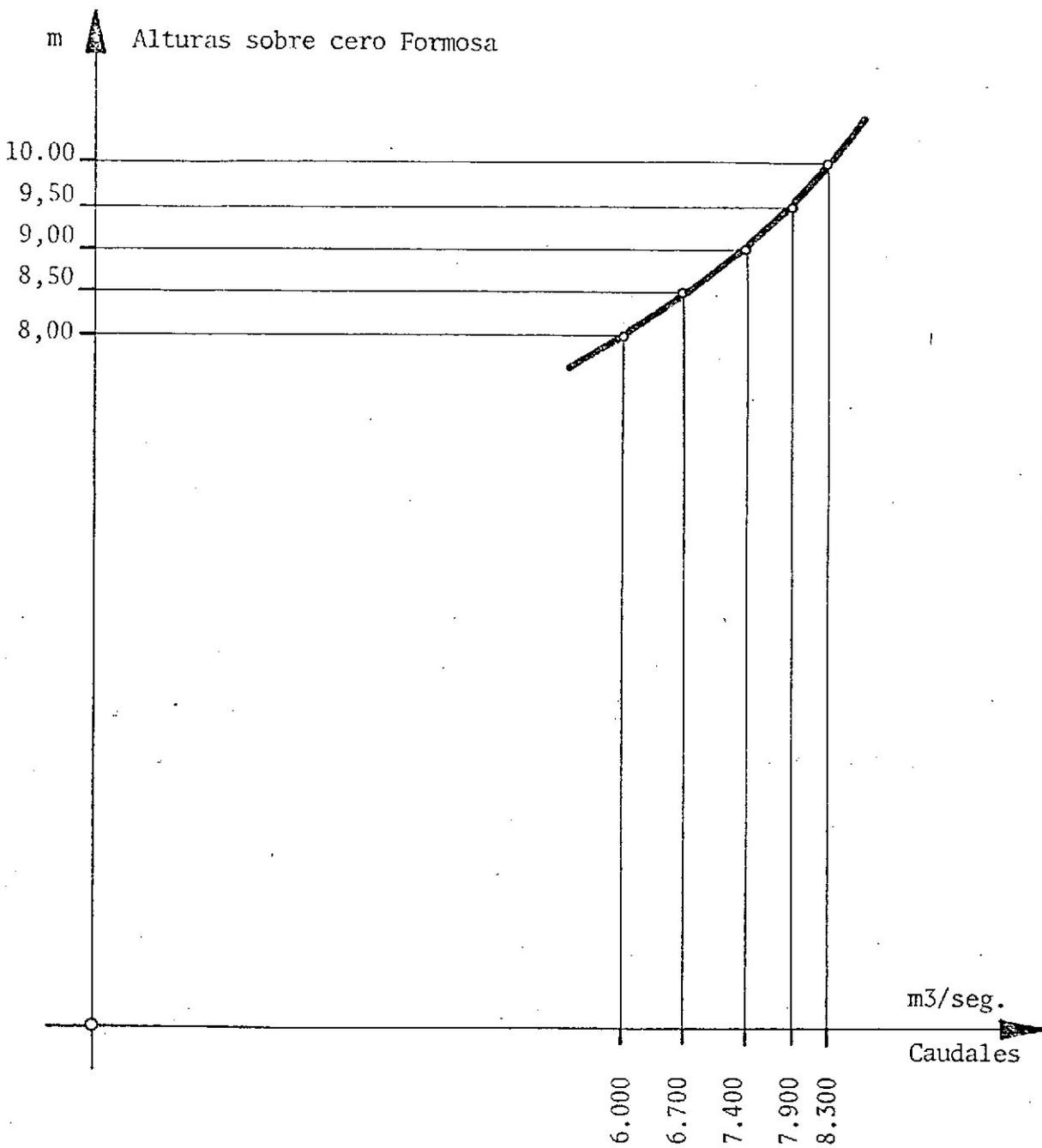
NIVELES DE CRECIDAS

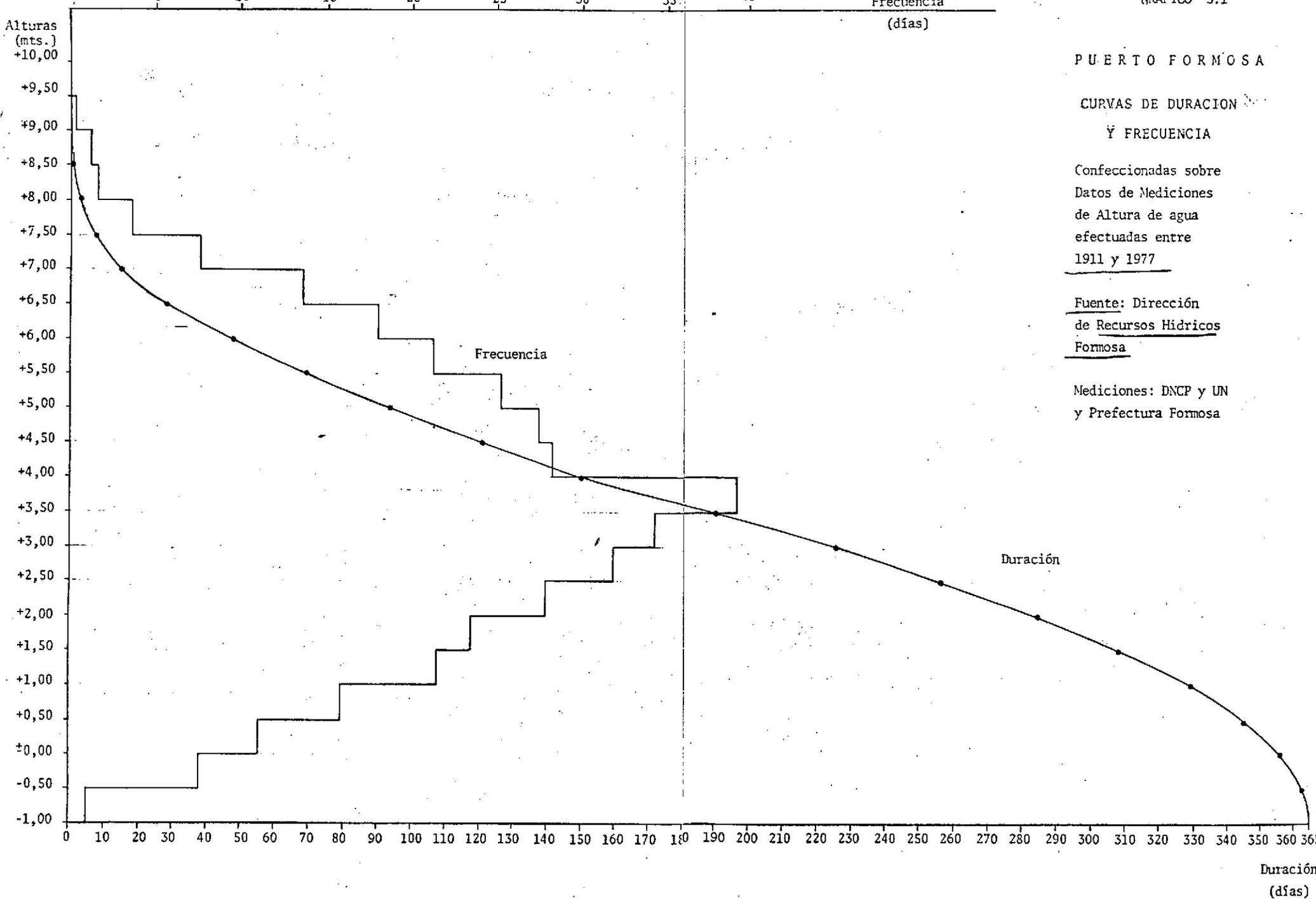
EN EL RIO PARAGUAY



Las cifras entre paréntesis son alturas sobre cero local (+46,75) en Formosa.

GRAFICO N°8
RELACION CAUDALES - ALTURA DEL RIO



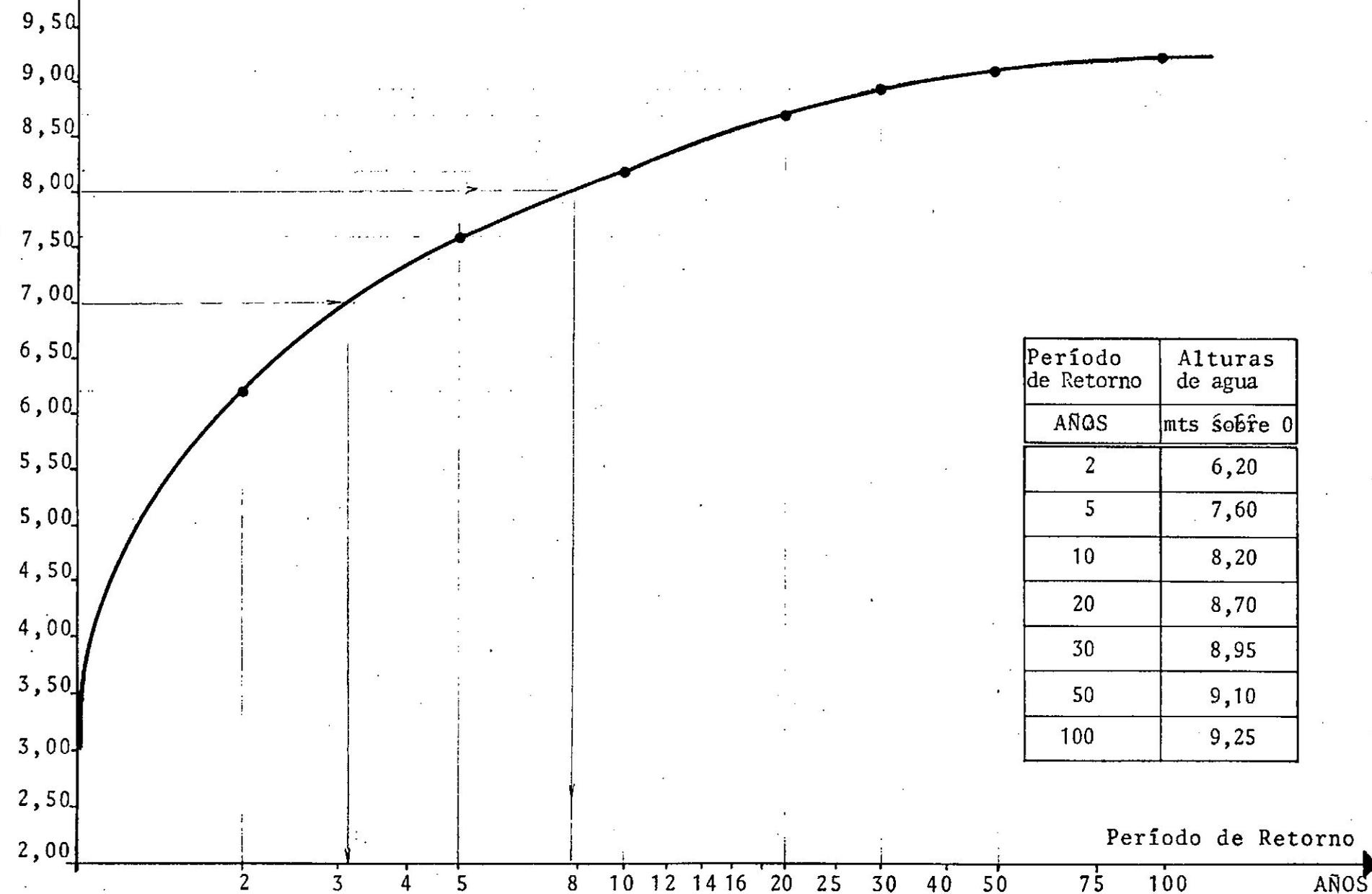


mts. Altura de agua
sobre cero

PUERTO DE FORMOSA

ALTURAS DE AGUA - PERIODO DE RETORNO

GRAFICO 3.2



NOTA: Los datos se obtuvieron de mediciones efectuadas entre 1911 y 1977.-

Fuente: Dirección de Recursos Hídricos Formosa; Mediciones de DNCP y VN y Prefectura Formosa.-

C A P I T U L O I I I . 5

. ESTUDIOS GEOTECNICOS

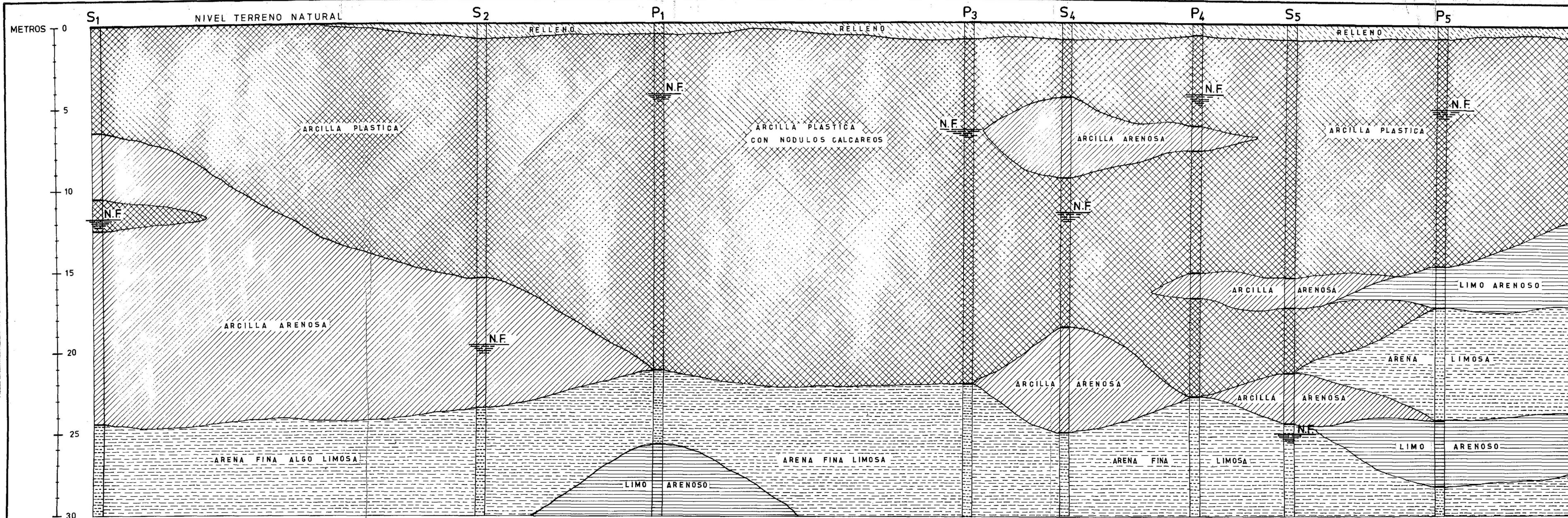
1. INTRODUCCION

Los estudios geotécnicos para el proyecto de defensa se ejecutaron en dos etapas separadas. En ambos casos se realizaron las mismas tareas. Así, en cada una de las etapas, se hicieron cinco perforaciones de aproximadamente 30 metros, en lo que se refiere a la investigación de los suelos en profundidad.

El perfil geotécnico que se agrega muestra el resultado de las dos etapas.

De las diez perforaciones se ha suprimido en la representación la S 3, puesto que es la única de todas ellas, que muestra una fuerte discontinuidad con respecto a las demás. Dejando de lado esa perforación, se observa que la configuración de los estratos de suelo obedece a una estructura de cierta regularidad. Como queda indicado en el gráfico, los suelos superiores son de escasa calidad portante, y bajo ese aspecto, a pesar de sus diferentes denominaciones por la calificación granulométrica, pueden ser considerados como una franja de características uniformes. Más abajo aparece la arena con buenas propiedades para la fundación de estructura. Ese manto es entonces el único apto para el apoyo de las obras de contención.

En cuanto a la perforación S 3, los resultados obtenidos indicarían que en ese lugar avanza en sentido normal al eje de las perforaciones, un manto de arcilla arenosa, que no se vuelve a presentar en esos niveles en el resto del perfil. Ese manto introduce una alteración importante en el perfil, en lo que se refiere a la clasificación de los suelos, aun que no modifica en absoluto la característica generalizada de los suelos superiores como poco aptos para soportar cargas.



NOTA:
 LOS SONDEOS DE LETRA "S" Y LOS DE LETRA "P" SE EFECTUARON EN LOS AÑOS 1980 Y 1981 RESPECTIVAMENTE. LA NAPA FREATICA FUE MEDIDA EN CADA UNA DE ESAS OPORTUNIDADES Y CORRESPONDE A SITUACIONES DIFERENTES.

ESCALAS
 HORIZONTAL = 1:1500
 VERTICAL = 1:125

PROVINCIA DE FORMOSA
ESTUDIO Y PROYECTO DE DEFENSA DE COSTAS
 LOCALIDAD: FORMOSA
PERFIL GEOTECNICO

2. PRIMER ESTUDIO GEOTECNICO

2.1. SONDEOS PROFUNDOS

Las especificaciones técnicas del pliego estipulaban la realización de los siguientes trabajos:

- 1) Ejecución de cinco perforaciones con obtención de muestras para una correcta determinación del subsuelo.
- 2) Ensayos de laboratorio de las muestras extraídas y registro de los resultados.
- 3) Elaboración de un informe técnico con la descripción de los trabajos realizados, interpretación de los resultados obtenidos y consideraciones técnicas.

Las exploraciones "in situ" se efectuaron en el sector indicado por la inspección, mediante cinco sondeos de reconocimiento cuya situación se encuentra indicada en el plano de ubicación que se acompaña.

La longitud de las perforaciones alcanzó 30,00 m cada una y fueron realizadas, según lo indicado, sobre la barranca en un sector portuario de la ciudad de Formosa.

Los suelos atravesados fueron perforados a percusión con un diámetro de 4 1/2" mediante un equipo de circulación de lodo bentonítico con el fin de obtener probetas con un diámetro de 35 mm.

Se ejecutaron ensayos de penetración Standard (Terzaghi) a cada metro de profundidad, según el método normalizado, tomándose muestras del terreno con cada ensayo. Dichas pruebas penetrométricas se realizaron con el fin de estimar las condiciones del terreno desde el punto de vista de su densidad relativa y valor portante determinándose en base a las mismas el esfuerzo necesario para la hincada del penetrómetro de Terzaghi mediante el empleo de un martinete de 70 kgr. de peso con una caída libre de 70 cm registrándose el número de golpes (N) necesarios para la penetración de los últimos 30 cm. sobre un total de 45 cm de longitud hincada.

Las muestras del terreno se estrajeron por medio de camisas plásticas in

sertas , en el sacamuestras Terzaghi, las que se parafinaron convenientemente con el objeto de conservar el estado de humedad natural enviándose posteriormente al laboratorio para someterlas a los análisis pertinentes para determinar las siguientes propiedades:

- a) límites de Atterberg: WI (líquido): Wp (plástico) y por diferencias el Iw (índice de plasticidad)
- b) Contenido de humedad natural (Wn)
- c) Granulometría completa
- d) Densidad húmeda y seca (γ_w , γ_d)

En las planillas adjuntas figura la descripción del terreno investigado y los ensayos de penetración así como los registros pertenecientes a los ensayos mencionados precedentemente los que están graficados de acuerdo con las normas corrientes.

Además sobre las muestras representativas de los sedimentos cohesivos se efectuó una serie de ensayos triaxiales, consolidados rápidos, escalonados en condiciones de drenaje impedido a los efectos de determinar el valor de la cohesión (c) y el ángulo de rozamiento interno (ϕ).

Estos ensayos se practicaron sobre probetas de 35 mm de diámetro sometidas a presiones de confinamiento, ejercidas mediante aire a través de una fina membrana de caucho protectora, fijadas en 1.000 - 2.000 y 3.000 kg/cm². La relación de esbeltez se mantuvo entre 2.00 y 2.30. Se empleó una velocidad de compresión de 0,5 mm/mín.

Se adjunta a la presente memoria un perfil geológico longitudinal detallando los distintos mantos sedimentarios que constituyen el subsuelo habiéndose demarcado asimismo la cota de los distintos contactos geológicos entre los diferentes mantos.

Todas las profundidades que se citan en el presente estudio están referidas al nivel natural del terreno en coincidencia con la boca de cada perforación.

2.1.1. Consideraciones geológico geotécnicas

En el sector estudiado se puede reconocer a grandes rasgos dos mantos sedi-

mentarios: uno superior constituido por sedimentos arcillosos que afloran en parte sobre la margen derecha del río Paraguay y se detectan entre prácticamente el nivel natural del terreno y las profundidades comprendidas entre 21,50 m (Sondeo S3) y 25,50 m (Sondeo S4) y otro inferior integrado por sedimentos arenosos que se profundizan hasta las cotas máximas alcanzadas por las perforaciones, 30.00 m.

Los sedimentos cohesivos que conforman el manto superior del perfil comprenden arcillas de alta plasticidad y arcillas de moderada a baja plasticidad que se distribuyen a lo largo del perfil de modo relativamente errático evidenciando características morfológicas y propiedades fisico-mecánicas de relativa homogeneidad constituyendo en conjunto una formación moderna perteneciente al cuartario.

Los suelos arcillosos de alta plasticidad identificados como pertenecientes al subgrupo denominado CH se distribuyen en general en los horizontes superiores del perfil adquiriendo espesores muy variables, según se verifica en los perfiles individuales, que oscilan entre 4,00 m y 15,00 m. Además se los determina en correspondencia de los sondeos S4 y S5 constituyendo un manto lentiforme con su mayor representatividad en el área del sondeo S4 (9,00 m de espesor) y su menor potencia en el Sondeo S5 (4,00 m de espesor), ubicadas entre las profundidades de 9,50 m a 18,50 m y 17,50 m a 21,50 m respectivamente.

Se trata de suelos cuyas propiedades físicas denotan una relativa uniformidad habiéndose determinado en los correspondientes ensayos de laboratorio contenidos de humedad natural (W_n) variables entre 17% y 34% con registros predominantes en torno del 25%.

Sus w_l arrojan guarismos de 51 a 58 con espectros de plasticidad comprendidos entre 25 y 32 y la γ_d (densidad seca) alterna entre 1,400 a 1,800 gr/cm³.

En cuanto a su consistencia, medida en base a los ensayos de penetración, varía entre moderadamente blanda en los horizontes superiores del manto y compacta a muy compacta preferentemente en los niveles más profundos. En general el incremento de la compactación relativa se verifica a medida que se avanza en profundidad.

Los sedimentos cohesivos de moderada plasticidad, identificados como CL, componen principalmente el sector medio del perfil investigado, revelando asimismo espesores variables según los distintos sondeos. Se trata de arcillas arenosas en las que esta última fracción se encuentra presente en proporciones que varían entre el 20 y 46%. En general se trata del mismo tipo de suelo descrito anteriormente cuya plasticidad decrece sensiblemente en base al contenido de la fracción arenosa que los caracteriza.

Su consistencia alterna entre compacta y muy compacta sin mantener un uniforme incremento de la misma a medida que se avanza en profundidad. Estos suelos arrojan porcentajes de W_n de 16 a 28%, su W_l se mantiene entre 28 y 40 con I_w (índice de plasticidad) de 8 a 19 y la γ_d se encuentra comprendida entre 1,540 y 1,850 gr/cm³.

De lo indicado se desprende que estos sedimentos revelan asimismo una relativa uniformidad tanto por lo que respecta a sus propiedades físicas como mecánicas.

La base del perfil investigado muestra, según lo especificado precedentemente la presencia de sedimentos arenosos que en el sector correspondiente al sondeo S3, entre las profundidades de 21,50 m y 26,50 m revelan un porcentaje de finos arcillosos que fluctúa entre el 42 y 45%. En este caso se identifican como arenas arcillosas tipo SC cuyo contenido de W_n gira en torno del 24%. Acusan además W_l de 27 a 29 con I_w de 7 a 9 y γ_d de 1,590 a 1,690 gr/cm³. Su densidad relativa varía entre moderadamente densa y densa.

Los demás suelos arenosos, identificados como pertenecientes al tipo SM, muestran contenido de la fracción fina, en este caso limosa, del orden de 16 al 23% y se particularizan por evidenciar W_n de 12 a 26% y γ_d de 1,650 a 1,880 gr/cm³. Su compacidad relativa acusa grados densos a muy densos según se desprende de los ensayos penetrometros cuyos índices oscilan entre 24 y 50 golpes.

La capa acuifera se determinó a distintas profundidades ubicándose en correspondencia de los sondeos S1, S3 y S4 entre 7,00 y 8,00 m mientras que en los sectores de los sondeos S2 y S5 se detectó a los 16,00 m encontrándose prácticamente confinada por la base de los suelos arcillosos de alta plasticidad tipo CH.

fricción interna de 5° a 6°

De acuerdo con la teoría del equilibrio plástico de los suelos todo talud o ladera vertical en suelos cohesivos que evidencian parámetros de corte dentro de los guarismos indicados permanecerían en estado de reposo hasta alcanzar una altura crítica comprendida aproximadamente entre 10,00 m y 15,00 m.

Promediando los valores obtenidos en los distintos ensayos triaxiales ejecutados sobre muestras de los suelos tipo CH correspondientes a los niveles superiores del subsuelo, se registra una cohesión medio igual a 0,550 kg/cm² y en base a la aplicación de la fórmula:

$$H_c = \frac{4c}{\gamma} N$$

donde: c = cohesión
 γ = peso unitario del suelo
 $N\theta = \text{tg}^2 \left(45 + \frac{\theta}{2} \right)$

Se obtiene una altura crítica $H_c \sim 13,00$ m

En el área estudiada los taludes no presentan siempre cortes netamente verticales sino que en algunos casos evidencian una ligera subverticalidad dado que el ángulo formado por la intersección de los planos paralelos a la superficie natural de las laderas y el horizontal que pasa por el pié del talud revela valores menores de 90° esta particularidad permite que, aunque la altura total del talud sea ligeramente superior a la cifra indicada, la estabilidad del mismo se mantenga en base a una ley de proporcionalidad que relaciona la altura, la cohesión del suelo y la pendiente del talud.

No obstante en la práctica diversos factores recurrentes, principalmente de origen meteórico, alteran este estado de equilibrio iniciando su acción en los niveles cuspidales en las porciones del suelo próximas a su frontera, es decir cerca de la superficie del talud debido a la falta de presiones normales confinantes que allí existen.

El desequilibrio se produce por un aumento de las cargas en la corona

del talud por una disminución en la resistencia del suelo al esfuerzo cortante o por razones de conformación geológica.

En general estas condiciones son las que prevalecen en el área estudiada.

Las fallas que se producen, sean por deslizamientos superficiales provocados por fuerzas naturales que tienden a hacer que las partículas y porciones del suelo próximas a la superficie superior del talud se deslicen hacia abajo por erosión ocasionada por arrastres de agua, viento, etc. en los taludes, resultan generalmente frecuentes y abarcan áreas de relativa importancia actuando en períodos de tiempo impredecibles haciendo prácticamente imposible efectuar cualquier análisis teórico.

A pesar de que los deslizamientos pueden ocurrir como consecuencia de estos diversos fenómenos las características morfológicas generales que presentan son similares.

La rotura inicial va precedida de la formación de grietas en la región superior del talud o más allá de su cresta. Estas grietas son posteriormente rellenadas por aguas preferentemente de origen pluvial que al ser incorporadas a los suelos modifican su consistencia y debilitan la resistencia del suelo al esfuerzo cortante provocando en consecuencia su deslizamiento por acción de las fuerzas gravitacionales.

Los fenómenos descritos suelen ser frecuentes en las laderas naturales pero resulta muy raro que se produzcan deslizamientos en toda la longitud del talud. Aunque estos sean uniformes, de gran longitud y altura constante los deslizamientos se producen, por lo general en zonas aisladas separadas por largos intervalos.

Como se ha indicado estos deslizamientos abarcan amplias áreas y como resultado difícil establecer por un proceso analítico la velocidad y la consideración que pueda alcanzar el fenómeno, las posibles soluciones para estabilizar los taludes escapan generalmente los límites de lo económico.

No obstante un procedimiento que permite una conveniente estabilización

2.1.2. Ensayos triaxiales

De acuerdo con lo especificado se realizó una serie de ensayos triaxiales consolidados rápidos no drenados sobre muestras provenientes de los distintos tipos de suelos cohesivos, obteniéndose los siguientes parámetros:

Sondeos	Prof. m.	Clasif.	Wn%	Wl	Wp	Iw	Cohesión kg/cm ²	Ang. rozamiento interno (θ)
S1	3,00	CH	26	55	25	30	0,700	6°
	9,00	CL	22	28	11	17	0,410	10°
	11,00	CL	25	48	23	25	0,610	11°
S2	3,00	CH	34	53	23	30	0,450	6°
	5,00	CH	34	54	22	32	0,560	5°
	20,00	CL	24	30	21	9	0,300	15°
S3	3,00	CH	24	51	24	27	0,510	5°
	9,00	CL	19	31	20	11	0,480	16°
	22,00	SC	23	27	19	8	0,280	21°
S4	2,00	CH	21	51	20	31	0,520	6°
	6,00	CL	23	37	19	18	0,600	11°
	13,00	CH	20	52	21	31	0,800	5°
S5	20,00	CL	24	30	20	10	0,450	18°
	2,00	CH	23	51	22	29	0,600	5°
	17,00	CL	26	39	24	15	0,380	18°
	20,00	CH	30	52	26	26	0,630	8°
	23,00	CL	20	30	20	10	0,400	15°

2.2. CONCLUSIONES

De acuerdo con las consideraciones expuestas anteriormente los sedimentos que integran el subsuelo de las barrancas ubicadas sobre la margen derecha del río Paraguay a la altura de la ciudad de Formosa están integrados por sedimentos arcillosos de alta y moderada plasticidad que se profundizan hasta los niveles ubicados entre 21,50 m y 24,50 metros dando paso a partir de dichas cotas a sedimentos areno arcillosos y arenosos relativamente limosos.

Los suelos que conforman el espesor correspondiente a las barrancas están constituidos principalmente por arcillas de alta plasticidad que se identificaron como pertenecientes al subgrupo denominado CH.

Como podrá observarse en los gráficos y tablas que se acompañan, los ensayos triaxiales ejecutados sobre las muestras de estos suelos arrojaron parámetros de corte comprendidos entre valoraciones mínimas de la cohesión de 0,450 kg/cm² y máximas de 0,700 kg/cm² con ángulos de

consiste en efectuar un relleno por refulado perfectamente compactado en aquellas áreas donde los deslizamientos han provocado depresiones y/o valles, cuyo espesor dependerá de la profundidad de las depresiones ya que dicho relleno deberá alcanzar los niveles superiores del talud y ejecutando posteriormente un tendido de las pendientes de tal modo que la inclinación de la misma esté comprendida dentro de una relación horizontal vertical 1,5 a 1. Luego vegetando la superficie se evitará que los procesos meteóricos (período alternado de humedecimiento y desecación) vuelvan a producir grietas y fisuras que reinicien los procesos de erosión.

Este procedimiento puede ser ejecutado siempre que la urbanización del lugar lo permita.

En caso contrario se estima como otra posible solución ejecutar las defensas contra los deslizamientos mediante la aplicación de tablestacas las que deberán profundizarse lo suficientemente como para asegurar su estabilidad alcanzando cotas que superen los niveles expuestos a posibles deslizamientos debidos a roturas por la base del talud.

Para el cálculo de los empujes ejercidos sobre las mismas podrán adaptarse los parámetros de corte de los triaxiales ejecutados y deberán tomarse asimismo las necesarias precauciones para la eliminación de las aguas del terraplén con el fin de evitar la sobrecarga que las mismas pueden ejercer sobre los paramentos de sosten.

2.3. TOMA DE MUESTRAS DEL LECHO DEL RIO PARAGUAY

Dentro del programa de investigaciones geotécnicas se procedió a extraer del lecho del río Paraguay, frente a la zona portuaria de la ciudad de Formosa, diez muestras de los suelos componentes del mismo con el fin de proceder posteriormente a su clasificación mediante los correspondientes análisis de laboratorio.

- Dichas muestras fueron recogidas en los lugares indicados en el croquis adjunto y se identificaron como muestras M1 a M10.

Las determinaciones efectuadas posteriormente en el laboratorio donde se investigaron las propiedades pertinentes a los límites de Atterberg y granulometría permitieron obtener los siguientes parámetros.

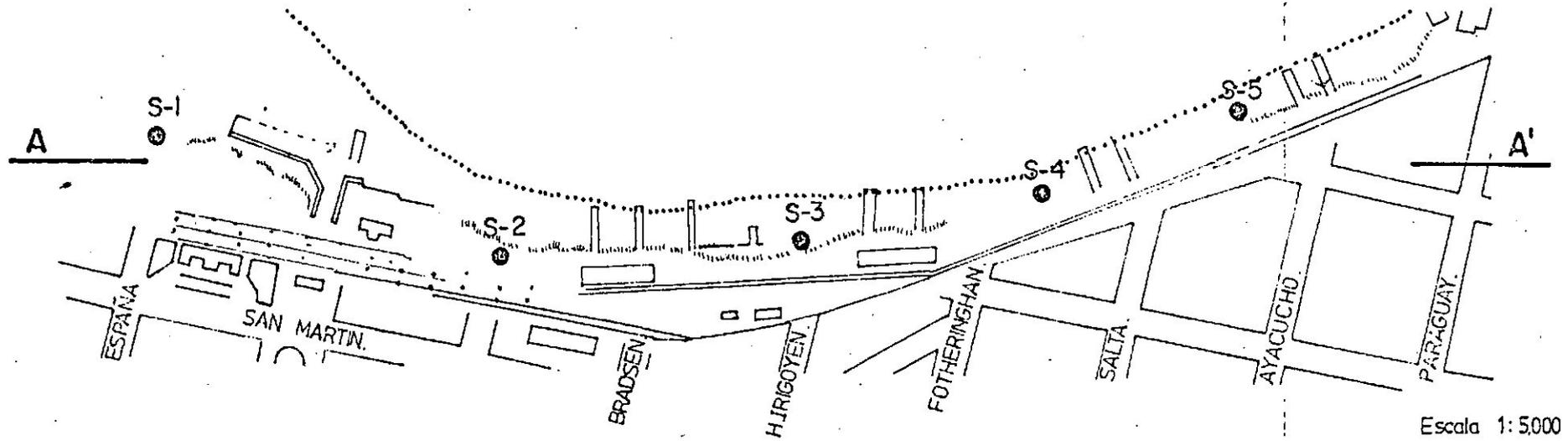
<u>MUESTRA N°</u>	<u>Wl</u>	<u>Wp</u>	<u>Iw</u>	<u>T40</u>	<u>T 100</u>	<u>T 200</u>	<u>Clasificación</u>
M1	29	12	17	97	88	78	CL
M2	19	10	9	93	84	62	CL
M3	19	15	4	84	65	52	CL
M4	20	14	6	90	67	54	CL
M5	25	10	15	98	96	81	CL
M6	26	11	15	-	98	82	CL
M7	NP	NP	NP	97	20	7	SP/SM
M8	NP	NP	NP	95	31	14	SM
M9	NP	NP	NP	94	25	8	SP/SM
M10	NP	NP	NP	95	20	6	SP/SM

De esta tabla se desprende que las muestras recogidas entre los puntos indicados por los números 1,2,3,4,5 y 6, corresponden a suelos arcillosos relativamente arenosos, con un contenido de esta fracción variable entre 18 y 48%.

Estos suelos identificados como CL presentan un bajo grado de plasticidad con espectros que alteran entre 4 y 17 según el mayor o menor contenido de la fracción arenosa.

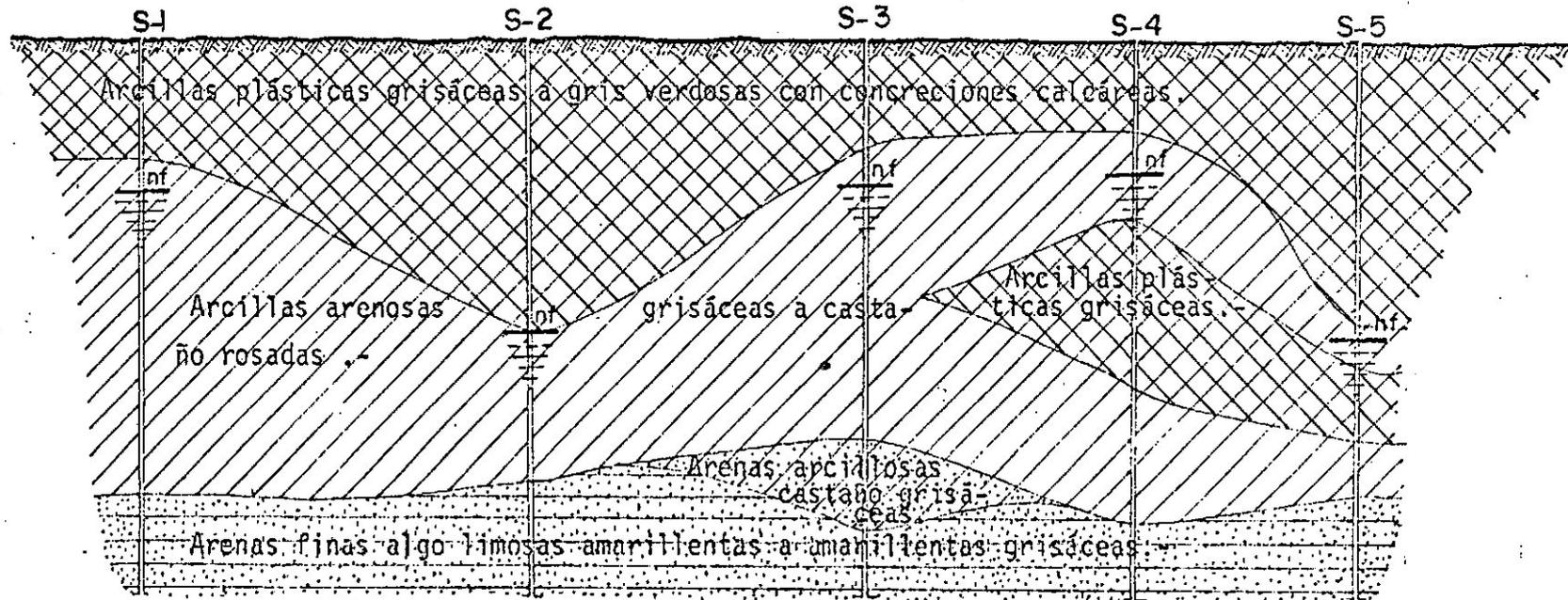
Los suelos correspondientes a las muestras M7, M8, M9 Y M10, consisten en arenas de granulometría fina poco limosas a ligeramente limosas que se agrupan en los tipos denominados SP/SM y SM. El tamiz 200 retiene entre el 86 y 94% del material investigado por lo que la fracción fina limosa está comprendida entre el 6 y 14%.

CROQUIS DE UBICACION SONDEOS DE RECONOCIMIENTO



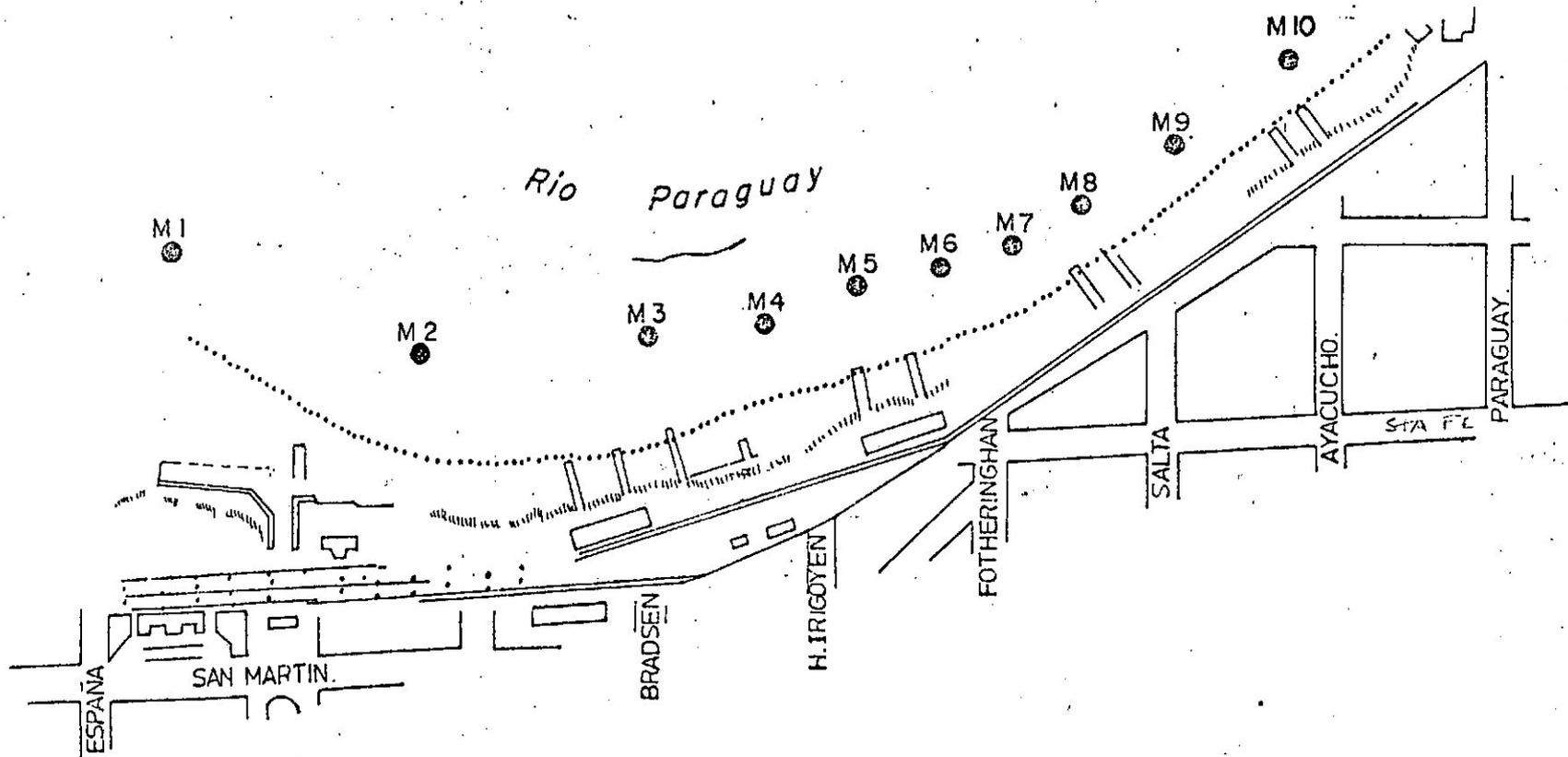
Escala 1:5000

PERFIL GEOLOGICO - GEOTECNICO

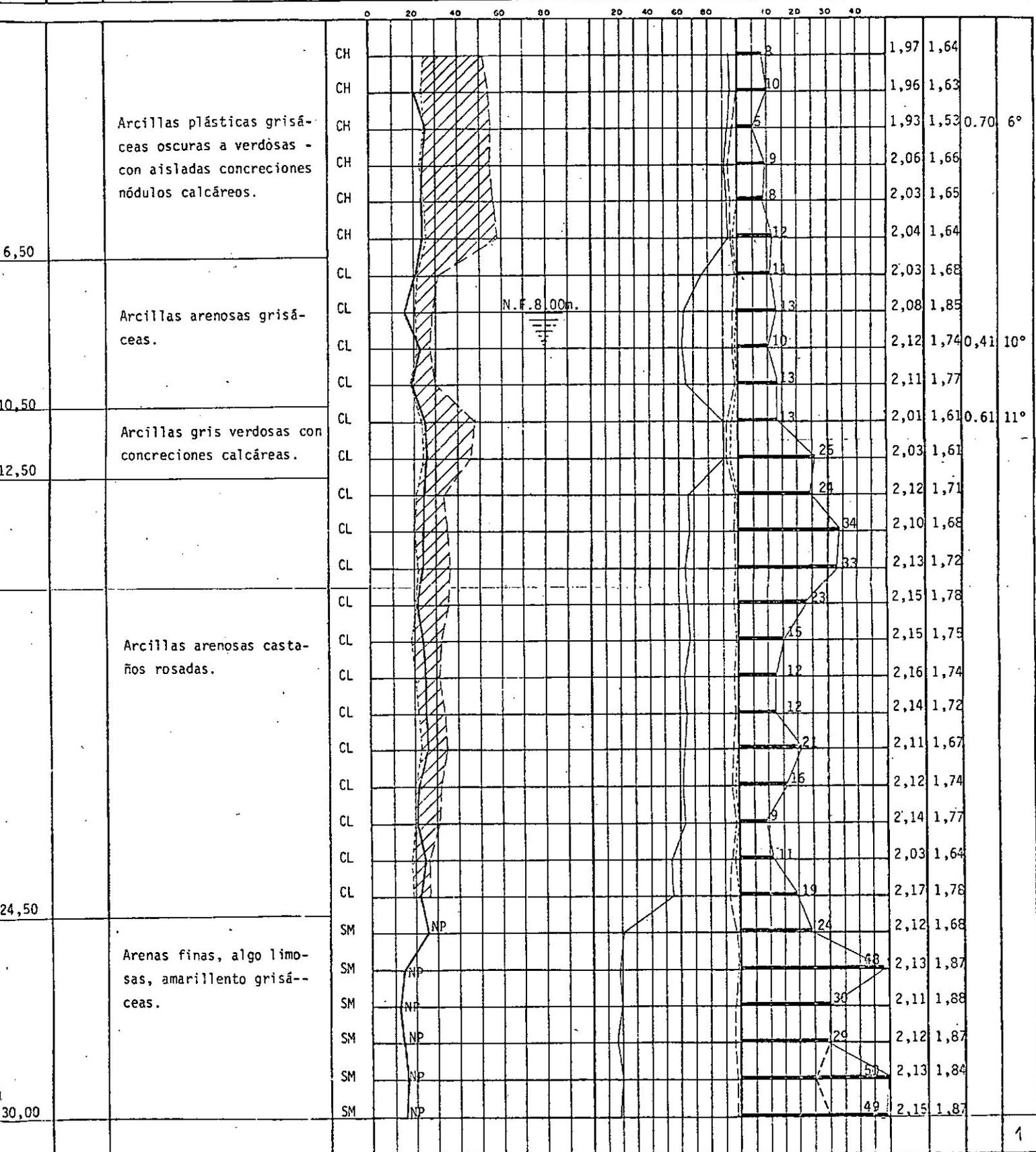


Escala.
h. 1:500
v. 1:400

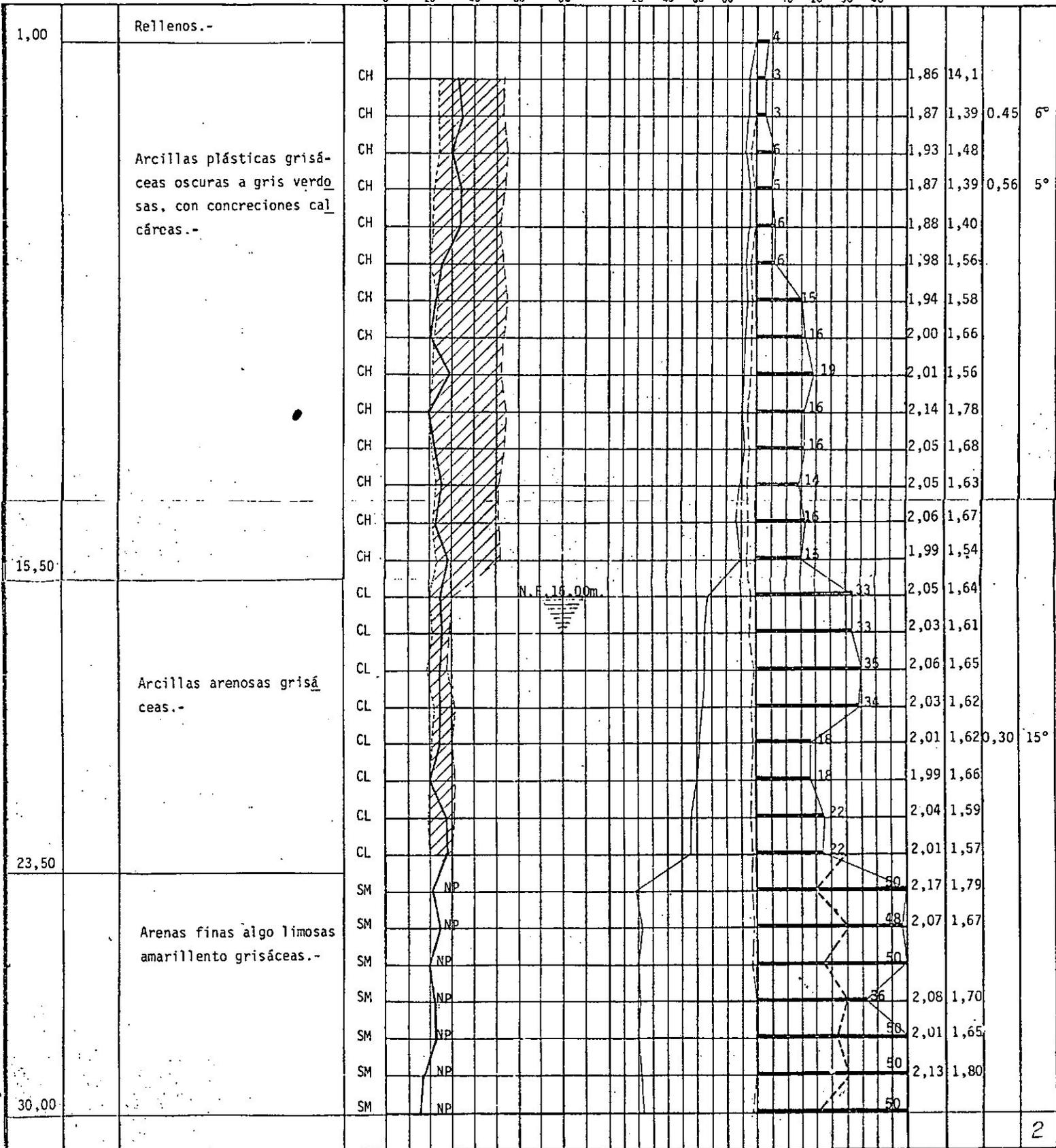
CROQUIS DE UBICACION DE LA TOMA DE MUESTRAS DEL LECHO DEL RIO PARAGUAY



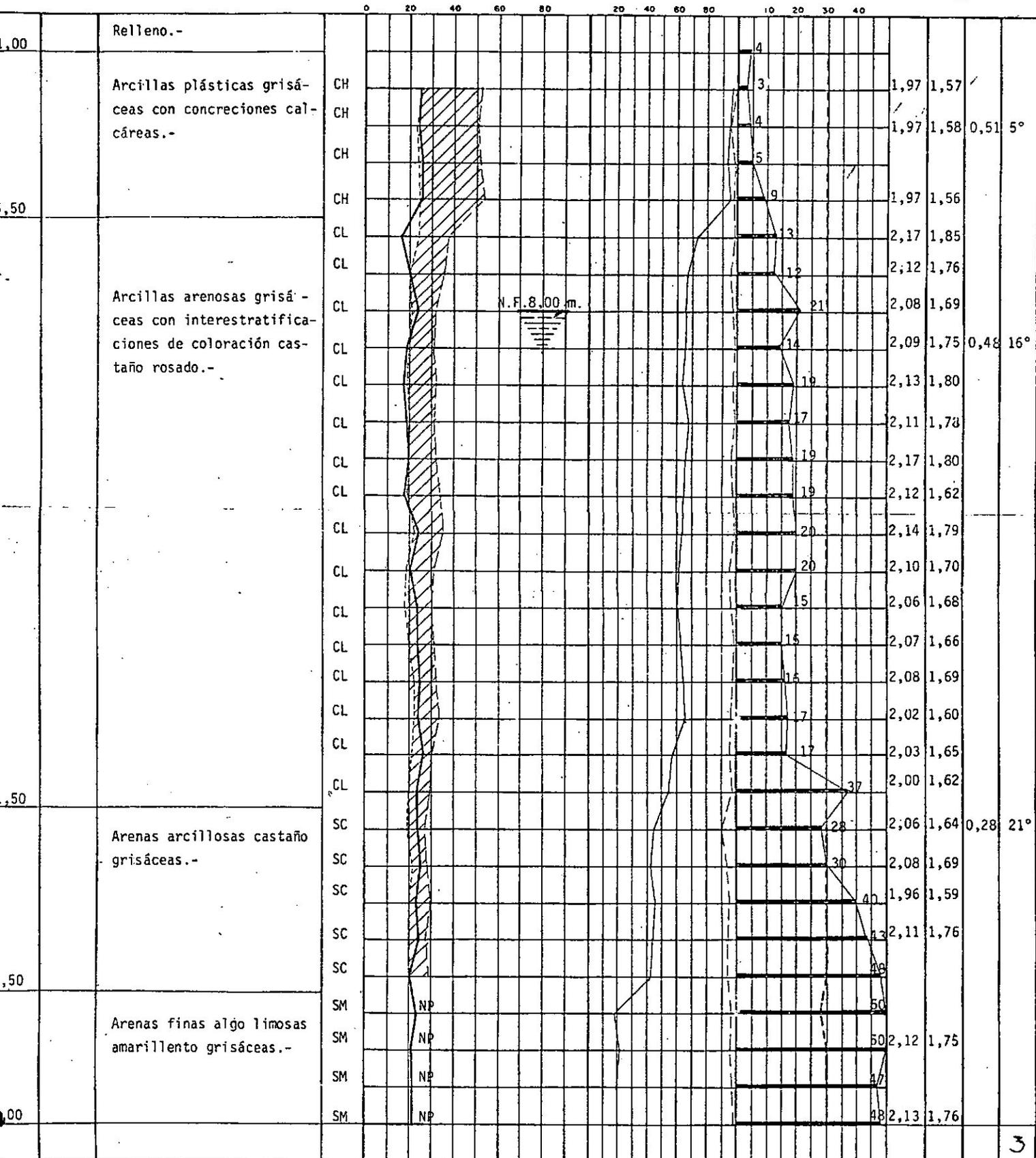
COTA	DESCRIPCION Y CLASIFICACION	HUMEDAD NATURAL	PASA TAMIZ Nº	ENSAYO PENETRACION STANDARD		γ_w	γ_d	C	ϕ
		LIMITE LIQUIDO	4	PENETRAC. TOTAL cm.					
0,00		LIMITE PLASTICO	10	Nº DE GOLPES		gr/cm ³	gr/cm ³	kg/cm ²	



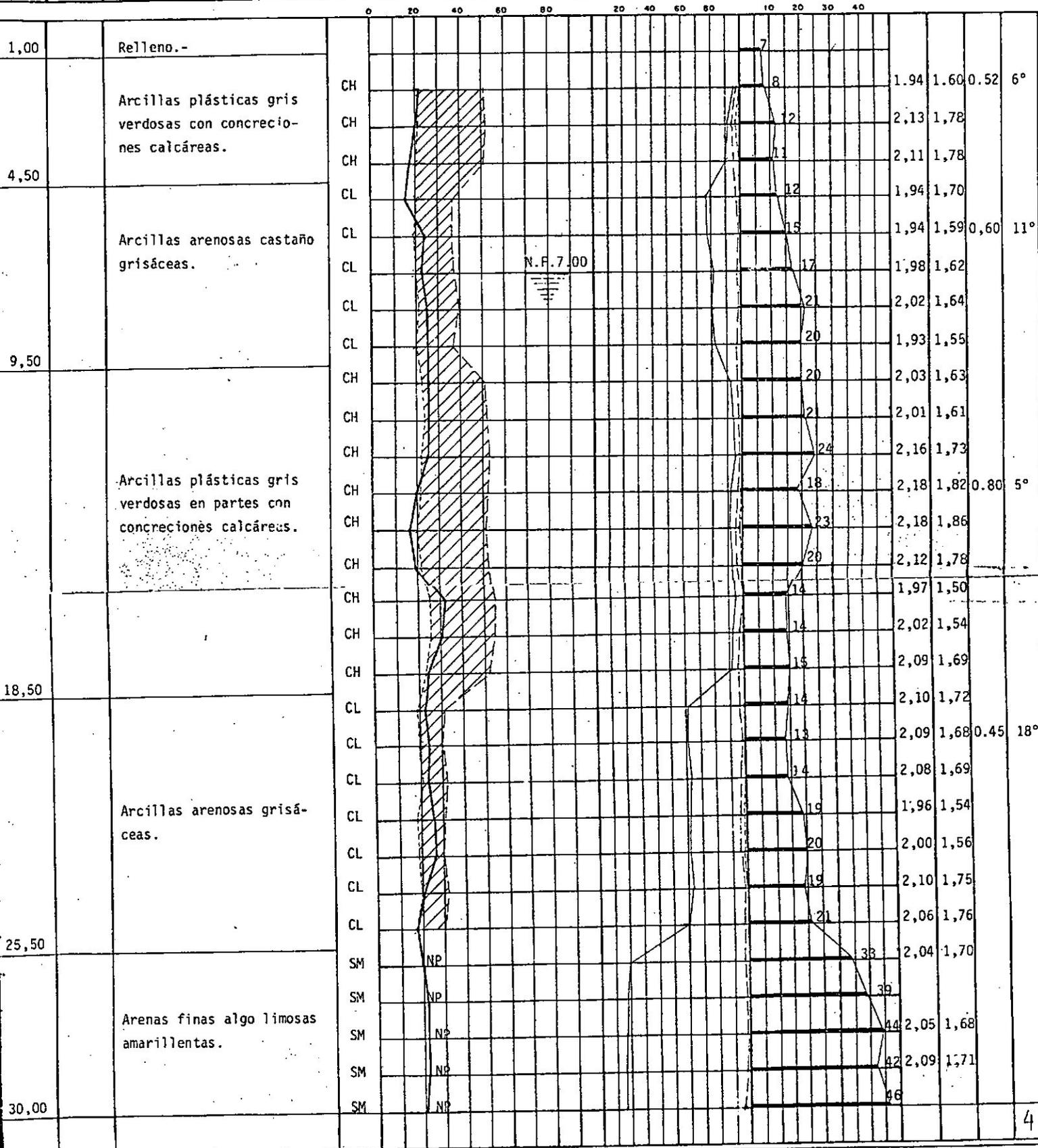
PROFUNDIDAD 0,00	COTA	DESCRIPCION Y CLASIFICACION	HUMEDAD NATURAL _____ LIMITE LIQUIDO _____ LIMITE PLASTICO _____	PASA TAMIZ Nº 4 _____ 10 _____ 40 _____ 60 _____ 100 _____ 200 _____	ENSAYO PENETRACION STANDARD PENETRAC. TOTAL cm. _____ Nº DE GOLPES _____	γ_w	γ_s	C	ϕ
						gr/cm ³	gr/cm ³	Kg/cm ²	



FUNDADA	COTA	DESCRIPCION Y CLASIFICACION	HUMEDAD NATURAL _____	PASA TAMIZ N° 4 _____	ENSAYO PENETRACION STANDARD	γ_w	γ_c	C	ϕ
0,00			LIMITE LIQUIDO _____	" " " " 10 _____	PENETRAC TOTAL cm. _____	gr/cm ³	gr/cm ³	Kg/cm ²	
			LIMITE PLASTICO _____	" " " " 40 _____	N° DE GOLPES _____				
				" " " " 60 _____					
				" " " " 100 _____					
				" " " " 200 _____					



PROFUNDIDAD	COTA	DESCRIPCION Y CLASIFICACION	HUMEDAD NATURAL	PASA TAMIZ N°	ENSAYO PENETRACION STANDARD	γ_w	γ_s	C	ϕ
			LIMITE LIQUIDO	4	STANDARD				
0,00			LIMITE PLASTICO	10	PENETRAC. TOTAL cm.				
				40	N° DE GOLPES	gr/cm ³	gr/cm ³	Kg/cm ²	
				60					
				100					
				200					



PROFUNDIDAD	COTA	DESCRIPCION Y CLASIFICACION	HUMEDAD NATURAL _____			PASA TAMIZ N°			ENSAYO PENETRACION STANDARD			γ _s	γ _d	C	φ	
			LIMITE LIQUIDO _____	_____	_____	4	10	40	60	100	200					PENETRAC. TOTAL cm. _____
0,00																
1,00		Rellenos.-														
		Arcillas plásticas grisáceas en partes con concreciones calcáreas.-	CH							4						
			CH							5		1,96	1,59	0,60	5°	
			CH							6		2,16	1,71			
			CH							7		2,02	1,59			
			CH							9		2,03	1,58			
			CH							9		2,07	1,68			
			CH							10		2,08	1,68			
			CH							9		2,11	1,76			
			CH							9		2,09	1,74			
			CH							19		2,09	1,69			
			CH							17		2,06	1,65			
			CH							15		2,08	1,65			
			CH							15		2,06	1,63			
			CH							20		2,15	1,79			
15,50			CH							18		2,13	1,60			
			CL							26		1,93	1,53			
17,50		Arcillas arenosas castaño rosadas.-	CL							28		1,98	1,57	0,38	8°	
			CH							13		1,94	1,45			
		Arcilla plástica grisácea.	CH							13		1,95	1,51			
			CH							11		1,94	1,49	0,63	8°	
21,50			CH							12		1,94	1,48			
			CL							12		2,11	1,70			
		Arcilla arenosa gris verdosa.	CL							12		2,13	1,77	0,40	15°	
24,50			CL							33		1,96	1,54			
		Arenas finas algo limosas, amarillentas grisáceas.	SM	NP						40		2,14	1,75			
			SM	NP						39		2,12	1,72			
			SM	NP						38		2,11	1,74			
			SM	NP						43		2,14	1,72			
			SM	NP						45		2,13	1,76			
30,00			SM	NP						45		2,10	1,75			

3. SEGUNDO ESTUDIO GEOTECNICO

3.1. INTRODUCCION

El segundo Estudio Geotécnico completa la información obtenida en el Estudio Geotécnico anterior. A tal fin, se ha efectuado el reconocimiento del subsuelo de la margen derecha del río Paraguay frente a la ciudad de Formosa en puntos ubicados entre y a continuación de las anteriores perforaciones.

3.2. TRABAJOS REALIZADOS EN CAMPAÑA

Las tareas realizadas en campaña (y los ensayos de laboratorio complementarios) permitieron completar el perfil geodafológico anterior, que integra el Informe Geotécnico del Consejo Federal de Inversiones de Abril de 1980.

Con el objeto de llevar a cabo dichas tareas, en los lugares indicados en el plano adjunto (sobre la barranca) se realizaron 5 (cinco) perforaciones de 4" y 30 m de profundidad cada una. Para tal fin fue utilizada una máquina rotativa marca Javelier con motor Winco de 20 HP y bomba a pistón para el sistema de inyección.

Las paredes de las perforaciones fueron mantenidas mediante la circulación de lodo bentonítico.

Se realizó además un ensayo de penetración standard (Terzaghi) cada metro según método normalizado, utilizando un martinete de 70 kg, carrera de 70 cm y sacamuestras normalizado con tubos plásticos interiores de 35 mm, para la recuperación de las muestras.

Los tubos plásticos fueron acondicionados con tapas herméticas para mantener la humedad natural de las muestras.

En cada perforación se determinó el nivel de boca del pozo referido al cero del puerto de Formosa, como así también la profundidad de la capa freática la cual fue representada en el plano adjunto.

Como dato complementario, se obtuvieron en la Prefectura local las cotas del río durante los días de campaña.

Utilizando una embarcación, se extrajeron muestras del fondo del río hincado un sacamuestras en diez puntos del lecho del mismo.

3.3. ENSAYO DE LABORATORIO

Con las muestras obtenidas de las perforaciones, se realizaron los siguientes ensayos:

- límites de Atterberg = límite plástico, límite líquido e índice de plasticidad.
- contenido de humedad natural
- granulometría completa
- densidad húmeda y seca
- Características mecánicas de los suelos sobre muestras representativas de los estratos mediante series de ensayos triaxiales consolidados rápidos, escalonados en condiciones de drenaje impedido, con determinación de los valores de cohesión "c" y ángulo de rozamiento interno " ϕ ".

Las muestras fueron clasificadas de acuerdo al Sistema Unificado. Se adjuntan las planillas donde se han volcado los resultados.

Con las muestras obtenidas del lecho del río se hicieron los ensayos de identificación (granulometría y plasticidad) y su clasificación, lo que puede verse en las planillas adjuntas.

3.4. CONSIDERACIONES GEOLOGICO-GEOTECNICAS

Con los resultados de los ensayos de campo y de laboratorio se confeccionaron los perfiles de cada perforación, indicándose la escuencia de los estratos con los valores obtenidos. Y en base a los perfiles puntuales de los sondeos 1,3,4 y 5 (sobre la barranca) se trazó un perfil geotécnico longitudinal (ver plano).

Del mismo se desprende que en los sondeos 1 al 4 hasta 21,00 a 22,50 m y 14,50 m en el sondeo 5 (referido al nivel del terreno natural de boca de sondeo) se encuentran arcillas algo arenosas de plasticidad media variando su coloración de grisáceo verdosa a marrones y castaño.

El porcentaje de arena es variable y hasta un máximo de 20%. Intercalado en la masa arcillosa se encuentran concreciones calcáreas (nódulos) dispersos.

En los primeros metros, la consistencia de la arcilla es medianamente compacta (salvo en los sondeos 4 y 5 donde aparece una capa blanda de unos 2 a 3 m de profundidad).

A mayor profundidad aumenta a compacta hasta unos 7 a 10 m y continúa muy compacta hasta llegar al estrato arenoso, el cual está formado por arenas limosas densas a muy densas de color marrón amarillento con intercalaciones de limos arenosos de igual coloración y densidades medias a muy densos.

En los perfiles de cada sondeo se ha indicado el valor N del ensayo de penetración.

En cuanto a los resultados de los ensayos de laboratorio, digamos que, en las arcillas, los valores oscilan, en promedio, entre los siguientes límites:

Contenido de humedad natural = de 16,4 a 27,2 %

Límite plástico = de 15,8 a 22,8

Límite líquido = de 31,4 a 46,2

Índice de plasticidad = de 15,6 a 24,4

Ángulo de fricción interno = de 1° a 5°

Cohesión = de 0,23 a 2,04 kg/cm²

Densidad húmeda = 2,641 g/cm³ (promedio)

Densidad seca = 1,605 g/cm³

3.5. CONCLUSIONES

Tanto del estudio geotécnico anterior como del presente se desprende que los sedimentos que integran el subsuelo de las barrancas ubicadas sobre la margen derecha del río Paraguay a la altura de la ciudad de Formosa pueden dividirse en dos grandes estratos:

Un manto arcilloso (con algo de arena) de alta y moderada plasticidad de compacidad creciente con la profundidad (con concreciones calcáreas dispersas), que se extiende hasta niveles ubicados entre los 14,50 m

y los 23 m aproximadamente, a partir de los cuales aparece:

Un manto de arenas limosas densas a muy densas, con intercalaciones de limos arenosos.

En cuanto a los parámetros de corte, ambos estudios asignan valores muy bajos al ángulo de fricción interno, el cual oscila alrededor del valor $\phi = 4^\circ$ para las arcillas. Además, arrojan valores elevados para la cohesión, cuyo promedio es aproximadamente $C = 1,1 \text{ kg/cm}^2$.

Es asimismo elevada, en general, la plasticidad, acercándose el valor máximo del índice de plasticidad a 25.

COTAS BOCA DE SONDEOS
REF. AL P.F. In(X,)Q 1972 I.G.M.

CROQUIS DE UBICACION DE SONDEOS

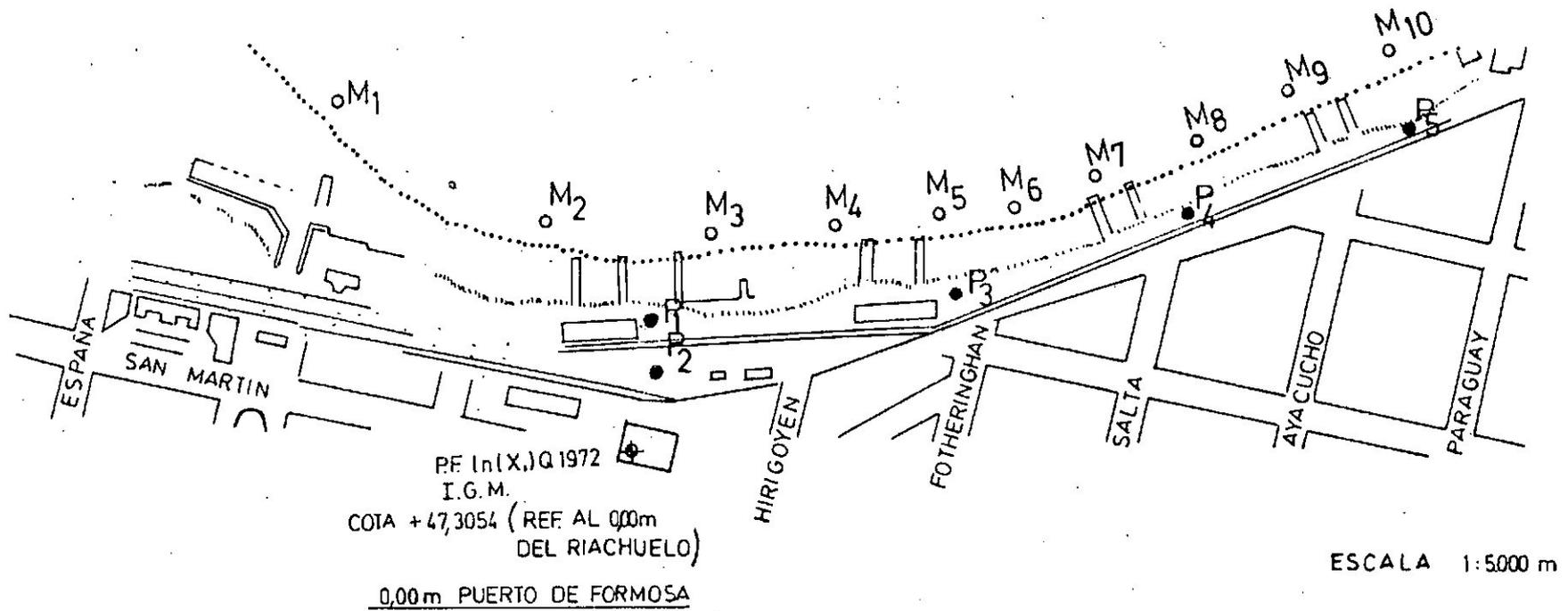
$R_1 = -0,694 \text{ m}$

$R_2 = -0,494 \text{ m}$

$R_3 = -0,639 \ \text{m}$

$R_4 = -0,06 \ \text{m}$

$R_5 = -0,063 \ \text{m}$



OBRA : DEFENSA DE COSTAS
 COMITENTE : C.F.I.
 UBICACION : PUERTO DE FORMOSA

COTA TERRENO NATURAL: +11.688m. *
 COTA NAPA FREATICA :-4.954m.
 SONDEO TIPO : ROTATIVA

SONDEO N°. P₁
 FECHA : AGOSTO/81

ENSAYO NORMAL
 DE PENETRACION
 GOLPES/PIE

Límite Líquido : _____
 Límite Plástico : - - - - -
 Humedad natural : + + + + +
 %

Paso tamiz 3/4" : + + + + +
 Paso tamiz 4 : - - - - -
 Paso tamiz 40 : - - - - -
 Paso tamiz 200 : _____
 %

MUESTRA
 Sonda
 Tubo
 Shelby

PESOS
 ESPECIF.
 G G_s
 - 97/cm³

CLASIFIC.
 UNIFICADA

SÍMBOLO

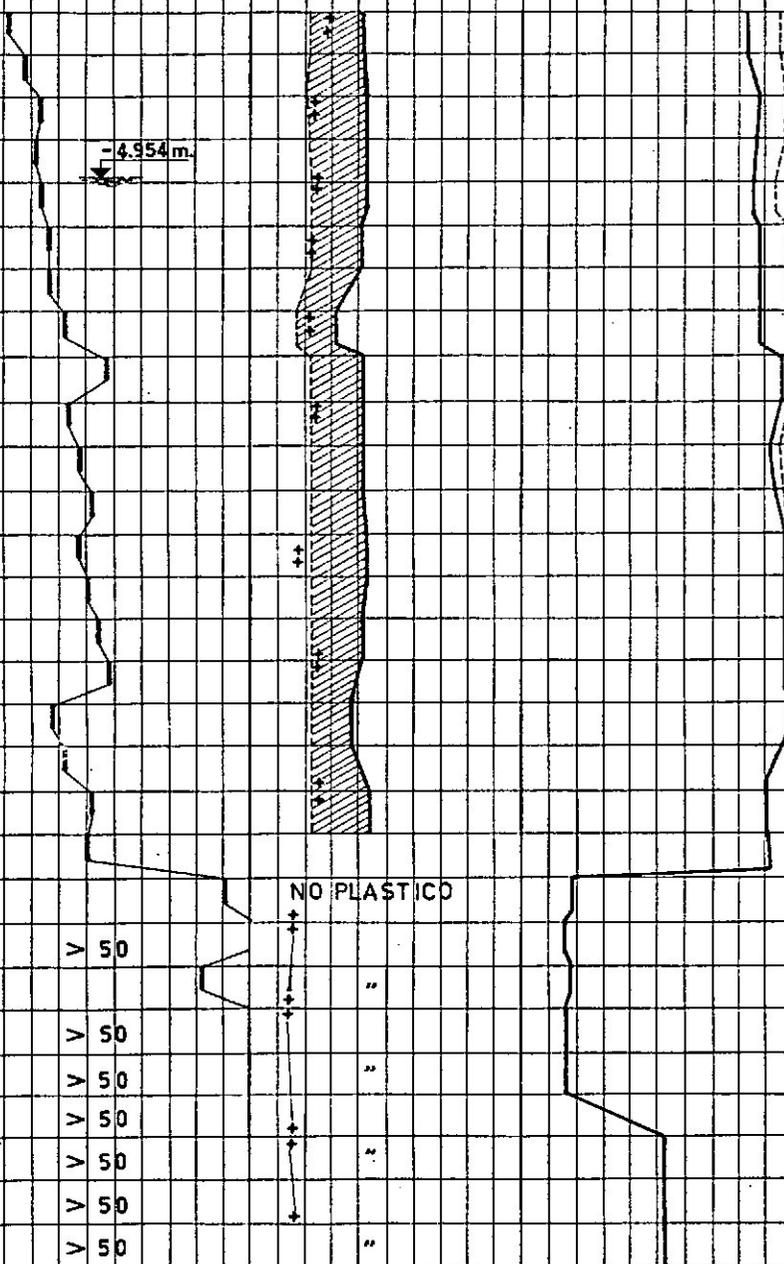
TRIAxIAL Q
 E_r Q_u C_u
 % ° Kg/cm²

DESCRIPCION

10 20 30 40

20 40 60 80

20 40 60 80



2703	CL	3	0,21	RELLENO 0.60m.
2574,1577		3	1,08	ARCILLA MARRON GRISACEA MED. COMPACTA C/CONCRECIONES CALCAREAS.
2695,1670	CL	2	0,83	COMPACTA
2681,1761		6	0,76	
2635,1733		5	0,90	
2645,1719	CL	6	2,4	MUY COMPACTA
2628,1481				
2638,1596	CL	9	0,48	
2665	CL	3	1,2	ARCILLA MARRON GRISACEA OSCURA
2676,1559	CL	2	0,56	COMPACTA A
2666,1598	CL			MUY COMPACTA. 21 m.
	SM			ARENA LIMOSA AMARILLENTO MUY DENSA. 26 m.
	ML SM			LIMO ARENOSO AMARILLENTO MUY DENSO.

*COTA REFERIDA
 AL 0.00m. DEL
 PUERTO DE
 FORMOSA.-

OBRA : DEFENSA DE COSTAS
 COMITENTE : C. F. I.
 UBICACION : PUERTO DE FORMOSA

COTA TERRENO NATURAL +11,888 m. *
 COTA NAPA FREATICA -2,554 m.
 SONDEO TIPO : ROTATIVA

SONDEO N°. P₂
 FECHA : AGOSTO/81

ENSAYO NORMAL DE PENETRACION GOLPES/PIE	Límite Líquido : Límite Plástico : Humedad natural : %	Pasa tamiz 3/4" : Pasa tamiz 4 : Pasa tamiz 40 : Pasa tamiz 200 : %	MUESTRA Sondo Tubo Shelby	PESOS ESPECIF.		CLASIFIC. UNIFICADA	SIMBOLO	TRIAxIAL Q			DESCRIPCION
				G	γ_d			E _r	σ_u	C _u	
10 20 30 40	20 40 60 80	20 40 60 80		-	g/cm ³			%	kg/cm ²		
											RELLENO Y ARCILLA 1.00 m.
						CL			0,64		ARCILLA GRIS VERDOSA CON CONCRECIONES
						CL		3	0,25		CALCAREAS COMPACTA
						CL		2	0,78		MUY COMPACTA
						CL		2	0,92		ARCILLA CASTAÑO CON CONCRECIONES
						CL		3	1,76		CALCAREAS MUY COMPACTA
						CL		4	2,32		COMPACTA
						CL		0	1,40		ARCILLA CASTAÑO CON CONCRECIONES
						CL		2	1,25		CALCAREAS MUY COMPACTA
						CL		0	1,40		COMPACTO
						CL		0	1,0		MUY COMPACTO 21m.
						SM		40	-		ARENA LIMOSA MARRON AMARILLENTO
						ML		42	-		MUY DENSA
						SM		45	-		

NO PLASTICO

++

"

"

"

++

"

"

"

V 50

V 50

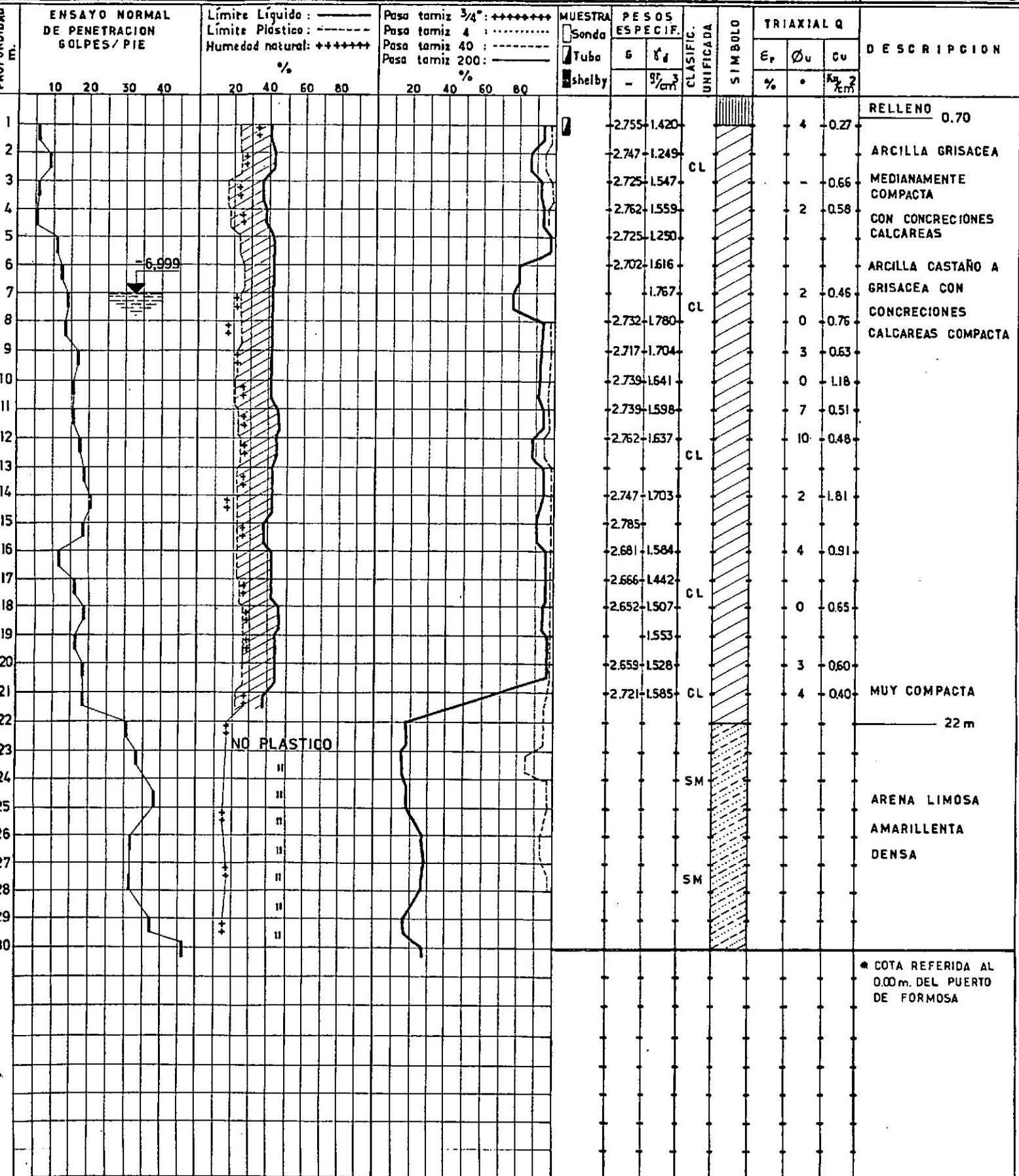
V 50

* COTA REFERIDA AL 0.00 m. DEL PUERTO DE FORMOSA.

OBRA : DEFENSA DE COSTAS
 COMITENTE : C.F.I.
 UBICACION : PUERTO DE FORMOSA

COTA TERRENO NATURAL: 11.743m*
 COTA NAPA FREATICA : -6.999m
 SONDEO TIPO : ROTATIVA

SONDEO N°, P3
 FECHA : AGOSTO 81

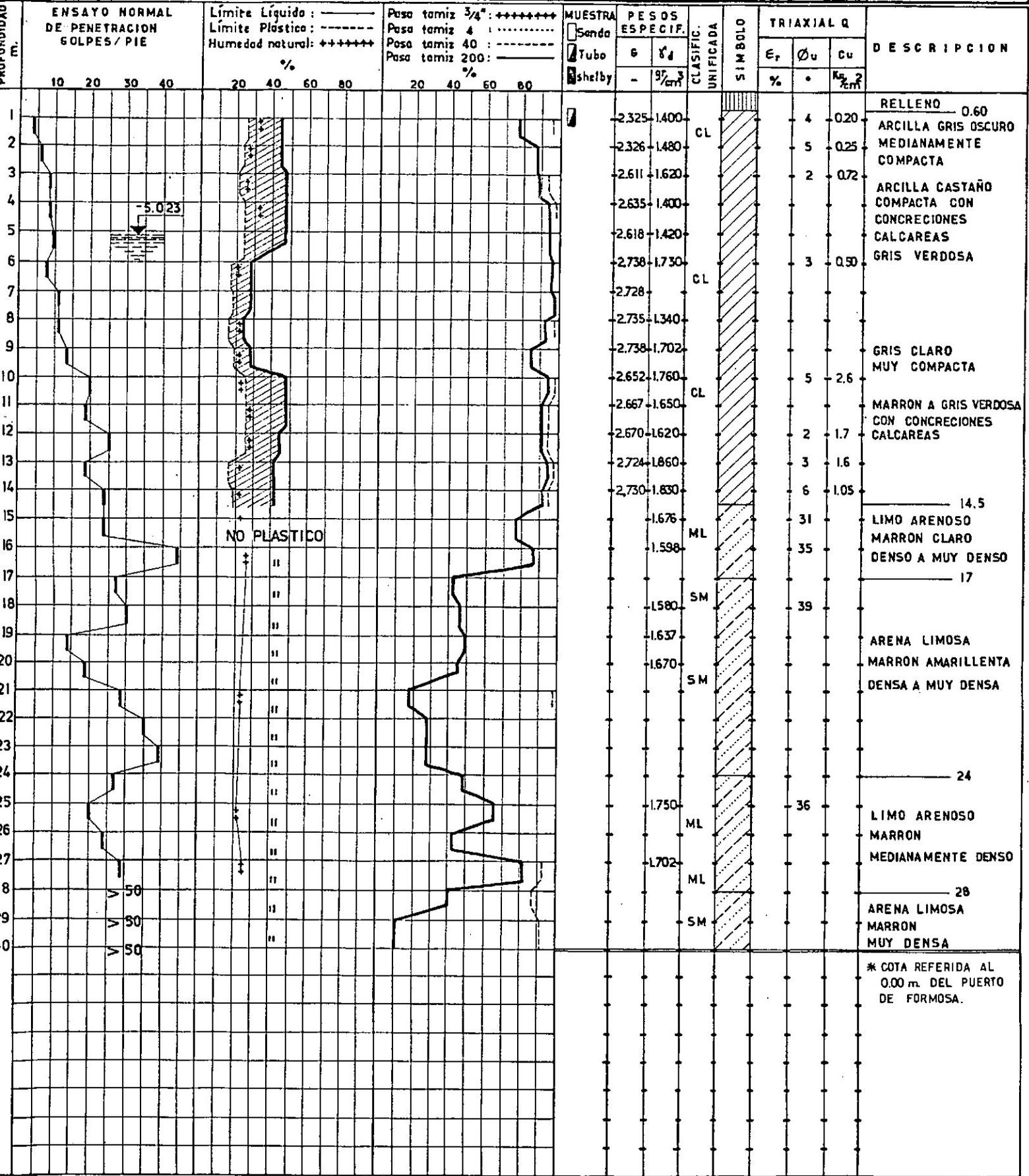


* COTA REFERIDA AL 0.00m. DEL PUERTO DE FORMOSA

OBRA : DEFENSA DE COSTAS
 COMITENTE : C.F.I.
 UBICACION : PUERTO DE FORMOSA

COTA TERRENO NATURAL: 12.319m*
 COTA NAPA FREATICA : -5.023m
 SONDEO TIPO : ROTATIVA

SONDEO N°. P5
 FECHA : AGOSTO 81



* COTA REFERIDA AL 0.00 m. DEL PUERTO DE FORMOSA.

Sondeo:

Muestra: AGUA

Prof:

Freática

ENSAYO GRANULOMETRICO

Forma de partículas: Redondeadas Subredondeadas Subangulares Angulares
 Color: No contiene propiedades colorantes

TAMIZ	RETENIDO	PASA	PASA%	LIMITE DE CONTRACCION			
-				1.	CAPSULA N°		
				2.	PESO PASTILLA		
				3.	PESO MERCURIO		
				4.	$(3) \div 13,59 = \text{VOL. PAST.}$		
				5.	$(2) \div (4) = \gamma_d$		
				6.	PESO ESP. ABS. (G)		
				7.	$(\frac{1}{\gamma_d} - \frac{1}{\gamma_g}) \times 100 = \text{L.C.}$		
				8.	L.C. PROMEDIO		

SALES TOTALES		SULFATOS $\text{SO}_4^{=}$		MAT. ORGANICA		CLORUROS CL^-	
Muestra de agua (ml)	100 mm	Muestra de agua (ml)	100 mm	Muestra de suelo (gr)	no	Muestra de agua (ml)	-
Capsula N°	C.	Capsula N°	D.	Capsula N°	Contiene	Vól. Sol. Gastados	-
Tara Capsula (b)	70,86	Tara Capsula (b)	NO	Tara Capsula (b)	-	Contenido Cloruros	-
Cap + Sal (a)	70,92	Cap + Sulfat. (b)	Contiene	Cap. + Suelo (a)	-	PH	
Sales (a-b)	0,06	Sulfatos (a-b)	-	Cap+Suelo Cal (c)	-		
% Sales S. (a-b)	0,6 Gr/155	% Sulfatos (a-b)	0,608	% Mat. Org. (a-c) ÷ Mx100		7,6	

	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	HUMEDAD NATURAL
CANTIDAD DE GOLPES			
PESAFILTRO N°			
1. PESAFILTRO MUESTRA H.			
2. PESAFILTRO MUESTRA S.			
3. PESAFILTRO VACIO			
4. 1-2 = AGUA			
5. 2-3 = PESO MUESTRA SECA			
5. 4/5 * 100 = HUMEDAD %			
Sales totales = 600 mg/lts. o P.P.M.			

INDICE DE PLASTICIDAD = SUB GRUPO =
 CLASIFICACION UNIFICADA = CLASIFICACION HRB =

Sondeo: ... M. - 1 ... Muestra: ...
 Prof.: ... 7,00 a. 7,20 mts.

ENSAYO GRANULOMETRICO

Forma de partículas: Redondeadas Subredondeadas Subangulares Angulares
 Color: ... Marron Oscuro ... Muestra tomada 50 Gr.

TAMIZ	RETENIDO	PASA	PASA%	LIMITE DE CONTRACCION		
200	27	23	43	1.	CAPSULA N°	
				2.	PESO PASTILLA	
				3.	PESO MERCURIO	
				4.	$(3) \div 13,59 = \text{VOL. PAST.}$	
				5.	$(2) \div (4) = \gamma_d$	
				6.	PESO ESP. ABS. (G)	
				7.	$(\frac{1}{\gamma_d} - \frac{1}{G}) \times 100 = \text{L.C.}$	
				8.	L.C. PROMEDIO	

SALES TOTALES		SULFATOS $\text{SO}_4^{==}$		MAT. ORGANICA		CLORUROS CL^-	
Muestra de agua (ml)		Muestra de agua (ml)		Muestra de suelo (gr)		Muestra de agua (ml)	
Capsula N°		Capsula N°		Capsula N°		Vól. Sol. Gastados	
Tara Capsula (b)		Tara Capsula (b)		Tara Capsula (b)		Contenido Cloruros	
Cap + Sal (a)		Cap + Sulfat. (b)		Cap. + Suelo (a)		PH	
Sales (a-b)		Sulfatos (a-b)		Cap+Suelo Cal (c)			
% Sales 5. (a-b)		% Sulfatos 5. 0,608(a-b)		% Mat. Org. (a-c) ÷ Mx100			

	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	HUMEDAD NATURAL
CANTIDAD DE GOLPES			
PESAFILTRO N°			
PESAFILTRO MUESTRA H.			
PESAFILTRO MUESTRA S.			
PESAFILTRO VACIO			
1-2 = AGUA			
2-3 = PESO MUESTRA SECA			
4x5=100 = HUMEDAD %			
Arena LIMOSA			

INDICE DE PLASTICIDAD = NO PLASTICO SUB GRUPO =
 CLASIFICACION UNIFICADA = SM - ML CLASIFICACION HRB =

Sondeo: M. - 2 ... Muestra: ...
 Prof.: 5.00 a. 5.30 mts.

ENSAYO GRANULOMETRICO

Forma de partículas: Redondeadas Subredondeadas Subangulares Angulares
 Color: Marro Claro

TAMIZ	RETENIDO	PASA	PASA%	LIMITE DE CONTRACCION		
40	3	97	97	1.	CAPSULA N°	
200	40	60	60	2.	PESO PASTILLA	
				3.	PESO MERCURIO	
				4.	$(3) \div 13,59 = \text{VOL. PAST.}$	
				5.	$(2) \div (4) = \gamma_d$	
				6.	PESO ESP. ABS. (G)	
				7.	$(\frac{1}{\gamma_d} - \frac{1}{G}) \times 100 = \text{L.C.}$	
				8.	L.C. PROMEDIO	

SALES TOTALES		SULFATOS $\text{SO}_4^{=}$		MAT. ORGANICA		CLORUROS CL^-	
Muestra de agua (ml)		Muestra de agua (ml)		Muestra de suelo (gr)		Muestra de agua (ml)	
Capsula N°		Capsula N°		Capsula N°		Vól. Sol. Gastados	
Tara Capsula (b)		Tara Capsula (b)		Tara Capsula (b)		Contenido Cloruros	
Cap + Sal (a)		Cap + Sulfat. (b)		Cap. + Suelo (a)		PH	
Sales (a-b)		Sulfatos (a-b)		Cap+Suelo Cal (c)			
% Sales S. (a-b)		% Sulfatos S. 0,508(a-b)		% Mat. Org. (a-c) ÷ Mx100			

	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	HUMEDAD NATURAL
CANTIDAD DE GOLPES			
PESAFILTRO N°			
1. PESAFILTRO MUESTRA H.			
2. PESAFILTRO MUESTRA S.			
3. PESAFILTRO VACIO			
4. 1-2 = AGUA			
5. 2-3 = PESO MUESTRA SECA			
6. $4 \div 5 \times 100 = \text{HUMEDAD \%}$			
Limo ligeramente plástico			

INDICE DE PLASTICIDAD = SUB GRUPO =
 CLASIFICACION UNIFICADA = ML CLASIFICACION HRB =

Sondeo: ... M. = 3... Muestra: ...
 Prof.: 6,50 a 6,80 mts.

ENSAYO GRANULOMETRICO

Forma de partículas: Redondeadas Subredondeadas Subangulares Angulares
 Color: ... Marron Claro ...

TAMIZ	RETENIDO	PASA	PASA%	LIMITE DE CONTRACCION		
40	15	85	85	1.	CAPSULA N°	
200	19	81	81	2.	PESO PASTILLA	
				3.	PESO MERCURIO	
				4.	$(3) \div 13,59 = \text{VOL. PAST.}$	
				5.	$(2) \div (4) = \gamma_d$	
				6.	PESO ESP. ABS. (G)	
				7.	$(\frac{1}{\gamma_d} - \frac{1}{G}) \times 100 = \text{L.C.}$	
				8.	L.C. PROMEDIO	

SALES TOTALES		SULFATOS $\text{SO}_4^{=}$		MAT. ORGANICA		CLORUROS CL^-	
Muestra de agua (ml)		Muestra de agua (ml)		Muestra de suelo (gr)		Muestra de agua (ml)	
Capsula N°		Capsula N°		Capsula N°		Vól. Sol. Gastados	
Tara Capsula (b)		Tara Capsula (b)		Tara Capsula (b)		Contenido Cloruros	
Cap + Sal. (a)		Cap + Sulfat. (b)		Cap. + Suelo (a)		PH	
Sales (a-b)		Sulfatos (a-b)		Cap+Suelo Cal (c)			
% Sales $5 \cdot (a-b)$		% Sulfatos $5 \cdot 0,608(a-b)$		% Mat. Org. $(a-c) \div M \times 100$			

	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	HUMEDAD NATURAL
CANTIDAD DE GOLPES			
PESAFILTRO N°			
1. PESAFILTRO MUESTRA H.			
2. PESAFILTRO MUESTRA S.			
3. PESAFILTRO VACIO			
4. 1-2 = AGUA			
5. 2-3 = PESO MUESTRA SECA			
6. $4 \div 5 \times 100 = \text{HUMEDAD } \%$			
LIMO LIGERAMENTE PLASTICO			

INDICE DE PLASTICIDAD = SUB GRUPO =
 CLASIFICACION UNIFICADA = ML CLASIFICACION HRB =

Sondeo: ... M = 4.

Muestra: ...

Prof.: 6,20 mts.

ENSAYO GRANULOMETRICO

Forma de partículas: Redondeadas Subredondeadas Subangulares Angulares
 Color: ... Marron Claro

TAMIZ	RETENIDO	PASA	PASA%	LIMITE DE CONTRACCION		
40	2	98	98	1.	CAPSULA N°	
200	47	53	53	2.	PESO PASTILLA	
				3.	PESO MERCURIO	
				4.	$(3) \div 13,59 = \text{VOL. PAST.}$	
				5.	$(2) \div (4) = \gamma_d$	
				6.	PESO ESP. ABS. (G)	
				7.	$(\frac{1}{\gamma_d} - \frac{1}{G}) \times 100 = \text{L.C.}$	
				8.	L.C. PROMEDIO	

SALES TOTALES		SULFATOS $\text{SO}_4^{=}$		MAT. ORGANICA		CLORUROS CL^-	
Muestra de agua (ml)		Muestra de agua (ml)		Muestra de suelo (gr)		Muestra de agua (ml)	
Capsula N°		Capsula N°		Capsula N°		Vól. Sol. Gastados	
Tara Capsula (b)		Tara Capsula (b)		Tara Capsula (b)		Contenido Cloruros	
Cap + Sal (a)		Cap + Sulfat. (b)		Cap. + Suelo (a)		PH	
Sales (a-b)		Sulfatos (a-b)		Cap+Suelo Cal (c)			
% Sales 5 . (a-b)		% Sulfatos 5. 0,608(a-b)		% Mat. Org. (a-c) ÷ Mx100			

	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	HUMEDAD NATURAL
CANTIDAD DE GOLPES			
PESAFILTRO N°			
1. PESAFILTRO MUESTRA H.			
2. PESAFILTRO MUESTRA S.			
3. PESAFILTRO VACIO			
4. 1-2 = AGUA			
5. 2-3 = PESO MUESTRA SECA			
6. $4 \div 5 \times 100 = \text{HUMEDAD \%}$			
	LIMO ARENOSO		

INDICE DE PLASTICIDAD = SUB GRUPO =
 CLASIFICACION UNIFICADA = ML - SM CLASIFICACION HRB =

Sondeo: ... M. 5.

Muestra: ...

Prof.: ... 8,10 mts.

ENSAYO GRANULOMETRICO

Forma de partículas: Redondeadas Subredondeadas Subangulares Angulares
 Color: ... Gris Claro

AMIZ	RETENIDO	PASA	PASA%	LIMITE DE CONTRACCION		
40	6	94	94	1.	CAPSULA N°	
200	13	87	87	2.	PESO PASTILLA	
				3.	PESO MERCURIO	
				4.	$(3) \div 13,59 = \text{VOL. PAST.}$	
				5.	$(2) \div (4) = \gamma_d$	
				6.	PESO ESP. ABS. (G)	
				7.	$(\frac{1}{\gamma_d} - \frac{1}{G}) \times 100 = \text{L.C.}$	
				8.	L.C. PROMEDIO	

SALES TOTALES		SULFATOS $\text{SO}_4^{=}$	MAT. ORGANICA	CLORUROS CL^-	
Muestra de agua (ml)		Muestra de agua (ml)	Muestra de suelo (gr)	Muestra de agua (ml)	
Capsula N°		Capsula N°	Capsula N°	Vól. Sol. Gastados	
Tara Capsula (b)		Tara Capsula (b)	Tara Capsula (b)	Contenido Cloruros	
Cap + Sal (a)		Cap + Sulfat. (b)	Cap. + Suelo (a)	PH	
Sales (a-b)		Sulfatos (a-b)	Cap+Suelo Ca. (c)		
% Sales 5. (e-b)		% Sulfatos 5. 0,608(a-b)	% Mat. Org. (a-c) ÷ Mx100		

	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	HUMEDAD NATURAL
CANTIDAD DE GOLPES			
PESAFILTRO N°			
PESAFILTRO MUESTRA H.			
PESAFILTRO MUESTRA S.			
PESAFILTRO VACIO			
1-2 = AGUA			
2-3 = PESO MUESTRA SECA			
$4 \div 5 \times 100 = \text{HUMEDAD \%}$			
LIMO LIGERAMENTE PLASTICO			

INDICE DE PLASTICIDAD = SUB GRUPO =
 CLASIFICACION UNIFICADA = ML CLASIFICACION HRB =

Sondeo: ... M. = 6...

Muestra: ...

Prof.: ... 8,20 mts.

ENSAYO GRANULOMETRICO

Forma de partículas: Redondeadas Subredondeadas Subangulares Angulares
 Color: Marron Claro M. tomada = 50 Gr.

TAMIZ	RETENIDO	PASA	PASA%	LIMITE DE CONTRACCION		
10	2	48	96	1.	CAPSULA N°	
40	5	45	90	2.	PESO PASTILLA	
200	13	37	74	3.	PESO MERCURIO	
				4.	$(3) \div 13,59 = \text{VOL. PAST.}$	
				5.	$(2) \div (4) = \gamma_d$	
				6.	PESO ESP. ABS. (G)	
				7.	$(\frac{1}{\gamma_d} - \frac{1}{G}) \times 100 = \text{L.C.}$	
				8.	L.C. PROMEDIO	

SALES TOTALES		SULFATOS $\text{SO}_4^{==}$		MAT. ORGANICA		CLORUROS CL^-	
Muestra de agua (ml)		Muestra de agua (ml)		Muestra de suelo (gr)		Muestra de agua (ml)	
Capsula N°		Capsula N°		Capsula N°		Vól. Sol. Gastados	
Tara Capsula (b)		Tara Capsula (b)		Tara Capsula (b)		Contenido Cloruros	
Cap + Sal (a)		Cap + Sulfat. (b)		Cap. + Suelo (a)		PH	
Sales (a-b)		Sulfatos (a-b)		Cap+Suelo Cal (c)			
% Sales S. (a-b)		% Sulfatos S. O,608(a-b)		% Mat. Org. (a-c) ÷ Mx100			

	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	HUMEDAD NATURAL
CANTIDAD DE GOLPES			
PESAFILTRO N°			
PESAFILTRO MUESTRA H.			
PESAFILTRO MUESTRA S.			
PESAFILTRO VACIO			
1-2 = AGUA			
2-3 = PESO MUESTRA SECA			
4 ÷ 5 × 100 = HUMEDAD %			
LIMO LIGERAMENTE PLASTICO			

INDICE DE PLASTICIDAD = SUB GRUPO =
 CLASIFICACION UNIFICADA = ML CLASIFICACION HRB =

Sondeo: ... M - 7 ... Muestra: ...
 Prof.: ... 6,80 mts.

ENSAYO GRANULOMETRICO

Forma de partículas: Redondeadas Subredondeadas Subangulares Angulares
 Color: ... Marron Claro ...

TAMIZ	RETENIDO	PASA	PASA%	LIMITE DE CONTRACCION		
40	9'	91	91	1.	CAPSULA N°	
200	19	81	81	2.	PESO PASTILLA	
				3.	PESO MERCURIO	
				4.	$(3) \div 13,59 = \text{VOL. PAST.}$	
				5.	$(2) \div (4) = \delta_d$	
				6.	PESO ESP. ABS. (G)	
				7.	$(\frac{1}{\delta_d} - \frac{1}{G}) \times 100 = \text{L.C.}$	
				8.	L.C. PROMEDIO	

SALES TOTALES		SULFATOS $\text{SO}_4^{=}$		MAT. ORGANICA		CLORUROS CL^-	
Muestra de agua (ml)		Muestra de agua (ml)		Muestra de suelo (gr)		Muestra de agua (ml)	
Capsula N°		Capsula N°		Capsula N°		Vól. Sol. Gastados	
Tara Capsula (b)		Tara Capsula (b)		Tara Capsula (b)		Contenido Cloruros	
Cap + Sal (a)		Cap + Sulfat. (b)		Cap. + Suelo (a)		PH	
Sales (a-b)		Sulfatos (a-b)		Cap+Suelo Cal (c)			
% Sales $5. (a-b)$		% Sulfatos $5. 0,608(a-b)$		% Mat. Org. $(a-c) \div M \times 100$			

	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	HUMEDAD NATURAL
CANTIDAD DE GOLPES			
PESAFILTRO N°			
1. PESAFILTRO MUESTRA H.			
2. PESAFILTRO MUESTRA S.			
3. PESAFILTRO VACIO			
4. 1-2 = AGUA			
5. 2-3 = PESO MUESTRA SECA			
6. $4 \div 5 \times 100 = \text{HUMEDAD \%}$			
LIMO LIGERAMENTE PLASTICO			

INDICE DE PLASTICIDAD = SUB GRUPO =
 CLASIFICACION UNIFICADA = ML CLASIFICACION HRB =

Sondeo: ... M = 8. Muestra: ...
 Prof.: ... 5,00 mts.

ENSAYO GRANULOMETRICO

Forma de partículas: Redondeadas Subredondeadas Subangulares Angulares
 Color: ... Marron Claro ... M. tomada = 50 gr.

TAMIZ	RETENIDO	PASA	PASA%	LIMITE DE CONTRACCION		
40	1	49	98	1.	CAPSULA N°	
200	22	28	56	2.	PESO PASTILLA	
				3.	PESO MERCURIO	
				4.	$(3) \div 13,59 = \text{VOL. PAST.}$	
				5.	$(2) \div (4) = \gamma_d$	
				6.	PESO ESP. ABS. (G)	
				7.	$(\frac{1}{\gamma_d} - \frac{1}{G}) \times 100 = \text{L.C.}$	
				8.	L.C. PROMEDIO	

SALES TOTALES		SULFATOS $\text{SO}_4^{=}$		MAT. ORGANICA		CLORUROS CL^-	
Muestra de agua (ml)		Muestra de agua (ml)		Muestra de suelo (gr)		Muestra de agua (ml)	
Capsula N°		Capsula N°		Capsula N°		Vól. Sol. Gastados	
Tara Capsula (b)		Tara Capsula (b)		Tara Capsula (b)		Contenido Cloruros	
Cap + Sal (a)		Cap + Sulfat. (b)		Cap. + Suelo (a)		PH	
Sales (a-b)		Sulfatos (a-b)		Cap+Suelo Cal (c)			
% Sales 5. (a-b)		% Sulfatos 5. 0,608(a-b)		% Mat. Org. (a-c) ÷ Mx100			

	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	HUMEDAD NATURAL
CANTIDAD DE GOLPES			
PESAFILTRO N°			
1. PESAFILTRO MUESTRA H.			
2. PESAFILTRO MUESTRA S.			
3. PESAFILTRO VACIO			
4. 1-2 = AGUA			
5. 2-3 = PESO MUESTRA SECA			
6. $4/5 \times 100 = \text{HUMEDAD \%}$			
	LIMO ARENOSO		

INDICE DE PLASTICIDAD = SUB GRUPO =
 CLASIFICACION UNIFICADA = ML - SM CLASIFICACION HRB =

Sondeo: M-9

Muestra: -

Prof.: 6,00 a 6,40 mts.

ENSAYO GRANULOMETRICO

Forma de particulas: Redondeadas Subredondeadas Subangulares Angulares

Color: Marron Claro

TAMIZ	RETENIDO	PASA	PASA%	LIMITE DE CONTRACCION		
40	3	97	97	1.	CAPSULA N°	
200	15	85	85	2.	PESO PASTILLA	
				3.	PESO MERCURIO	
				4.	$(3) \div 13,59 = \text{VOL. PAST.}$	
				5.	$(2) \div (4) = \gamma_d$	
				6.	PESO ESP. ABS. (G)	
				7.	$(\frac{1}{\gamma_d} - \frac{1}{G}) \times 100 = \text{L.C.}$	
				8.	L.C. PROMEDIO	

SALES TOTALES		SULFATOS $\text{SO}_4^{=}$		MAT. ORGANICA		CLORUROS CL^-	
Muestra de agua (ml)		Muestra de agua (ml)		Muestra de suelo (gr)		Muestra de agua (ml)	
Capsula N°		Capsula N°		Capsula N°		Vól. Sol. Gastados	
Tara Capsula (b)		Tara Capsula (b)		Tara Capsula (b)		Contenido Cloruros	
Cap + Sal (a)		Cap + Sulfat. (b)		Cap. + Suelo (a)		PH	
Sales (a-b)		Sulfatos (a-b)		Cap+Suelo Cal (c)			
% Sales 5. (a-b)		% Sulfatos 5. 0,608(a-b)		% Mat. Org. (a-c) ÷ Mx100			

	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	HUMEDAD NATURAL
CANTIDAD DE GOLPES			
PESAFILTRO N°			
1. PESAFILTRO MUESTRA H.			
2. PESAFILTRO MUESTRA S.			
3. PESAFILTRO VACIO			
4. 1-2 = AGUA			
5. 2-3 = PESO MUESTRA SECA			
6. 4÷5×100 = HUMEDAD %			

LIMO LIGERAMENTE PLASTICO

INDICE DE PLASTICIDAD =

SUB GRUPO =

CLASIFICACION UNIFICADA = ML

CLASIFICACION HRB =

Sondeo: ... M. = 10.

Muestra: ...

Prof.: ... 8,50 mts.

ENSAYO GRANULOMETRICO

Forma de particulas: Redondeadas Subredondeadas Subangulares Angulares
 Color: ... Marron Claro.

TAMIZ	RETENIDO	PASA	PASA%	LIMITE DE CONTRACCION			
40	2	98	98	1.	CAPSULA N°		
200	31	69	69	2.	PESO PASTILLA		
				3.	PESO MERCURIO		
				4.	$(3) \div 13,59 = \text{VOL. PAST.}$		
				5.	$(2) \div (4) = \gamma_d$		
				6.	PESO ESP. ABS. (G)		
				7.	$(\frac{1}{\gamma_d} - \frac{1}{G}) \times 100 = \text{L.C.}$		
				8.	L.C. PROMEDIO		

SALES TOTALES		SULFATOS SO_4^-		MAT. ORGANICA		CLORUROS CL^-	
Muestra de agua (ml)		Muestra de agua (ml)		Muestra de suelo (gr)		Muestra de agua (ml)	
Capsula N°		Capsula N°		Capsula N°		Vól. Sol. Gastados	
Tara Capsula (b)		Tara Capsula (b)		Tara Capsula (b)		Contenido Cloruros	
Cap + Sal (a)		Cap + Sulfat. (b)		Cap. + Suelo (a)		PH	
Sales (a-b)		Sulfatos (a-b)		Cap+Suelo Cal (c)			
% Sales 5. (a-b)		% Sulfatos 5. 0,608(a-b)		% Mat. Org. $(a-c) \div M \times 100$			

	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	HUMEDAD NATURAL
CANTIDAD DE GOLPES			
PESAFILTRO N°			
1. PESAFILTRO MUESTRA H.			
2. PESAFILTRO MUESTRA S.			
3. PESAFILTRO VACIO			
4. 1-2 = AGUA			
5. 2-3 = PESO MUESTRA SECA			
6. $4 \div 5 \times 100 = \text{HUMEDAD \%}$			

LIMO LIGERAMENTE PLASTICO

INDICE DE PLASTICIDAD = SUB GRUPO =
 CLASIFICACION UNIFICADA = M1 CLASIFICACION HRB =

C A P I T U L O I I I . 6

RELEVAMIENTO TOPOBATIMETRICO



R I O P A R A G U A Y

①

②

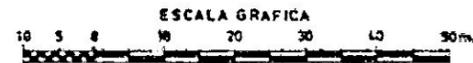
③

④

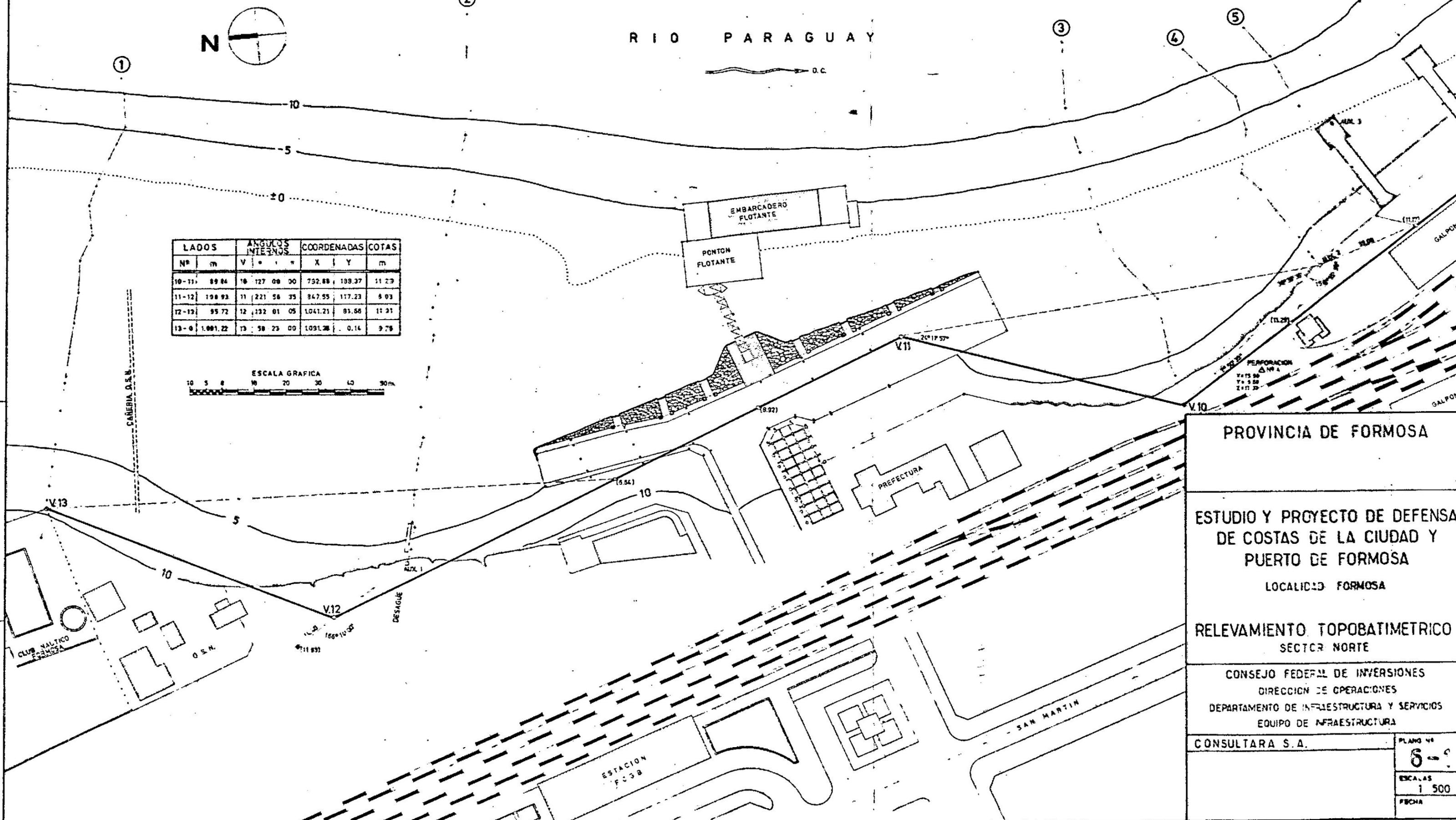
⑤

⑥

LADOS		ANGULOS INTERNOS		COORDENADAS		COTAS
Nº	m	V	° ' "	X	Y	m
10-11	89.84	10	127 08 00	792.88	189.37	11.23
11-12	198.93	11	221 56 35	847.55	117.23	8.93
12-13	95.72	12	132 01 05	1041.21	81.66	11.31
13-0	1.001.22	13	58 23 00	1031.28	0.14	9.78



CARRETERA O.S.N.



PROVINCIA DE FORMOSA

ESTUDIO Y PROYECTO DE DEFENSA DE COSTAS DE LA CIUDAD Y PUERTO DE FORMOSA

LOCALIDAD FORMOSA

RELEVAMIENTO TOPOBATIMETRICO SECTOR NORTE

CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES
DIRECCION DE OPERACIONES
DEPARTAMENTO DE INFRAESTRUCTURA Y SERVICIOS
EQUIPO DE INFRAESTRUCTURA

CONSULTARA S.A.

PLANO Nº

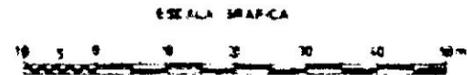
8-9

ESCALAS

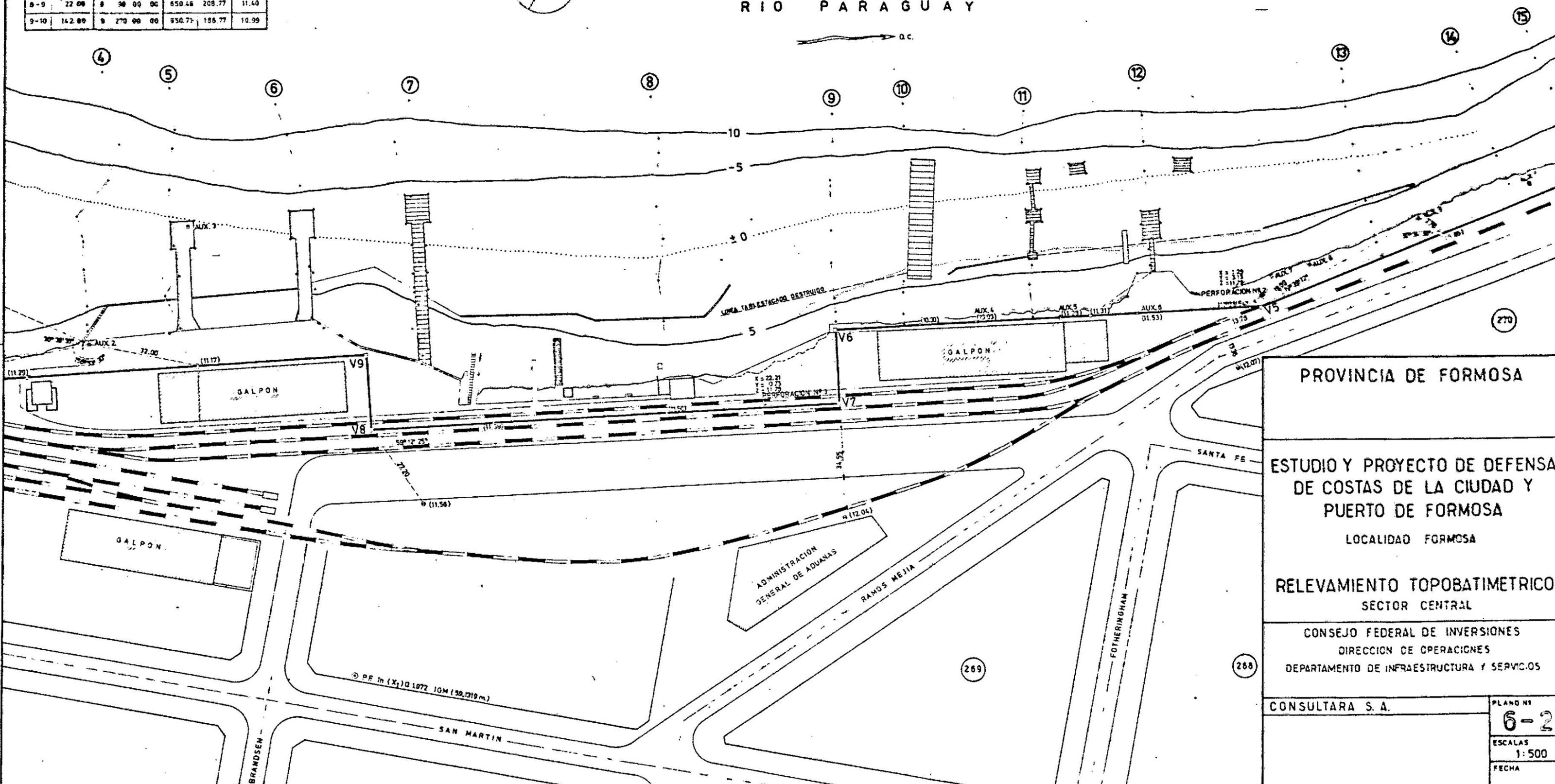
1:500

FECHA

LADOS		ANGULOS VERTICALES		COORDENADAS		COTAS
Nº	m	V	° ' "	X	Y	m
5-6	125.00	5	100 33 15	389.77	183.81	11.74
6-7	22.00	6	270 00 00	514.74	185.23	10.98
7-8	138.00	7	90 00 00	514.49	207.23	11.50
8-9	22.00	8	90 00 00	650.48	208.77	11.40
9-10	142.00	9	270 00 00	950.74	188.77	10.99



RIO PARAGUAY



PROVINCIA DE FORMOSA

ESTUDIO Y PROYECTO DE DEFENSA DE COSTAS DE LA CIUDAD Y PUERTO DE FORMOSA

LOCALIDAD FORMOSA

RELEVAMIENTO TOPOBATIMETRICO SECTOR CENTRAL

CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES
DIRECCION DE OPERACIONES
DEPARTAMENTO DE INFRAESTRUCTURA Y SERVICIOS

CONSULTARA S. A.

PLANO Nº 6-2

ESCALAS 1:500

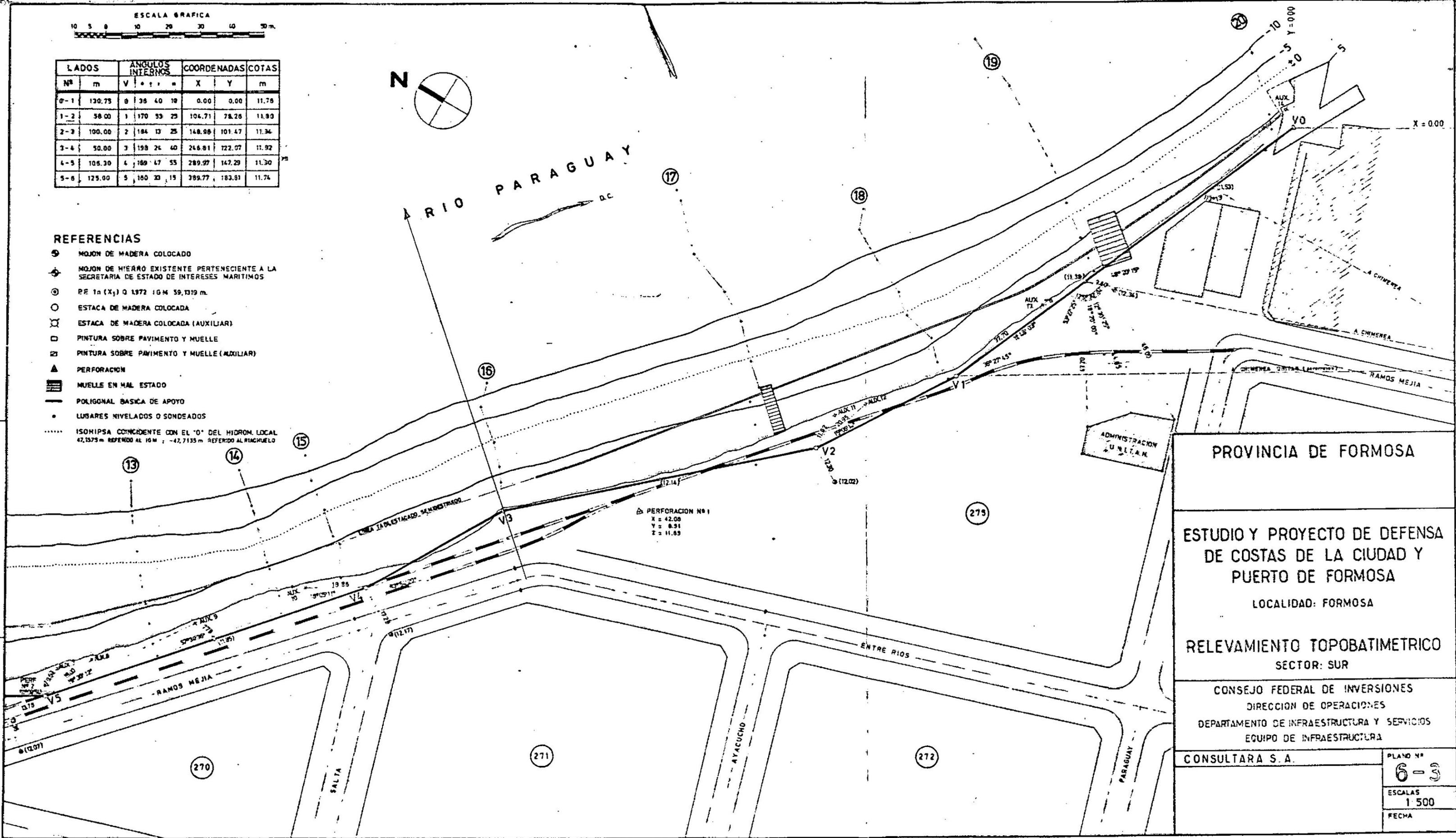
FECHA



LADOS	Nº	m	ANGULOS INTERNOS		COORDENADAS		COTAS	
			V	α	X	Y		
0-1	130.75	0	38	40	10	0.00	0.00	11.78
1-2	58.00	1	170	53	25	104.71	78.28	11.90
2-3	100.00	2	184	13	25	148.98	101.47	11.34
3-4	50.00	3	198	24	40	246.81	122.07	11.92
4-5	106.30	4	189	47	55	289.97	147.29	11.30
5-6	125.00	5	160	23	15	389.77	183.81	11.74

REFERENCIAS

- ⊙ MOJON DE MADERA COLOCADO
- ⊕ MOJON DE HIERRO EXISTENTE PERTENECIENTE A LA SECRETARIA DE ESTADO DE INTERESES MARITIMOS
- ⊙ PE 1a (X₁) O 1372 16M 59,1319 m.
- ESTACA DE MADERA COLOCADA
- ⊗ ESTACA DE MADERA COLOCADA (AUXILIAR)
- PINTURA SOBRE PAVIMENTO Y MUELLE
- ⊠ PINTURA SOBRE PAVIMENTO Y MUELLE (AUXILIAR)
- ▲ PERFORACION
- ▨ MUELLE EN MAL ESTADO
- POLIGONAL BASICA DE APOYO
- LUBARES NIVELADOS O SONDEADOS
- ISOHIPSA COINCIDENTE CON EL 0° DEL HIDROM. LOCAL 47,1375 m REFERIDO AL 10 M ; -47,7135 m REFERIDO AL RIACHUELO



PROVINCIA DE FORMOSA

ESTUDIO Y PROYECTO DE DEFENSA DE COSTAS DE LA CIUDAD Y PUERTO DE FORMOSA

LOCALIDAD: FORMOSA

RELEVAMIENTO TOPOBATIMETRICO
SECTOR: SUR

CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES
DIRECCION DE OPERACIONES
DEPARTAMENTO DE INFRAESTRUCTURA Y SERVICIOS
EQUIPO DE INFRAESTRUCTURA

CONSULTARA S. A.

PLANO Nº
6-3
ESCALAS
1:500
FECHA

COORDENADAS PUNTOS FIJOS

PUNTOS FIJOS	AÑO	COORDENADAS
MOJON HIERRO N° 2	1978	-295,27 +704,41
"	N° 4	1978 -295,75 - 0,46
"	N° 5	1978 -523,07 +974,40
MOJON HORMIG. VT. 24	1954	0 0
"	N° 0	1971 - 21,54 +1489,57
"	M.H.1	1978 +53,96 + 541,34

REPUBLICA
DEL
PARAGUAY

VILLA JUAN B. ALBERDI

Nº 3 - 700
E. MAD. DURA
AÑO 1976

Nº 3 - 520
E. MAD. DURA
AÑO 1976

Nº 1 - 670
E. MAD. DURA
AÑO 1976

M. DE HORMIGON
M.H.1 - 8.30
AÑO 1974

Nº 4 - 725
E. MAD. DURA
AÑO 1976

Nº 2 - 515
M. DE HIERRO
AÑO 1974

Nº 6 - 637
M. DE HIERRO
AÑO 1976

NOTAS
SE ENTENDE A LA ESCALA DE 1:10.000
ESTE PLANO SE SUPLEN EN SU PARTE DE LA OPERACION
DE LA ESCALA DE 1:10.000 POR LAS OPERACIONES DE
PLANIMETRIA Y LAS NAVIGACIONES A REALIZARSE EN EL
CANAL SUPERIOR ALLENDES

CROQUIS RED TRIANGULACION
ESCALA 1:10.000

PROVINCIA DE FORMOSA

ESTUDIO Y PROYECTO DE DEFENSA
DE COSTAS DE LA CIUDAD Y
PUERTO DE FORMOSA

LOCALIDAD. FORMOSA

RELEVAMIENTO BATIMETRICO

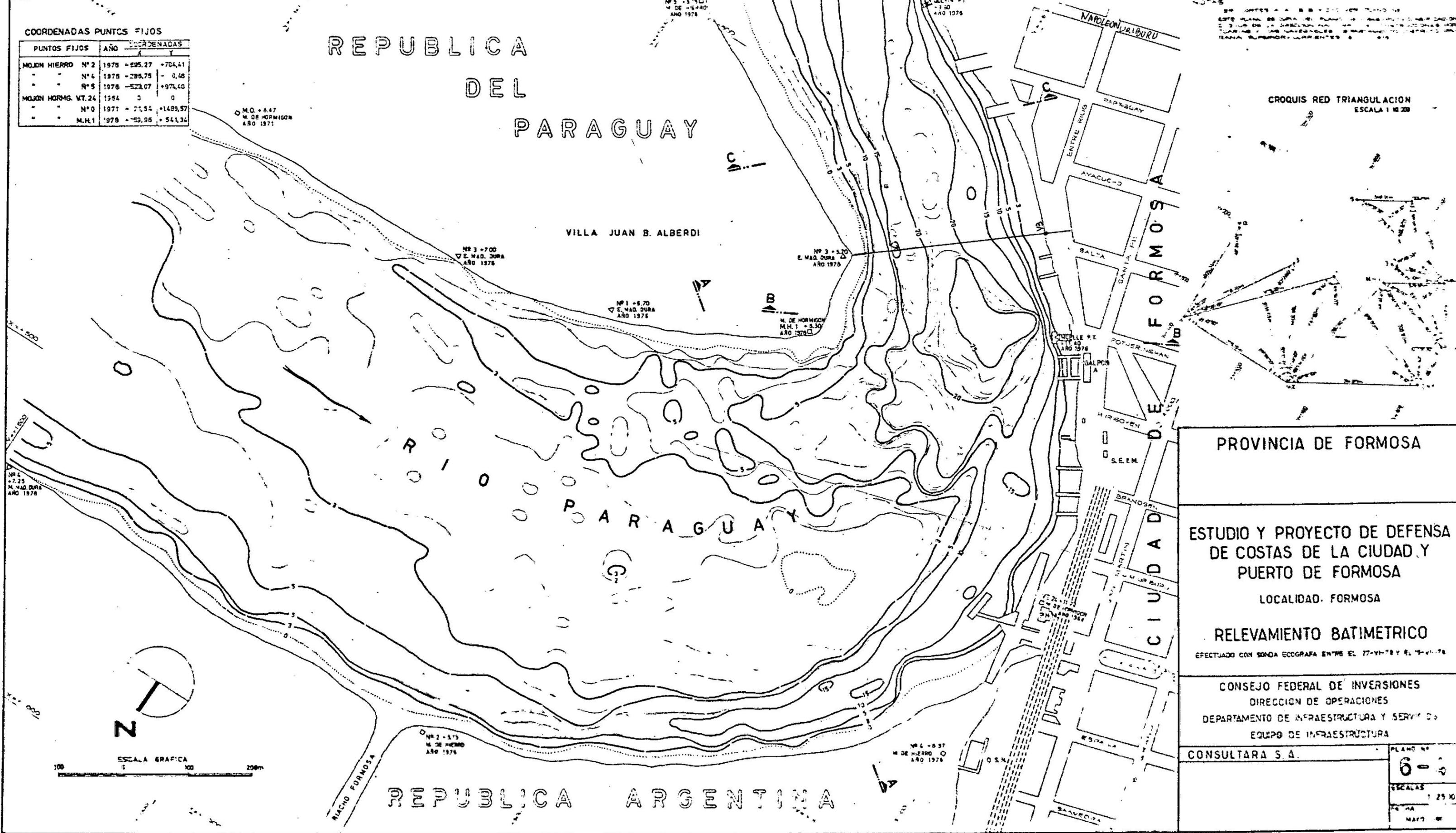
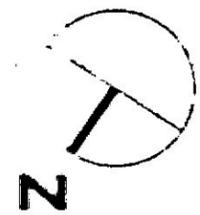
EFFECTUADO CON SONDA ECOGRAFA ENTRE EL 27-VI-78 Y EL 12-VII-78

CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES
DIRECCION DE OPERACIONES
DEPARTAMENTO DE INFRAESTRUCTURA Y SERVICIOS
EQUIPO DE INFRAESTRUCTURA

CONSULTARA S.A.

PLANO Nº
6-3
ESCALAS
1:25.000
1:10.000
1:5.000

REPUBLICA ARGENTINA



C A P I T U L O I I I . 7

NUEVO PUERTO DE FORMOSA

1. DESCRIPCION GENERAL

La franja costera para la que se proyectó la defensa de costa, fue utilizada años anteriores en casi toda su extensión como zona de actividad portuaria. Varios frentes de atraque actualmente derrumbados y fuera de uso, así como vías férreas y algunas edificaciones en estado de abandono, formaron en aquella época un área portuaria donde se embarcaban productos forestales y agrícolas. Esta actividad se redujo y desapareció casi por completo. Solo existe un pequeño movimiento portuario frente al galpón "C" donde aún se encuentran dos puentes de embarque en condiciones de ser usados.

El Plan Director de Formosa incluye en sus previsiones un nuevo emplazamiento para el puerto de Formosa. Este nuevo lugar se encuentra aguas arriba de la desembocadura norte del Riacho de Oro, con posibles ampliaciones futuras hacia este riacho. El nuevo frente de atraque tendría una longitud de 200 metros y contaría atrás con una playa muy amplia.

La habilitación del nuevo puerto llevaría en el futuro a la clausura de las instalaciones actuales en el galpón "C". También se lograría entonces remover las líneas férreas frente a la costa dando así un acceso urbano de la ciudad al río. El ferrocarril quedaría para esa época corrido hacia un trazado que pasa por detrás de la ciudad.

El puerto proyectado requerirá un dragado en el pié de muelle y su frente estaba previsto ser construído con las tablestacas existentes en el actual puerto.

Una vez habilitado el futuro puerto, podría ser completado el proyecto de defensa de costa frente al galpón "C", que dejaría de tener actividad.

C A P I T U L O I I I . 8

C O N C L U S I O N E S Y R E C O M E N D A C I O N E S

1. CONCLUSIONES

El estudio y proyecto aquí presentado para una defensa de costa en el puerto y la ciudad de Formosa, cubre los requerimientos fijados y provee una solución adecuada al problema de degradación de costa, que muestra en ese lugar una complejidad singular. Las características de la obra propuesta, su estructura masiva e independiente, aseguran un buen resultado frente a las acciones del río y también frente a los fenómenos de deslizamiento del talud.

2. RECOMENDACIONES

El proceso de degradación de costa se viene observando en Formosa por más de cincuenta años.

Las erosiones y socavaciones ya han destruído la mayor parte de las instalaciones portuarias, hoy fuera de uso por falta de movimientos portuarios. Pero la degradación sigue avanzando produciendo un paulatino retroceso de la línea de costa, que dentro de algunos años hará sentir efectos nocivos sobre la calle contigua al puerto y las construcciones que se encuentran a continuación de ella.

Este fenómeno debe ser por tanto controlado a tiempo. Si bien pueden lograrse demoras en la degradación utilizando métodos precarios y baratos (arrojar piedra, colocar fajinados, etc), de ninguna manera se la va a detener sin una obra masiva como la propuesta en este proyecto.

Es por ello que se recomienda encarar la construcción de estas obras antes de un plazo prudencial, durante el cual pueda establecerse con cierta seguridad, no habrán de producirse rupturas o deslizamientos de talud con consecuencias que pueden involucrar elevados costos adicionales para la reconstrucción de calles o edificios existentes.