

**EXPERIENCIAS REALIZADAS  
EN LA CONSTRUCCION  
DE TERRAPLENES  
CON Y SOBRE SUELOS BLANDOS**

**Conferencia del  
Octavo Congreso Colombiano  
sobre Ingenieria de Pavimentos  
Agosto 1991  
Universidad del Cauca - Popayan**

# INDICE

## INDICE

Introducción: .....	Pag. 5
Capítulo 1: .....	Pag. 9
Una experiencia de relleno hidráulico con materiales finos: .....	Pag. 10
Comentarios al relleno hidráulico, rendimientos y materiales obtenidos: .....	Pag. 18
Conclusiones finales: .....	Pag. 20
Fotografías: .....	Pag. 22
Informe técnico - Estudio de suelos: .....	Pag. 24
Capítulo 2: .....	Pag. 33
Construcción de terraplenes en zonas bajas e inundables del Delta del Río Paraná: .....	Pag. 34
Introducción: .....	Pag. 35
Características de los terrenos donde se realizaron las obras: .....	Pag. 38
Planimetría general de la obra en la Isla Talavera: .....	Pag. 42
Estudios básicos realizados sobre el terreno: .....	Pag. 44
Perfil estratigráfico de la obra: .....	Pag. 46
Otros ensayos realizados: .....	Pag. 48
Ensayos triaxiales para el mejor conocimiento de los materiales: .....	Pag. 52
Diagrama de presiones y cálculo de asentamientos: .....	Pag. 57

Asentamientos previstos: ..... Pag. 59

Resultados: ..... Pag. 61

Comentarios acerca de lo efectivamente sucedido  
en el terreno luego de más de una década de haberse  
concluido las obras: ..... Pag. 63

Capítulo 3: ..... Pag. 67

Comentarios: ..... Pag. 68

## **INTRODUCCION**

Normalmente la evaluación de un yacimiento de materiales para su utilización en rellenos se hace en forma cualitativa y observando como se encuentra el suelo en su estado natural en posición original, estudiando la conformación de los mantos del material a excavar y posteriormente transportar a la zona de relleno.

En el caso de utilización de la técnica que se trata en el presente trabajo: "Rellenos por Aplicación del Método de Dragado y Refulado de Suelos", la evaluación del yacimiento que se debe efectuar es sustancialmente diferente de la anteriormente mencionada, dado que el material a utilizar, con un adecuado tratamiento durante el período de dragado, refulado y decantación, puede realmente mejorar sus características.

En muchos estudios de suelo es común la denominación de "fango no utilizable para rellenos" cuando se clasifica un horizonte limo arenoso, blando de plasticidad media.

Esta afirmación sería totalmente válida si el material se colocara en la zona a rellenar, tal y como se encuentra en su origen, lo cual a su vez resulta imposible por más que sea lo buscado, debido a las características intrínsecas de la metodología del dragado y refulado.

Teniendo en cuenta la forma de transporte que se utiliza para el movimiento de estos materiales, por cañerías en suspensión acuosa, con ayuda de potentes bombas, es de gran importancia la transformación que sufre el suelo desde su depósito de origen hasta su punto final de colocación.

La principal causa de este cambio es atribuible al lavado, separación por peso de las partículas durante el transporte y posterior ordenamiento que sufre el material luego de ser extraído de su lugar de origen con la consecuente y ventajosa eliminación, junto con el agua-transporte, de gran parte del material fino existente, sobre todo el más plástico (menor peso de dichas partículas por unidad de volumen). Se ha observado que la primera separación de partículas se produce ya en la cañería.

Lo expuesto, a pesar de lo trivial y sencillo que parece, puede resultar muy atrayente para la utilización en rellenos de cualquier tipo de suelos que anteriormente resultaban impensables por su composición para tal fin.

El elemento básico para la aplicación de esta técnica es la draga, aunque lo importante es que no se trata solamente de un equipo productivo, sino que encierra una potente tecnología estudiada y conocida por pocos.

Manejando correctamente el refulado y las piletas de decantación de acuerdo a los resultados que se desean lograr, se pueden obtener materiales cuyo pasa tamiz # 200 y constantes físicas varíen en positivo respecto de los originales.

En efecto, de acuerdo al tiempo que se dé para que la suspensión de agua y suelo se deposite (lo que puede manejarse variando la altura y ubicación de los vertederos para evacuación del agua), se regula la cantidad de material fino eliminado, y de esta forma de plasticidad del relleno obtenido.

Hasta ahora, en general el carácter eminentemente productivo y continuo de las tareas de dragado y refulado no permitió el desarrollo y aprovechamiento integral de lo anteriormente descrito, aunque queda claro que el obtener un material deseado a partir de otro no deseado es una labor de equipo entre profesionales especializados.

Un claro ejemplo de lo antedicho lo tenemos en el uso de fangos limo-arenosos de nuestro delta del Paraná con índices de plasticidad superiores a 10, que una vez refulados se redujo de 2 a 4, formando suelos de fácil drenaje que una vez consolidados y secos constituyen rellenos de excelente comportamiento.

Otro de los aspectos a tener en cuenta previo al inicio de las tareas de refulado de un material es el de la ubicación del tubo de descarga. el mismo no debe permanecer fijo en un punto, dado que el material grueso se deposita cerca de la descarga y el agua que se aleja arrastra los finos formando lentejones de barro. Tal como lo indican muchos autores, esto se soluciona moviendo el punto de descarga de forma de no permitir la acumulación de materiales en espesores superiores a los 50 cm.

De esta forma se obtendrá una mezcla casi homogénea de lentes arenosos y limo-arenosos que permitirá al poco tiempo la circulación de equipos livianos.

También resulta importante la adecuada limpieza del recinto o pileta de decantación, con el objeto de que la vegetación no actúe como trampa de finos.

En caso de ser necesario el refulado de materiales con altos porcentajes de suelos finos y plásticos, en general no se obtiene un relleno aprovechable en forma inmediata. Existen soluciones prácticas que permiten acelerar el proceso de consolidación. Se trata de estudiar en forma previa y cuidadosa el intercalamiento de mantos arenosos que permitan la disipación de las presiones neutras con mayor facilidad y de esta forma acelerar el proceso de consolidación.

Es de destacar la posibilidad que tienen estos equipos de realizar destapes de las primeras capas sumergidas ó no, dado que normalmente estas son las de materiales más finos, para acceder a mayor profundidad a la canteras del material apropiado.

# CAPITULO 1

Autor: Departamento de Investigación y Desarrollo de Pagliettini SA.  
\* Ing. Oscar Norberto Abad - Ing. Fernando Elio Catani

Asesoramiento Técnico:  
\* Ing. Vial Juan Alberto Ruiz

Ensayos de Suelos:  
\* Ing. Domingo Di Corleto

**UNA EXPERIENCIA DE RELLENO  
HIDRAULICO CON MATERIALES  
FINOS**

## **OBRA DE DRAGADO Y RELLENO EN SAN FERNANDO, PCIA. DE BUENOS AIRES-ARGENTINA, REALIZADA POR PAGLIETTINI S.A.**

### Objetivo del Trabajo

La firma Pagliettini S.A. fue contratada a efectos de dotar a la fracción de terreno que luego describiremos, de una cota mínima necesaria para posibilitar su posterior urbanización.

Por dicho motivo no solamente debía procederse al relleno y levantamiento de dicho predio, sino que también debía utilizarse un material que permitiera un fácil drenaje y a su vez que tuviera una calidad suficiente que permitiera la utilización del mismo a corto plazo.

De hecho, dadas las características de la empresa, la ubicación del terreno y las ventajas comparativas frente a otros procedimientos, el relleno se realizó aplicando la técnica de dragado y refulado de suelos.

### Ubicación

La fracción de la que nos ocuparemos, está ubicada en la Provincia de Buenos Aires, en el Partido de San Fernando aproximadamente a 300 metros del Río Luján (afluente del Río de la Plata) y la superficie total del mismo es del orden de las 3 hectáreas.

Para el relleno de tal fracción se escogió un yacimiento lindero, propiedad del Municipio local, destinado a la construcción de una dársena para funcionamiento de una Escuela Municipal de Náutica.

Las condiciones del terreno natural que iba a ser rellenado eran las típicas de las áreas linderas a los curso aluvionales de llanura, bajo, inundable, anegadizo y habitualmente cubierto por las crecientes medias, dado que las crecientes máximas llegan en esa zona a la cota + 4.00 (IGM), en tanto que el predio en cuestión tenía una cota media de aproximadamente + 1.90 (IGM).

De acuerdo a lo expuesto, se decidió llevar la cota del terreno hasta un valor mínimo de + 4.30 (IGM).

Tanto la traza de la obra, como el yacimiento a utilizar son parte de una formación aluvional existente en la desembocadura misma del Río Luján, en aguas del Río de la Plata.

#### Descripción de las Tareas

En el mes de Abril de 1985 se iniciaron las tareas de desmalezamiento y destronque de la fracción. Paralelamente, una dragalina liviana (capacidad del balde 0,5 m<sup>3</sup>), operando sobre planchas o planchones, dado el bajo valor soporte del piso, comenzó la construcción de los caballetes que nos permitiría materializar los endicamientos.

Los mismos se realizaron por extracción lateral con préstamo de suelo del lado interno del recinto, de manera que dicho material fuera repuesto en ocasión de producirse el relleno por refulado.

La altura de coronamiento de dicho caballete o albardón, dependió del terreno natural, pero fue lo suficientemente alto para poder obtener la cota de relleno deseada y a su vez tener en cuenta:

- \* Erosión producida por lluvias
- \* Asentamientos

Por cuestiones operativas propias de la técnica del refulado, los endicamientos se construyen 0,50 metros más altos que las cotas finales proyectadas.

En este caso el ancho de coronamiento fue de 1.50 metros.

Es dable comentar que en esta obra, los albardones Norte y Este (zonas más bajas del terreno natural), debieron construirse en dos etapas, la segunda luego de un adecuado tiempo de oreo de la primera, debido a la baja calidad del material utilizado y la presencia de agua permanente en los préstamos.

#### Características Técnicas del Equipo Utilizado

El refulado se inició con el equipo más pequeño de Pagliettini S.A., la draga Chapaleo cuyas características salientes son:

- \* Eslora: 19.50 metros
- \* Manga: 4.50 metros
- \* Puntal: 1.00 metro
- \* Potencia de bomba: 650 H.P.
- \* Potencia del Cortador: 110 H.P.
- \* Bomba centrífuga de rotor cerrado.
- \* Diámetro de tubería expelente: 300 mm.

Se utilizó de acuerdo a las necesidades hasta una longitud de 120 m. de tubería flotante, y hasta 600 m. de tubería terrestre, aunque el promedio ponderado de la distancia de refulado fue de 350 metros.

#### Detalles de la Construcción

El refulado comenzó desde el vértice S.E. del recinto (próximo al yacimiento), y desde este punto se arrojó un 70% del total del material a colocar.

El vertedero se encontraba en el extremo N.O. del recinto.

Luego de haberse realizado la mitad de las tareas de refulado, pudo observarse en una superficie de alrededor de 70 metros a la redonda del vertedero, la presencia de un material muy fino, plástico y de pésima calidad.

Se decidió entonces el retiro hidráulico de dicho material, para lo cual se aumentó la velocidad de la hidromezcla dentro del recinto, utilizando para ello un adecuado manejo de los niveles del vertedero.

De esta manera pudo observarse la eliminación del material liviano y a la vez como el nuevo material aportado desplazaba a los finos, por acción combinada de la energía aportada por el movimiento de la hidromezcla, más la diferencia de densidades, avanzando el material grueso en forma de talud, moviéndose las partículas más gruesas de arriba hacia abajo, desplazando a las partículas finas.

Así se continuó hasta que se observó que el material más pesado llegaba a los vertederos, y también cuando se encontró en el desagüe del recinto un material fino arenoso con escasa presencia de limo.

La totalidad de los trabajos culminó a mediados de Junio de 1985 y pudo observarse la existencia de:

- \* Material fino en un radio del orden de 10 metros alrededor de los vertederos.
- \* A los pocos meses de finalizados los trabajos, en dicho sector se produjeron grietas y rajaduras que no se produjeron en otras zonas del recinto, índice concluyente de la baja calidad de algunos finos no expulsados.
- \* Simultáneamente con la ejecución de los trabajos, era posible el tránsito de personas detrás de la línea de refulado.
- \* A los tres meses de terminada la obra, un tractor mediano con una cortadora de maleza circulada por el predio sin dificultades.
- \* Poco después (a los seis meses) una topadora sobre orugas perfilaba los albardones, cortando los 0,50 metros de excedente de los mismos y conformando el talud exterior proyectado.
- \* Los asentamientos promedio del terreno natural, que no habían sido calculados previamente dado la magnitud de los trabajos, fueron de 0.09 metros.

### Tareas de Comparación de Materiales en Yacimiento y en Posición Definitiva

A efectos de sacar conclusiones prácticas de la experiencia comentada precedentemente, se decidió realizar perforaciones tanto en la zona de yacimiento, cuanto al predio rellenado. Al material de allí extraído se lo analizó, contando con la ayuda de un profesional experto en suelos y se extrajeron las conclusiones que se explicaran a continuación:

- \* Se realizaron dos perforaciones hasta 9 y 10 metros de profundidad respectivamente, en zona de yacimiento.
- \* Se realizaron seis perforaciones de aproximadamente 4 metros de profundidad cada una, en el terreno rellenado.
- \* Para cada metro lineal de perforación o cada vez que el suelo cambiaba de aspecto, se realizaron los siguientes ensayos:
  - a.- Descripción, color y clasificación unificada de suelos.
  - b.- Ensayo de penetración de Terzaghi.
  - c.- Límite líquido, plástico e índice plástico.
  - d.- Porcentaje de humedad.
  - e.- Granulometría.
  - f.- Densidades, húmeda y seca.
- \* Con todos estos parámetros, conociendo las cotas que permiten identificar al material refulado del terreno existente, se sacan las siguientes conclusiones:
  - El pasa tamiz # 200 promedio para materiales de yacimiento es del 54.5%
  - El pasa tamiz # 200 promedio para los materiales refulados, ya en posición definitiva es del 38%.

- El porcentaje de disminución de finos obtenidos es de un 30.3%.

$$\frac{54.5 - 38}{54.5} = 30.3\%$$

Se observa también que la densidad seca promedio del material del yacimiento es de 1,3 t/m<sup>3</sup>, en tanto que el mismo parámetro para el material refulado es de 1,46 t/m<sup>3</sup>.

Este es otro signo inequívoco de que el material que se obtiene con esta metodología de trabajo, puede mejorar sus características respecto del original.

#### Medición de Volúmenes Excavados y en Posición Definitiva

El volumen de suelo dragado de la dársena municipal, de acuerdo a batimetrías realizadas antes y después de la finalización de las obras fue de 97.500 m<sup>3</sup>.

La medición del volumen del suelo colocado sobre el predio a rellenar, arrojó un valor de 73.935 m<sup>3</sup>. Es de destacar que en este caso, el comitente reconoció a la firma constructora este último volumen.

El rendimiento expresado por la relación del peso seco del material en préstamo, versus el peso seco del material en terraplén, viene dado por la expresión:

$$R = 1 \frac{\text{Peso seco del préstamo} - \text{Peso seco del terraplén}}{\text{Peso seco del préstamo}}$$

$$R = 1 \frac{(97.500 \text{ m}^3 \times 1,30 \text{ t/m}^3) - (73.935 \text{ m}^3 \times 1,46 \text{ t/m}^3)}{97.500 \text{ m}^3 \times 1,3 \text{ t/m}^3}$$

$$R = 85\%$$

Este resultado implica que el 15% de los suelos refulados se escaparon por los vertederos, de acuerdo al manejo que se realizó de la altura de los mismos a efectos de lograr un equilibrio entre rendimiento de trabajo y calidad de la obra.

Entendiendo que los suelos de yacimientos tienen un pasa tamiz # 200 promedio de 54.5% y que la pérdida de materiales que nos da el cálculo del Rendimiento es de un 15%, si suponemos que todos esos materiales perdidos son finos pasa tamiz # 200 tendríamos que obtener valores promedios de finos del 39.5% para el material producto.

Como ya hemos visto, el valor promedio obtenido en el pasa tamiz # 200 para los materiales del terreno refulado es del 38%, totalmente compatible con el 39.5% calculado.

Se agrega al final del presente, el estudio de suelos a que se hizo mención, incluyendo las planillas con los resultados de los ensayos para cada perforación, a la vez que una planimetría esquemática del lugar donde se señalan: Terreno a rellenar, dársena y ubicación de las perforaciones realizadas.

### Comentarios

El objetivo de la obra que se describió, no fue científico ni de investigación. Se trato de una obra con fines comerciales donde en un comienzo el objetivo era obtener el mejor rendimiento (R) posible, alejando y elevando el punto de descarga o vertedero, a efectos de optimizar la ecuación económica.

Al promediar los trabajos y ante el convencimiento del cliente de la necesidad del retiro de los finos, se comenzó con tal tarea, que pudo haberse realizado en toda la obra mejorando seguramente el producto final.

Por tratarse el yacimiento de una futura dársena náutica, ajustada a un estricto proyecto, no se pudo ir a mayores profundidades en búsqueda de mejores materiales existentes en la zona.

Se agregan por último al final fotografías de la zona referida que muestran la preparación del recinto, la futura dársena, el recinto recién refulado, el vértice S.E. del recinto y la dársena recién finalizada.

**COMENTARIOS AL RELLENO HIDRAULICO  
RENDIMIENTOS Y MATERIALES OBTENIDOS**

- A.- La densidad seca promedio que se obtuvo de los suelos del préstamo hasta los nueve metros de profundidad fue de 1.10 t/m<sup>3</sup> con un pasa tamiz # 200 del 90% y mayor.
- B.- Luego del refulado la densidad seca promedio del terraplén fue de 1,26 t/m<sup>3</sup> con un pasa tamiz # 200 del 60% promedio también de ensayos de muestras extraídas a distintas profundidades.
- C.- El volumen medido del terraplén fue de 157.000 m<sup>3</sup>, en tanto el volumen excavado fue de 235.000 m<sup>3</sup>.
- D.- El rendimiento obtenido en este caso fue del 67%, valor atendible teniendo en cuenta el alto porcentaje de finos en yacimiento.
- E.- El 33% de los suelos refulados se escaparon por los vertederos y el vertido en cada uno de los recintos se manejó de tal manera que el limo quedara en el interior de los mismos.
- F.- Existe una marcada coherencia entre el 33% de los suelos que se escaparon y la disminución del pasa tamiz # 200 (del 90% al 60% valores promedio en los suelos refulados).
- G.- El relleno se ha comportado con tal eficiencia antes de cumplirse el cuarto mes de finalización de las tareas de relleno, ya operaban sobre el mismo topadoras livianas y se podía caminar sin problemas por toda su superficie.

## **CONCLUSIONES FINALES**

\* Los trabajos mencionados tienen marcadas coherencias en sus conclusiones, que si bien pueden generalizarse universalmente debido a que representan experiencias puntuales, alientan a los investigadores a profundizar el estudio de esta parte de ingeniería con objetivos bien claros.

\* Existe indudablemente una técnica ingenieril en el manejo hidráulico de los suelos actualmente en desarrollo y con gran potenciabilidad de utilización en el futuro para el mejoramiento de los mismos.

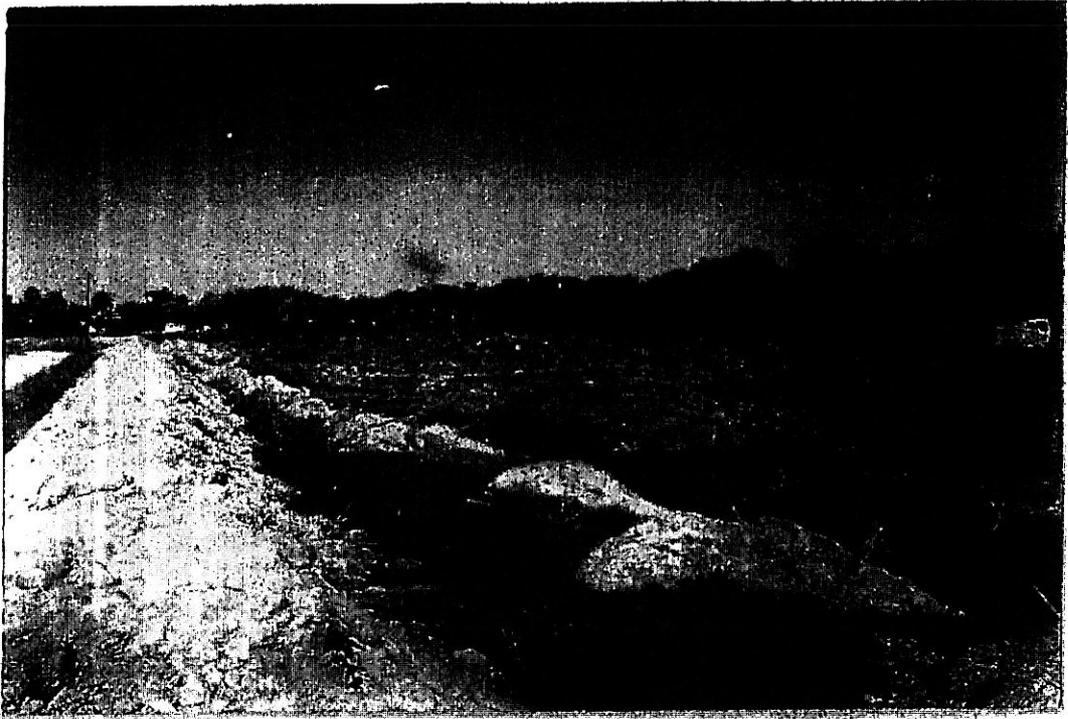
\* Dado el medio geográfico donde habitualmente se realizan este tipo de tareas, atendiendo a que el personal que se desempeña en las mismas permanece habitualmente embarcado durante períodos a veces extensos, en zonas húmedas, pantanosas y de difícil acceso por vía terrestre, y siendo normalmente estos trabajos continuos y de gran productividad, se hace sumamente difícil el desarrollo de esta técnica ingenieril.

Solamente aquellas empresas que han hecho de la actividad del dragado su parte medular y que cuentan con equipo y personal idóneo, son las que pueden realizar "in situ" estas investigaciones, ya que resulta fundamental por sobre todo disponer de ese "feeling" por las tareas desde el agua y en el agua que solo entienden aquellos que la comparten y que les hacen simplificar esos difíciles trabajos en un medio tantas veces hostil para los ajenos al mismo.

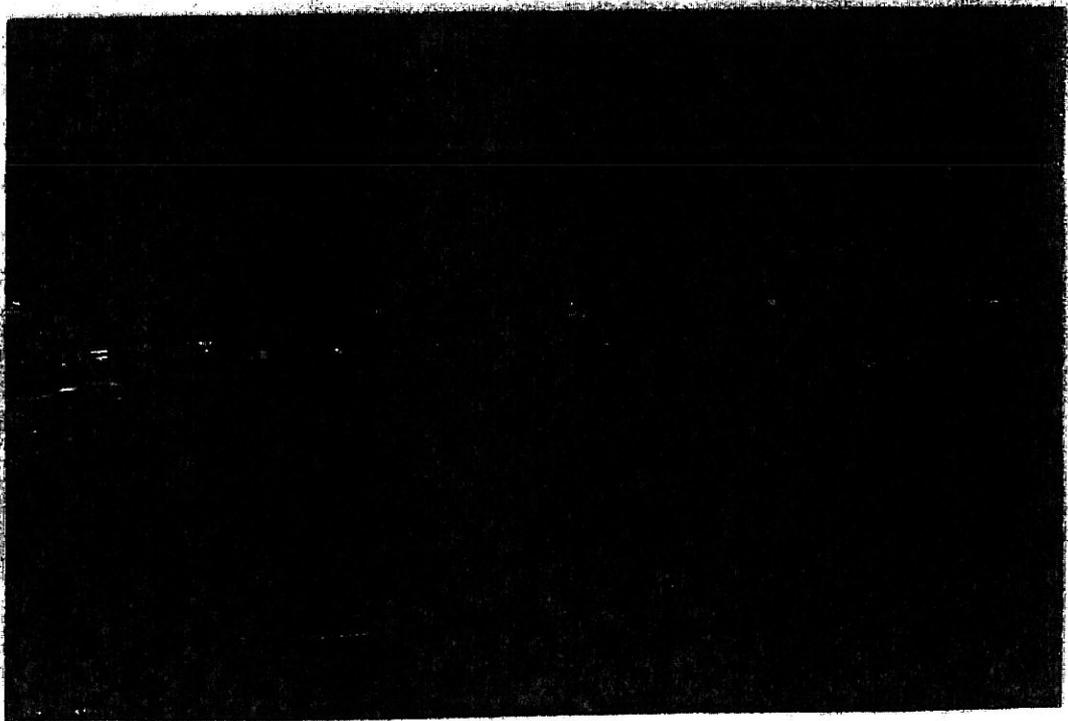
\* Por último vale destacar la practicidad, economía en tiempo y dinero y eficiencia que brinda esta metodología de trabajo para la construcción de terraplenes en zonas bajas y en las que no se disponga de yacimientos de suelo en superficie. Puesto que como ha quedado establecido un manejo adecuado de las canteras sumergidas que siempre existen, puede brindarnos el material útil para el terraplén que queremos construir, variando casi a voluntad aquellas características de los suelos que afectan la calidad de nuestra obra.

Buenos Aires, 31 de Julio de 1991.-

# **FOTOGRAFIAS**



Preparación del recinto previo al refulado



Vista general de la dársena y el recinto al finalizar los trabajos

**INFORME TECNICO  
ESTUDIO DE SUELOS**

*Estudio y Laboratorio de Mecánica de Suelos*

FUN - PAV

Ing. CIVIL DOMINGO C. DI CORLETO

HUALFIN 1066 PISO 7° DPTO. 28  
TEL. 432-2676  
CAPITAL FEDERAL

Buenos Aires, 31 de Julio de 1991.-

Señores:

PAGLIETTINI S.A.

Calle: Lavalle 3157

Pdo de San Fernando

Pcia: Buenos Aires

Ref: Estudio de Suelos.

Obra: Construcción de dársenas y refulado de suelos en Partido de San Fernando, Pcia de Buenos Aires, Zona lindera a Marina del Norte.

I N F O R M E      T E C N I C O

Teniendo en cuenta el tipo de suelo que predomina en las zonas de la ribera del Río Luján (cuenca del Río de la Plata), se procedió a realizar una serie de extracciones de muestras de suelo con cuchara Terzaghi partida de 36mm. de diámetro, a los efectos de analizar el tipo de material del lugar que en cierta forma configura el perfil geológico de la zona (sondeo N° 1 y N° 2) y luego con statar el material que en su oportunidad fuera refulado en la zona delimitada por los sondeos N° 3 al sondeo N° 9.-

Se acompaña un croquis aproximado con la ubicación de los sondeos practicados a los efectos de poder valorar la calidad del material refulado en base al método utilizado por la Empresa para la construcción de dicho terraplenamiento.

A tal efecto se adoptó la cuchara partida de Terzaghi porque los suelos predominantes en la zona están representados por las arenas finas limosas que son las partículas que aportan la estructura del suelo.

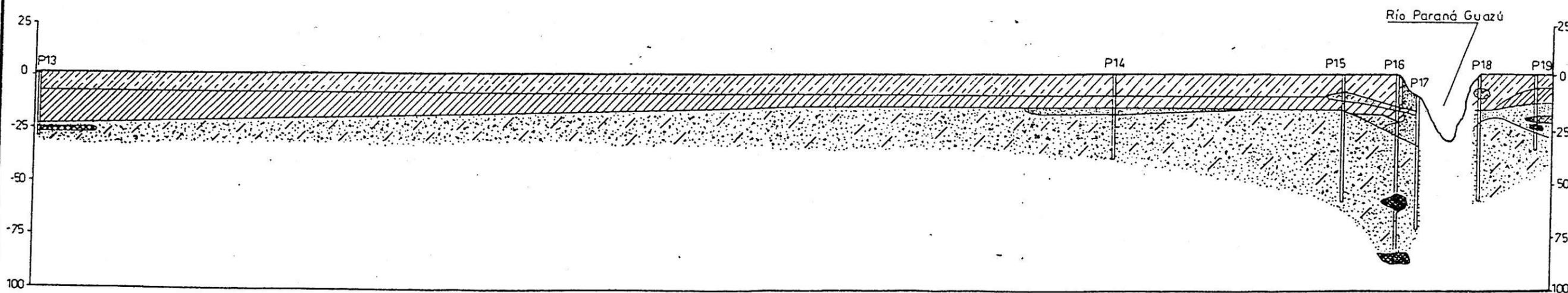
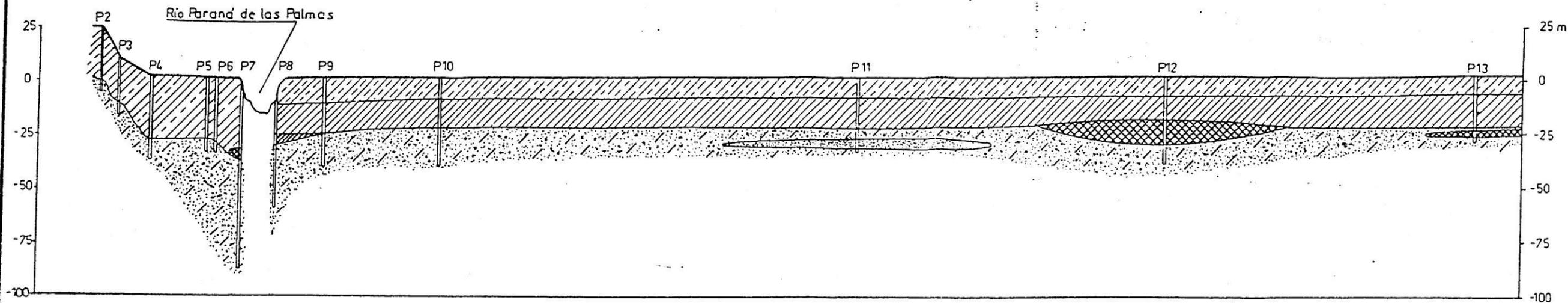
Analizando por un lado el material de yacimiento y el material depositado por refulado y teniendo en cuenta las granulometrías y plasticidades de los suelos, se llega a la conclusión que la arena fina fue trasladada para terraplenar una zona eliminando una parte del material que pasa el tamiz 200, de tal modo que el material depositado es de mayor calidad desde el punto de vista friccional, aportando una estructura y una estabilidad que deriva del asentamiento total ya finalizado.

Se adjunta a este informe técnico las planillas de los ensayos que corresponden a los sondeos N° 1 al sondeo N° 9.

*Domingo C. Di Corleto*

DOMINGO C. DI CORLETO  
INGENIERO CIVIL  
MATR. C.P.I.C. N° 7310  
MATR. C.P.I.C. 20. ADM. N° 15483

PERFIL GEOLOGICO ESQUEMATICO  
 RUTA NACIONAL Nº12  
 COMPLEJO FERRO-VIAL ZARATE-BRAZO LARGO  
 TRAMO ISLA TALAVERA



REFERENCIAS

ARENA LIMOSA SUELTA

ARCILLA Y LIMO BLANDOS DE BAJO LIMITE LIQUIDO

ARCILLA DURA

ARENA MEDIANAMENTE DENSA

ARCILLA BLANDA

ARCILLA COMPACTA A MUY COMPACTA

ARENA LIMOSA DENSA A MUY DENSA

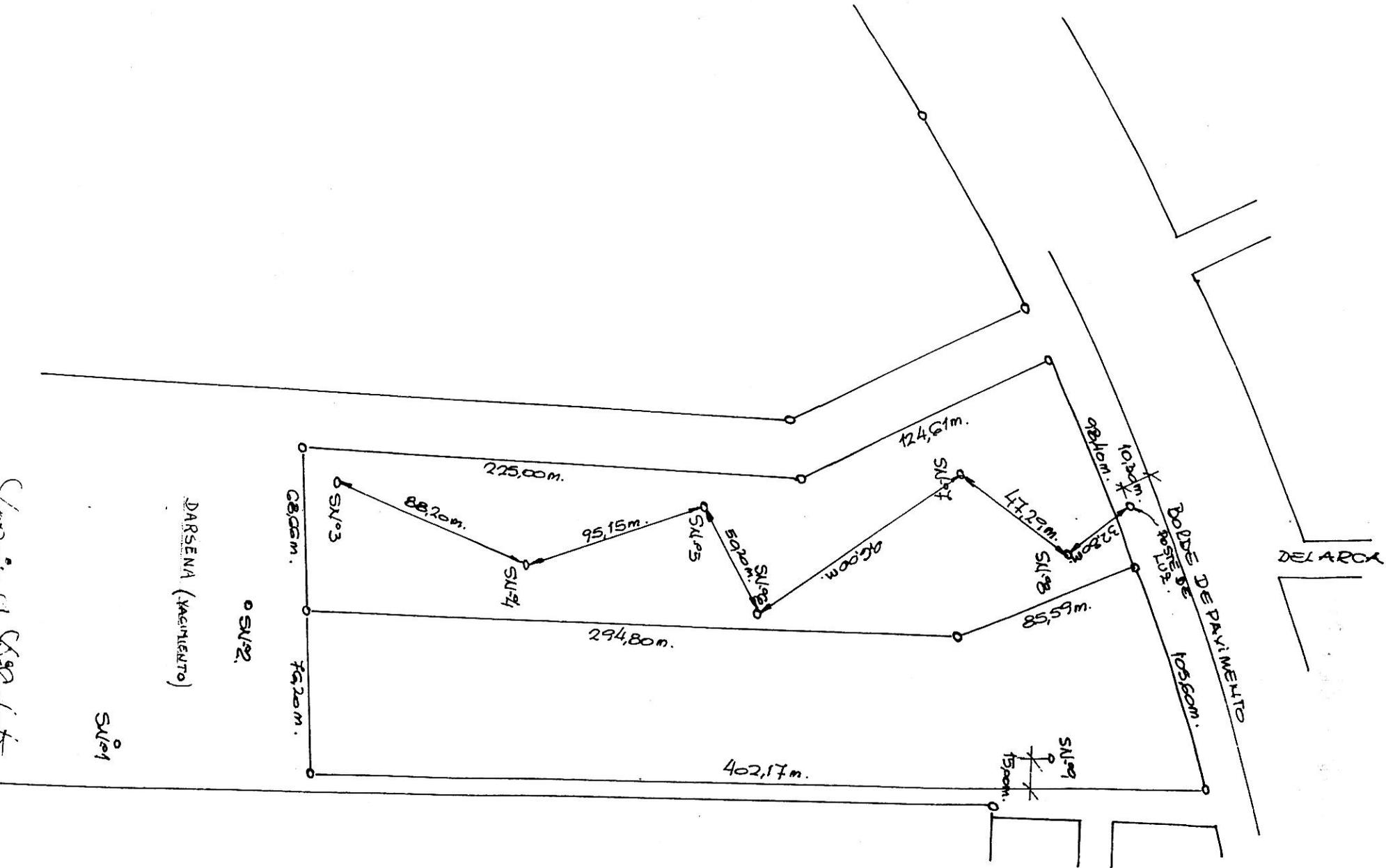
ARCILLA MEDIANAMENTE COMPACTA

PERFORACIONES

EV 0 10 20 30 40 50m

EH 0 500 1000m

CROQUIS UBICACION RELATIVA DE SONDEOS



*Chernigo A. Sotolots*

REPUBLICA DE COLOMBIA  
 MINISTERIO CIVIL  
 INSTITUTO NACIONAL DE VIAL  
 INSTITUTO NACIONAL DE VIAL

ESTUDIO Y LABORATORIO DE  
MECANICA DE SUELOS  
FUN-PAV

OBRA: CONSTRUCCION DE DARSENA Y REFULADO DE SUELOS PERFORACION N°: 1  
LOCALIDAD: SAN FERNANDO LUGAR: ZONA LINDERA MARINERA DE NOVEDADA Sobre nivel terr. natural  
PLIA: BUENOS AIRES  
FECHA PERF.: 22/07/91

PROF. m.	DESCRIPCION, COLOR Y CLASIFI- CACION UNIFICADA DE SUELOS	ENSAJO DE PENETRACION TERZAGHI					VALOR NUMERICO PORCENTUAL PROPIEDADES - FISURAS DEL SUELO				GRANULOMETRIA POR VIA HUMEDA EN % QUE PASA				PESO UNITARIO gr/cm <sup>3</sup>		ENSAJO TRIAXIAL		
		N° GOLPES EN 30 CM. 0 10 20 30 40 50					L.L.	L.P.	I.P.	% Hu.	N°4	N°10	N°40	N°200	γ	γ <sub>d</sub>	C Kg/cm <sup>2</sup>	φ °	
0,00 a 0,90	LIMO ORGANICO de MEDIANA PLAST. Color negro.	1					MH	52,00	38,20	13,80	49,6	100	100	97	85				
0,90 a 1,00	IDEM ANTERIOR.	1	1				MH	54,55	39,81	14,74	50,7	"	"	96	83				
1,00 a 1,80	" "	1	2				MH	61,48	39,26	22,22	54,00	"	"	95	88	1,805	1,172		
1,80 a 2,40	ARENA FINA LIMOSA, Color gris verdoso.	4					SM	18,60	17,30	1,30	35,7	"	"	98	33				
2,80 a 3,10	IDEM ANTERIOR.	1					SM	20,60	18,90	1,70	35,00	"	"	99	42	1,816	1,345		
3,50 a 4,40	" "	1					SM	19,70	17,30	2,40	42,50	"	"	97	46				
4,40 a 5,40	LIMO de MEDIANA PLASTI- CIDAD Color gris osea verdoso	1					ML	21,01	17,30	3,71	46,30	"	98	94	58	1,870	1,278		
6,00 a 6,70	ARENA FINA LIMOSA, Color gris verdoso, c/CONCHILLAS.	5					SM	21,50	19,40	2,10	29,40	"	98	92	36				
7,00 a 7,80	IDEM ANTERIOR.	2					SM	23,40	19,70	3,70	29,60	"	97	90	45	1,810	1,396		
8,00 a 8,80	" "	8					SM	23,90	19,00	4,90	23,60	"	96	88	40				

↓  
MATERIAL A  
REFULCAR

PASA TAMIZ  
N°200 FROM  
58%

TTTTTTTT  
PISO

Domigo C. de Sileto

DOMINGO C. DE CORLETO  
INGENIERO CIVIL  
MATR. C.P.T.C. N° 7619  
MATR. C.P.I. Bb. Ad. N° 18201

ESTUDIO Y LABORATORIO DE  
MECANICA DE SUELOS  
FUN-PAV

OBRA: CONSTRUCCION DE DARSENA Y REFULAZO DE SUELOS PERFORACION Nº: 2  
 LOCALIDAD: SAN FERNANDO LUGAR: ZONA LINDERA MARINA del NOROCCIDENTE  
 PLIA: BUENOS AIRES.  
 FECHA PERF.: 22/07/91

PROF. m.	DESCRIPCION, COLOR Y ELASIFI- CACION UNIFICADA DE SUELOS	ENSAYO DE PENETRACION TERZAGHI					VALOR NUMERICO PORCENTUAL PROPIEDADES - FISURAS DEL SUELO				GRANULOMETRIA POR VIA HUMEDA EN % QUE PASA				PESO UNITARIO gr/cm <sup>3</sup>		ENSAYO TRIAxIAL			
		3	10	20	30	40	50	LL	LP	I.P.	%Hu.	Nº4	Nº10	Nº40	Nº200	γ	γ <sub>d</sub>	C Kg/cm <sup>2</sup>	σ <sub>3</sub> "	
0,20-0,80	LIMO INORGANICO de ME- DIANA PLAST. Color negro.	1						ML	33,37	24,91	8,46	35,80	100	100	98	89				
0,80-1,50	IDEM ANTERIOR.	2						ML	19,20	17,30	1,90	45,20	"	"	99	85	1916	1319		
1,50-2,20	ARENA LIMOSA, Color GRIS OSCURO VERDOSO.	4						SM	NO PLASTICO		41,10	"	"	99	44					
3,00-3,50	IDEM ANTERIOR.	10						SM	"	"	37,90	"	"	99	40	1931	1400			
3,50-4,50	IDEM ANTERIOR.	8						SM	"	"	29,40	"	"	98	42					
4,50-5,50	" "	3						SM	"	"	35,20	"	"	97	36	1864	1378			
5,50-6,50	" "	4						SM	"	"	32,20	"	"	92	24					
6,50-7,50	" "	2						SM	"	"	35,10	"	"	95	26	1813	1334			
7,50-8,50	LIMOS DE BAJA PLASTICI- DAD, Color GRIS VERDOSO.	2						ML	23,40	19,70	3,70	30,20	"	"	91	56				
8,50-9,50	IDEM ANTERIOR.	1						ML	21,50	18,40	3,10	36,70	"	"	88	60	1809	1323		
9,50-10,50	" "	3						M	22,70	19,80	2,90	24,60	"	"	81	51				

PISO

WINGO C. DI CORLETO  
INGENIERO CIVIL  
MATR. C.P.I.C. Nº 7814  
MATR. C.P.I. EG. An. Nº 16457

ESTUDIO Y LABORATORIO DE  
MECANICA DE SUELOS  
FUN-PAV

OBRA: CONSTRUCCION DE DARSENA Y REFUGIO DE SUELOS PERFORACION N°: 3  
LOCALIDAD: SAN FERNANDO LUGAR: ZONA LINDERA a MARINA del NORTE LOTA: Sobre suelo Refutado.  
PCIA: BUENOS AIRES. -----  
FECHA PERF.: 23/07/91

PROF. m.	DESCRIPCION, COLOR Y CLASIFI- CACION UNIFICADA DE SUELOS	ENSAJO DE PENETRACION TERZAGHI N° GOLPES EN 30 CM. 0 10 20 30 40 50	VALOR NUMERICO PORCENTUAL PROPIEDADES-FISURAS DEL SUELO				GRANULOMETRIA POR VIA HUMEDA EN % QUE PASA				PESO UNITARIO gr./cm <sup>3</sup>		ENSAJO TRIAXIAL	
			L.L.	L.P.	I.P.	%Hu.	N°4	N°10	N°40	N°200	$\gamma$	$\gamma_d$	C Kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_{1,3}$
	SONDEO N°3													
0,20-0,40	ARENA LIMOSA, color me- diano claro y conchillas.	SM	19,62	15,95	3,67	15,6	100	97	93	32				
0,70-0,90	IDEM ANTERIOR.	SM	19,20	15,80	3,40	21,7	100	100	95	43	1,916	1,574		
1,20-1,40	" "	G	SM	18,30	15,90	2,40	12,9	100	93	89	29			
1,40-1,60	" "	SM	19,69	18,19	1,50	21,3	100	97	96	42	1,967	1,621		
1,60-2,10	ARCILLA LIMOSA de BAJA PLAST. color marron claro y ca	CL-ML	23,74	19,15	4,59	29,2	100	100	98	73				
2,20-2,40	LIMO de BAJA PLAST. Color GRIS OSCURO VERDOSO	ML	29,7	23,48	6,22	36,2	100	100	99	88	1,989	1,460		
2,80-3,00	ARCILLA de MEDIA PLAST. Color GRIS OSCURO VERDOSO	CL	26,62	19,51	7,11	42,7	"	"	99	86				
3,40-4,50	IDEM ANTERIOR.	CL	26,57	19,19	7,38	37,6	100	100	98	79	1,911	1,388		

↓  
MATERIAL  
REFUTADO

PASA TAMIZ  
#200 PROM.  
36,5%

|||||  
TERRENO  
NATURAL

DOMINGO C. DI COLETO  
INGENIERO CIVIL  
N° 77. C.P.I.C. N° 7315  
N° 12. C.P.I. 98. 20. N° 16495

ESTUDIO Y LABORATORIO DE  
MECANICA DE SUELOS  
FUN-PAV

OBRA CONSTRUCCION DE DARSENA Y REFULADO DE SUELOS PERFORACION N°: 4 y 5  
LOCALIDAD: SAN FERNANDO LUGAR: ZONA LINDERA MARINA DEL NORTE LOTA: Sobre suelo refulado.  
PLIA: BUENOS AIRES. FECHA PERF.: 23/07/91

PROF. m.	DESCRIPCION, COLOR Y CLASIFI- CACION UNIFICADA DE SUELOS	ENSAYO DE PENETRACION TERZAGHI					VALOR NUMERICO PORCENTUAL PROPIEDADES-FISURAS DEL SUELO				GRANULOMETRIA POR VIA HUMEDA EN % QUE Pasa				PESO UNITARIO gr./cm <sup>3</sup>		ENSAYO TRIAXIAL		
		Nº GOLPES EN 30 CM.	LL	L.P.	I.P.	% Hu.	Nº4	Nº10	Nº40	Nº200	γ	γ <sub>d</sub>	C Kg/cm <sup>2</sup>	σ <sub>3</sub> "					
<u>SONDEO N° 4</u>																			
0,40-0,60	ARENA LIMOSA, Color me- diamente claro																		
0,80-1,30	IDEM ANTERIOR.	6																MATERIAL REFULADO	
1,40-1,80	" "	3	4mm															PASA TAMIZ # 200 PROM. 42%	
2,00-2,50	ARENA LIMOSA, Color me- diante oscuro verdoso.																		
2,80-3,50	IDEM ANTERIOR																		
3,60-4,50	ARCILLA LIMOSA	2																TERRENO NATURAL	
<u>SONDEO N° 5</u>																			
0,30-0,50	ARENA LIMOSA, Color me- diante claro, con conchillas.																		
0,60-1,00	IDEM ANTERIOR.	2																MATERIAL REFULADO	
1,50-2,00	" "	2	4mm															PASA TAMIZ # 200 PROM. 40,33%	
2,50-3,50	LIMO DE BAJA PLASTICIDAD Color gris oscuro verdoso																		
3,50-4,50	IDEM ANTERIOR.	5																TERRENO NATURAL	

*Domínguez*

DOMINGO G. DE CORLETO  
INGENIERO CIVIL  
MATR. C.P.I.C. Nº. 7010  
MATR. C.P.I. Bs. As. Nº. 12400

ESTUDIO Y LABORATORIO DE  
MECANICA DE SUELOS  
FUN-PAV

OBRA: CONSTRUCCION DE BARRERA Y REFULLADO DE SUELOS PERFORACION N°: 7  
 LOCALIDAD: SAN FERNANDO - LUGAR: ZONA LINDERA MARICA DEL NOROCCIDENTE: Sobre suelo refulado  
 PLIA: BUENOS AIRES: - - - - -  
 FECHA PERF.: 24/07/91

PROF.	DESCRIPCION, COLOR Y CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS	ENSAYO DE PENETRACION TERZAGHI					VALOR NUMERICO PORCENTUAL PROPIEDADES - FISURAS DEL SUELO				GRANULOMETRIA POR VIA HUMEDA EN % QUE PASA				PESO UNITARIO gr/cm <sup>3</sup>		ENSAYO TRIAXIAL		
		0	10	20	30	40	50	LL	LP	IP	% Hu.	N°4	N°10	N°40	N°200	γ	γ <sub>d</sub>	C	σ <sub>v</sub>
0,70-0,75	ARENA LIMOSA color marrón claro.										SM	No PLASTICO	15,10	100	100	97	26		
0,60-0,65	TIEM ANTERIOR con COYCHILLAS.	5					22,52	20,53	1,99	32,3	SM		"	"	94	28	1,965	1,485	
1,00-1,10	ARENA ARCILLOSA color marrón claro.						23,7	13,2	10,5	31,9	SC		"	"	98	44			
1,60-2,10	ARENA ARCILLOSA color gris oscuro VERBOSO.	6					23,56	12,90	10,66	28,9	SC		"	"	97	41	1,908	1,480	
2,10-2,40	LIMO DE BAJA PLASTICIDAD color gris oscuro.						29,76	26,82	2,94	42,3	ML		"	"	96	67			
2,50-2,80	TIEM ANTERIOR.	4					32,96	32,00	0,96	44,9	ML		"	"	94	67	1,947	1,343	
3,00-4,00	" "	5					50,94	43,98	6,96	51,2	MH		"	"	96	70			

MATERIAL REFULADO

PASA TAMIZ #200 PROM. 35%

TERRENO NATURAL

Corina C. Colombo

INGENIERO EN OBRAS DE CONCRETO  
 INGENIERO CIVIL  
 MATR. G. P. I. C. N.º 7013  
 MATR. I. P. I. C. N.º 18398

ESTUDIO Y LABORATORIO DE  
MECANICA DE SUELOS  
FUN-PAV

OBRA: CONSTRUCCION DE DARSENA Y REFULAZO DE SUELOS PERFORACION N°: 8  
LOCALIDAD: SAN FERNANDO LUGAR: ZONA LINDERA MARINA DEL NORTE COTA: Sobre suelo Refutado  
PCIA: BUENOS AIRES. FECHA PERF.: 25/07/91

PROF. m.	DESCRIPCION, COLOR Y CLASIFI- CACION UNIFICADA DE SUELOS	ENSAYO DE PENETRACION TERZAGHI N° GOLPES EN 30 cm.					VALOR NUMERICO PORCENTUAL PROPIEDADES-FISURAS DEL SUELO				GRANULOMETRIA POR VIA HUMEDA EN % QUE PASA				PESO UNITARIO gr./cm <sup>3</sup>		ENSAYO TRIAXIAL				
		10	20	30	40	50	L.L.	L.P.	I.P.	% Hu.	N°4	N°10	N°40	N°200	γ	γ <sub>d</sub>	C kg/cm <sup>2</sup>	σ <sub>v</sub> g			
0,10 a 0,40	ARCILLA LIMOSA de MED. PLAS- TICIDAD color marrón claro.						CL-ML	24,80	18,75	6,05	24,10	100	100	98	53					↓ TERRENO NATURAL	
0,50 a 0,90	ARENA LIMOSA, color ma- rroclaro	5					SM	22,19	21,31	0,88	27,10	"	"	99	37						
1,10 a 1,30	IDEM ANTERIOR						SM	21,55	17,93	3,62	31,7	"	"	98	32					PASA TAMIZ # 200 PROM. 38%	
1,60 a 2,00	IDEM ANTERIOR, color gris oscuro.	7					SM	22,10	18,60	3,50	26,6	"	"	98	30	1,913	1,511				
2,20 a 2,80	LIMO DE BAJA PLASTIC- IDAD color gris oscuro.	5					ML	22,10	21,30	0,80	35,2	"	"	98	51	1,862	1,377			 TERRENO NATURAL	
3,00 a 4,00	IDEM ANTERIOR	5					ML	32,32	24,65	7,67	55,6	"	98	92	85	1,900	1,221				

*Donato G. Corlet*

DONATO G. DI CORLETTI  
INGENIERO CIVIL  
MATR. C.P.I.C. N° 7310  
CATE. C.P.I. Bo. de 1951

## CAPITULO 2

Autor: Ing. Vial Juan Alberto Ruiz

Con el apoyo del Departamento de Investigación y Desarrollo de  
Pagliettini S.A.

**CONSTRUCCION DE TERRAPLENES EN ZONAS  
BAJAS E INUNDABLES DEL DELTA DEL RIO  
PARANA**

## **INTRODUCCION**

Las obras cuya ejecución comentaremos en primera instancia, se desarrollaron entre mediados de la década del 70 y principios de la del 80, al sur de Provincia de Entre Ríos y norte de la Provincia de Buenos Aires.

Las tareas estructurales, consistieron en la construcción de viaductos de acceso a dos puentes atirantados de 330 m de luz central cada uno, mixtos, carreteros y ferroviarios, y una altura sobre el nivel medio de agua de más de 50 metros, sobre dos brazos principales del Río Paraná, bajo estos puentes pasa el 65% de las exportaciones del país en buques tipo Panamax, proveniente de puertos de la Provincia de Santa Fe.

Separados entre sí, 22 Km por los terrenos bajos inundables y anegadizos de la Isla Talavera, se encuentran los dos mencionados brazos principales en que se divide el Río Paraná previo a su desembocadura, denominados Paraná de las Palmas y Paraná Guazú.

Sobre la superficie de esta Isla Talavera se construyeron terraplenes de gran sección mediante el refulado de más de cinco millones de metros cúbicos de suelos que con sus viaductos permitieron la vinculación de la red vial y ferroviaria existente, con la rica Mesopotamia Argentina, sur de Brasil y Uruguay, accediéndose así en forma directa a Buenos Aires, evitando balsas y ferry-boats y permitiendo el tránsito durante las 24 horas.

La obra total en sí se desarrolló en varias etapas y con distintos contratistas, habiendo estado la totalidad de la responsabilidad en cuanto a la contratación, dirección e inspección a cargo de Vialidad Nacional. La primera parte de las obras se conocieron con el nombre de Complejo Ferroviario Zárate-Brazo Largo, aunque en realidad los trabajos posteriores como Brazo Largo-Sagastume y Sagastume-Ceibas aunque con obras de arte de menor importancia y consecuentemente costos inferiores, también se integran al complejo dado que fueron ejecutadas en gran parte con terraplenes de materiales refulados desde draga, y se trata al igual que las anteriores, de zonas bajas inundables y altamente sensibles a la variaciones de caudal del Río Paraná, uno de los cuatro más importantes cursos de agua del mundo.

La firma Pagliettini S.A. tuvo una activa participación en los trabajos de dragado y refulado para construcción de los terraplenes de las obras mencionadas, que es su especialidad, en todos los casos como subcontratista de las empresas viales encargadas de la totalidad de las tareas.

En este trabajo, comentaremos algunas características de las obras mencionadas, fundamentalmente en lo referente a las obras básicas de terraplenes que se construyeron aplicando el método de transporte hidráulico de materiales áridos a través de cañerías, desde canales especialmente dragados a veces y en otras desde canales existentes, paralelos a la traza del camino.

Es de destacar que el proyectista original de estas obras, la firma Italconsul, recomienda en la parte descriptiva de la presentación de su trabajo, la conveniencia de la utilización del método constructivo aludido, atendiendo a las características de los terrenos a atravesar.

Este método constructivo se convierte en altamente favorable respecto a los tradicionales en estas zonas debido fundamentalmente a la inexistencia de los vaciamientos cercanos de suelos ya que en general toda el área es baja y no existen yacimientos sobre el nivel de cota de inundación a los que se pueda acceder.

De esta forma, o sea a través del dragado y refulado no existen los costos de transporte tradicionales, se puede acceder a materiales en profundidad descartando los totalmente ineptos, y sobre todo se puede trabajar independientemente del estado del tiempo y si se desea durante las 24 horas, obteniéndose rendimientos inmejorables, comparados con los obtenidos con métodos constructivos clásicos.

**CARACTERISTICAS DE LOS TERRENOS DONDE  
SE  
REALIZARON LAS OBRAS**

Las obras que comentamos se realizaron sobre terrenos bajos e inundables del Delta del Río Paraná.

Los suelos en superficie estaban permanentemente embebidos, constituidos por materiales orgánicos, plantas y troncos en estado de descomposición y permanentemente expuestos a las crecientes y bajantes del río, con las consecuentes variaciones del nivel freático en toda la isla.

Dado que el terreno descripto presentaba dificultades atípicas con relación a los regularmente utilizados para las trazas camineras, se decidió realizar un estudio pormenorizado de la zona y su subsuelo a efectos de poder asegurar el comportamiento de las obras a ejecutar.

Se encontraron suelos tipo CL, CH, y SC por lo menos en los dieciocho primeros metros bajo la superficie, siempre embebidos y contaminados con restos orgánicos vegetales, en la Isla Talavera fundamentalmente, que resultó la zona más crítica.

Según el sistema unificado de clasificación de suelos:

\* CL.: Arcillas inorgánicas de plasticidad media.

\* ML.: Limos inorgánicos.

\* CH.: Arcillas inorgánicas de alta plasticidad.

\* SC.: Arenas arcillosas.

Mencionaremos luego los ensayos ejecutados a lo largo de la traza, que nos brindaron la información necesaria para el cálculo de los asentamientos que podrían producirse y posteriormente en las conclusiones diremos lo que realmente ocurrió.

Se realizaron perforaciones sobre el terreno de las futuras obras, extrayéndose muestra de 2º de diámetro mediante sacamuestras normalizado de punta de pared delgada y portamuestras interior de plástico, hincado y percusión con una masa de 70 Kg. de peso y 70 cm. de altura de caída libre.

En la Figura 1 que se agrega a continuación puede observarse una planimetría general de la zona de obras ampliamente surcada por el Río Paraná, sus afluentes y derivaciones.

Se marcan en la misma los lugares donde se realizaron las aludidas perforaciones.

Puede observarse también el canal Martín Irigoyen por el que transitaban las dragas para realizar parte del refulado. Para la última parte de este tramo, el refulado se hizo por cañerías, directamente desde el Río Paraná Guazú.

Con los resultados de las determinaciones sistemáticas de terreno y laboratorio se confeccionó un perfil longitudinal estratégico del terreno, aunque desde ya los estudios se intensificaron en coincidencia con las fundaciones de las grandes obras de arte.

Como comentarios al mencionado perfil pudo observarse la existencia de un manto de arcilla y limos blandos con espesores del orden de los 20 a 25 metros y que disminuiría a medida que aumentaba la distancia al río, aunque en el tramo: Paraná de las Palmas - Paraná Guazú, en cambio, las arcillas y limos blandos se encontraban a lo largo de toda la isla hasta profundidades que llegaban a los 25 metros a partir del terreno natural, siendo éste el tramo que mayores asentamientos registró de todas las obras.

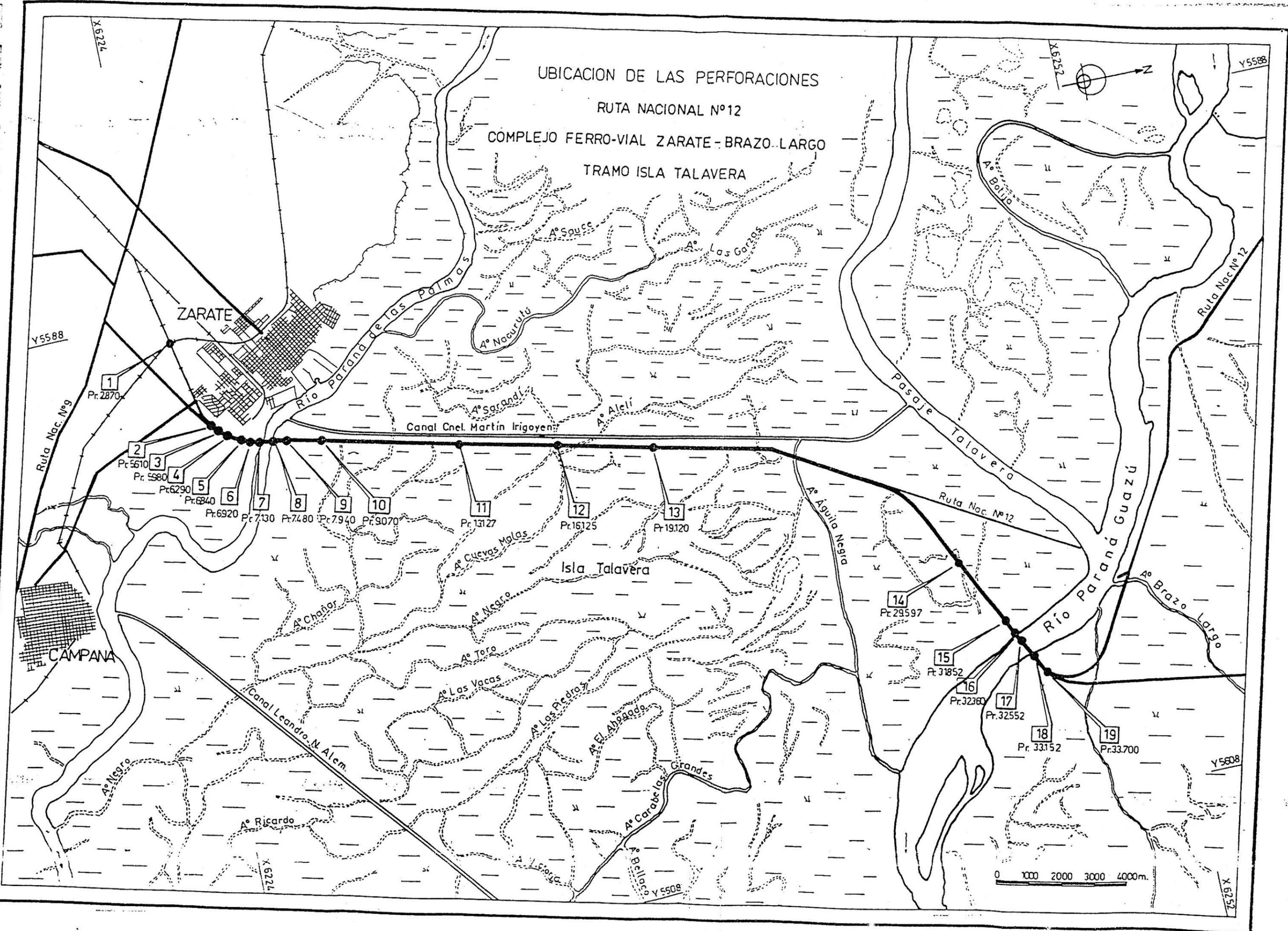
En algunos lugares, se comprobó la intrusión de arcillas en las arenas densas, lo que obligó a profundizar las perforaciones hasta más de los 80 metros a fin de establecer la continuidad y espesor de estos suelos que podrían afectar a las fundaciones. Se comprobó así la naturaleza lenticular de esta formación, hecho que obligó a efectuar verificaciones de detalle en la zona de fundación de pilas, previo a su construcción.

Se estableció que la longitud de los pilotes de fundación en todo el tramo quedarían definidos no solamente a partir del proceso constructivo y del diámetro de los mismos sino que tendrían como mínimo una penetración en los extractos de arenas densas a muy densas como mínimo de 5 metros para las pilas en tierra debiendo alcanzar para el caso de los grandes ríos donde son probables las socavaciones una penetración en estos mantos de 20 metros.

Se previó también la construcción del pavimento por encima de la cota de máxima crecida, lo que obligó a la ejecución de terraplenes de alturas importantes, en algunos casos mayores de seis metros por sobre el terreno natural, este factor unido a las condiciones de subsuelo llevaron a la conclusión de que la construcción de la obra básica por refulado era el método económicamente adecuado.

**PLANIMETRIA GENERAL DE LA OBRA  
EN LA ISLA TALAVERA**

UBICACION DE LAS PERFORACIONES  
RUTA NACIONAL Nº12  
COMPLEJO FERRO-VIAL ZARATE - BRAZO LARGO  
TRAMO ISLA TALAVERA



**ESTUDIOS BASICOS  
REALIZADOS SOBRE  
EL TERRENO**

En la figura precedente, como ya expresáramos, pueden observarse las perforaciones realizadas para obtener los materiales a clasificar y ensayar.

Se ensayaron los materiales extraídos de cada uno de los pozos de acuerdo al siguiente detalle:

- \* Clasificación del suelo para cada profundidad.
- \* Propiedades físicas (humedad natural, limite líquido, limite plástico, granulometría).
- \* Resistencia a la penetración ( $N^{\circ}$  de golpes de la cuchara de Terzaghi) para cada profundidad.
- \* Color de la muestra.
- \* Ensayos triaxiales no drenados,  $\phi_n$ , (ángulo de resistencia al corte) en grados y  $C_u$  (cohesión) en Kg./cm<sup>2</sup>.

Se manifiesta en el aludido perfil estratigráfico, el tipo de terreno sobre el que se estaba.

En los casos más críticos el número de golpes en la cuchara de Terzaghi para el ensayo de resistencia a la penetración era de 4 a los 15 metros de profundidad, llegando a valores importantes recién al encontrar arenas limosas medianamente densas o densas.

En análisis de los estudios de suelos, sus constantes físicas y la disposición de estos estratos subyacentes, permitieron la proyección de la construcción de importantes terraplenes sobre ese comprensible terreno natural, con la seguridad de que ocurrirían asentamientos considerables (calculables), con motivo de que las presiones que ocasionaría dicha carga concluirían en la disipación de las presiones neutras con la consecuente consolidación del terreno natural.

**PERFIL ESTRATIGRAFICO  
DE LA OBRA**

## **OTROS ENSAYOS REALIZADOS**

A efectos de profundizar el conocimiento del subsuelo se realizaron otros ensayos que mencionaremos a continuación que ayudarían a los especialistas encargados de predecir el comportamiento del mismo frente a grandes cargas.

Los ensayos de consolidación permitieron estudiar las deformaciones de los suelos y su recuperación para distintas cargas, en función del tiempo, a la vez que también se gráfica la variación de la relación de vacíos de los suelos en función de la presión aplicada.

Describiremos a continuación las características de estos ensayos realizados:

- \* Los ensayos de consolidación unidimensional (Figura 5) se realizaron sobre muestras típicas de 4º extraídas con sacamuestras a pistón fijo de pared delgada utilizándose para ello edómetros de 50 mm. de diámetro y 25,9 mm. de altura.
- \* En todas las muestras analizadas se llegó en el primer ciclo a una carga aproximadamente igual a la de presión vertical de las muestras en el terreno, se descargó luego y se realizó un segundo ciclo utilizando presiones crecientes desde 0,4 kg/cm<sup>2</sup> hasta 12,8 Kg/cm<sup>2</sup>, llegándose en algunas muestras hasta presiones de 25,6 Kg/cm<sup>2</sup>.
- \* Se trazaron curvas DEFORMACION - LOG.DEL TIEMPO para carga y descarga en distintas muestras a la presiones mencionadas.
- \* En todas ellas puede observarse el decrecimiento de la deformación a lo largo del tiempo para cualquier tipo de carga, a la vez que una recuperación muy pequeña de la misma o prácticamente inexistente para cargas más importantes.

A su vez se obtuvieron las curvas a que esta sometida la arcilla  $P_0 + P$  y origina una disminución de la relación de vacíos  $(e^0 - e) = e$ , pudiendo así definirse para cada intervalo de Coeficiente de Comprensibilidad (a) expresado por la relación:

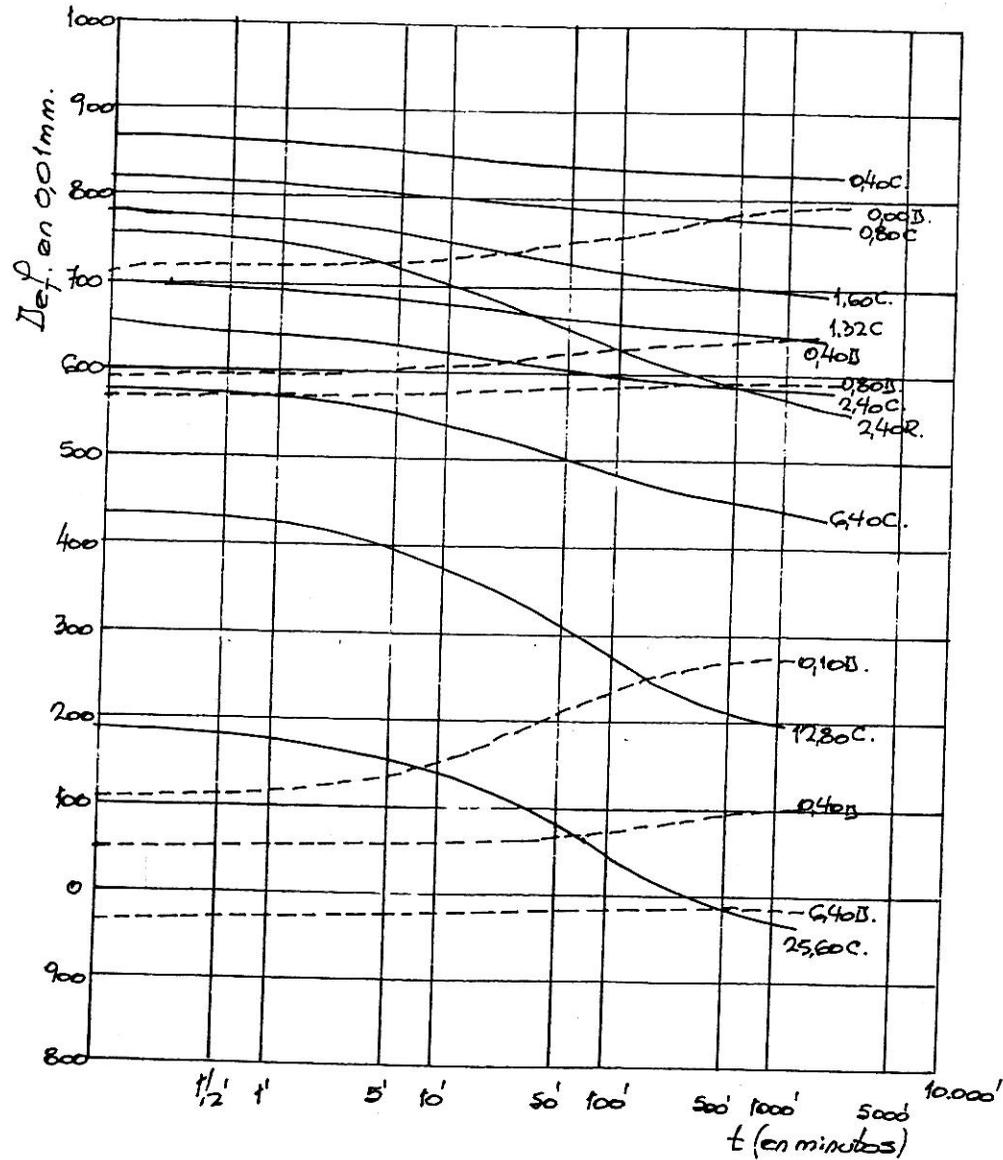
$$a \text{ (cm}^3\text{/gr)} = \frac{\Delta e}{\Delta p \text{ (cm}^3\text{/gr)}}$$

El análisis de los ensayos mencionados conjuntamente con otros que mencionaremos luego se utilizaron para evaluar los asentamientos previsionales en los terraplenes a construir.

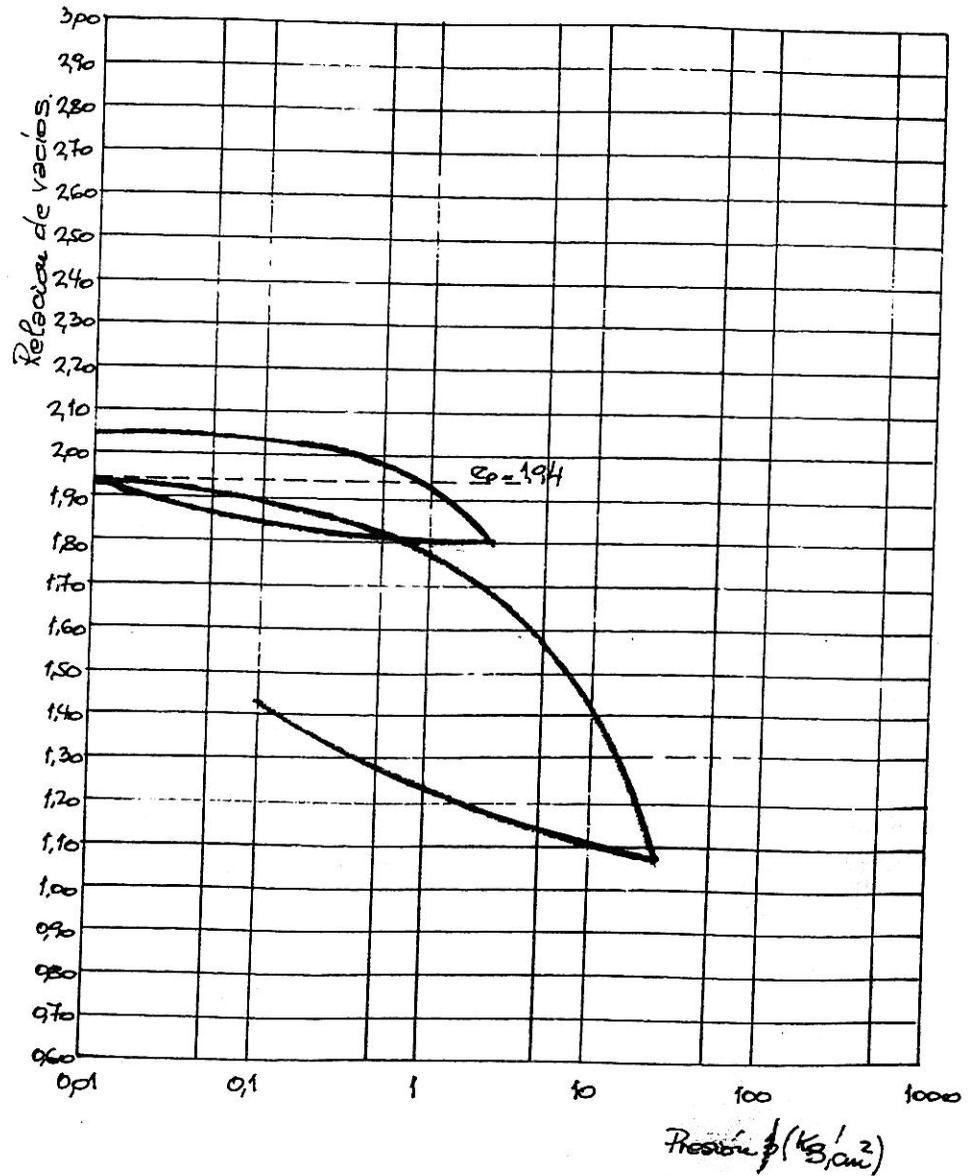
### ENSAYO DE CONSOLIDACION

Perforación N°11 - Progr. 13.127,00 - Mts N°30 - Prof. 24,20 m.  
 $L_0 = 6900$ ;  $L_0' = 4300$ ;  $H_{nat} = 77,20$  % Paso T.200 = 98,70  
 CURVA e-log p

CURVAS DEFORMACION-Log. t



C = carga D = descarga R = recarga.



**ENSAYOS TRIAXIALES PARA EL MEJOR  
CONOCIMIENTO DE LOS MATERIALES**

En estas pruebas realizadas en una cámara triaxial, el suelo está sometido a un estado de esfuerzos tridimensional y normalmente son utilizados estos ensayos en los laboratorios para determinar las características de esfuerzo-deformación y de resistencia de los suelos. Se pueden variar a voluntad de la presiones actuantes en tres direcciones ortogonales, en realidad se toman dos direcciones iguales (las probetas cilíndricas se someten a presiones laterales de un líquido).

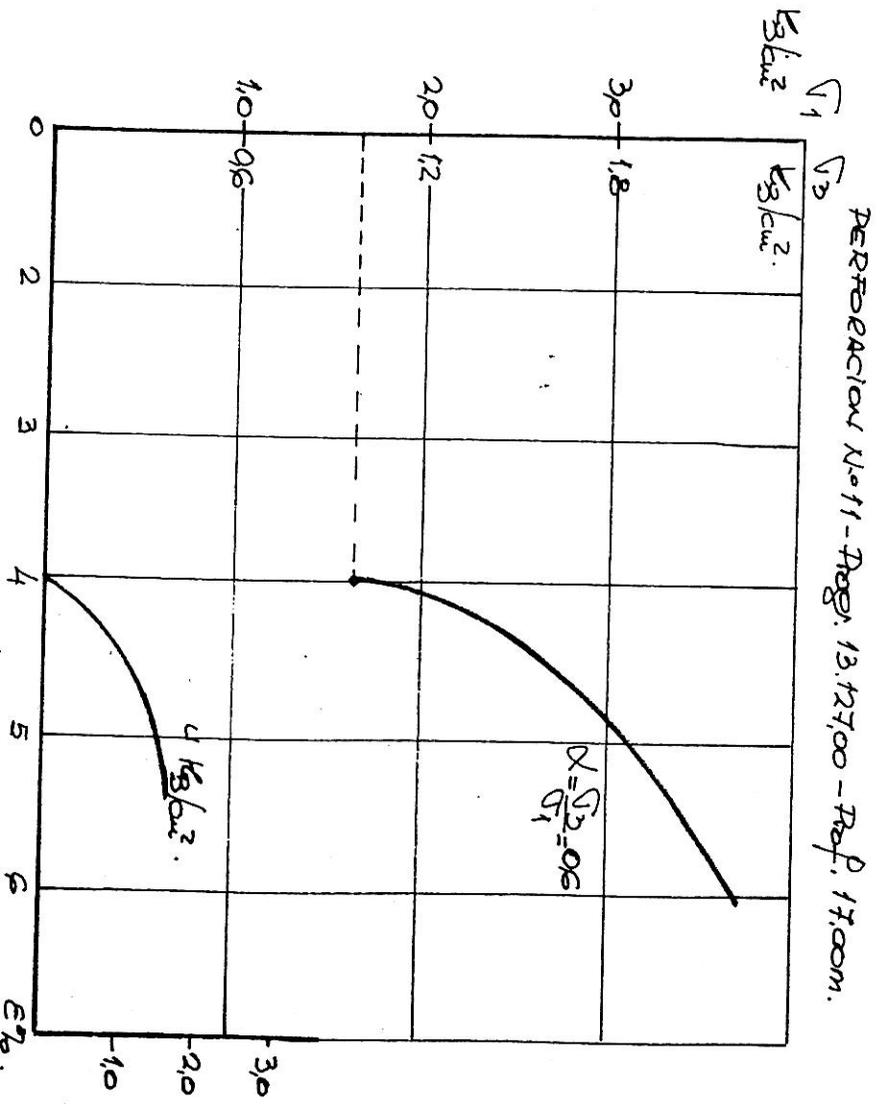
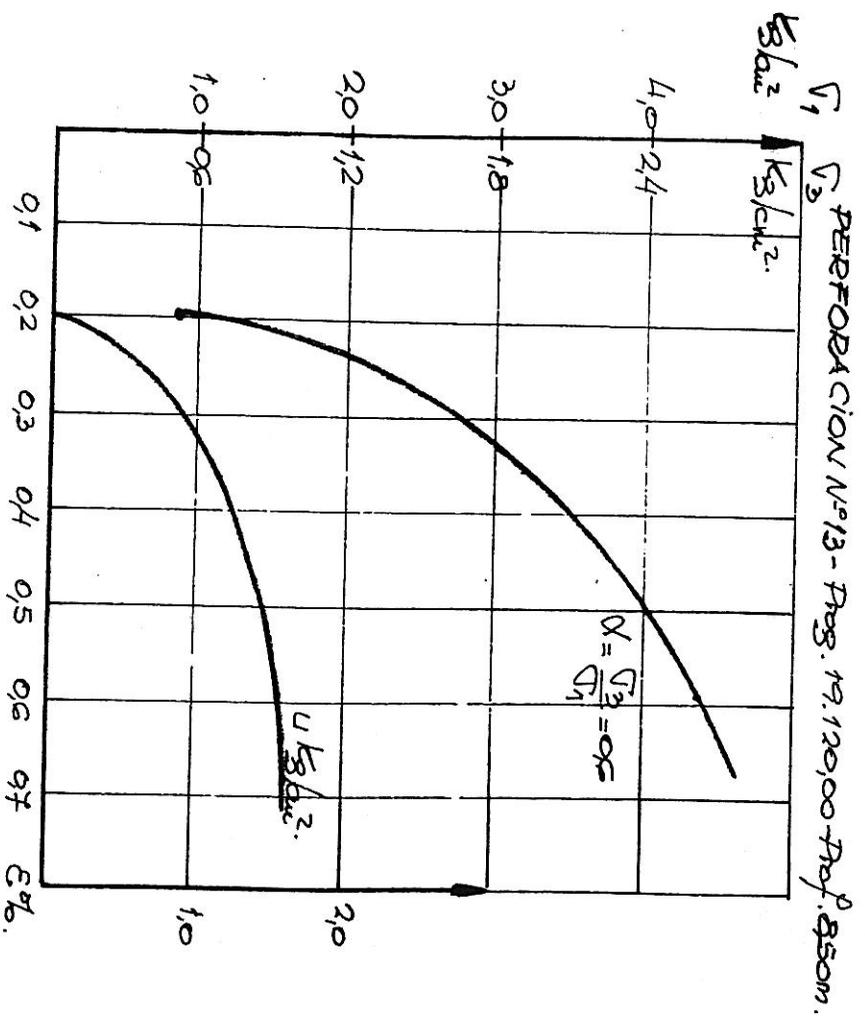
En este caso particular se realizaron ensayos triaxiales anisotrópicos con medición de presiones neutras.

La muestras fueron consolidadas en la cédula triaxial utilizando una relación entre 3, presión de confinamiento y 1, presión vertical, e igual a 0,6. Luego a drenaje impedido, se aumentaron en escalones sucesivos las presiones horizontal y vertical, manteniéndose la relación entre ambas igual a 0,6 y midiéndose simultáneamente las presiones neutras desarrolladas ( $u$ ).

Se muestra también un ejemplo de los resultados obtenidos para estos ensayos, donde se presentan valores de  $1$ ,  $3$  y  $u$  presión neutra en función de  $\Sigma$  deformación.

# ENSAYOS TRIAXIALES AISOTROPICOS CON MEDICION DE PRESIONES

NEUTRAS



**DIAGRAMA DE PRESIONES  
Y CALCULO DE ASENTAMIENTOS**

A efectos de poder estimar los asentamientos que se producirían en los terraplenes por efecto de las importantes cargas que ellos mismos representan sobre el terreno natural, se calcularon las presiones a profundidades de 5, 10, 15 y 20 metros.

Estas presiones verticales son la inducidas en el manto comprensible formado por suelos limosos y arcillosos blandos y de un espesor que varia entre 17 y 25 metros.

De los ensayos realizados de consolidación unidimensional para cada punto considerado bajo el terraplén se extrajeron los módulos de comprensibilidad volumétrica (mv).

También se obtuvieron los módulos de elasticidad medios (E) y asimismo valores medios de un coeficiente o parámetro (A) que relaciona los incrementos de presión neutra con los incrementos de la tensión desviante.

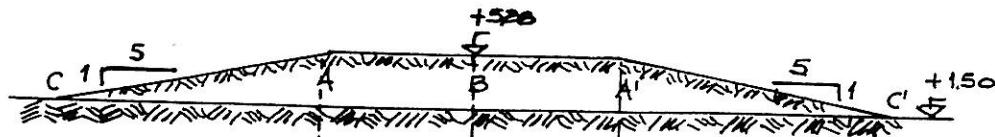
1-3 que originaron dicha presión, extraídos de los ensayos triaxial anisotrópicos.

En base a los datos mencionados para una cantidad determinada de muestras, se calcularon los asientos que deberían experimentar los terraplenes en la zona en cuestión.

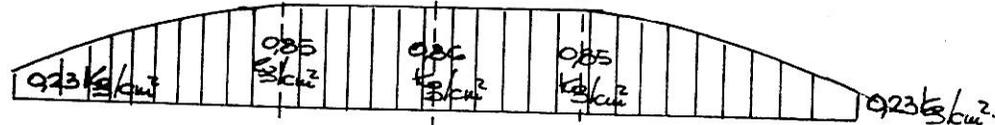
Se hizo oportunamente la salvedad de que los valores calculados fueron valores medios y que podrían variar en cierta medida en el terreno debido fundamentalmente a diferencias locales del manto comprensible que podrían no haber sido detectadas en la exploración realizada para la ejecución de los estudios para el proyecto.

## **ASENTAMIENTOS PREVISTOS**

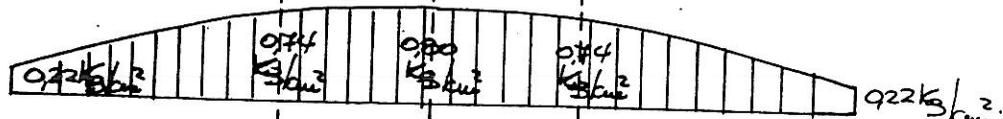
# DIAGRAMA DE PRESIONES



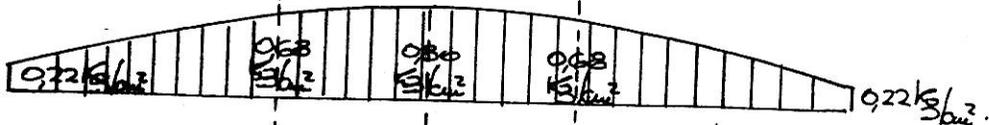
Prof. 5m



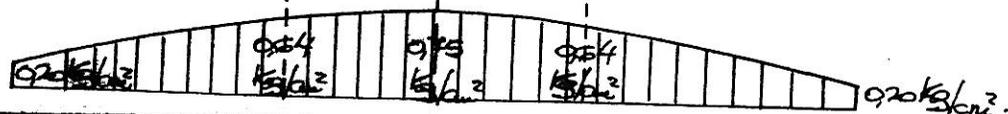
Prof. 10m



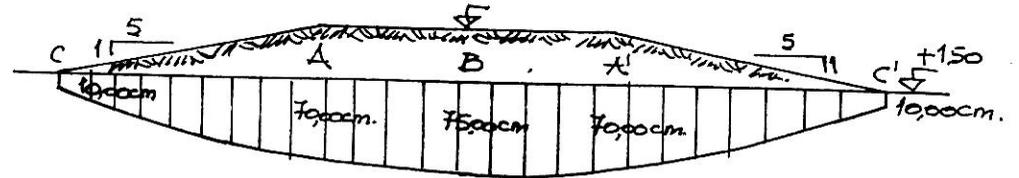
Prof. 15m



Prof. 20m



# ASIENTOS DEL TERRAPLEN.



Prof. (m)	MODULO DE COMPRESIBILIDAD VOLUMETRICA $m_v$ ( $kg/cm^2$ )			MODULO DE ELASTICIDAD		PARAMETRO A	
	PUNTO B	PUNTO A=A'	PUNTO C=C'	Prof. (m)	E $kg/cm^2$	Prof. (m)	VALOR
7.10	$1.8 \times 10^{-2}$	$1.8 \times 10^{-2}$	$1.2 \times 10^{-2}$	500	8800	8.50	0.60
10.80	$1.7 \times 10^{-2}$	$1.7 \times 10^{-2}$	$1.2 \times 10^{-2}$				
15.60	$3.8 \times 10^{-2}$	$3.3 \times 10^{-2}$	$1.3 \times 10^{-2}$	1000	8000	17.00	0.75
16.60	$6.8 \times 10^{-2}$	$6.3 \times 10^{-2}$	$1.75 \times 10^{-2}$				
21.50	$4.8 \times 10^{-2}$	$4.3 \times 10^{-2}$	$1.4 \times 10^{-2}$	1.80	7200		
24.50	$2.2 \times 10^{-2}$	$2.0 \times 10^{-2}$	$0.45 \times 10^{-2}$				

Esc. Long. 1:500

Esc. de presiones verticales 1cm =  $0.50 kg/cm^2$ .

Esc. de Asientos 1cm = 50cm.

## **RESULTADOS**

Concretamente puede afirmarse que si bien los asentamientos que se produjeron en algunos sectores de la obra fueron similares a los previstos, en general la medida superó los 75 cm, esperados para el denominado punto B del perfil de la figura siguiente.

En general esta tendencia se acrecentó a medida que en la zona de obra nos acercábamos a los cursos de agua permanente o pequeños arroyos que cruzaban la traza en muchas oportunidades.

Luego de más de cinco años de estar cargados los terraplenes, debió perforarse toda la obra, atendiendo a un reclamo de la firma contratista de ajuste de volúmen de suelo colocado, debido a la existencia de asentamientos algo superiores a los esperados.

Como promedio puede decirse que el asentamiento real fue similar al esperado en toda la obra a excepción de las zonas en proximidades con cauces naturales, donde en algunos casos llegaron a duplicarse los valores, tomándose para los tramos siguientes las previsiones del caso en cuanto a densidades de muestreo y estudios a realizar a efectos de poder tener proyectos más precisos y confiables.

Otra solución seguramente efectiva, hubiera sido el saneamiento de áreas contiguas a estos cauces existentes, previo refulado, de acuerdo a lo señalado por los estudios de suelos para cada caso.

Cabe destacar también que cualquiera que hubiera sido el método constructivo de la obra básica, nos hubieramos encontrado con los problemas que enfrentamos, razón por la cual se incluye con que el detallado estudio del terreno subyacente es la clave del éxito en cuanto a la cuantificación de los asentamientos esperados.

**COMENTARIOS ACERCA DE LO  
EFECTIVAMENTE SUCEDIDO EN EL TERRENO  
LUEGO DE MAS DE UNA DECADA DE HABERSE  
CONCLUIDO LAS OBRAS**

Luego de más de una década de haberse concluído las obras podemos hacer las siguientes observaciones acerca de los resultados obtenidos con la construcción de este tipo de terraplenes:

- a.- Su comportamiento ha sido excelente y en nada se diferencia luego de construido y compactado con otros realizado por métodos tradicionales (terraplén de avance).

Una prueba irrefutable de lo dicho la tenemos con los excelentes resultados en cuanto al comportamiento del mismos en ocasión de la creciente del Paraná ocurrida en el período 1982/1983, calificada como milenaria en cuando a su recurrencia, que afectó toda la zona en forma intensa y prolongada, sin alterar la estabilidad obtenida en los mismos.

- b.- La compactación de estos terraplenes se logró con mayor facilidad dado que el proceso de escurrimiento del aguatransporte permitió un acomodamiento de partículas, "compactación hidráulica", que con un mínimo proceso de compactación posterior permitió obtener la densidad especificada.
- c.- Los asentamientos producidos, aunque mayores en algunos sectores, como ya se comentara, y no totalmente compatibles con las previsiones aludidas anteriormente, fueron totalmente independientes del método constructivo utilizado para la obra básica.
- d.- Resulta de fundamental importancia en este tipo de obras el estudio detallado y en profundidad del terreno sobre el que se apoyará el terraplén. Del mismo surgirán las reales posibilidades de cargarlo y a su vez de obtener una obra básica estable, cualquiera sea el método constructivo de la misma.
- e.- En estas zonas bajas y pantanosas los terrenos suelen tener importantes espesores de suelos limo-arcillosos muy embebidos sobre los que se apoyará la obra. Es también de gran importancia establecer con precisión esos espesores por debajo el terreno natural, dado que errores en esta apreciación harán variar totalmente el asentamiento real.

Seguramente los mantos de materiales finos, engrosarán al acercarnos a los grandes cursos de agua, que han transportado durante milenios esos materiales aluvionales.

f.- La utilización de este tipo de tecnología (transporte y colocación hidráulica de suelos) para la construcción de terraplenes ha sido el secreto del éxito técnico, pero sobre todo económico de estas obras. Dado que se han podido optimizar los costos globales por la minimización de los costos de transporte a utilizar y la maximización de los tiempos de trabajo, totalmente independientes de las condiciones climáticas del lugar, como ocurrió en el tramo Brazo Largo-Sagastume, donde por las inundaciones de 1977 la zona donde se debía construirse el camino estuvo bajo agua por más de seis meses y las tareas de refulado no se detuvieron.

g.- Por último vale la pena destacar que para la construcción de los terraplenes del tercer tramo mencionado (Sagastume-Ceibas), Vialidad Nacional autorizó la utilización para núcleo de terraplén de suelos tipo A1 hasta A7 (Clasificación de Casagrande), exigiéndose solamente en el último metro (parte superior) del terraplén, materiales tipo A1, A2 ó A3.

Esto permitió que entre progresivas 0 - 4.300 de la citada obra se utilizaran para la conformación del núcleo del terraplén materiales finos, limo-arcillosos y arenoso-limosos, que mostraban características en yacimiento, de suelos con poca probabilidad de ser utilizados con éxito en la conformación de la obra básica.

No obstante, luego de refulados pudo observarse que habían mejorado en forma notoria algunos de sus parámetros tales como el porcentaje de finos expresados en fracción de pasatamiz # 200 y el índice plástico.

De hecho, cabe señalar que el terraplén construido con estos materiales se comportó de acuerdo a lo esperado, sin mostrar fallas de ningún tipo, y cumpliendo los requisitos de compactación exigibles para este tipo de obras por la administración.

La forma en que se trabajó en esta obra, unido a la presencia de inundaciones por la creciente del Río Paraná de 1982/1983 no permitió profundizar en los estudios de la mejoras percibidas, pero nos abrió el camino para iniciar nuevas investigaciones.

Estos estudios, actualmente en desarrollo, nos permiten asegurar que el transporte hidráulico y posterior depósito de suelos, materializado con controles adecuados de acuerdo a técnicas desarrolladas por especialistas en la materia, favorecen a la obtención de un suelo en posición definitiva de características superiores a las del mismo en yacimiento. .

Buenos Aires, 31 de Julio de 1991.-

# CAPITULO 3

Autor: Ing. Roberto T. Santangelo

## COMENTARIOS

Ing. ROBERTO T. SANTANGELO

Dr. A. MELO 2495  
1824 - LANUS Bs. Aires  
Tel. 247 - 8428

## COMENTARIO REFERIDO A LOS SIGUIENTES TRABAJOS

### CONSTRUCCION DE TERRAPLENES EN ZONAS BAJAS E INUNDABLES DEL DELTA DEL RIO PARANA

Autor: Ing. Juan A. Ruiz

Colaborador: Departamento de Investigaciones y Desarrollos  
Técnicos de la firma Pagliettini S.A.

### NUEVAS TENDENCIAS EN LA EVALUACION DE RELLENOS HIDRAULICOS EN ARGENTINA - EXPERIENCIAS Y VALORES MEDIDOS EN OBRAS

Autor: Departamento de Investigaciones y Desarrollos  
Técnicos de la firma Pagliettini S.A.

Colaborador: Ing. Juan A. Ruiz

## I - INTRODUCCION

La construcción de los terraplenes que conforman la denominada obra básica de un pavimento, normalmente es resuelta mediante el aporte de suelos que, en su estado natural, tienen un moderado contenido de humedad, pudiendo por lo tanto ser extraídos de yacimientos, transportados y procesados en el lugar de emplazamiento definitivo, aplicando las técnicas y equipos de uso convencional para este tipo de trabajo.

Sin duda, se trata de una solución de rutina para las obras viales, circunstancia esta que hace que su adopción para este tipo de obra, sea prácticamente excluyente, lograndose en la mayoría de los casos, resultados técnico-económicos satisfactorios.

La presencia de agua en exceso en los suelos, mas alla de su buena calidad, presenta dificultades técnicas (operativas y de comportamiento) y consecuencias económicas, en grado variable y de distinto tipo, según sea el caso donde se de la ocurrencia de dicho

Ing. ROBERTO T. SANTANGELO

Dr. A. MELO 2495  
1824 - LANUS Bs. Aires  
Tel. 247 - 8428

fenómeno: a) en el yacimiento, b) en la base de asiento del terraplén, c) en ambos y entre ambos; y según que esta situación en los documentos contractuales del proyecto: A) este contemplada, B) no este contemplada.

Cuando se da el caso a), las dificultades técnicas para extracción y procesamiento para eliminación del exceso de humedad, son perfectamente superables, pero se incrementan los costos respecto de los que corresponden a una situación normal, donde este fenómeno no se observa.

En el caso b), las dificultades se presentan en el proceso de compactación, pudiendose llegar al uso de la técnica de terraplén de avance, cuando la baja resistencia del terreno, no admite los esfuerzos que la operación de los equipos de transporte y distribución genera.

Superada la construcción del terraplén y, ya puesto en servicio bajo la acción de su propio peso y de las cargas del tránsito, es posible la ocurrencia de asentamientos, tanto del terreno de fundación como del propio terraplén, según se de el juego de variables que gobiernan este fenómeno.

La consecuencia entonces es la imposibilidad, de lograr la compactación o de realizar el trabajo durante el proceso constructivo, tal como es posible hacerlo en condiciones normales, y la posibilidad de experimentar asentamientos, todo lo cual en definitiva conduce a una menor calidad de la obra, a riesgo de fallas prematuras y a probables conflictos, sobre diferencias de volúmenes de suelos por asentamiento.

El caso c), obviamente es la generalización agravada del problema, por sumatoria de a) y b), mas la dificultad o imposibilidad del transporte de suelos.

La solución técnico-económica del problema planteado por las situaciones a), b) o c), cuando ellas estan contempladas en el proyecto (alternativa A), sin duda es mejor que cuando debe ser encarada como modificación de obra (alternativa B), entendiendo por mejor solución, la de igual o mayor calidad y menor o igual costo simultáneos.

Para valorar la calidad, existen técnicas de medición y patrones de referencia, que permiten cuantificarla. Respecto del costo en cambio, la única manera de evaluarlo verdaderamente, es a través de la licitación de los trabajos, lo que implica contemplarlos en el proyecto (alternativa A).

De esta manera, cuando la problemática definida en a), b) y/o c), adquiere cierta envergadura y, toda vez que las condiciones propias

del proyecto y de su construcción lo hagan posible y por lo tanto aconsejable, el proyecto a licitar debería incluir, el método convencional para construcción de terraplenes para obras viales, con todas las tareas adicionales que el caso requiera y una variante, basada en la tecnología de transporte hidráulico de suelos.

Los trabajos cuya consideración motiva este informe, tratan específicamente el tema presentado en los párrafos anteriores, por lo que a continuación se emite respecto de ellos, la opinión solicitada.

## II - CONSIDERACION DE LOS TRABAJOS

El trabajo citado en primer término, trata sobre la construcción de terraplenes en una serie de obras camineras, que en conjunto integran el Complejo Ferroviario Zárate - Brazo Largo, en las que se utilizó la tecnología de transporte hidráulico de suelos, por tratarse de una zona totalmente anegadiza.

Una visión de conjunto del trabajo, permite observar que el mismo orienta preferentemente su enfoque, al problema de los asentamientos del terreno de fundación bajo la carga del terraplén y del tránsito.

El estudio se apoya, en la información geotécnica obtenida con motivo de la construcción de los viaductos de acceso y puentes, efectuando las consideraciones técnicas que son de uso corriente, en el proyecto y ejecución de estas obras, por lo que no se justifican comentarios especiales al respecto.

Si es de destacar en cambio, dos aspectos mencionados bajo el título RESULTADOS, que coinciden con la experiencia del suscripto y que se juzgan de gran importancia.

Uno de ellos, se refiere a los asentamientos en zonas próximas a cauces naturales, donde los valores experimentados fueron superiores a los calculados y sensiblemente más altos, que en las zonas alejadas de esos puntos particulares.

Este problema se da con frecuencia, por lo que en dichas zonas deben intensificarse las investigaciones geotécnicas de campo que se realicen, para la ejecución del proyecto.

El segundo aspecto, es el reclamo de la Contratista de un mayor volumen de suelos, por asentamientos superiores a los previstos.

Se trata de un conflicto que se reitera en forma permanente, aun cuando podría decirse que casi injustificadamente, ya que la manera de evitarlo, es mediante la redacción de una especificación técnica

Ing. ROBERTO T. SANTANGELO

Dr. A. MELO 2495  
1824 - LANUS Bn. Aires  
Tel. 247 - 8428

especial para el proyecto en particular, en la que se establezcan con precisión los aspectos técnico-legales que legislen sobre el tema, de modo tal que la Empresa Oferente pueda efectuar su cotización, con pleno conocimiento de los riesgos que, en caso de ser adjudicataria, deberá asumir.

Un dato adicional, que refleja la inconveniencia de quedar atado a rutinas, tal como se ha hecho mención al inicio del presente, es que una de las obras que integran el Complejo, licitada inicialmente con el método convencional de construcción de terraplenes, adjudicada, contratada y replanteada, no pudo ser materializada precisamente por ese motivo, debiendo su contrato ser rescindido.

El estudio presentado en realidad, corresponde a la construcción del proyecto licitado por segunda vez, pero incluyendo la tecnología de transporte hidráulico de suelos.

El trabajo citado en segundo término, a diferencia del primero que se ocupa preferentemente del problema del terreno de fundación, trata el tema de la construcción del terraplén (relleno hidráulico), y de la calidad del suelo en su posición final.

Para ello describe la realización de una obra que, si bien respondía a fines comerciales como se afirma, su construcción fue aprovechada para efectuar algunas mediciones de carácter técnico, de modo tal de facilitar la transferencia de la experiencia en ella acumulada.

El trabajo se complementa, agregando las conclusiones de un trabajo presentado a un Congreso de Mecánica de Suelos, que sirve de aval técnico, ante la coincidencia conceptual de los resultados de ambos.

La descripción del procedimiento constructivo, esta prolijamente detallada, por lo que no es necesario comentario especial en ese sentido.

El aspecto de mayor importancia que en este informe merece ser destacado, es lo atinente a la diferente calidad, del suelo obtenido del yacimiento por dragado y del que finalmente queda depositado en el terraplén.

Las mediciones realizadas ponen en evidencia, que la tecnología de transporte hidráulico de suelos, permite modificar en forma favorable la granulometría y consecuente plasticidad del suelo original, adecuando convenientemente el proceso de transporte, deposición y decantación del suelo.

Si bien la mejora de la calidad del suelo dragado, tiene su contrapartida económica con motivo de la pérdida de finos que sea necesaria, esta posibilidad debe ser tenida en cuenta, ya que en casos especiales puede hacerla competitiva técnicamente.

Ing. ROBERTO T. SANTANGELO

Dr. A. MELO 2495  
1824 - LANUS Bs. Aires  
Tel. 247 - 8428

En síntesis, se concluye que ambos trabajos en conjunto, constituyen una presentación suficientemente documentada desde el punto de vista técnico, como para considerarla un aporte de importancia a la divulgación de la tecnología de transporte hidráulico de suelos, aplicada a la construcción de terraplenes de obras viales.

### III - CONCLUSION

A la luz de todo lo que antecede, como conclusión general puede decirse lo siguiente:

Cuando la presencia de agua en exceso en los suelos, independientemente de su calidad, sea en el yacimiento, en la base de asiento del terraplén, en ambos y/o entre ambos y, toda vez que las condiciones propias del proyecto y de la construcción lo hagan posible y por lo tanto aconsejable, el proyecto del terraplén a construir con ellos, debería incluir el método convencional para obras viales, con todas las tareas adicionales que el caso requiera y una variante, basada en la tecnología de transporte hidráulico de suelos.

El proyecto en particular, debe incluir la redacción de una especificación técnica especial, en la que se establezcan con precisión los aspectos técnico-legales que legislen sobre el tema de los asentamientos, de modo tal que la Empresa Oferente pueda efectuar su cotización, con pleno conocimiento de los riesgos que, en caso de ser adjudicataria, deberá asumir.

Para ello debe estudiarse muy bien el problema, especialmente en zonas próximas a cauces naturales, donde por lo general, los asentamientos son mayores que en las zonas alejadas de esos puntos particulares.