

**“XII Congreso Latinoamericano De Perforación”**

**SISTEMA MODULAR PARA TRANSPORTAR EQUIPOS DE  
PERFORACION EN ZONAS PANTANOSAS**

**Pierre Miura**

**José Luis Mayor**

**Nelson Covarrubias**

**Juan Urich**

**PETRÓLEOS DE VENEZUELA S.A.**

**PDVSA**

**VENEZUELA**

## **RESUMEN**

Una cantidad significativa de reservas de petróleo, se localizan en ambientes de humedales del sistema deltaico del río Orinoco, en los estados Monagas y Delta Amacuro, al este de Venezuela. En estos ambientes existe una hidráulica compleja y un sistema de mareas con cambios y niveles que varían de acuerdo a los sitios de influencia. Previos estudios revelan presencia de grandes acumulaciones de sedimentos de arcilla marina, con existencia de pirritas, lo que puede ocasionar fuertes problemas de acidificación al contacto con el oxígeno, en caso de drenaje o excavación. Con el propósito de no afectar el ambiente, durante la fase de construcción de las vías de acceso a los futuros pozos, nació en Petróleos de Venezuela, S.A. la concepción de la vialidad modular, desarrollada y probada en un ambiente de pantano, en el Terminal Portuario de Caripito, Estado Monagas. Se desarrollaron dos (2) opciones, una con base en cilindros de concreto liviano para formar terraplenes de acceso y otro con vigas de celosía de acero en combinación con elementos prefabricados de concreto. Ambas opciones se probaron mediante el pase de vehículos de gran peso, con cargas dinámicas y estáticas, obteniéndose resultados altamente satisfactorios. Las deformaciones y asentamientos fueron medidos topográficamente, las vías fueron desmanteladas y se inspeccionaron todos los elementos para verificación de fallas, sin que se reportaran fracturas en ninguno de los elementos.

## **INTRODUCCION**

En Venezuela existen zonas como el Pantano Oriental de Monagas y Delta del Orinoco (Fig. 1) que se caracterizan por terrenos de baja capacidad de soporte, inundados gran parte del año. Además, en estas zonas existe un hábitat muy frágil para numerosas especies animales y vegetales, el cuál está protegido por modernas reglamentaciones nacionales e internacionales. En estas zonas hay expectativas de grandes reservas de hidrocarburos. La tecnología de transporte existente, para realizar trabajos en estas áreas es poco eficiente, costosa y en general afecta sensiblemente a las condiciones ambientales.

Como consecuencia de las necesidades de PDVSA de realizar exploraciones en el área pantanosa ubicada al Este del Estado Monagas, se realizó un estudio de los sistemas más apropiados para transportar y emplazar los costosos equipos utilizados en la perforación de pozos de petróleo de gran profundidad. Los resultados de estos estudios son presentados en la presente jornada como una contribución al desarrollo de la tecnología requerida para afrontar el reto planteado en la explotación petrolera en las áreas pantanosas de nuestro país.

## **CARACTERIZACION DE LAS AREAS PANTANOSAS**

Los suelos blandos del Delta de Orinoco y pantanos del Norte de Monagas disponen de estudios geotécnicos con diferentes objetivos, los cuales fueron reinterpretados para producir una caracterización general de los suelos blandos antes mencionados (Fig. 2).

Las llanuras del delta se desarrollan casi en su totalidad en sedimentos blandos del Cuaternario reciente. Estos sedimentos están conformados por depósitos lenticulares de arcillas y/o suelos granulares, con alto contenido de material orgánico y piritas (Fig. 3). En algunos lugares el subsuelo está conformado por estratos de arcilla de gran espesor (más de 30 metros), producto de deposición fluvial. Estas arcillas en los estratos superficiales presentan un alto contenido de humedad y tienen alta plasticidad y compresibilidad. La resistencia al corte sin drenar promedio en los primeros 15 m está en el orden de 0,15 kg/cm<sup>2</sup> y luego se incrementa linealmente con profundidad, comportamiento que es típico de materiales normalmente consolidados. En muchos casos la primera capa del suelo está constituida por material orgánico en descomposición (turbas), en la cuál se entrelaza muy finamente una red de raíces, que forman un colchón con una pequeña capacidad de soporte.

En los análisis químicos hechos a muestras de suelo extraídas en las perforaciones geotécnicas, se han encontrado compuestos químicos de azufre (piritas), los cuáles al ser expuestos al contacto directo del aire se oxidan. Esta oxidación produce acidificación del suelo, lo que genera cambios drásticos e irreversibles en las comunidades naturales.

En relación con la hidrología, en el área se presentan niveles de agua variables del tipo estacional producidos por las lluvias, y fluctuantes cíclicos causados por los regímenes de marea de los caños influenciados a su vez por las mareas de las masas de agua cercanas a dichas áreas (Río San Juan, caño Manamo, etc.). Estos ambientes poseen una hidráulica compleja, debido a la concurrencia de grandes cuencas de drenaje confinadas en una topografía muy plana. En las zonas de inundación estacional el nivel del agua varía entre 0 a 1,50 metros de profundidad, presentándose desplazamientos de masas de agua con baja velocidad, en el transcurso de la época lluviosa. En las zonas sujetas a inundación por caños de marea, la misma se produce en ciclos de 6 horas, llegando los niveles del agua a 2 metros de profundidad en algunos sitios. Las masas de agua se mueven en sentido y dirección que cambian en 180° cada 6 horas, produciéndose velocidades que pueden alcanzar los 2 m/seg., de acuerdo a las pendientes del suelo.

Las especies vegetales más abundantes son las Palmas Moriche y Manglares, los cuáles con frecuencia sobrepasan los 20 metros de altura. Adicionalmente, existe vegetación baja, extendida en grandes áreas, constituida básicamente por matorrales herbáceos. En el campo de las especies animales se observan muchas aves anidando en esta zona como Garzas, Pericos, Guacamayas, etc. También se observan mamíferos como el Chigüire, Danta y Manatí. El sistema ecológico de esta zona se ha mantenido en un frágil equilibrio gracias a las dificultades que presenta para el acceso.

## **PLANTEAMIENTO Y CONCEPTUALIZACION DE OPCIONES PARA EL ACCESO A PANTANOS.**

A finales del siglo pasado la empresa New York & Bermúdez Company, la cual explotaba el Lago de Asfalto de Guanoco, tendió una línea férrea de 10 Km. de longitud en el Pantano Oriental del Estado Monagas, desde el lago de asfalto de Guanoco al caño del mismo nombre. Para construir esta línea inicialmente se colocó un colchón tramado de ramas, obtenidas en la deforestación realizada. Sobre este colchón se colocó una capa de caliche (balastro) obtenido de las montañas de Guariquén, el cuál

sirvió de fundación de los durmientes de la línea férrea. En su tiempo esta obra fue considerada como un gran avance en la ingeniería y se refieren a ella como el ferrocarril flotante.

Los otros intentos hechos para conquistar el pantano se han basado en la construcción de canales de navegación que han tenido nefastas consecuencias ecológicas, tal es el caso del pantano en el delta del río Mississippi.

Además de existir una tendencia de adoptar el sistema de excavación de canales tal como se realizó en el pasado, con sus graves consecuencias para el ambiente, se han utilizado los siguientes sistemas para acceder a extensas áreas pantanosas:

- ◆ Vehículos diseñados para operar en áreas pantanosas, equipados con grandes neumáticos inflados a baja presión u orugas de amplia área de contacto con el suelo.
- ◆ Vehículos aéreos de acción terrestre (Hovercraft).
- ◆ Vehículos aéreos (helicópteros de alta capacidad de carga).
- ◆ Vialidad construida con material obtenido del área o de préstamo, con una superficie de rodamiento constituida por madera tramada (sistema Unimat).
- ◆ Vialidad construida con pontones de acero interconectados entre sí (sistema Flexi-Float).

Las opciones antes mencionadas no cumplen con todas las condiciones de carácter operacional y ambiental establecidas por PDVSA., por lo que se acometió la tarea de desarrollar sistemas que le permitieran resolver los problemas de transporte e infraestructura, adaptados a sus necesidades.

Las condiciones de carácter ambiental son las siguientes:

- ◆ No se podrá excavar para la toma de materiales de préstamo o la construcción de canales para evitar la acidificación de suelos.
- ◆ No debe afectarse el libre movimiento de las aguas superficiales (mareas o escorrentía superficial)
- ◆ Debe retirarse la vialidad luego de cumplido su objetivo.

Las condiciones operacionales fueron:

- ◆ Debe transmitir en forma segura las cargas impuestas por la operación de perforación de pozos tanto en magnitud como en frecuencia.
- ◆ La calzada de rodamiento debe tener al menos 3 m de ancho
- ◆ Posibilidad de acceso con laminas de agua de hasta 1 m
- ◆ Posibilidad de construcción durante épocas de lluvia
- ◆ Peso de los elementos menores a 1 tm.
- ◆ Construido con las tecnologías existentes en el país.
- ◆ Utilizar en lo posible materiales de fabricación nacional.

Se desarrollaron tres (3) alternativas basadas fundamentalmente en tres (3) materiales diferentes, como son el concreto, el acero y el poliuretano. Estos sistemas fueron evaluados técnica y económicamente, obteniendo calificaciones similares. En este sentido se decidió pasar a una prueba de campo a escala natural utilizando las opciones de concreto y cerchas metálicas, ya que eran las que tenían entre sus elementos, los mas altos contenido de componentes nacionales.

## **VIALIDAD DE CONCRETO ARMADO**

Este sistema está basado en la utilización de elementos estructurales modulares denominados celdas estructurales, contruidos en concreto liviano. La celda estructural es un cilindro de concreto armado ligero, aligerado con espacios vacíos en su interior, en los cuáles se aloja una cámara llena de aire, construida con polietileno de poco espesor. Su diámetro es de 70 centímetros y su longitud es de 2,85 metros.

Las celdas estructurales se pueden acoplar por sus extremos mediante un sistema de encaje hembra-macho, de tal manera que se podría construir una viga de sección circular continua de la longitud requerida. Estos elementos tienen un peso promedio de 900 kg.

Si los espacios interiores son rellenos con un elemento liviano como la espuma de poliuretano, la célula estructural tiene la capacidad de flotar en el agua, por lo tanto, podría ser transportada flotando en forma de grandes balsas, remolcada por una embarcación hasta el sitio más cercano a su utilización.

La vialidad sería construida con una primera capa formada por ocho (8) líneas paralelas con células estructurales. La segunda capa estaría constituida por filas paralelas, perpendiculares a los elementos de la primera capa, contruidas con acople de dos células estructurales. Esta capa se apoya sobre la primera por medio de almohadillas de concreto, que tienen dos (2) superficies cilíndricas, en donde se asientan las celdas estructurales.

Sobre la segunda capa se coloca la superficie de rodamiento, formada por dos filas paralelas de módulos que tienen una sección en forma de L , de 1,40 metros de largo, 1,20 metros de ancho y 800 kilogramos de peso.

En general, las características de este sistema (Fig. 3) se pueden resumir de la siguiente forma:

- ◆ Construido con elementos modulares con un peso promedio de 900 kilogramos.
- ◆ Los módulos pueden ser fácilmente transportables, inclusive flotando en áreas anegadas.
- ◆ Pueden transitar camiones de 5 ejes, con una carga por eje de 16 toneladas, sobre terrenos con capacidad de soporte admisible mínima de 0,20 kg./cm<sup>2</sup>.
- ◆ Los elementos se pueden colocar sobre el terreno con una mínima necesidad de conformación
- ◆ Bajo impacto ambiental, dado que sólo afecta una franja de 6 metros de ancho.

## **VIALIDAD CON CERCHAS METALICAS**

La solución de vialidad con cerchas metálicas consiste en cuatro (4) vigas longitudinales en celosía o cercha, apoyadas sobre zapatas cuadradas de concreto. Las cerchas longitudinales están arriostradas transversalmente, a nivel de los apoyos sobre zapatas, por cerchas de igual altura, y superiormente por las losas que conforman el tablero o superficie de rodamiento. El tablero está constituido por perfiles L, transversales a la dirección del tráfico, cuyas alas superiores están embutidas en una loseta de concreto, dispuestas de tal forma que prácticamente apoyan sobre los nudos del cordón superior de las cerchas longitudinales. El tablero equivale a un diafragma rígido que proporciona arriostramiento en planta al cordón superior en los puntos de conexión. El apoyo de zapatas proporciona el arriostramiento en planta del cordón inferior.

Los cordones superiores, inferiores y diagonales de las cerchas longitudinales se conectan en secciones que coinciden con los apoyos sobre zapatas. Igualmente, las cerchas transversales, divididas en tramos entre cerchas longitudinales, se conectan a la altura de los apoyos sobre zapatas. Todas las conexiones son empernadas en el



campo, con el fin de facilitar su ejecución y garantizar la recuperabilidad. Las conexiones de taller son soldaduras a filete. Todos los cordones, diagonales y montantes verticales están constituidos por perfiles angulares dispuestos en TL (espalda contra espalda). La Fig. 4 muestra su configuración.

El procedimiento de montaje ha sido optimizado de tal forma que es posible preensamblar sobre la calzada de la vialidad ya colocada un tramo de aproximadamente 6 m de longitud. Una vez ensamblado es posible hincarlo alrededor de un eje horizontal en el extremo de la vialidad ya construida y colocarlo en forma controlada sobre el terreno. Este procedimiento permite el ensamblaje sobre la calzada (trabajo en seco) y minimiza el número de operaciones de conexión en el terreno, el cual podría estar inundado. Adicionalmente, la conexión inferior tiene un elemento de longitud variable que permite adaptaciones a la topografía.

La operabilidad de esta vialidad y su efecto sobre el ambiente son similares a la propuesta de cilindros de concreto. La principal ventaja es el menor peso de sus componentes individuales y la facilidad del montaje. Una de sus limitaciones es la necesidad de sistemas de protección contra la corrosión. Probablemente el esquema más efectivo sería protección convencional (pinturas) con mantenimientos periódicos luego de su desmontaje.

## **RESULTADOS DE LAS PRUEBAS PILOTO**

Las dos (2) opciones antes descritas, se probaron en terrenos del muelle de Caripito (Fig. 6). Los suelos en el sitio son representativos de suelos arcillosos blandos de los Pantanos del Norte y Delta del Orinoco. La prueba consistió en la construcción de dos tramos de 50 metros de longitud. Sobre ellos circuló un camión de cinco ejes con una carga total de aproximadamente 80 ton. Se aplicaron 150 pasadas sobre cada una de las opciones de vialidad. Este número de pases corresponde con el estimado para una operación de perforación para un pozo profundo mayor a 15.000 pies.

En los extremos de la vialidad de cerchas metálicas, se colocaron y conectaron dos (2) muros con los que se trato de reproducir tanto la rigidez vertical como flexional de un tramo de gran longitud. En el caso de los cilindros no se conectaron los elementos modulares al muro, sirviendo éste sólo de acceso a la vialidad.

Los asentamientos por efecto de cargas fueron del orden de 9 cm. para la opción de cilindros y de 5,5 cm. para las cerchas metálicas. En estos asentamientos no se incluyen los desplazamientos producto de la consolidación primaria . No obstante, el tiempo de operación estimado para la perforación de un pozo exploratorio es menor a un año y la carga será aplicada en intervalos muy cortos por lo que los desplazamientos por consolidación de la arcilla no son significativos.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos de este trabajo indican que las dos (2) opciones de vialidad modular analizadas y probadas proporcionan una solución para construir vías de acceso temporales y adecuadas para una amplia variedad de condiciones con las siguientes características:

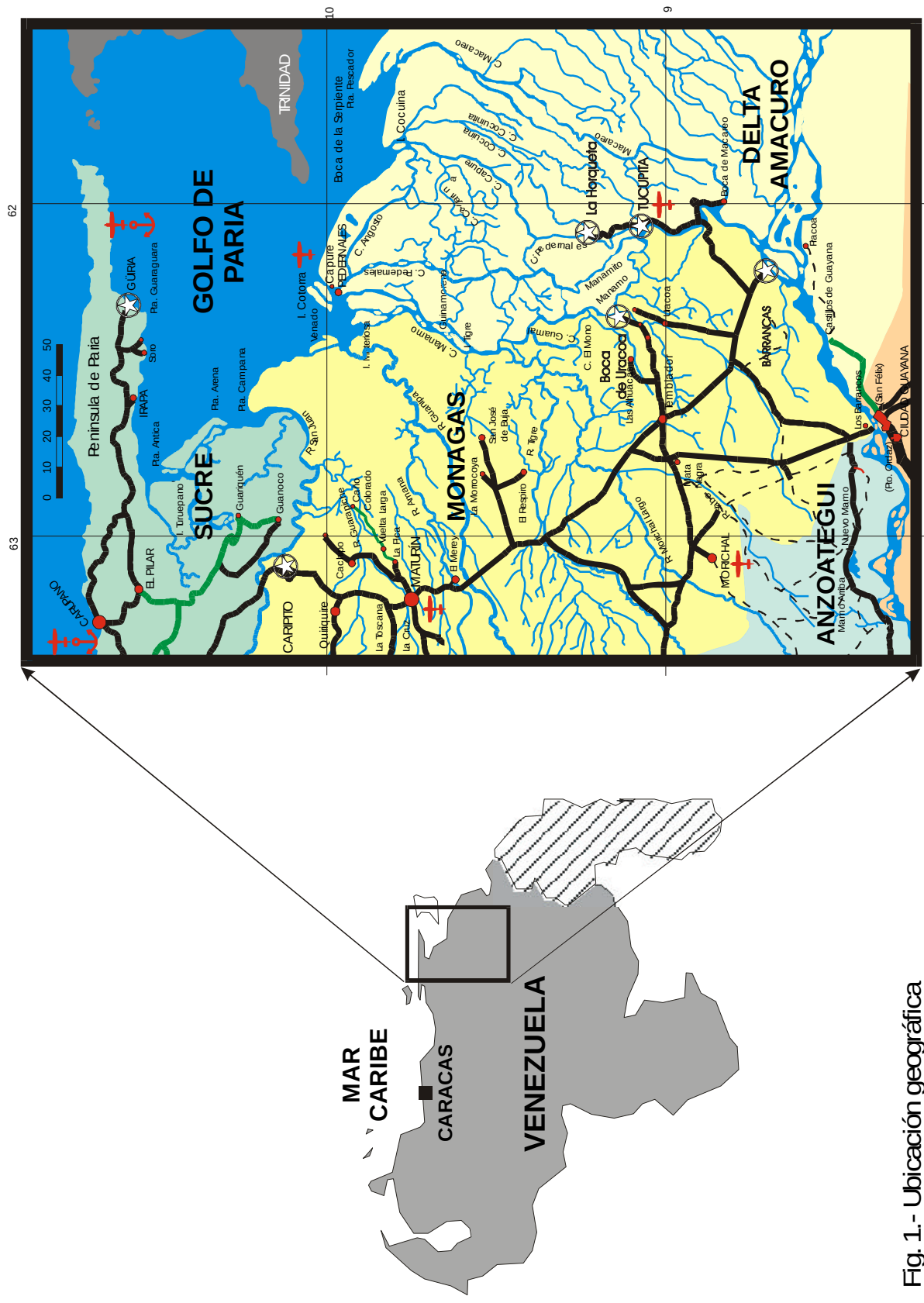
- ◆ Menor impacto ambiental que las opciones de terraplén convencional (debido a un menor ancho del área afectada) y de dragado (por evitar la oxigenación de las piritas).
- ◆ Menor costo que la opción de terraplén convencional por ser reutilizable.

## REFERENCIAS

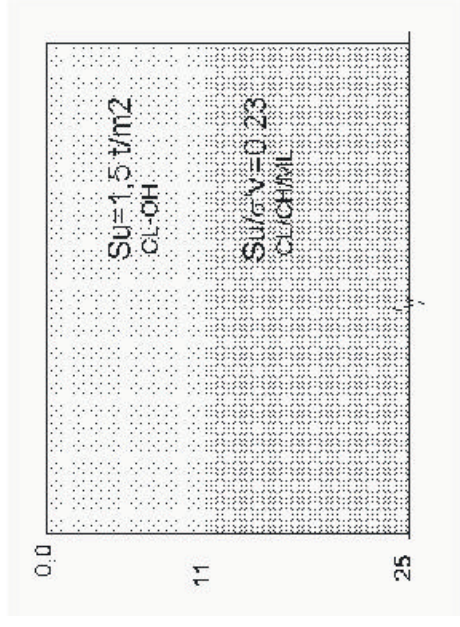
1. Alvarelllos, J. Celis, E.; González, M.; Parra, J.; et al. *Alternativas de vialidad modular para acceso a localizaciones en suelos blandos*. Informe Técnico No. INT-3776,97. INTEVEP, S.A. Los Teques, 1997.

2. Guevara, O.; Urich, J.; Mayor, J.; Miura, P.; Gómez, N.; Ortega, J.; Coloma, H., *Optimización del Impacto Ambiental*. Gerencia de Planificación Maturín Este, PDVSA. 1994.
3. COPLANAR. *Inventario Nacional de Tierras Región Oriental. Delta del Orinoco y Golfo de Paria*. M.A.R.N.R. Maracay. Pp 229 (1979).
4. Vásquez, P.; Urich, J.; Rodríguez, A.; López, C.; González, V.; Marcano, J. *Edafic and Successional changes generated by Drill Waste application in acid-sulphate soils, upper Orinoco Delta*. SPE 48922, June 1998.
5. González, V.; Pulido, R.; Sánchez, L.; Vásquez, P.; Colombo, P. *Análisis florístico y estructural de las comunidades de manglar del caño Guanoco, estado Sucre*. Informe Técnico Intevep INT-6579, 1999.
6. Dost, H., *Orinoco Delta cat-clay investigations. Main results of 1970 and 1971*, Corporación Venezolana de Guayana and IRI Research Institute Inc., Venezuela, 1971.
7. Vallenilla Harwich, N., *Asfalto y revolución: la New York & Bermúdez Company*. Monte Avila Editores, 1ª Edición, 1992.
8. American Association of State Highway and Transportation Officials. *Standard Specifications for Highway Bridges*. Edition 12, 1997.
9. Timoshenko, S. y Woinowsky-Krieger, S. *Theory of Plates and Shells*. McGraw Hill. 2<sup>nd</sup> Edition. New York, NY. 1959.
10. American Institute of Steel Construction. *Manual of Steel Construction, Load & Resistance Factor Design* (AISC LRFD-1993). Chicago, ILL. 2<sup>nd</sup> Edition. 1994.
11. Comisión de Normas para Estructuras de Edificaciones. *Estructuras de acero para Edificaciones. Proyecto, Fabricación y Construcción*. Normas Venezolanas COVENIN-MINDUR 1618-82. COVENIN. Caracas, 1980.
12. Beyer, E. y Gutiérrez, A. *Manual de Perfiles L (angulares)*. Ediciones Sidetur. 1990.
13. Tablas Especificaciones Comerciales SIDETUR.
14. American Institute of Steel Construction AISC-ASD.1989.
15. Comisión de Normas para Estructuras de Edificaciones. *Estructuras de Concreto Armado para Edificaciones. Análisis y Diseño*. Normas Venezolanas COVENIN-MINDUR 1753-87. COVENIN. Caracas. 1987.

16. American Concrete Institute. *Building codes requirements for Structural Concrete (ACI 318-95) and Commentary (ACI 318R-95)*. Farmington Hills, Michigan. 1995.
17. Park, R.; Paulay, T. *Estructuras de concreto reforzado*. Wiley & Sons. LIMUSA, México, 1993.



## PERFIL I



## PERFIL II

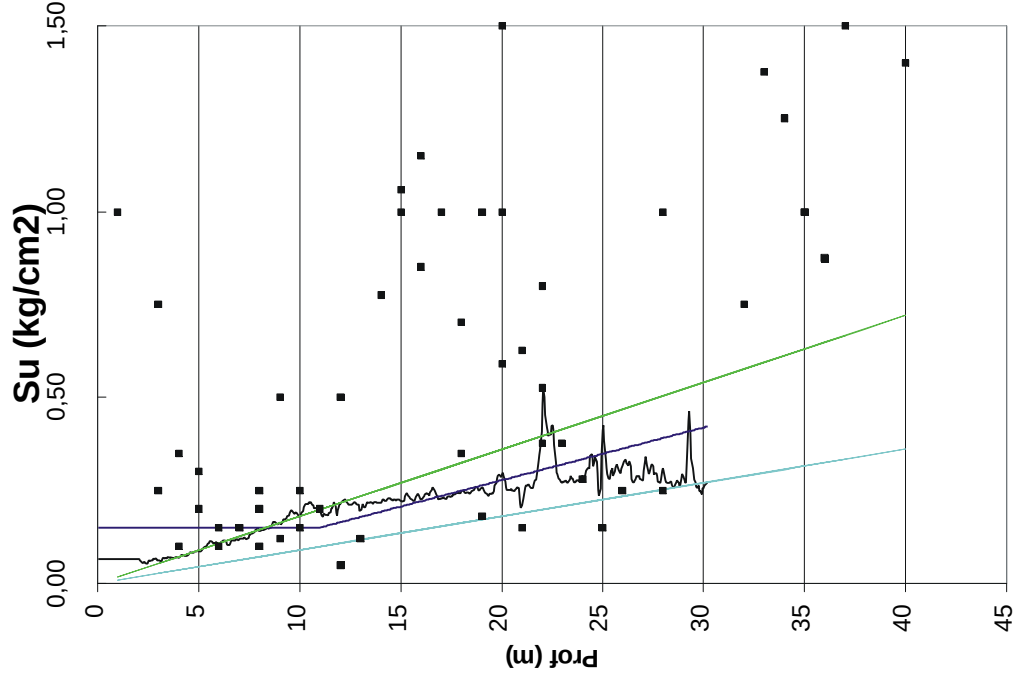
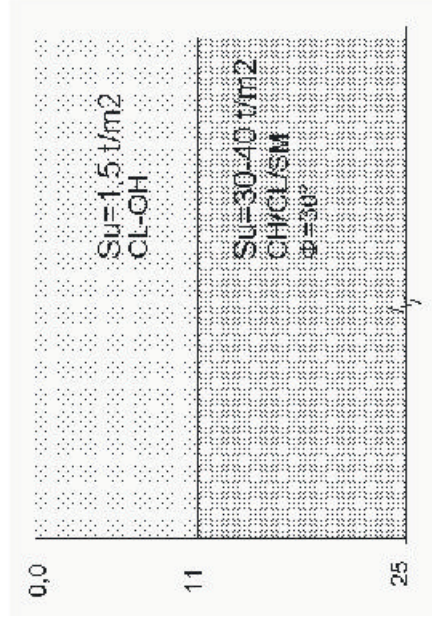


Fig. 2.- Caracterización General de Suelos Blandos en el Delta del Orinoco

**SECCION TRANSVERSAL DE LA  
PARTE OESTE DEL DELTA DEL  
ORINOCO, MOSTRANDO EL**

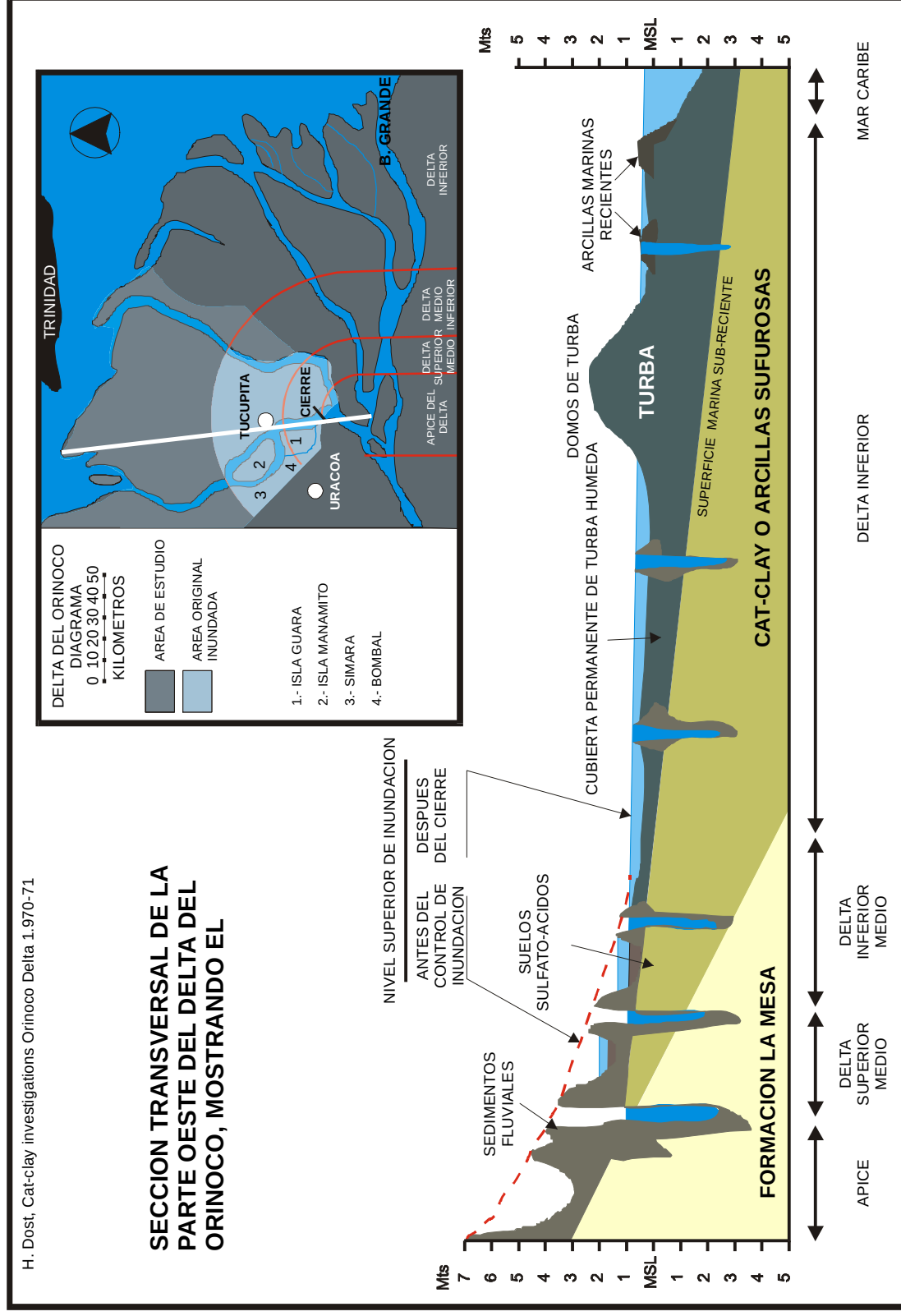


Fig. 3.- Sección transversal del Delta del Orinoco

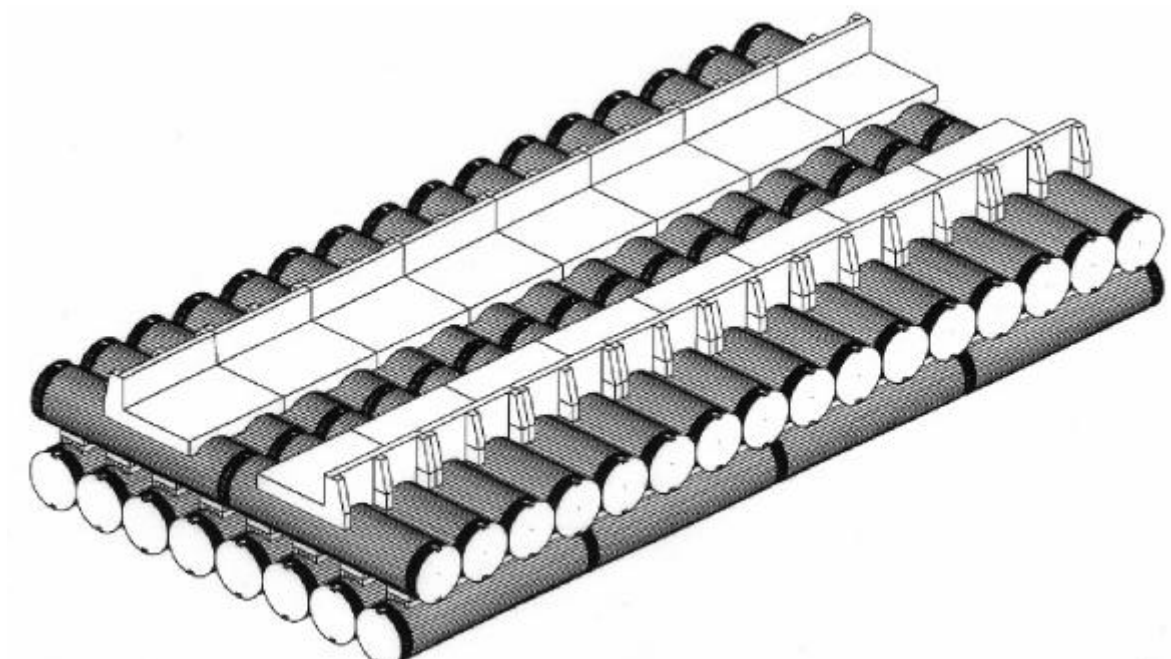


Fig. 4.- Cilindros de Concreto - Isometría



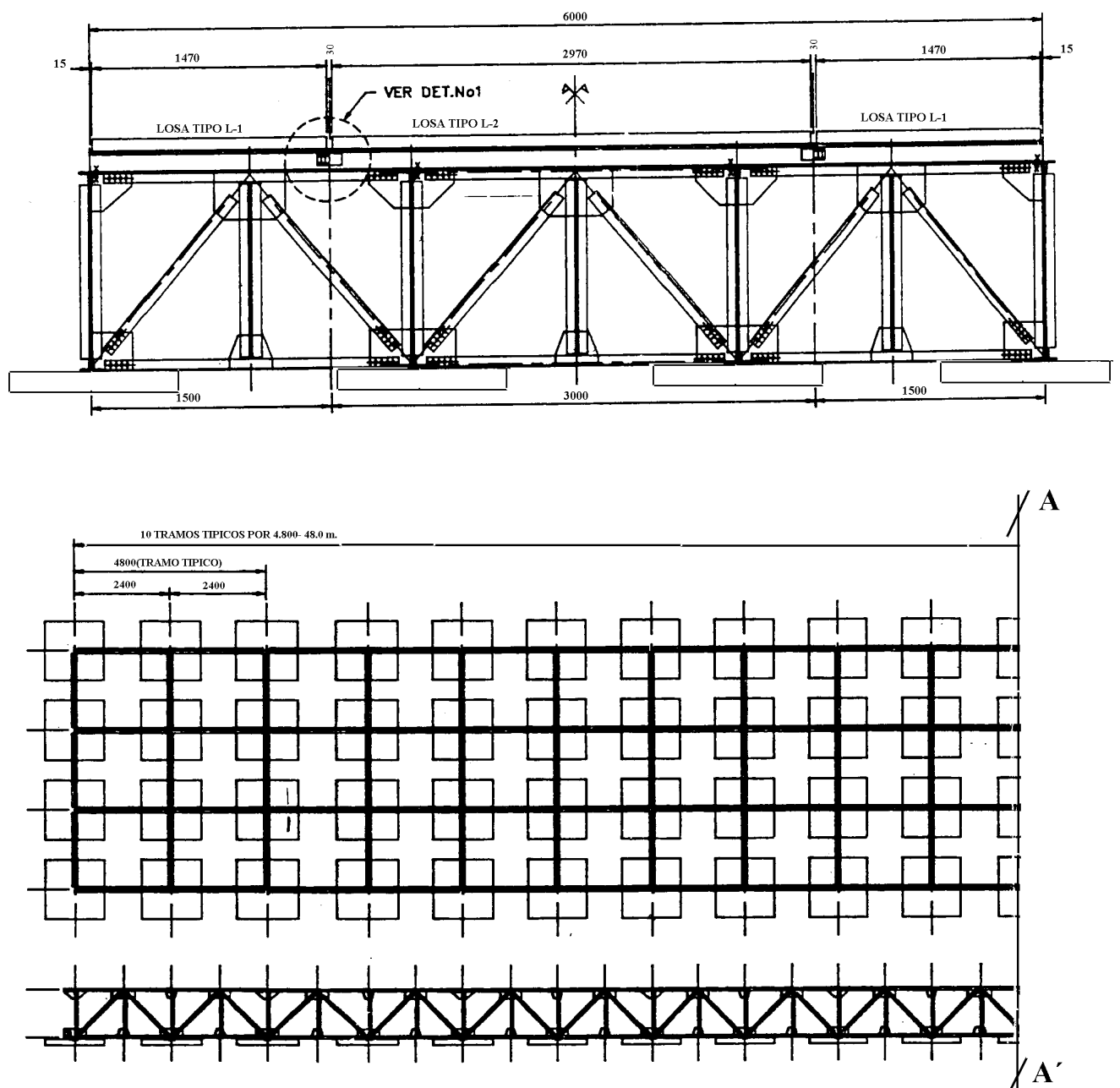


Fig. 5.- Cerchas Metálicas – Vista en corte y en planta

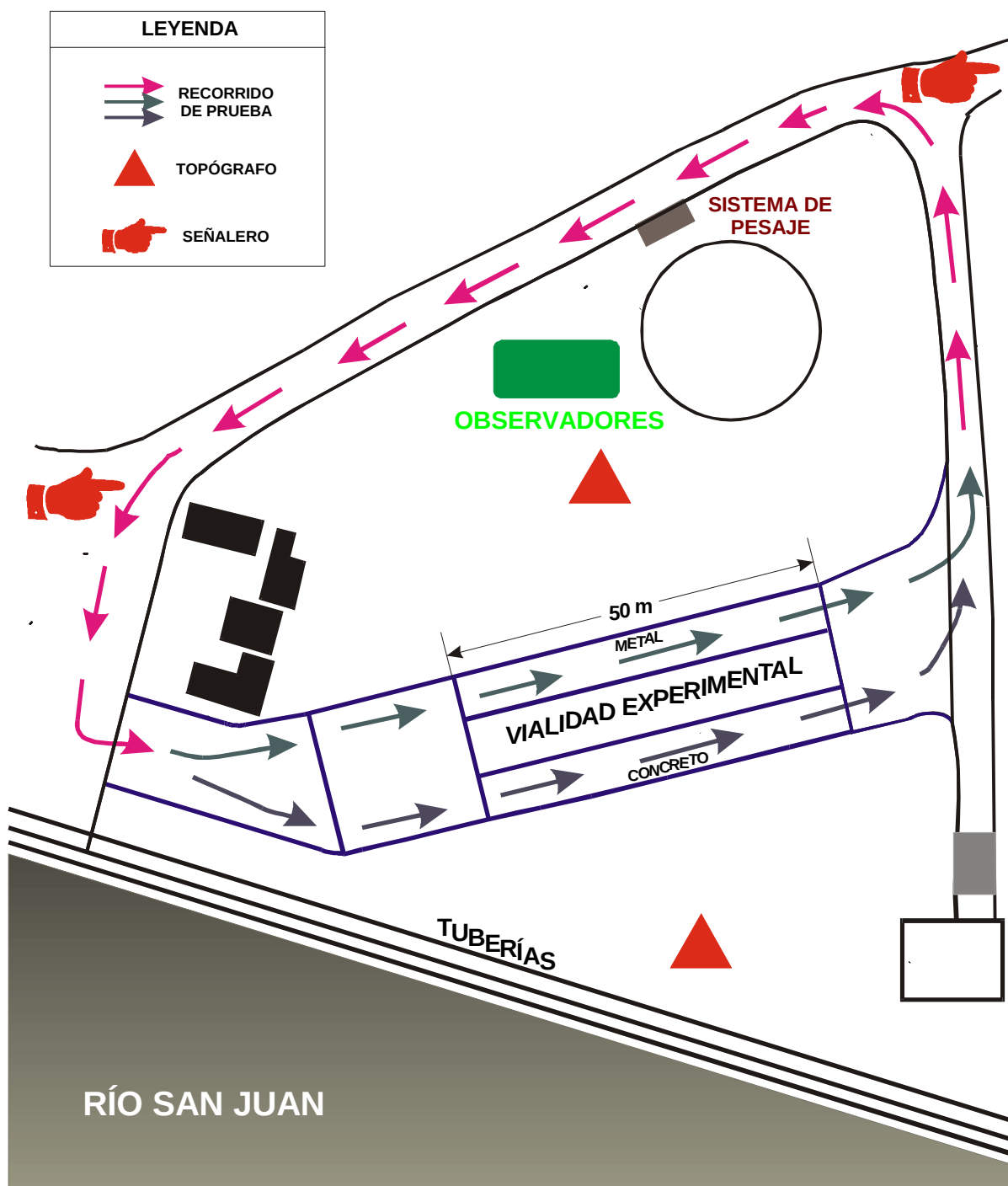


Fig. 6.- Esquema en planta de la Prueba