

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**CONSTRUCCION DE LA PLATAFORMA  
DE EMBARQUE PARA LA SALIDA DEL  
GAS DE CAMISEA**

**INFORME DE COMPETENCIA PROFESIONAL**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO CIVIL**

**MARTIN HILDEBRANDO MATOS MILLONES**

**LIMA – PERU**

**2,009**



**Mi mayor agradecimiento a Dios por permitir que cumpla con este objetivo.**

**Y mi eterno amor a mi esposa Doris quien sin ella no lo hubiera podido conseguir, a mis hijos Alejandra y Alonso, por su apoyo ya que por ellos se logro este hito en mi vida.**

**Mi eterna gratitud a mis padres, y a mi hermana por su amor.**

**Mi reconocimiento a todas las empresas y profesionales con los que compartí y que me dieron la oportunidad de ampliar mis conocimientos y aprender amar esta profesión**



# INDICE

Página

## RESUMEN

## LISTA DE CUADROS

## LISTA DE FIGURAS

## INTRODUCCION

## CAPITULO I : ESTUDIO GEOTECNICO

12

1.1	Objetivo	13
1.2	Introducción	13
1.3	Antecedentes Geotécnico	16
1.3.1	Sondajes Geotécnicos.	16
1.3.2	Pruebas de Hinca y Carga en tracción de Pilote ejecutada en área de Playa	16
1.4	Interpretación de antecedentes de geotécnicos	21
1.4.1	Estratigrafía	21
1.4.2	Parámetros Preliminares para evaluar la capacidad de carga axial de Pilotes	22
1.4.3	Parámetros para evaluar Comportamiento Lateral de pilotes	23
1.5	Recomendaciones preliminares para el diseño de pilotes	24
1.5.1	Tipo de Pilotes	24
1.5.2	Zapatos de Hinca	24
1.5.3	Socavación	24
1.5.4	Capacidad de Carga Axial última	24
1.5.5	Factores de Reducción de la resistencia última	26
1.5.6	Comportamiento Lateral de Pilotes	26
1.6	Solicitaciones de pilotes	26
1.7	Profundidades preliminares de hinca	27
1.7.1	Longitud de fabricación de Pilotes	27
1.7.2	Profundidades Preliminares de Hinca	27
1.8	Recomendaciones de diseño de anclajes	28
1.9	Análisis de hinca y tensiones	28
1.9.1	Estimación de la Resistencia de la Hinca	29
1.9.2	Curvas de Resistencia Vs. Registro de Hinca	31



1.9.3	Martinetes	31
1.9.4	Pilotes	32
1.9.5	Resultados de Análisis de Tensiones Máximas	32
1.9.6	Análisis de Tensiones Máximas	33
1.9.7	Comentarios a los resultados de los análisis de Hinca y tensiones	34
1.10	Conclusiones y recomendaciones	35
1.10.1	Martinetes para el hincado de pilotes	35
1.10.2	Profundidad de Hinca y Criterio de Rechazo	36
1.10.3	Sondaje Geotécnico adicional	37
1.10.4	Monitoreo y Pruebas Dinámicas durante el hincado de pilotes	37
1.10.5	Prueba de Carga Estática en tracción	38
1.11.	Especificaciones geotécnicas para la fabricación e hinca de pilotes	39
<b>CAPITULO II: PRUEBA DE HINCA EN TIERRA</b>		<b>40</b>
2.1	Objetivo	41
2.2	Introducción	41
2.3	Antecedentes geotécnicos	42
2.3.1	Informes Geotécnicos	42
2.3.2	Estratigrafía	42
2.3.3	Capacidad de Carga Ultima	43
2.4	Análisis de hinca y de tensiones	44
2.4.1	Área de prueba terrestre	44
2.4.2	Pilote de obras de Atraque	45
2.4.3	Martinete de Hinca	46
2.5	Pilote de prueba de tracción	46
2.5.1	Geometría de Acero del pilote	46
2.5.2	Fabricación del Pilote	46
2.6	Prueba de hinca	47
2.6.1	Martinete de Hinca	47
2.6.2	Presentación del Pilote	47



2.6.3	Hinca del Pilote	48
2.6.4	Prueba dinámicas	49
2.7	Prueba de carga estática de tracción de pilote	49
2.7.1	Viga de Reacción, Aplicación de Carga y Control de desplazamientos	50
2.7.2	Equipos a Utilizar en las Pruebas de Carga	52
2.7.3	Procedimientos de Aplicación de Cargas	53
2.8	Tratamiento del área de las pruebas	54
2.9	Informe de resultados	54
<b>CAPITULO III: PRUEBA DE HINCA EN MAR</b>		<b>55</b>
3.1	Objetivo	56
3.2	Introducción	56
3.3	Antecedentes geotécnicos	58
3.3.1	Informe Geotécnico	58
3.3.2	Estratigrafía	58
3.3.3	Capacidad de Carga Última	60
3.4	Solicitaciones de pilotes	60
3.5	Análisis de hinca y tensiones	61
3.5.1	Pilotes 30 pulgadas de diámetro	61
3.5.2	Pilotes 36 pulgadas de diámetro	61
3.5.3	Martinete de Hinca	61
3.6	Pilote de prueba PP-3	62
3.6.1	Geometría y Calidad de Acero del Pilote	62
3.6.2	Fabricación del Pilote	62
3.6.3	Tapón de Hormigón	63
3.7	Prueba de hinca	63
3.7.1	Martinete de Hinca	64
3.7.2	Presentación del Pilote	64
3.7.3	Hinca del Pilote	64
3.7.4	Pruebas dinámicas	65
3.8	Prueba de carga estática de tracción de pilote PP-3	66
3.8.1	Sistema de Reacción, Aplicación de Cargas y Control de Desplazamientos	66



3.8.2	Equipos a Utilizar en las pruebas de Carga	68
3.8.3	Procedimiento de Aplicación de Cargas	69
3.9	Perforación piloto	70
3.10.	Prueba complementarias de pilotes	70
3.10.1	Pruebas adicionales en área de Plataforma de Carga	70
3.10.2	Pruebas adicionales en área de Pruebas terrestres	71
3.11	Tratamiento del área de la prueba	71
4.0	Anexos	72
5.0	Fotografía	190



## RESUMEN

El presente trabajo, ha tenido como objetivo compartir las experiencias profesionales vividas durante el proceso constructivo de la Plataforma de Carga de Gas, el cual forma parte del proyecto integral de la explotación, transporte y distribución del Gas proveniente del yacimiento de Camisea en el Cusco, la planta de fraccionamiento, Tratamiento y refinería se encuentra ubicada en el departamento de Ica, provincia de Pisco, distrito Chaco; donde es procesado y almacenado el gas natural proveniente del yacimiento de Gas ubicado en el Cusco para posteriormente proceder a su transporte al litoral por medio de un gaseoducto y distribución siendo la interna con gaseoducto y la Exportación a través de embarcaciones marinas.

En este trabajo, se utilizó parámetros de diseño asumidos para la construcción de la Plataforma de Carga, Postes de amarre, duque de alba, plataforma de embarque y la plataforma del incinerador, además de ello se define el tipo de martillo de hinca a utilizar, como también los espesores y calidad de tubería con la cual se fabricaron los pilotes metálicos.

Pero sobre todo queremos compartir el proceso constructivo con que se llevo a cabo esta construcción.



## LISTA DE CUADRO

➤	Sondaje complementario BH 1-2	19
➤	Estratigrafía	21
➤	Solicitaciones en pilotes	26
➤	Profundidad preliminar de hinca	27
➤	Martinetes	31
➤	Pilotes	32
➤	Resultados de análisis de tensión máxima	33
➤	Profundidad de hinca y criterios de rechazo	36



## LISTA DE FIGURAS

➤	Fig.01	Localización General del Embarcadero	102
➤	Fig.02	Localización General	103
➤	Fig.03	Área de prueba de hinca en tierra	104
➤	Fig.04-05	Resultados de la Prueba de Carga	105 & 106
➤	Fig.06	Perfil Estratigráfico de la prueba en tierra	107
➤	Fig.07	Modelo de Resistencia Superficial de pilote de prueba en tierra	108
➤	Fig.08	Perfil Estratigráfico General	109
➤	Fig.09	Estratigrafía del área de Atraque	110
➤	Fig.10–11	Distribución de la resistencia superficial de los pilotes de prueba PP-01 y PP-02	111 & 112
➤	Fig.12	Densidades del estrato blando	113
➤	Fig.13	Ensayo de resistencia al corte	114
➤	Fig.14-16	Capacidad de Carga axial	115 & 117
➤	Fig.17-18	Curvas de Capacidad de Carga Registros PDAPLOT	118 & 119
➤	Fig.19	Curva de Resistencia de Pilote	120
➤	Fig.20-44	Curva Resistencia Vs Registro de Hinca	121 & 145
➤	Fig.45	Perfil Estratigráfico – Área de Prueba en Tierra	146
➤	Fig.46-47	Log Boring BH-1, BH-2	147 & 148
➤	Fig.48-57	Conductividad y Análisis del Pilote Durante La hinca	149 & 158
➤	Fig.58	Presentación del pilote de Prueba	159
➤	Fig.59-60	Formato de Record de hinca	160 & 161
➤	Fig.61- 63	Vista General de la Prueba de tensión	162 & 164
➤	Fig.64	Diagrama del sistema hidráulico N° 01 , 02	165 & 166
➤	Fig.66-69	Formato de Prueba de Tensión	167 & 170
➤	Fig.70	Perfil estratigráfico – Área de mar	171
➤	Fig.71-75	Log Boring	172 & 176
➤	Fig.76	Distribución de la Resistencia Superficial del pilote PP – 03	177
	Fig.77-80	Conductividad y Análisis del Pilote Durante	



	La hinca	178 & 181
➤	Fig.81 Localización de la Plataforma de Carga	182
➤	Fig.82-85 Vista General del Pilote de prueba	183 & 186
➤	Fig.86 Diagrama de arreglo hidráulico	187
➤	Fig.87-88 Formato de Prueba de Tensión	188 & 189



## INTRODUCCION

En el capítulo I, corresponde al estudio Geotécnico; con la información brindada se identificó que el suelo de fundación del área de las obras de atraque está constituido por limos arcillas de baja consistencia, y este a su vez se encuentra sobre un estrato de grava arenosa y arenas gravosas muy compactas, el cual serviría de base para determinar la capacidad de carga en tracción de los pilotes; con estos parámetros asumidos se procedió a realizar las pruebas de hinca en tierra, de modo de verificar las características físicas del estrato de suelo mediante pruebas en campo en búsqueda de la falla de suelo – pilote.

En el capítulo II, Prueba de hinca en tierra, muestra los parámetros de diseño y construcción del pilote de prueba utilizado en tierra, así como la descripción detallada del proceso de hinca y de las pruebas estáticas utilizadas mediante la aplicación de las cargas a la cual estarán sometidas. En él se determina la capacidad de carga última del pilote y el análisis de hinca que se realizó en la prueba terrestre; se da los parámetros de fabricación del pilote de prueba, así como las etapas previas y durante la hinca, por otro lado indica el sistema adoptado para la prueba de carga a tracción del pilote en tierra, las combinaciones de carga que se debe de adoptar y el procedimiento de aplicación de dichas cargas.

En el capítulo III Pruebas de hinca en mar, no es otra cosa que la búsqueda de la validación de los resultados en tierra, partiendo de los mismos parámetros de diseño de pilote en tierra.

Mi participación durante el proceso constructivo fue directa luego de la etapa de hinca, en la ejecución de las obras civiles (concreto) de la plataforma de embarque, postes de amarre, duque de alba y plataforma del incinerador, se muestra imágenes del sistema adoptado para la fabricación de los encofrados y pre armado de la armadura de refuerzo así como el método utilizado para la colocación de concreto.

Si bien es cierto que durante el proceso de hinca de pilotes fue asumido por una empresa transnacional con ello no se descarto, el hecho de estar presente durante el proceso constructivo que a su vez fue de aprendizaje del método utilizado por esta empresa para construcción del embarcadero de Pisco, el cual comparto con ustedes.

Espero que la información de este trabajo sirva para profundizar mas los conocimientos de los métodos utilizados en el país, de modo que poder seguir avanzando y conocer métodos constructivos utilizados en otros lugares del continente.



# **CAPITULO I**

## **Estudio Geotécnico del Terminal Marítimo de Pisco**



## 11. OBJETIVO

El presente capítulo posee como objetivo determinar los parámetros de diseño de la cimentación del embarcadero que permitirá construir una plataforma de carga que permita exportar el Gas Natural proveniente del yacimiento de Camisea en Cusco, el embarcadero está conformado por la plataforma de carga, postes de amarre y duques de alba.

La plataforma de carga, posee 24.00 metros ancho por 38.00 metros largo, en ella se encuentra el sistema de distribución de los diferentes tipos de combustibles que serán embarcados en buques de carga, el combustible llega a la plataforma a través de tuberías submarinas, las cuales parten de la planta de distribución que se encuentra a 4.5 Km. de distancia (1.5 km. en tierra y 3.0 km. sub marina) referido de la ubicación de la plataforma de carga.

Para el acoderamiento de los buques de carga se requiere que existan 4 postes de amarre, estos soportan los esfuerzos de tracción que se genera con el movimiento oscilante de la corriente marina y que la nave transfiere a la estructura, los poste de amarre se encuentran conectadas entre si con la plataforma de carga, mediante una estructuras metálicas que sirven de pasarelas conectando toda la infraestructura de un extremo a otro.

Para el atraque se cuenta con 4 duques de alba, las cuales protegen a la plataforma de carga del impacto producto del acoderamiento de los barcos, estos duques de alba poseen defensas de caucho que sirve de amortiguadores durante el proceso de atraque y durante el movimiento oscilante que produce la corriente marina.

Además de ello existe una plataforma donde está ubicado el incinerador que permite realizar la combustión de los residuos de gases emitidos durante el proceso de distribución.

### 1.2 INTRODUCCION

Los estudios de Ingeniería Geotécnica realizados permitirán establecer las recomendaciones de diseño e instalación de los Pilotes de fundación del



proyecto Pisco Marine Berth de Pluspetrol Perú Corporation S.A., en Pisco, Perú.

Esta obra es parte del proyecto integral concerniente en la explotación, transporte y distribución del Gas proveniente del yacimiento de Gas de Camisea en el Cusco, la planta de Tratamiento y refino se encuentra en el departamento de Ica, provincia de Pisco, distrito Chaco; donde es almacenado el gas natural para posteriormente proceder a su procesamiento y distribución, uno de los sistemas de distribución es la Exportación del gas a través de embarcaciones marinas, el cual se realiza por medio de tuberías submarinas hacia una plataforma de embarque; La plataforma denominada de Plataforma de Carga posee 24.00 metros ancho por 38.00 metros largo, además cuenta con de 4 Duques de Alba (BD) de 5.65m. x 5.875 m que sirve de apoyo a las embarcaciones en el momento de acoderamiento, y de 4 Postes de Amarre (MD), de 5.15 m x 7.50 m., en los cuales son los puntos de sujeción de las embarcaciones de carga, se cuenta con una Plataforma de Incineración de 12.0 m x 12.0 m. donde albergará la torre de Incineración del combustible. La disposición de estas estructuras es mostrada en la figura 01 Distribución General del Atracadero (ver pág.102).

Los antecedentes de mecánica de suelo, se basa en 11 perforaciones de inspección geotécnicas, de los cuales 2 se ubicaron en tierra (playa Loberia - Chaco) y 9 en el área marítima; de estas últimas perforaciones, 5 fueron ejecutados en el área de las obras de atraque (plataforma de carga y duques de alba) y 4 en el alineamiento entre la Planta y la Plataforma de Carga. En la figura N° 02, Localización General (ver Pág.103) se muestra la ubicación de las perforaciones de inspección geotécnicas.

De acuerdo con los antecedentes de las perforaciones de inspección, que fueron realizadas por MR & Asociados, el suelo de fundación del área de las Obras de Atraque está constituido por un estrato de limos y arcillas de baja consistencia, de aproximadamente 10.0 m. de espesor, hasta aproximadamente la cota – 20.00 m. (Cotas de fondo marino referidas a la cota absoluta del Proyecto). Bajo ese estrato se encuentra un estrato de



*gravas arenosas y arenas gravosas muy compactas, el cual presentaría cementación variable.* La cementación que presente este último estrato de suelo es un factor importante en la determinación de la capacidad de carga en tracción de los pilotes; el objetivo de analizar los pilotes en tracción es que debido al movimiento en que se van a encontrar las embarcaciones los postes de amarre y duques de alba se encontrarán sometidos a fuerzas en tracción los que serán transmitidos a la estructura.

Con el objetivo de investigar la factibilidad de hincar pilotes en los suelos gravosos cementados, se efectuó pruebas de hincada y de carga sobre dos pilotes hincados en Tierra, (sector de la playa Lobería), lugar en el cual el estrato de grava arenosa se encuentra en superficie. Estas pruebas de pilotes permitieron establecer un modelo de capacidad de carga para pilotes hincados, el cual se puede aplicar preliminarmente en el diseño de los pilotes de las Obras de Atraque. Este modelo, que deberá ser verificado en la etapa de construcción, permitirá prescindir de los anclajes, los cuales han sido proyectados, para el soporte de la tracción en los pilotes.

Para verificar el modelo preliminar de suelos, deducido de las pruebas terrestres, se debió complementar la información de mecánica de suelos con perforaciones de investigación adicionales, además de ejecutar una prueba de carga estática de tracción al pilote y llevar durante la construcción un detallado control de hincado de pilotes que incluirá las pruebas dinámicas.

De acuerdo con los antecedentes considerados en la elaboración del presente estudio y si se validan los resultados obtenidos en las pruebas ejecutadas en tierra, los pilotes de fundación de las principales estructuras de las obras de Atraque resultarán hincados entre 19 y 20 m bajo la superficie del fondo marino. En el caso que algún pilote alcance el rechazo anticipado, se considerarán procedimientos de evaluación de las capacidades de carga axial y, si es necesario, se podrá ejecutar una penetración piloto para luego continuar con la hincada del pilote. Por otra parte, y en la eventualidad que algún pilote en la condición final de hincada no alcance a desarrollar la capacidad de carga en tracción requerida por el



proyecto, el referido pilote será prolongado mediante un pilote deslizado y cementado en una perforación realizada a través del pilote (Anclaje).

### **1.3 ANTECEDENTES GEOTÉCNICOS**

#### **1.3.1 SONDAJES GEOTÉCNICOS**

Los antecedentes geotécnicos han sido obtenidos de los siguientes informes:

- Marine Geotechnical Study, Pisco New Port Facilities. Camisea Gas Pipeline. Pluspetrol Perú Corporation S.A. Final Field Report (Dep Waters), ES-0206, MR& Associates S.A.C. May 2002.
- Marine Geotechnical Study. Pisco New Port Facilities. Camisea Gas Pipeline. Pluspetrol Perú Corporation S.A. Final Field Report (Shallow Waters), ES-2006, MR & associates S.A.C., June 2002.
- Marine Geotechnical Study. Pisco New Port Facilities. Camisea Gas Pipeline. Pluspetrol Perú Corporation S.A. Geotechnical Análisis and Detailed Engineering Report, ES-0206, MR. & Associates S.A.C., June 2002.

De acuerdo con los ensayos realizados en tierra, se verificó que el suelo granular grueso de fundación de la obra de atraque corresponde al mismo estrato de grava areno-limosa muy densa, que se encuentra a lo largo del eje de la línea de pilotes y en el área de playa.

El estrato de fundación corresponde a grava areno limosa, muy densa, con tamaño medio comprendido entre 2 y 3 pulgadas y su tamaño máximo está comprendido entre 6 y 8 pulgadas. Además, el suelo de fundación presentaría en forma aislada lentes de cementación y espesores variables.

#### **1.3.2 PRUEBA DE HINCA Y PRUEBA DE CARGA EN TRACCIÓN DE PILOTES EJECUTADAS EN EL ÁREA DE PLAYA.**

En la figura 03 ubicada en la pág. 104 se muestra la ubicación del área de las pruebas de pilotes ejecutadas en la playa de Lobería.



Todos los antecedentes de las pruebas de hinca y carga de los pilotes efectuados en tierra están contenidos en el capítulo II del presente estudio.

### **1.3.2.1 DESCRIPCION GENERAL DE LAS PRUEBAS**

Se ejecutó dos pruebas de Hinca y dos pruebas de carga de tracción en pilotes, esto fue realizado en tierra, sobre pilotes verticales hincados en una ubicación próxima a la perforación de inspección geotécnico BH -1. La geometría de los pilotes de prueba corresponde a una sección tubular de acero de 32" de diámetro, con 14 milímetros de espesor, con un zapato de hinca (o refuerzo ubicado en el extremo inferior del pilote) de 38 milímetros de espesor y cuyo cuerpo poseía una longitud de 1,200 mm.

La hinca de los pilotes de prueba denominados PP-1 y PP-2 ambas en tierra, fue iniciada a partir de un fondo de una excavación, cuyas profundidades fueron de - 2.10 y -1.70 metros respectivamente, respecto al nivel de terreno natural encontrado en playa Loberia.

El primer pilote de prueba, PP-1, fue hincado entre las profundidades de - 2.10 y -10.80 m., respecto al nivel de terreno natural, alcanzando un rechazo de 170 golpes en 2 cm. de penetración a la profundidad de -10.80 m., y una energía de hinca de 7 ton-m; el pilote de prueba fue monitoreado dinámicamente en hinca fresca y en rehinca con un periodo de reposo de 4.5 horas.

El segundo pilote de prueba PP-2, fue hincado entre las profundidades de -1.70 a -8.75 m. respecto al nivel de terreno natural, encontrado un rechazo de 35 golpes para 0.10 m. de penetración. En este tramo de hinca, el pilote fue instrumentado en condición de hinca fresca hasta la profundidad de -7.50 m. respecto al nivel de terreno natural, Después de ejecutada la prueba de carga en tracción, se



continuó con la hinca instrumentada del pilote hasta alcanzar la penetración de -10.25 m. respecto al nivel de terreno natural, luego de un reposo de 10.5 horas se ejecutó la rehinca instrumentada del pilote, alcanzando la penetración final de -10.30 m. La condición final de rechazo fue de 5 golpes por 1 cm. de penetración.

La hinca de los pilotes de prueba fue realizada con un martinete Delmag D-44, con sufridera de micarta y aluminio.

En la prueba de carga de tracción, en el pilote PP-1 se aplicó una sollicitación efectiva sobre el pilote de 515.90 Ton sin alcanzar la falla del sistema suelo-pilote. Como etapa intermedia de la prueba, se realizó un ensayo de carga cíclico, con 19 ciclos de carga, entre las cargas de 295.1 y 416.4 ton. La deformación máxima registrada para el pilote de prueba fue de 9.66 mm. La carga máxima de ensayo fue mantenida por 12 horas.

La prueba de carga en el pilote PP-2 fue ejecutada en tres etapas:

- En la primera etapa se aplicó una sollicitación efectiva sobre el pilote de 515.9 ton. Sin alcanzar la falla del sistema suelo – pilote y con un desplazamiento de 10.13 mm. en esta etapa se realizó un ensayo de cargas cíclica con 21 ciclos de carga, entre las cargas de 35.7 y 74.6 ton. después de la etapa de descarga la deformación remanente fue de 3.08 mm.
- En la segunda etapa, se aplicó en un solo estado de carga siendo su carga efectiva de 515.9 ton. Y a partir de esta, se aplicó un ensayo cíclico con 21 ciclos de carga y descarga, entre los valores de 515.90 y 433.70 ton. Posteriormente se descargó registrándose un desplazamiento residual de 3.35 mm.
- Para la ejecución de la tercera etapa fue necesario aumentar la capacidad de carga del sistema hidráulico. En esta etapa,



se aplicó estados de carga hasta alcanzar la carga máxima efectiva la cual fue de 577.4 ton. La que posteriormente fue decreciendo a medida que aumentaba el desplazamiento axial del pilote, hasta alcanzar la carga residual efectiva de 414.0 ton., para un desplazamiento del pilote de 27.62 mm. La prueba de carga del pilote PP-1 fue iniciada luego 25 horas de terminada la última jornada de hinca del pilote. La prueba de carga PP-2.1 fue iniciada 20 horas luego de finalizada la hinca. La prueba de carga PP-2.1 fue iniciada 50 horas después de completada la prueba de carga PP-2.1.

### 1.3.2.2 RESULTADOS DE PRUEBAS DE CARGA ESTÁTICA

En las figuras 04 y 05 (ver Pág. 105 y 106) se entrega las curvas carga - desplazamiento obtenidas en las pruebas de ejecutadas en tierra.

### 1.3.2.3 SONDAJE COMPLEMENTARIO BH-1.2

Para interpretar los resultados de la prueba de carga PP-1 se ejecutó el sondaje denominado BH-1.2, el que alcanzó la profundidad de 12.1 m. respecto al nivel de terreno natural. En el sondaje BH-1.2 se encontró que el estrato de grava arenosa de condición muy densa, se presenta con cementación leve a moderada, a partir de los 5.15 m. de profundidad; a continuación se indica la estratigrafía observada en el sondaje BH-1.2:

Profundidad	Descripción Visual
1.35 – 5.15	Grava arenosa, Aluvial, con partículas de cantos redondeado a sub. redondeado. Compacidad media densa. Tamaño máximo 6" mal graduada. Color gris claro.
5.15 - 7.15	Grava arenosa limpia Aluvial, con partículas de cantos redondeado a sub redondeado. Compacidad densa, Tamaño máximo 6". Pobremente graduada. Cementación leva a moderada. Color gris claro
7.15 - 12.10	Igual al estrado precedente. Cementación fuerte. Compacidad muy densa



En lo referente a la cementación del suelo, la información del sondaje realizado en BH-1.2 no concuerda con la información encontrada de los sondajes BH-1 y BH-2, también ejecutados en la playa. En el informe final se establece que el estrato de grava arenosa podría presentar cementaciones, la que no habría sido detectada durante la ejecución de los primeros sondajes, debido a la dificultad de muestreo que presentan estos tipos de suelos.

En la figura 6 (ver pág. 107) se presenta el perfil estratigráfico representativo del área de las pruebas de carga, elaborado en base a los sondajes geotécnicos BH-1, BH-1.2 y BH-2.

#### **1.3.2.4 MODELOS DE SUELOS.**

A partir de los resultados de las pruebas de carga se ha establecido un modelo de suelo para evaluar las capacidades de carga última de tracción en los pilotes hincados en el estrato de grava arenosa cementada. El modelo de suelo está presentado en la figura 7 (ver pág. 108).

#### **1.3.2.5 COMENTARIOS.**

La capacidad de carga última estimada para los pilotes de las pruebas terrestres, en base a los antecedentes geotécnicos disponibles para el proyecto, resultó superior a los resultados de las pruebas de carga estáticas. La razón de ello radica en la cementación que presentan los suelos granulares, característica no considerada específicamente por los antecedentes geotécnicos.

La gran fricción obtenida en la pared de los pilotes se podría estar desarrollando por la compresión radial del suelo, generada por el volumen del zapato de hinca y por la obstrucción que este zapato produce al ingreso del suelo en el interior del pilote. Esta compresión radial, en los suelos de compacidad extrema no puede ser compensada con el reordenamiento de las partículas de suelo hacia mayores



densidades, generando una deformación elástica, que una vez finalizada la hinca reacciona contra el pilote generando elevadas resistencias unitarias de fricción.

Si se valida los resultados de las pruebas de hinca y la prueba de carga de pilotes efectuadas en tierra, en las áreas marítimas del proyecto, no sería necesario utilizar anclajes para transferir al suelo las solicitaciones de tracción de los pilotes de la obra de Atraque.

## 1.4 INTERPRETACIÓN DE ANTECEDENTES GEOTÉCNICOS.

### 1.4.1 ESTATIGRAFÍA

De acuerdo con los antecedentes de los sondajes geotécnicos, el área de las Obras de Atraque presentaría la siguiente estratigrafía:

Horizonte	Descripción Visual
I	Limos orgánicos de alta plasticidad, de consistencia muy blanda, levemente creciente con la profundidad. Color gris verdoso. Este estrato se presenta con un espesor de aproximadamente 10 m. en las zonas de estructuras de Atraque, desde el fondo marino ubicado aproximadamente en la cota -14.20 a -15.90 m NRS, hasta aproximadamente la cota -25.0 m. NRS, en promedio. La resistencia al corte no drenado crece desde aproximadamente 0.20 T/m <sup>2</sup> en el fondo marino hasta aproximadamente 0.50 T/m <sup>2</sup> en la base del estrato.
II	Depósito aluvial, constituido por arenas muy compactas, con canto sub-redondeado y redondeado. El tamaño máximo no excede en general de 3" y muy aisladamente a 8". El estrato presenta cementación muy variable en la matriz arenosa. En la descripción de los sondajes no se establece con suficiente detalle las variaciones de las cementaciones Vs. profundidad. Este estrato subyace al interior y se extendería hasta una profundidad superior al alcance de los pilotes hincados.

Además, los registros de los sondajes indican que los suelos granulares gruesos del Horizonte II del área de Obras de Atraque, corresponden al mismo estrato de grava areno-limosa muy densa, que se encuentra a lo largo del eje del pilote y en el área de playa del proyecto.



En la figura 08 (ver Pág. 109) se muestra un perfil estratigráfico general del subsuelo del Proyecto, el que fue elaborado con los resultados de todos los sondajes geotécnicos disponibles a la fecha. En la figura 09 (ver pág. 110) se presenta un perfil estratigráfico del subsuelo de las Obras de Atraque.

#### 1.4.2 PARÁMETROS PRELIMINARES PARA EVALUAR LA CAPACIDAD DE CARGA AXIAL DE PILOTES.

Los suelos finos del Horizonte I, no contribuyen a la capacidad de carga axial de pilotes. La capacidad de carga axial de pilotes está controlada por las características de los suelos del Horizonte II, formado por gravas arenosas cementadas.

En las fig. 10 y 11 (Pág. 111 y 112) muestras las variaciones de las resistencias unitarias del manto estimada para los pilotes PP-1 y PP-2, determinadas a partir de los análisis CAPWAP y de la interpretación de la prueba de carga sobre la base del análisis t-z. En estas figuras se muestra además el modelo preliminar de suelo propuesto para evaluar la capacidad de carga axial en tracción de los pilotes. Este modelo preliminar de suelo que fue propuesto en el informe de resultados de las pruebas de carga terrestres, se ha adoptado preliminarmente como válido para estimar la resistencia última unitaria del manto para cargas de tracción y compresión para los pilotes de todas las estructuras de la Obra de Atraque. Este modelo deberá ser revisado para cada estructura, mediante la ejecución de sondajes geotécnicos y de prueba de carga estática y dinámica.

El modelo preliminar para estimar la capacidad de carga última de los pilotes en el estrato de grava es el siguiente:

**Sub. estrato no cementado** (De 0.0 a 6.0 m. bajo el techo del estrato II)

Peso Unitario Sumergido, $\gamma_b$	=	1.20 T/m <sup>3</sup>
Angulo de fricción Suelo-acero, $\delta$		35°
Coeficiente de Empuje Lateral, $\kappa$		0.80



**Sub. estrato cementante leve** (De 6. a 8. m. bajo el techo del estrato II)

Peso Unitario Sumergido, $\gamma_b$	=	1.20 T/m <sup>3</sup>
Fricción unitaria, $f_s$	=	8 - 50 T/m <sup>2</sup>
Resistencia última de punta	=	1,000 T/m <sup>2</sup>

**Sub. Estrato cementante media** (Desde 8.0 bajo el techo del estrato II)

Peso Unitario Sumergido, $\gamma_b$	=	0.40 T/m <sup>3</sup>
Fricción unitaria, $f_s$	=	50 T/m <sup>2</sup>
Resistencia última de punta	=	2,000 T/m <sup>2</sup>

### 1.4.3 PARAMETRO PARA EVALUAR COMPORTAMIENTO LATERAL DE PILOTES

Para modelar la reacción del suelo frente a las cargas laterales en los pilotes, se puede utilizar las curvas p-y recomendadas en la norma API RP-2A-LRFD, para arcillas blandas y para arenas con los parámetros propuestos en las siguientes secciones:

#### 1.4.3.1 SUELOS FINOS, HORIZONTE I

En las fig. 12 y 13 (ver pág. 113 y 114) se presenta un resumen con las determinaciones de densidad y con los ensayos de resistencia al corte no drenado, respectivamente, informados por MR & Asociados y por Golder Associates Perú S.A., correspondientes a los suelos finos del estrato I. Sobre la base de ellos, se adoptó el siguiente modelo geotécnico para estos suelos:

Peso Unitario Sumergido, $\gamma_b$	=	0.40 T/m <sup>3</sup>
Resistencia al corte no drenado, SU	=	0.13H + 0.027 (T/m <sup>2</sup> ) H prof. bajo el fondo marino(m)
Deformación al 50% de resistencia a compresión en probetas naturales, $e^{50}$	=	0.020
Parámetro adimensional, J	=	0.50 (para arcillas blandas).

#### 1.4.3.2 SUELOS GRANULARES. HORIZONTE II



## 1.5 RECOMENDACIONES PRELIMINARES PARA EL DISEÑO DE PILOTES

### 1.5.1 TIPO DE PILOTE

Considerando los antecedentes provenientes de los sondajes geotécnicos y de los ensayos de hinca y carga de pilotes en tierra, se recomienda la utilización de pilotes tabulares de acero de 30" y 36", hincados en el estrato de grava arenosa cementada.

### 1.5.2 ZAPATOS DE HINCA

Todos los pilotes llevarán soldado en su extremo inferior un zapato de hinca para prevenir eventuales daños al pilote. El zapato de hinca tendrá una longitud de 1.5 metros en los pilotes de 30" y 36" de diámetro y una longitud de 1.0 m en los pilotes de 24" de diámetro. El zapato de hinca deberá tener el mismo diámetro nominal del pilote.

En pilotes de 30" y 36" de diámetro, se utilizará zapatos de 36 mm. de espesor; si el acero es de calidad ASTM A572 Gr. 50 o equivalente o superior. En el caso de aceros de calidad ASTM A572 Gr. 42 o equivalente, se utilizará zapatos de 40 mm. de espesor.

En los pilotes de 24" de diámetro se utilizará zapatos con un espesor no inferior a 32 mm., con aceros de calidad no inferior a ASTM A572 Gr. 42.

### 1.5.3 SOCAVACIÓN

Se estima que la eventual socavación local, en torno a los pilotes, no sobrepasará de 1.5 veces el diámetro del pilote respectivo.

### 1.5.4 CAPACIDAD DE CARGA AXIAL ÚLTIMA

Para estimar la capacidad de carga axial última de los pilotes hincados, se recomienda utilizar las siguientes relaciones, las que se basan en el método estático de evaluación de la capacidad de carga axial.

$$Q_c = Q_s + Q_p$$

$$Q_p < Q_s \text{ (En pilotes sin tapa)}$$

$$Q_t = Q_s$$

Donde:



$Q_c$  : Capacidad de carga axial última en compresión  
 $Q_t$  : Capacidad de carga axial última en tracción  
 $Q_s$  : Carga última de manto  
 $Q_p$  : Carga última de punta.

La carga última de manto puede ser estimada con la siguiente expresión:

$$Q_s = \alpha f_i \cdot A_i$$

### Suelos Horizonte II

$$f_2 = \sigma'_v \cdot K \cdot \text{tg } \delta \quad (\text{Sub estrato sin cimentación})$$

$$f_3 = 29 \text{ T/m}^2 \quad (\text{Sub estrato con cimentación leve})$$

$$f_3 = 50 \text{ T/m}^2 \quad (\text{Sub estrato con cimentación media})$$

La carga última de punta puede ser estimada con la expresión siguiente:

$$Q_p = A_p \cdot q_p$$

Donde:

$A_p$  : Área de punta del pilote. En pilotes tubulares considerar la sección transversal del acero en el zapato

$A_i$  : Área de manto del pilote en contacto con el estrato o sub - estrato I Resistencia unitaria de manto del estrato o sub - estrato I.

$\sigma'_v$  : Presión vertical efectiva promedio en el estrato o sub - estrato.

$K$  : Coeficiente de empuje  $K= 0.8$

$q_p$  : Resistencia unitaria de punta. En el sub - estrato con cimentación media 2,000 T/m<sup>2</sup>

Considerando los parámetros contenidos en la sección 3.2, se ha evaluado las capacidades de carga axial en compresión y en tracción para los pilotes hincados de 24, 30 y 36 pulgadas de diámetro. En las figuras 14 a 16 (ver Pág. 115 al 117) se presenta las siguientes curvas de variación de la capacidad de carga axial con la profundidad de hinca en el estrato de grava compactada y cementada.



### 1.5.5 FACTORES DE REDUCCIÓN DE LA RESISTENCIA ÚLTIMA

Con el objeto de estimar la profundidad de hincas de los pilotes, necesaria para transferir al suelo las solicitaciones axiales, las capacidades de carga última de los pilotes se multiplicarán por los siguientes factores:

Condiciones Extremas: 0.80

Operaciones Extremas: 0.70

Operaciones Normales: 0.50

### 1.5.6 COMPORTAMIENTO LATERAL DE PILOTES

En el Anexo A (ver pág. 72) se presentan las curvas p-y a diferentes profundidades, para diámetros de pilotes de 24", 30" y 36".

## 1.6 SOLICITACIONES DE PILOTES

De acuerdo con los antecedentes del proyecto, los principales pilotes de fundación estarán sometidos a las siguientes solicitaciones extremas de trabajo (factores loads), las que no incluyen el peso propio del correspondiente pilote:

### Plataforma de Carga

Pilote	Diámetro PULG.	Espesor Normal PULG.	Comp. Extrema TON.	Tracción Extrema TON.	Comp. Sísmica TON.	Tracción Sísmica TON.	Comp. TON.
Verticales	30	0.55	1 77.5	69.1	167.0	159.8	245.3
Inclinados	30	0.688	96.2	266.5	361.6	311.5	395.4
Longitudinales							
Inclinados	30	0.625	54.6	219.8	390.0	341.3	514.7
Transversales							

### Poste de Atraque

Pilote PULG.	Diámetro Comp. PULG.	Espesor Norm TON.	Tracc Normal TON.	Comp. Extrema TON.	Tracción Extrema TON.	Comp. Sísmica TON.	Tracción Sísmica TON.
Delanteros							
36	0.866	205	112.3	285.2	418.1	-----	260.5
Traseros							
36	0.866	-----	274.9	249.4	228.0	309.9	122.7

### Poste de Amarre

Pilote	Diámetro Comp. PULG.	Espesor Norm PULG.	Tracc Normal TON.	Comp. Extrema TON.	Tracción Extrema TON.	Comp. Sísmica TON.	Tracción Sísmica TON.
Delanteros	30	0.688	58.5	43.6	350.2	-----	346.5
Traseros	30	0.688	62.5	280.8	145.9	227.6	-----



## 1.7 PROFUNDIDADES PRELIMINARES DE HINCA

### 1.7.1 LONGITUD DE FABRICACION DE PILOTES

La longitud de fabricación de cada pilote será determinada en obra en base a la información obtenida de la hincada de los pilotes precedentes. Con objeto de cubrir la variación en la superficie, normal de los suelos, podría ser recomendable fabricar los pilotes con un excedente de 2 metros con respecto a la longitud que finalmente sea estimada.

### 1.7.2 PROFUNDIDADES PRELIMINARES DE HINCA.

En el presente acápite se entrega una estimación de las profundidades preliminares mínimas de hincada para los principales pilotes de fundación considerados por el proyecto. Para efectuar estas estimaciones se ha considerado las solicitaciones extremas indicadas en el acápite 5 y las curvas de capacidad de carga axial presentadas en las fig. 17 a 18 (Ver Pág. 118 a 119)

## PLATAFORMA DE CARGA

Pilotes Tipo	Díámetro	Espesor	Penetración Preliminar M.b.f.m.*
	Pulg.	Pulg.	
Verticales	30	0.551	18.0
Inclinados Longitudinal	30	0.688	20.0
Inclinados Transversal	30	0.625	20.0

Se estima preliminarmente que los pilotes de 36" de diámetro pertenecientes al Riser Support deberán ser hincados hasta aproximadamente 6 metros en el estrato de grava.

Los pilotes de 24" de diámetro que soportan el Boat Landing (Plataforma de botes) serán hincados hasta penetrar 3 m. en el estrato de grava.

## POSTE DE ATRAQUE

Pilotes Tipo	Díámetro	Espesor	Penetración Preliminar M.b.f.m.*
	Pulg.	Pulg.	
Delanteros	36	0.866	19.0
Traseros	36	0.866	20.0



## POSTE DE AMARRE

Pilotes Tipo	Díámetro	Espesor	Penetración Preliminar M.b.f.m.*
	Pulg.	Pulg.	
Delanteros	30	0.688	20.0
Traseros	30	0.688	19.0

\* Las profundidades indicadas en las tablas precedentes consideran en 10 m. el espesor de suelo blando (Horizonte I).

### 1.8 RECOMENDACIONES DE DISEÑO DE ANCLAJES

En el Anexo B (ver Pág. 84) se entrega las recomendaciones geotécnicas necesarias para el diseño de los eventuales anclajes. La utilización de anclajes está considerada sólo para aquellos casos en los cuales los pilotes hincados no logren desarrollar la capacidad de carga en tracción requerida por el Proyecto.

### 1.9 ANALISIS DE HINCABILIDAD Y TENSIONES.

La factibilidad de hincar pilotes en los suelos del Horizonte II y que estos desarrollen altas capacidades de carga quedó comprobada en las pruebas de hinca y de carga de pilotes ejecutadas en tierra. Considerando estos resultados, se efectuó la modelación de las condiciones que se tendría durante el hincado de los pilotes de las estructuras de las Obras de Atraque.

En general, los objetivos del análisis de la prueba de hinca y tensiones son:

- Estimar la factibilidad de hincar los pilotes del proyecto, empleando determinados martinetes.
- Establecer las tensiones máximas que se producen durante el hincado en los pilotes.
- Establecer preliminarmente los criterios de rechazo que garanticen la capacidad de carga en compresión.

El método de análisis empleado, consiste en estimar la resistencia a la hinca en la situación final a la que debería llegar el pilote para alcanzar la capacidad de carga requerida en compresión y tracción, y comparar esa resistencia a la hinca con la resistencia que es capaz de vencer el



martinete. Para la estimación de la resistencia a la hincada se utiliza los datos de las pruebas de hincada ejecutadas en tierra.

La resistencia que puede ser vencida por el martinete es estimada de las curvas de resistencia en función del número de golpes por unidad de penetración, que se establece con el análisis de las ecuaciones de ondas. Los resultados de pruebas de hincada previas permiten también efectuar ajustes en la modelación del suelo y del martinete.

### 1.9.1 ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA EN LA HINCA.

El hincado de los pilotes de prueba en tierra, fue monitoreado dinámicamente con un equipo PDA, con el que se obtuvo, entre otros parámetros, un registro continuo del estimador de capacidad de carga RMX. (Método de Case Globe)

Las figuras 17 y 18 (ver Pág. 118 y 119) muestran los registros PDAPLOT con la variación del registro de hincada, el estimador de la capacidad de carga RMX y la energía máxima transferida al pilote, EMX correspondientes a los pilotes de prueba PP-1 y PP-2

En los registros PDA PLOT del pilote PP-1, se observa lo siguiente:

- El valor de RMX se mantiene constante, igual 600 toneladas, entre las profundidades de 3.5 y 5.5.
- De 5.5 a 6.5 de profundidad, el RMX crece en forma lineal con la profundidad, hasta alcanzar el valor de 8 toneladas.
- Entre 6.5 a 8 m. de profundidad, el RMX crece linealmente con la profundidad hasta alcanzar el valor máximo de 1,200 toneladas.
- A partir de la profundidad de 8.5 m. y hasta la detención de la hincada a los 9.5 m., el RMX se mantiene aproximadamente constante con valores medios de 1,000 toneladas.
- Después de reiniciada la hincada RMX disminuye a valores cercanos a 800 toneladas, incrementando a medida que progresa la hincada hasta llegar a 1,200 toneladas al término de la hincada fresca.



- Después de una detención de 3 hora, en la faena de rehincha el RMX se mantiene aproximadamente constante en 900 ton.

A partir de la profundidad de 6.5 m. existe un suelo más resistente, el que está representado por una mayor resistencia del RMX.

La resistencia RMX disminuye después de detenciones de la hinca.

La máxima energía transferida por el martillo Delmag D-44 alcanzó aproximadamente 7.5 ton-m para una carrera de pistón de 3.20 m, lo que representa una eficiencia global cercana al 53%, normal para esta condición de hinca.

En los registros PDAPLOT correspondientes a la hinca del pilote PP-2, se observo lo siguiente:

- El valor de RMX es constante e igual a 400 toneladas entre las profundidades de 3.5 y 5.5 metros.
- Entre 5.5 a 6.5 metros de profundidad RMX es constante e igual aproximadamente 600 toneladas.
- Entre 6.5 y 7.5 de profundidad RMX crece linealmente con la profundidad hasta alcanzar el valor máximo de 800 toneladas.
- A partir de 8.75 metros y después de la detención de la hinca RMX se reduce y se mantiene constante e igual a 600 toneladas, Cerca del término de la hinca fresca RMX alcanza el valor de 750 toneladas.
- Después de una detención de 2 horas en la faena de rehincha, el valor de RMX se reduce y mantiene constante en aproximadamente en 600 toneladas.

A partir de la profundidad de 5.5 m. habría un suelo más resistente, el que está representado por una mayor resistencia RMX.

La resistencia RMX cae levemente después de una detención de la hinca.

La máxima energía transferida por el martillo Delmag D-44 alcanzó aproximadamente 6.5 ton-m para una carrera del pistón de 2.9 m. lo que representa una eficiencia global cercana al 50%.



Los Registros del estimador RMX en función de la penetración bajo la superficie del estrato de grava de los dos pilotes de prueba fueron unidos en la figura 19 (ver Pág. 120), ello permite visualizar la variación que se podría tener en los registros de los pilotes hincados en el mar. Aprovechando esta figura se ha trazado en ella un modelo para evaluar la prueba de hinca.

Sobre la hipótesis de que el suelo de fundación del área de las Obras de Atraque, tiene las mismas características que el que existen en tierra, incluyendo la cementación, se ha estimado la resistencia a la hinca que tendría los pilotes de 24", 30" y 36" de diámetro en ese sector, en el habría aproximadamente 10 metros de sobre carga de suelo fino blando. La resistencia estimada a la hinca de los pilotes de 24", 30" y 36" de diámetro se ha incluido en la figura 19 (ver pág. 120)

Para deducir los valores de la resistencia a la hinca de pilotes con otros diámetros, se ha empleado correlaciones geométricas simples entre las áreas de manto y de punta, de los pilotes terrestres. La sobre carga del suelo fino blando sería aproximadamente equivalente a la preexcavación que se efectuó en los pilotes en tierra.

### 1.9.2 CURVAS DE RESISTENCIA VS. REGISTROS DE HINCA

La estimación de las curvas de resistencia en función del número de golpes de rechazo fue establecida mediante el programa de ecuaciones de ondas GRLWEAP versión 2003-1 las figuras del 20 al 44 muestra dichos resultados (Ver pág. 121 al 145)

### 1.9.3 MARINETES

Los análisis de hinca se han desarrollado para los siguientes martinetes:

Marca	Delmag	Delmag
Modelo	D - 44	D - 44
Energía Máxima $(T_n - m)$	6.02 – 12.04	11.43 – 22.83
Peso del Pistón $(kg)$	4.313	6.630
Carrera máxima del pistón $(m)$	2.90	3.40
Frecuencia golpes $(golpes/ minuto)$	37 – 56	35 – 50



Durante el hincado del primer pilote de prueba en tierra con martillo Delmag D-44 se pudo movilizar capacidades de carga de hasta 1,200 toneladas, lo cual es superior a lo estimado previamente con el programa GRLWEAP, considerado una eficiencia igual a 80%. Para ajustar el valor medio se utilizó en los procesos posteriores una eficiencia igual a 100% con este martillo hincando pilotes verticales.

#### 1.9.4 PILOTES

Las curvas de capacidad última en función del número de golpes de rechazo fueron establecidas para los siguientes casos representativos

Caso	Estructura	Diámetro	Espesor	Inclinación	Martinete
1	Plataforma	30	0.688	1 : 3	D - 44
2	Plataforma	30	0.688	1 : 3	D - 62-22
3	Plataforma	30	0.551	Vertical	D - 44
4	Plataforma	30	0.551	Vertical	D - 62-22
5	Plataforma	30	0.625	1 : 3	D - 44
6	Plataforma	30	0.625	1 : 3	D - 62-22
7	Plataforma	24	0.500	Vertical	D - 44
8	Plataforma	24	0.500	Vertical	D - 62-22
9	Plataforma	36	0.866	Vertical	D - 44
10	Plataforma	36	0.866	Vertical	D - 62-22
11	Duque de Alba	36	0.866	1 : 2.5	D - 44
12	Duque de Alba	36	0.866	1 : 2.5	D - 62-22
13	Poste de Amarre	30	0.688	1 : 2.5	D - 44
14	Poste de Amarre	30	0.688	1 : 2.5	D - 62-22

#### 1.9.5 RESULTADOS DE ANÁLISIS DE TENSIONES MÁXIMAS

Los resultados de los análisis efectuados están contenidos en las figuras 20 al 44, (Pág. 121 al 145), en la siguiente tabla se resumen algunos datos relevantes de estos análisis.



Caso	Fig.	Estructura	Diámetro/ Espesor	Inclinación	Martillo	Máxima Tensión Tn/cm <sup>2</sup>	Capacidad en 1,200 golpes/min. Tn.	Capacidad en 200 golpes/min. Tn.
1	20	Plataforma	30" / 0.688	1 : 3	D - 44	2.00	790	860
2	21	Plataforma	30" / 0.688	1 : 3	D-62-22	2.45	1020	1080
3	22	Plataforma	30" / 0.551	Vertical	D - 44	2.25	720	800
4	23	Plataforma	30" / 0.551	Vertical	D-62-22	2.80	940	1040
5	24	Plataforma	30" / 0.625	1 : 3	D - 44	2.10	750	800
6	25	Plataforma	30" / 0.625	1 : 3	D-62-22	2.55	980	1040
7	26	Plataforma	24" / 0.500	Vertical	D - 44	2.55	615	650
8	27	Plataforma	24" / 0.500	Vertical	D-62-22	3.15	800	830
9	28	Plataforma	36" / 0.866	Vertical	D - 44	1.90	1000	1070
10	29	Plataforma	36" / 0.866	Vertical	D-62-22	2.20	1310	1440
11	30	Duque de Alba	36" / 0.866	1 : 2.5	D - 44	1.80	940	1080
12	31	Duque de Alba	36" / 0.866	1 : 2.5	D - 62-22	2.05	1240	1350
13	32	Poste de Amarre	30" / 0.688	1 : 2.5	D - 44	2.00	780	860
14	33	Poste de Amarre	30" / 0.688	1 : 2.5	D - 62-22	2.45	1020	1070

#### 1.9.6 ANALISIS DE TENSION MAXIMAS.

Los procesos para estimar la curva de capacidad en función del número de golpes de rechazo en el estudio de hincas, se efectuó considerando una distribución de resistencia a la hincas compuesta por una capacidad de 65% por manto (fricción) y de 35% por punta. Algunas variaciones en estos porcentajes, como también en la profundidad de hincado no producen cambios importantes en la curva señalada.

Para efecto de estimar las tensiones máximas, la distribución de resistencia más crítica corresponde a la existencia de una capa cementada en la cual el pilote rechace bruscamente. Para este caso se ha utilizado una distribución con un 80% de carga de punta. En la tabla siguiente se presenta las tensiones máximas que se obtendrían en los pilotes., si estos son hincados con el martinete que sería el adecuado para el hincado.

Cuando la tensión máxima de hincado resultó superior a 3 ton/cm<sup>2</sup>, con el martillo trabajando a su capacidad máxima, se determinó también la tensión máxima cuando el martinete se utiliza con inyección de combustible reducida. La inyección de diesel se puede regular desde 1 a 10 en el martillo Delmag D - 44



y de 1 a 4 en el martillo Delmag D - 62-22. (la posición de inyección de combustible 1 corresponde a la de menor inyección).

Caso	Fig.	Estructura	Diámetro/ Espesor	Inclinación	Martillo	Ajuste de Combustión	Máxima Tensión Tn/cm2
1	34	Plataforma	30"/0.688	1 : 3	D -62-22	4	2.6
2	35	Plataforma	30"/0.551	Vertical	D -62-22	4	3.65
3	36	Plataforma	30"/0.551	Vertical	D -62-22	1	2.70
4	37	Plataforma	30"/0.625	1 : 3	D -62-22	4	3.15
5	38	Plataforma	24"/0.500	Vertical	D -62-22	2	2.6
6	39	Plataforma	24"/0.500	Vertical	D - 44	10	3.15
7	40	Plataforma	36"/0.866	Vertical	D - 44	4	2.65
8	41	Plataforma	30"/0.688	Vertical	D -62-22	4	2.50
9	42	Duque de Alba	30"/0.688	1 : 2.5	D -62-22	4	2.35
10	43	Poste de Amarre	30"/0.688	1 : 2.5	D -62-22	4	3.0
11	44	Poste de Amarre	30"/0.688	1 : 2.5	D -62-22	2	2.45

Las curvas de tensión máxima en función del número de golpes de rechazo se pueden observar en las figuras 20 al 44 (ver pág. N° 121 al 145)

### 1.9.7 COMENTARIOS A LOS RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE HINCABILIDAD Y TENSIONES

De acuerdo a las condiciones geotécnicas establecidas en las pruebas de pilotes ejecutadas en tierra y considerando las características geométricas de los pilotes del proyecto, se establecen las siguientes conclusiones preliminares:

- En general, para alcanzar la penetración indicada en el proyecto será necesario el empleo de un martillo Delmag D-62-22 u otro similar en energía y peso, en los pilotes de 30" y 36" de diámetro. Este equipo no tiene energía en exceso para los pilotes del proyecto por lo cual su funcionamiento debe ser óptimo.
- El martillo Delmag D-44 podrá ser utilizado en la hinca final de los pilotes de 24" de diámetro y en etapas intermedias de hinca de los pilotes de 30" y 36" de diámetro.
- Los pilotes verticales de 30" de diámetro y 0.551 pulgadas de espesor de pared alcanzarían las mayores tensiones de



hincado. En el hincado de estos pilotes se podrá utilizar el martillo D-62-22, sólo si se utiliza con una mínima inyección de combustible (ajuste de combustión 1).

- El martinete Delmag D-62-22 no debería sobre tensionar los pilotes de 30" con espesores de 0.625 o 0.688 ni los pilotes de 36"
- La resistencia a la hinca depende directamente de las propiedades locales del estrato de grava. La posibilidad de alcanzar las penetraciones de proyecto está relacionada con la cementación local del estrato de grava. Una elevada resistencia a la penetración en la grava estará necesariamente asociada a una elevada resistencia estática en compresión. De acuerdo a lo anterior, se estima que la capacidad de carga en compresión podrá quedar adecuadamente garantizada, calibrando los criterios de rechazo de los pilotes con los resultados de ensayos de carga estático y dinámico. Estos criterios deberán incorporar requisitos de golpes por unidad de penetración y requisitos en cuanto a la energía transferida por golpe a los pilotes.
- El problema de hinca se centra específicamente en estimar si los pilotes penetrarán lo necesario para desarrollar las capacidades de carga en tracción requeridas por el proyecto. Respecto de este tema se propone revisar las penetraciones mínimas propuestas mediante los resultados que se obtengan de las pruebas dinámicas. La remoción del tapón de suelo inferior y la ejecución de una perforación piloto, bajo la profundidad hincada del pilote, puede posibilitar alcanzar la penetración necesaria para obtener la capacidad de carga en tracción, cuando un pilote rechace antes en una capa de suelo altamente cementada.

## 1.10 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 1.10.1 MARTINETES PARA EL HINCADO DE LOS PILOTES

En la hinca final de los pilotes de 24" de diámetro se podrá utilizar un martillo Delmag D - 44 u otro con peso y energía similar. Para los pilotes de 30" y 36" de diámetro se podrá utilizar un martillo Delmag D-62-22 u otro con peso y energía similar, ambos equipos operados desde una torre fija de hinca.

El martillo D-44 podría utilizarse también en el hincado final de pilotes de 30" y 36" de diámetro, sin embargo, si durante el hincado de estos pilotes se establece que la energía del martillo



D-44 es insuficiente, será obligatorio el empleo del martillo Delmag D-62-22.

El martillo que sea utilizado deberá estar en perfectas condiciones mecánicas y deberá entregar la energía especificada por el fabricante en las distintas marchas o niveles de inyección de combustible. El funcionamiento correcto del martillo será verificado con los monitoreos dinámicos.

La hincada inicial puede ser efectuada con un martillo de menor energía. Como materiales de sufridera, se utilizarán combinaciones de placas de Micarta, o material equivalente, con planchas de aluminio.

### 1.10.2 PROFUNDIDAD DE HINCA Y CRITERIO DE RECHAZO

La profundidad final de hincada de cada pilote será la necesaria para desarrollar sus capacidades de carga en compresión y tracción, la que inicialmente ha sido estimada entre 8 y 10 metros aproximadamente, en el estrato de grava compactada. En general, los pilotes deberán penetrar lo establecido en los planos del proyecto, sin embargo esas profundidades podrán variar dependiendo principalmente del grado de cementación del estrato de grava arenosa y de las variaciones de la cementación del subsuelo.

Será de responsabilidad del Constructor definir la longitud de fabricación de los pilotes para alcanzar las penetraciones definitivas, que resultarán al considerar las variaciones de la cementación del subsuelo.

Preliminarmente se establece los siguientes criterios de rechazo para los pilotes:

Diámetro / espesor	Martillo	Posición de Combustión	Rechazo (Golpes/10 cm.)
24" x 0.500	D - 44	4	120
30" x 0.551	D - 62-22	1	120
30" x 0.625	D - 62-22	2	120
30" x 0.688	D - 62-22	4	120
36" x 0.868	D - 62-22	4	200



Los criterios de rechazo final serán establecidos una vez conocidos los resultados de la prueba de hinca y de la prueba de carga estática en tracción del pilote.

### 1.10.3 SONDAJE GEOTÉCNICO ADICIONALES

Con el objeto de la validación de los resultados de las pruebas de carga ejecutadas en tierra y de las que serán ejecutadas en el área de la Plataforma de Carga, se recomienda efectuar un mínimo de tres sondajes geotécnicos marinos adicionales. La ubicación propuesta para estos sondajes es la siguiente:

Sondaje	Ubicación
BH-1	Plataforma de Carga, cerca de la prueba de carga
BH-2	Poste de Amarre N° 1
BH-3	Poste de Amarre N°2

Los sondajes deben ser ejecutados con técnica específica que permitan detectar la cementación de los suelos granulares gruesos y maximizar la recuperación de muestras inalteradas del subsuelo.

### 1.10.4 MONITOREO Y PRUEBAS DINAMICAS DURANTE EL HINCADO DE LOS PILOTES

El monitoreo dinámico de los pilotes durante la hinca, mediante un equipo de PDA o equivalente, podrá aportar importantes antecedentes del suelo y posteriormente posibilitará verificar la capacidad de carga de los pilotes, en base al análisis CAPWAP (Prueba dinámica). En particular, los indicadores de la capacidad de carga del suelo mediante el método de CASE (RMX, RA2, Etc), podrá ayudar a detectar durante la hinca, la presencia de los suelos cementados que son los que aportarán la mayor parte de la resistencia de manto del pilote.

El monitoreo dinámico de los pilotes se efectuará mediante un equipo analizador de hinca de pilotes PDA (Pile Driving Analyzer), el que debe cumplir con las exigencias establecidas en las normas ASTM D-4945, Metodología de la prueba dinámica en pilotes



sometidos a alta tensión (Standard Test Method for High-Strain Dynamic Testing of Piles.)

Las pruebas dinámicas serán utilizadas también para verificar el estado mecánico del martillo y para medir la energía transferida al pilote por este.

El monitoreo dinámico se efectuará durante la hinca y/o rehincha de por lo menos los siguientes pilotes del proyecto:

- 8 pilotes inclinados de la plataforma de Carga
- 2 pilotes de tracción de cada Poste de amarre
- 2 pilotes de cada Duque de Alba.

En por lo menos 1 pilote de la plataforma de Carga y en 1 pilote de cada uno de los Postes de Amarre extremos, se efectuará pruebas de hinca efectuando trabajos de hinca y rehincha con monitoreo dinámico. Las pruebas de hinca tienen por principal objetivo verificar la factibilidad de hinca de los pilotes con los martillos especificados y evaluar los tiempos de reposo que habrá que considerar para realizar las pruebas dinámicas en condiciones de rehincha. Se efectuará pruebas dinámicas en los pilotes sometidos a pruebas de hinca, después de 2, 6 y 12 horas de reposo luego de concluida la hinca fresca.

#### **1.10.5 PRUEBA DE CARGA ESTÁTICA EN TRACCION**

En principio se considera la ejecución de una prueba de carga estática en tracción. La prueba de carga se ejecutará en el área de la Plataforma de Carga, sobre un pilote adicional a los de proyecto; hasta alcanzar la carga de falla del sistema suelo-pilote o la capacidad máxima del sistema de carga.

La prueba de carga estática en tracción tiene los siguientes objetivos principales:

- Validar y ajustar los modelos de suelo propuestos para evaluar la capacidad de carga axial de pilotes hincados.
- Investigar el comportamiento carga deformación ante sollicitaciones cíclicas.
- Calibrar los resultados de las pruebas dinámicas y de los análisis CAPWAP.



La prueba de carga deberá ser realizada al inicio de los trabajos de hincado de los pilotes del área del proyecto.

El pilote de prueba de carga deberá estar hincado en un sector cercano o dentro del área de la plataforma de Carga.

Los ensayos de carga en tracción se ejecutarán de acuerdo al procedimiento del Método de Carga Rápida (Quick Load Test Method) de la norma ASTM D 3689, "Prueba estándar para pilotes individuales bajo la carga de tensión axial estática (Standard Test Method for Individual Piles under Static axial Tensile Load).

El equipo de ensayo de carga debe ser capaz de aplicar una carga límite de ensayo de 700 Ton. Los elementos de control de carga deberán estar calibrados.

Dependiendo de los resultados obtenidos en la prueba y en los sondajes geotécnicos complementarios, podrá ser necesaria la ejecución de pruebas de carga adicionales.

#### **1.11 ESPECIFICACION GEOTECNICA PARA LA FABRICACION E HINCA DE PILOTES**

En el Anexo C (ver pág. 91), se da las especificaciones de carácter geotécnico para la fabricación e hincado de los pilotes de las Obras de Atraque.



## **CAPITULO II**

# **PRUEBA DE CARGA EN TIERRA**



## 2.1 OBJETIVO

Los objetivos de estos ensayos son las evaluaciones de factibilidad de hincado de pilotes tubulares en suelos granulares gruesos y la verificación del modelo de suelo adoptado para evaluar la capacidad de carga axial en tracción de los pilotes hincados. Con el objetivo de extrapolar los resultados obtenidos en las pruebas al área de las obras de Atraque del proyecto, se contempla la instrumentación dinámica mediante PDA (Pile Driving Analyzer – Analizador de Hincado de Pilotes) de los trabajos de hincado de pilote de prueba y la evaluación de sus capacidades de carga axial mediante análisis CAPWAP (Case Pile Wave Analysis Program)

Las pruebas de hincado y carga en tracción de pilote serán realizadas en tierra, en una ubicación próxima a la ubicación del sondaje geotécnico BH-1. Con el Objetivo de minimizar los efectos de variación de temperatura ambiente en el sistema de referencia de desplazamientos verticales del pilote de prueba, los ensayos de tracción se ejecutarán en la noche.

## 2.2 INTRODUCCION

El presente documento se refiere a la metodología de ejecución de las pruebas de hincado y de carga en tracción a los pilotes hincados en el área de playa Lobería – El Chaco – Pisco, del proyecto Pisco Marine Berth de Pluspetrol Perú Corporation S.A., Pisco, Perú.

Considerando los antecedentes estratigráficos del subsuelo del área de las pruebas, reconocidos por los sondajes BH-1 y BH-2, muestran la presencia de lentes cementados a partir de la profundidad de 11.25 m. Teniendo en cuenta la estratigrafía del subsuelo, la prueba de hincado y carga, se desarrollarán en dos etapas diferentes. La Etapa 1 se refiere a la prueba de hincado y posterior carga en tracción del pilote hincado hasta la profundidad de 11.0 m. La etapa 2 se refiere a la rehincado del pilote hasta alcanzar la penetración de aproximadamente 18 m o el rechazo, cualquiera de estas dos condiciones que ocurra primero.

Dependiendo de los resultados obtenidos en las pruebas, se decidirá en terreno sobre la ejecución de una segunda prueba de carga en tracción sobre el pilote hincado a la profundidad final de hincado.



La hincada del pilote de prueba se realizará mediante un martinete Delmag D-44. El sistema martinete-pilote es tal que en la condición más desfavorable (Etapa 1), las máximas tensiones en el acero del pilote se mantendrán bajo 2,400 Kg./cm<sup>2</sup>. Además este sistema es capaz de vencer una resistencia a la hincada comprendida entre 700 y 800 ton.

## 2.3 ANTECEDENTES GEOTECNICOS

### 2.3.1 INFORME GEOTECNICO

Los antecedentes geotécnicos han sido obtenidos de los siguientes informes:

- Marine Geotechnical Study, Pisco New Port Facilities, Camisea Gas Pipeline, Pluspetrol Perú Corporation S.A. Final Field Report (Deep Waters), ES-0206, MR & Associates S.A.C., May 2002.
- Marine Geotechnical Study, Pisco New Port Facilities, Camisea Gas Pipeline, Pluspetrol Perú Corporation S.A. Final Field Report (Shallow Waters), ES-0206, MR & Associates S.A.C., June 2002.
- Marine Geotechnical Study, Pisco New Port Facilities, Camisea Gas Pipeline, Pluspetrol Perú Corporation S.A. Geotechnical Analysis and Detailed Engineering Report, ES-0206, MR & Associates S.A.C., June 2002.

### 2.3.2 ESTRATIGRAFIA

De acuerdo con los antecedentes geotécnicos, el suelo granular grueso de fundación de las obras de atraque corresponde al mismo estrato de grava areno-limosa de compacidad alta, que se encuentra a lo largo del eje de la línea de la tubería y en la costa. En la figura 02 (ver Pág. 103) se muestra el emplazamiento general de la Obra y la ubicación de los sondajes geotécnicos. En la figura 08 (ver Pág. 109) se presenta el perfil estratigráfico general y en la figura 45 (ver Pág. 146) se muestra el perfil estratigráfico representativo del área de las pruebas, elaborado en base a los sondajes geotécnicos BH-1 y BH-2. En las figuras 46 y



47 (ver Pág. 147 al 148), se entrega copia de los Log de estos sondajes.

El suelo granular grueso corresponde a grava arena limosa, de compacidad alta, con tamaño medio comprendido entre 2 y 3 pulgadas y su tamaño máximo esta comprendido entre 6 y 8 pulgadas. Además, el suelo de fundación presenta en forma aislada lentes cementados de espesores variables. Por otra parte, es probable que el suelo presente en general una leve cementación, la que pudo haber sido destruida por el proceso de perforación de los sondajes.

Profundidad (m)	Descripción visual
0.00 – 1.00	Grava arenosa gruesa, mal graduada, compacidad suelta, partículas subredondeadas, algo de conchuelas, Tamaño medio 2 ¼”.
1.00 – 11.25	Grava arenosa media a gruesa, mal graduada, partículas subredondeadas, tamaño medio 1 a 1.5”, tamaño máximo 2 – 3”, Bolones aislados hasta de 6”.
11.25 – 21.97	Conglomerado moderadamente cementado, formado por grava arenosa, media a gruesa, muy compacta, partículas subredondeadas, Tamaño medio 1 – 1 ¾”, Tamaño máximo 2 – 3”. Alta cementación entre 12.15 y 13.05 m. Lentes cementados con carbonatos de 6 a 82 de espesor.
21.97 – 27.0	Limolita, roca sedimentaria, blanda, levemente meteorizada, color café claro.

### 2.3.3 CAPACIDAD DE CARGA ÚLTIMA

Considerando el método estático de evaluación de capacidad de carga axial última y los parámetros recomendados por API para suelos granulares gruesos y de compacidad alta, el pilote de prueba presentaría las siguientes capacidades de carga última:

Etapa N°	Profundidad de Hinca (m)	Q <sub>cu</sub> (*) (Ton)	Q <sub>tu</sub>
1	11	254	127
2	18	643	321



(\*) Capacidad de carga evaluada sin tapón de suelo interior al pilote

Donde:

$Q_{cu}$  : Capacidad de Carga Última en Compresión

$Q_{tu}$  : Capacidad de Carga Última en Tracción

Las capacidades de carga última variarán con respecto a lo indicado, en función del tamaño de las partículas, de la compacidad del suelo, grado de cementación, etc.

Si los suelos granulares no presentan cementación ni bolones aislados, entonces el pilote podrá ser hincado hasta la profundidad máxima establecida para las pruebas. Sin embargo, la sola presencia de una leve cementación podría aumentar considerablemente la resistencia de manto del pilote, reduciendo con ello la factibilidad de hinca.

## 2.4 ANALISIS DE HINCABILIDAD Y DE TENSIONES.

La selección del martinete de mayor energía a utilizar en la prueba de hinca considera que las tensiones de hinca incluidas sobre el pilote de prueba deben de mantenerse a  $0.90 f_y$  ( $f_y$  tensión de fluencia del acero del pilote)

En las figuras 48 al 57 (ver Pág. 149 al 158), se presenta los resultados de análisis WEAP realizados con el software GRLWEAP, versión 2003. En estas figuras se incluye los resultados de los siguientes casos:

### 2.4.1 ÁREA DE PRUEBA TERRESTRE:

Se considera un primer caso con un pilote hincado a 11 m mediante martinetes Delmag D-44 y D-62 y con la reacción del suelo concentrada en la punta del pilote. En la figura 49 (ver Pág. 150) se muestra que las máximas tensiones incluidas por el martinete D-62 sobrepasa la tensión de fluencia del acero del pilote. En cambio, las tensiones máxima por el martinete D-44 son de aproximadamente  $2,400 \text{ Kg./cm}^2$ . La máxima resistencia a la hinca que puede vencer el martinete D-44 es de aproximadamente 800 ton.



El segundo caso se refiere a un pilote hincado a 11 m. mediante martinete Delmag D-44 y D-62 y en condiciones normales de hinca. Los resultados de los análisis están mostrados en las figuras 50 y 51 (ver Pág. 151 al 152). En la figura 9 las máximas tensiones inducidas por el martinete D-62 son ligeramente menores a la tensión de fluencia del acero del pilote. La máxima resistencia a la hinca que puede vencer el martinete D-62 es de aproximadamente 1,150 ton. En cambio, el martinete D-44 induce tensiones de hinca menores a 2,000 Kg./cm<sup>2</sup> y es capaz de vencer resistencias a la hinca de hasta 800 ton.

El tercer caso se refiere a un pilote hincado a 18 m. mediante martinete Delmag D-44 y D-62. Los resultados de los análisis están mostrados en las figuras 52 y 53 (ver Pág. 153 al 154). En la figura 10 se muestra que las tensiones máximas inducidas por el martinete D-44 son de aproximadamente 1,830 ton./cm<sup>2</sup>. La máxima resistencia a la hinca que puede vencer el martinete D-44 es de aproximadamente 700 ton. Para este mismo caso el martinete D-62 es capaz de vencer resistencias a la hinca de hasta 1,000 ton.

## **2.4.2 PILOTES DE OBRAS DE ATRAQUE.**

En el análisis de hinca se considera pilotes representativos de la Plataforma de Carga y de un Duque de Alba.

### **2.4.2.1 PILOTES DE PLATAFORMA DE CARGA**

Se considera un pilote de 32" de diámetro, 12 mm. De espesor de pared hincado a 25 m. mediante martinete Delmag D-44 y D-62. en las figuras 54 y 55 (ver Pág. 155 al 156) se observa que las tensiones máximas inducidas por la hinca con el martinete D-62 no superan los 2,400 kg./cm<sup>2</sup> y que los sistemas martinete-pilote son capaces de movilizar una resistencia a la hinca de aproximadamente 650 y 800 ton. Para los martinetes D-44 y D-62, respectivamente.



#### **2.4.2.2 PILOTES DE DUQUE DE ALBA**

Se considera un pilote de 26" de diámetro, 22 mm. De espesor de pared hincado a 25 m. mediante martinetes Delmag D-44 y D-62. En las figuras 56 y 57 (ver Pág. 157 al 158), se observa que las tensiones máximas inducidas por la hincada con el martinete D-62 no superan a 1,900 kg/cm<sup>2</sup> y que los sistemas martinete- pilote son capaces de movilizar una resistencia a la hincada de aproximadamente 800 y 1,200 ton. Para los martinetes D-44 y D-62, respectivamente.

#### **2.4.3 MARTINETE DE HINCA**

Considerando lo expuesto, en la prueba de hincada se utilizará un martinete Delmag D-44.

La condición límite de hincada se define al alcanzar una de las siguientes condiciones de rechazo:

- Registro de hincada con un mínimo de 120 golpes por 0.10 m. de penetración, en a lo menos 0.50 m. consecutivos de hincada.
- Registro de hincada con un mínimo de 25 golpes en 1 centímetro de penetración del pilote

### **2.5 PILOTE DE PRUEBA DE TRACCION**

#### **2.5.1 GEOMETRÍA Y CALIDAD DE ACERO DEL PILOTE**

El pilote de prueba será de acero de calidad A-52 de sección tubular, de 813 mm. de diámetro y 14 mm. de espesor de pared. En el extremo inferior dispondrá de un zapato de hincada del mismo diámetro exterior que el pilote, de 38 mm. de espesor de pared y de una longitud de 1,500 mm.

El pilote de prueba se fabricará en dos tramos, uno de aproximadamente 14 m. y otro de aproximadamente 8 m.

#### **2.5.2 FABRICACION DE PILOTE**

Con el objeto de no reducir la fricción que se desarrolla en la inter fase suelo-acero, todo cordón circunferencial de soldadura



resultante de la unión de tubos, existente en todo el tramo hincado de los pilotes deberá ser rebajado al diámetro del pilote.

El pilote de prueba se marcará con pintura de color contrastante con el color del pilote, mediante marcas distanciadas cada 10 cm. La longitud mínima de pilote cubierta por las marcas debe corresponder al tramo a hincar.

## 2.6 PRUEBA DE HINCABILIDAD

La prueba de hinca tiene como principal objetivo probar la factibilidad de hinca de los pilotes con martinete Delmag D-44 y verificar con ello modelos de suelo adoptados para los análisis de hinca. Además, indirectamente se podrá verificar el grado de compacidad de los suelos granulares gruesos.

La prueba de hinca será ejecutada en dos etapas. La etapa 1 consistirá en la hinca del pilote hasta la profundidad de 11 m. bajo la superficie del terreno. Posteriormente, y una vez ejecutada la prueba de carga en tracción del pilote hincado a 11 m., se realizará la etapa 2 de la prueba de hinca la que consiste en la rehinca del pilote desde la penetración de 11 m. hasta alcanzar la profundidad límite de 18 m. o el rechazo, cualquier condición que ocurra primero.

### 2.6.1 MARTINETE DE HINCA

En las pruebas de hinca se utilizará un martinete Demag D-44, con sufridera formada por micarta y aluminio.

Las principales características del martinete son las siguientes:

Energía nominal, variable	: 6,000 a 12,000 mkg
Peso del Pistón	4,313 Kg.
Carrera del pistón	2.80 m
Peso del martinete, sin accesorios	10,250 kg.
Golpes/min, variable	37 a 56 golpes

### 2.6.2 PRESENTACIÓN DEL PILOTE

Con el objeto de simular las condiciones de precarga existentes sobre el estrato de grava en el área de las obras de Atraque y, de facilitar la guía inicial del pilote, el extremo inferior del pilote se introducirá en una excavación de 2.5 m. de profundidad. El espacio resultante entre las paredes de la excavación y el manto



del pilote se rellenará, en forma no compactada, con material proveniente de la excavación. La estabilidad del pilote durante la hinca se logrará mediante un trípode de hinca de 6 m. de altura. En las faenas de hinca se utilizará una grúa P&H de 70 ton. Montada en orugas, o similar. En la figura 58 (ver Pág. 159), se muestra un esquema con la presentación del pilote.

### 2.6.3 HINCA DEL PILOTE

La tolerancia de inclinación recomendada para el pilote de prueba es de 2.0%

Con el objeto de reducir el riesgo de desvío del pilote, se iniciará la hinca utilizando el martinete con su bomba de combustión fijada en la posición de menor energía. La hinca del pilote se suspenderá al alcanzar las condiciones de rechazo indicadas en el párrafo 3.3

Durante la hinca del pilote se llevará un registro en el cual se anotará, como mínimo la siguiente información:

- Número, diámetro, espesor y longitud inicial del pilote. Tipo de zapato de hinca.
- Penetración del pilote debida a su peso propio.
- Penetración del pilote debida al peso propio del martinete
- Tipo y energía del martinete
- Cantidad de golpes por cada 0.10 m. de penetración del pilote.
- Cantidad de golpes por minuto, al menos durante el último metro de hinca y toda vez que el número de golpes por decímetro de penetración sea mayor o igual a 50.
- Registro de detenciones de la faena de hinca, indicando causas y duración de la detención.
- Variaciones de la altura de suelo en el interior del pilote
- Registro de longitudes de pilotes, cortes, etc.
- Cotas referidas al Chart Datum de; superficie del terreno, fondo de la excavación, fin de hinca, nivel de corte, etc.



En las figuras 59 al 60 (ver Pág. 160 al 161) se muestra el formato de registro de los datos de las faenas de hinca.

#### **2.6.4 PRUEBAS DINÁMICAS**

En la etapa 1 de la prueba de hinca se ejecutará pruebas dinámicas en hinca fresca hasta alcanzar la penetración de 10.5 m. bajo la superficie del terreno. Después de un reposo de a lo menos 2 horas desde el término de la hinca inicial, se ejecutará un prueba dinámica en condición de rehinch, e hincando el pilote hasta la profundidad de 11.0 m.

En la etapa 2 de la prueba de hinca, se ejecutará pruebas dinámicas continuas a partir de la rehinch del pilote de prueba. Después de un reposo de a lo menos 2 horas desde el término de la hinca inicial, se ejecutará una prueba dinámica en condición de rehinch, e hincando el pilote hasta la profundidad de 18.0 m. si el rechazo no ocurre primero.

De acuerdo con los resultados de las pruebas estáticas y dinámicas, el Ingeniero Geotécnico del proyecto decidirá sobre la ejecución de pruebas dinámicas adicionales.

Las faenas de hinca y rehinch del pilote de prueba, serán monitoreadas dinámicamente con el equipo de PDA, Pile Driving Analyzer, modelo Pak de Pile Dynamics. Las capacidades de carga axial serán estimadas sobre la base de análisis CAPWAP efectuados sobre golpes representativos de las correspondientes faenas de hinca.

#### **2.7 PRUEBA DE CARGA ESTÁTICA DE TRACCION DE PILOTE**

La prueba de carga estática en tracción tiene los siguientes objetivos principales:

- Validar el modelo de suelo propuesto para evaluar la capacidad de carga axial de pilotes hincados.
- Investigar el comportamiento carga deformación ante sollicitaciones cíclicas.



- Calibrar los resultados de las instrumentaciones dinámicas y los análisis CAPWAP.

La prueba de carga se realizará sobre el mismo pilote que fue sometido a la prueba de hinca.

## **2.7.1 VIGA DE REACCIÓN, APLICACIÓN DE CARGAS Y CONTROL DE DESPLAZAMIENTOS.**

### **2.7.1.1 VIGA DE REACCIÓN**

Como sistema de reacción a las cargas de ensayo se utilizará una viga de acero de aproximadamente 2 metros de alto y 10 m. de longitud, la que estará soldada al extremo superior del pilote de prueba. En ambos extremos de esta viga se aplicará las cargas de ensayo mediante cilindros hidráulicos, los que serán apoyados sobre un sistema formado por vigas de acero y bases de piezas de madera.

En las figuras 61 a 63 (ver Pág. 162 al 164) se muestra esquemas del montaje para la prueba y en los cuales se presenta el sistema de reacción a las cargas de ensayo.

### **2.7.1.2 SISTEMA DE APLICACIÓN Y CONTROL DE CARGAS DE ENSAYO.**

El sistema de aplicación de cargas estará formado por 2 conjuntos de cilindros hidráulicos, conectados a un sistema único de presión, y que actúan en ambos extremos de la viga de reacción.

Cada conjunto de cilindros podrá estar formado por las siguientes combinaciones de cilindros:

COMB 1	2 cilindros de 50 ton. Cada uno
COMB 2	1 cilindro de 182 ton.
COMB 3	COB 1 + COMB2

En el ensayo correspondiente a la Etapa 1 las cargas de ensayo serán aplicadas mediante 2 conjuntos de cilindros



hidráulicos de acuerdo a la combinación denominada COMB 1.

En el ensayo correspondiente a la Etapa 2, las cargas de ensayo serán aplicadas mediante 2 conjuntos de 2 cilindros hidráulicos de acuerdo a las combinaciones denominadas COMB 2 o COMB 3; dependiendo de los resultados de la prueba de carga en la etapa 1.

La fuente de presión hidráulica estará formada por 3 bombas hidráulicas, una eléctrica y dos manuales. Las bombas manuales permitirán corregir inesperadas inclinaciones de la viga de reacción, manteniendo el control de la carga efectiva aplicada en cada extremo de la viga de reacción.

El control de las cargas de ensayo se efectuará mediante manómetros analógicos clase 1% con rango de presión compatible (0-10,000 psi).

En las figuras 64 y 65 (ver Pág. 165 al 166), se muestra los diagramas hidráulicos que se utilizarán en las pruebas de carga de las etapas 1 y 2.

### **2.7.1.3 SISTEMA DE CONTROL DE DESPLAZAMIENTOS**

El sistema de control de desplazamientos estará formado por un sistema de referencia y por los elementos de medición.

El sistema de referencia estará formado por dos tubos de acero de aproximadamente 10.75 pulgadas de diámetro y 9.0 m de longitud, los que serán apoyados en sus extremos sobre bases de madera. En las figuras 18 a 20 se puede apreciar los esquemas generales del sistema de referencia.

Los desplazamientos verticales del pilote se registrarán mediante diales extenso métricos de 0.01 milímetros de precisión. En las figuras 61 a 63 (Ver pág. 162 a 164) se



muestra la ubicación de los elementos de medición de desplazamiento.

Se instalará 3 diales extenso métricos en torno al pilote de prueba a 120° entre sí. Los eventuales giros de la viga de reacción en el plano de aplicación de las cargas de ensayo serán controlados mediante un nivel de burbuja.

## 2.7.2 EQUIPO A UTILIZAR EN LAS PRUEBAS DE CARGA

Los equipos a utilizar en la ejecución de la prueba de carga son los siguientes:

### 2.7.2.1 Cilindros Hidráulicos

- 04 Cilindros hidráulicos :Modelo CPH RS- 50, Marca Revesol, 150 mm decarrera, 50 ton de carga efectiva.
- 02 Cilindros hidráulicos :Modelo RR 2006, Marca Enerpac, 150 mm de carrera, 180 ton de carga efectiva.

### 2.7.2.2 Bombas Hidráulicas

- 01 Bomba Hidráulica Eléctrica : Marca Enerpac, 10.000 psi.
- 02 Bomba Hidráulica Manual : Marcas OTC y HiForce, 10.000 psi.

### 2.7.2.3 Instrumentos de Control de Carga

- 01 Manómetro :Bourdon, Clase 1 %, 10.000 psi
- 02 Manómetros :Bourdon, Clase 1 %, 15.000 psi

Los cilindros hidráulicos y manómetros serán calibrados en el Instituto de Investigación y Ensayo de Materiales (IDIEM) de la Universidad de Chile.

### 2.7.2.4 Instrumentos de Control de Desplazamientos

Las características de los diales extensométricos son las siguientes:

- 03 Diales Extensiométricos: Mitutoyo  $\pm 0.01$  mm de precisión, 50 mm de carrera.
- 01 Dial Extensiométrico: Mitutoyo  $\pm 0.001$  pulg. de precisión, 50 mm de carrera.



### **2.7.3 PROCEDIMIENTO DE APLICACIÓN DE CARGA**

Los ensayos de carga de tracción se ejecutarán de acuerdo al procedimiento Quick Load Test Method de la norma ASTM D 3689, "Estándar Test Method for Individual Piles Under Static Axial Tensile Load".

Con el objetivo de minimizar los efectos de la temperatura sobre el sistema de referencia de desplazamientos, los ensayos de carga se ejecutarán en la noche.

En la figura 66 al 69 (Pág. 167 al 170) se muestra el formulario de registro de datos de las pruebas de carga en tracción.

#### **2.7.3.1 ENSAYO ETAPA 1**

El procedimiento de ensayo considera la aplicación de incrementos de cargas de 10 ton. y cada estado de carga se mantendrá por espacio de 5 minutos.

Alcanzada la carga de 100 ton. se reducirá la carga a 80 ton. A partir de este estado de carga se realizará un ensayo cíclico entre las cargas iguales a las cargas de 60,80 y 100 ton. con un mínimo de 20 ciclos de carga. Completado el ensayo de carga cíclica se continuará con la aplicación de los estados de carga de 10 ton cada uno hasta alcanzar la falla del sistema suelo-pilote. Alcanzada la falla del sistema suelo-pilote se mantendrá la aplicación de la carga hasta completar la carrera de los cilindros hidráulicos.

Posteriormente se realizará la etapa de descarga, aplicando decrementos de carga de 20 ton y manteniendo cada decremento de carga por espacio de 2.5 minutos.

#### **2.7.3.2 ENSAYO ETAPA 2**

Una vez completada la rehincha del pilote de prueba y analizados los antecedentes obtenidos, el Ingeniero



Geotécnico podrá optar por la ejecución de una segunda prueba de carga en tracción, la que sería ejecutada de acuerdo a lo que se establece en los párrafos siguientes:

El procedimiento de ensayo considerará la aplicación de incrementos de carga de 20 ton y cada estado de carga se mantendría por espacio de 5 minutos.

Alcanzada la carga de 200 ton se reduciría la carga a 180 ton. A partir de este estado de carga se realizaría un ensayo cíclico entre las cargas iguales da las cargas de 140, 180 y 220 ton. con un mínimo de 20 ciclos de carga. Completado el ensayo de carga cíclica se continuaría con la aplicación de los estados de carga de 20 ton. cada uno hasta alcanzar la falla del sistema suelo-pilote o la carga máxima de ensayo (560 ton). Alcanzada la falla del sistema suelo-pilote se mantendría la aplicación de la carga hasta completar la carrera de los cilindros hidráulicos. En el caso de no alcanzar la falla del sistema suelo-pilote, el estado final de carga se mantendría por 2 horas.

Posteriormente se realizará la etapa de descarga, aplicando decrementos de carga de 40 ton. y manteniendo cada decremento de carga por espacio de 2.5 minutos.

## **2.8 TRATAMIENTO DEL ÁREA DE PRUEBAS**

Una vez terminada las pruebas se removerá toda la instalación dejando el terreno limpio, tal como se encontraba antes del inicio de los trabajos. El pilote de prueba será cortado a 2.0 m. bajo la superficie del terreno.

## **2.9 INFORME DE RESULTADOS**

El informe de resultados de los ensayos, incluirá la ubicación y descripción de los elementos de prueba los procedimientos finales de ejecución, los resultados de los ensayos de hinca y de carga, la interpretación de los resultados obtenidos y, recomendaciones preliminares sobre el sistema de fundación de las obras de Atraque.



## **CAPITULO III**

# **PRUEBA DE CARGA EN MAR**



### 3.1 OBJETIVO

El principal objetivo de las pruebas de carga estática y dinámicas, denominadas **PP-3** y a las que se refiere este documento, es la validación de los resultados generales obtenidos en las pruebas de hinca y de carga de pilotes realizada en el área de playa (tierra), cuyos resultados están contenidos en el documento PCAM-550-IT-G-001-A. Además, las pruebas establecidas en este documento también tienen por finalidad; establecer modelos de suelo para evaluar la capacidad de carga axial de pilotes; validar las pruebas dinámicas como procedimiento de evaluación de la capacidad de carga de pilotes hincados; y, si corresponde, validar métodos de re-hinca de pilotes rechazados en lentes de suelos de cementación fuerte.

### 3.2 INTRODUCCION

El presente documento se refiere a la metodología de ejecución de pruebas de hinca y de carga de tracción de pilotes hincados, que se realizarán en el área de la Plataforma de Carga, del Proyecto Pisco Marine Berth de Pluspetrol Perú Corporation SA, en Pisco, Perú.

Se contempla la ejecución de pruebas dinámicas mediante PDA (Pile Driving Analyzer) durante las faenas de hinca del pilote de prueba y de los dos pilotes de reacción. Se evaluará las capacidades de carga axial de estos pilotes mediante análisis CAPWAP (Case Pile Wave Analysis Program). El pilote de prueba tendrá un diámetro exterior de 30 pulgadas y dispondrá de un tapón de hormigón en su extremo inferior.

Una vez validado un modelo de suelo que permita la utilización de pilotes hincados para transferir las solicitaciones de tracción, se considera la ejecución de una prueba de carga en tracción sobre uno de los pilotes PP-1 o PP-2 del área de pruebas terrestres. Esta prueba tendrá como objetivo completar los antecedentes de las pruebas de carga PP-1 y PP-2.

La hinca del pilote de prueba y de los pilotes de reacción se realizará mediante martinets Delmag D-44 y/o D-62.



Los antecedentes estratigráficos del subsuelo del área de las Obras de Atraque, entregados en los Registros de los sondajes BH-14 a BH-18 no muestran la presencia de lentes cementados que pudiesen causar el rechazo de algún pilote. Solo el sondaje BH- 14 muestra algunos lentes cementados entre las profundidades de 13.2 y 16.9 m. (inicio del estrato de grava) Sin embargo, considerando los resultados de los trabajos realizados en el área de playa, y los antecedentes geotécnicos generales, se estima que los suelos del área de las Obras de Atraque presentan algún grado de cementación, y que podrán presentarse condiciones locales con lentes de suelos con cementación fuerte, que causen el rechazo de algún pilote.

En el caso del pilote en las cuales se este realizando las pruebas de hinca y de carga, y sólo en la eventualidad, en la cual el pilote alcance el rechazo y que en ésta condición el pilote no desarrolle la capacidad de carga axial requerida, el Ingeniero Geotécnico optará por continuar con la faena de hinca. La continuación de la faena de hinca se realizará después de ejecutada una perforación piloto por el interior del pilote rechazado, mediante un equipo de roto-percusión MAX BIT, de 20 pulgadas de diámetro.

Sin embargo, si después de la re-hinca final, los resultados de las pruebas dinámicas no indican la disponibilidad de las capacidades de carga requeridas, se optará por el anclaje del pilote.

De acuerdo con los resultados de las pruebas de carga realizadas en el área de playa y la estratigrafía del subsuelo, las pruebas de hinca y de carga se desarrollarán en una sola etapa y sobre el pilote hincado hasta aproximadamente 10 m de penetración en el estrato de grava. La profundidad de final de hinca será determinada en terreno a partir de los resultados de las pruebas dinámicas.

Dependiendo de los resultados obtenidos en las pruebas, el Ingeniero Geotécnico podrá decidir en terreno sobre la ejecución de una segunda prueba de carga en tracción sobre el pilote en su condición final de trabajo.



El Ingeniero Geotécnico a cargo de las pruebas podrá introducir cambios a este procedimiento. Los cambios a este procedimiento deberán registrarse e incorporarse en el informe de resultados de las pruebas.

### 3.3 ANTECEDENTES GEOTECNICOS

#### 3.3.1 Informes Geotécnicos

Los antecedentes geotécnicos han sido obtenidos de los siguientes informes:

- Marine Geotechnical Study. Pisco New Port Facilities. Camisea Gas Pipeline.
- Pluspetrol Peru Corporation S.A. Final Field Report (Deep Waters), ES-0206, MR & Associates S.A.C., May 2002.
- Marine Geotechnical Study. Pisco New Port Facilities. Camisea Gas Pipeline. Pluspetrol Peru Corporation S.A. Final Field Report ( Shallow Waters ), ES-0206, MR & Associates S.A.C., June 2002.
- Marine Geotechnical Study. Pisco New Port Facilities. Camisea Gas Pipeline. Pluspetrol Peru Corporation S.A. Geotechnical Analysis and Detailed engineering Report, ES-0206, MR & Associates S.A.C., June 2002.
- EPC-E Camisea Upstream Facilities. Pisco Marine Berth. Onshore Pile Driveability and Tension Load Test results. Technical Report PCAM-550-IT-G-001-A. Geovenor for Belfi – Cosapi Consortium. August 2003

#### 3.3.2 Estratigrafía

En la fig. 02 (Pág. 103) se muestra el emplazamiento general de la Obra y la ubicación de los sondajes geotécnicos. En la figura 8 (Pág. 109) se presenta un perfil estratigráfico general y en la figura 70 (Pág. 171) se muestra el perfil estratigráfico representativo del área de las Obras de Atraque, elaborado en base a los sondajes geotécnicos BH-14 a BH-18. En las figuras 71 a 75 (Pág. 172 al 176) se entrega copia de los Registros de estos sondajes.



El suelo granular grueso corresponde a grava areno limosa, de compacidad alta, con tamaño medio comprendido entre 2 y 3 pulgadas y su tamaño máximo está comprendido entre 6 y 8 pulgadas. Además, de acuerdo con todos los antecedentes disponibles, el suelo de fundación presentaría cementación leve a moderada.

La estratigrafía del área de las pruebas esta presentada en la figura 70 (Pág. 171), y de acuerdo con el Log del sondaje BH-16, se puede resumir en:

<b>Profundidad (m)</b>	<b>Descripción Visual</b>
0.0 - 10.50	Arcilla organica, de alta plasticidad, consistencia muy blanda, color gris verdoso, mal olor, restos de conchuelas. Grava gruesa areno-limosa, mal graduada, muy compacta, partículas Sub angulares y sub redondeados, Tamaño medio 0.75 a 1.25 " ,
10.50 - 12.30	Tamaño máximo 3 ". Bolones aislados hasta de 3.5 ". Lente de arena fina limosa. Compacidad media, color verde grisáceo entre 10.5 y 10.8 m
12.30 - 21.30	Grava gruesa areno-limosa, mal graduada, muy compacta, finos de baja plasticidad, color gris claro. Partículas sub angulares y sub redondeadas, Tamaño medio 1 – 1.5", Tamaño Máximo 2 – 3". Bolones hasta 5 " .
21.30 –30.80	Grava gruesa areno-arcillosa, muy compacta, finos de baja plasticidad, color gris claro. Partículas sub-angulares a sub redondeados, Tamaño medio 1.5 – 2.0", Tamaño Máximo 1.5 – 3". Bolones hasta 5 .5". Entre 28.4 y 30.8m presenta bolones de hasta 7.5 " .

Cabe hacer notar que en los registros de los sondajes no se indica la presencia de lentes de suelos con cementación moderada a fuerte, salvo el registro del sondaje BH-14, en el cual entre las profundidades de 13.2 y 16.9 m se indica la presencia aislada de lentes cementados. Esta situación, de ser general para el área, podría estar indicando que los pilotes de las Obras de Atraque no rechazarían en el estrato de grava con una penetración menor de 10 m.



### 3.3.3 Capacidades de Carga Última

Considerando el modelo preliminar de suelo presentado en la figura 76 (Pág. 177), el que fue propuesto en el informe PCAM-550-IT-G-001-A para evaluar la capacidad de carga en tracción de pilotes hincados en suelos con cementación leve a moderada, el pilote de prueba de 30 pulgadas de diámetro podría presentar una capacidad de carga última en tracción comprendida entre 430 y 650 ton.

### 3.4 SOLICITACIONES DE PILOTES

De acuerdo con los antecedentes del proyecto estructural y con las Bases de Diseño del Proyecto, las máximas solicitaciones extremas últimas de los pilotes de cada estructura de las Obras de Atraque son:

#### **Plataforma de Carga: Diámetro pilotes, 30 pulg.**

Nota: Las solicitaciones de estos pilotes son preliminares

#### **Pilotes Verticales,**

Compresión	343.8 ton
Tracción	231.4 ton

#### **Pilotes Inclinados Transversales**

Compresión	520.6 ton
Tracción	352.2 ton

#### **Pilotes Inclinados Longitudinales**

Compresión	454.4 ton
Tracción	345.4 ton

#### **Duques de Alba: Diámetro pilotes, 36 pulg.**

Compresión	526.3 ton
Tracción	360.0 ton

#### **Postes de Amarre: Diámetro pilotes, 30 pulg.**

Compresión	520.0 ton
Tracción	391.0 ton



### **3.5 ANALISIS DE HINCABILIDAD Y DE TENSIONES**

En las figuras 77 a 80 (Pág. 178 al 181) se presenta los resultados de análisis WEAP realizados con el software GRLWEAP, versión 2003. En el análisis de hinca se considera pilotes de 30 y 36 pulgadas. Estos pilotes son representativos de la Plataforma de Carga, de los Postes de Amarre y de los Duques de Alba.

La selección del martinete a utilizar en la prueba de hinca debe considerar que las tensiones de hinca inducidas sobre el pilote de prueba deben mantenerse menores a  $0.9 f_y$  ( $f_y$  tensión de fluencia del acero del pilote).

#### **3.5.1 Pilotes 30 pulgadas de diámetro**

Se considera un pilote de 30" de diámetro, 14 mm. de espesor de pared hincado a 20 m, mediante martinetes Delmag D-44 y D-62. En las figuras 77 a 80 (Pág. 178 al 181) se observa que las tensiones máximas inducidas por la hinca con el martinete D-62 no superan a  $2.400 \text{ kg./cm}^2$  y que los sistemas martinete-pilote son capaces de movilizar una resistencia a la hinca de aproximadamente 750 y 950 ton, para los martinetes D-44 y D-62, respectivamente.

#### **3.5.2 Pilotes de 36 pulgadas de diámetro.**

Se considera un pilote de 36" de diámetro, 22 mm. de espesor de pared hincado a 20 m, mediante martinetes Delmag D-44 y D-62. En las figuras 77 y 80 (Pág. 178 al 181) se observa que las tensiones máximas inducidas por la hinca con el martinete D-62 no superan a  $2.000 \text{ kg./cm}^2$  y que los sistemas martinete-pilote son capaces de movilizar una resistencia a la hinca de aproximadamente 900 y 1.300 ton, para los martinetes D-44 y D-62, respectivamente.

#### **3.5.3 Martinete de Hinca**

Considerando lo expuesto, en la prueba de hinca se utilizará los martinetes Delmag D- 44 y/o D-62, según disponibilidad en Obra.



La condición límite de hincas se define al alcanzar una de las siguientes condiciones de rechazo:

- Registro de hincas con un mínimo de 100 golpes por 0.10 m de penetración, en a lo menos 0.50 m consecutivos de hincas.
- Registro de hincas con un mínimo de 25 golpes en 1 centímetro de penetración del pilote.

### 3.6 PILOTE DE PRUEBA PP-3

#### 3.6.1 Geometría y Calidad de Acero del Pilote

El pilote de prueba será de acero de calidad A 52, de sección tubular, de 762 mm de diámetro y como mínimo de 14 mm de espesor de pared. En el extremo inferior dispondrá de un zapato de hincas de 38 mm de espesor de pared y de una longitud de 1.500 mm.

#### 3.6.2 Fabricación del Pilote

Con el objetivo de no reducir la fricción que se desarrolla en la interfase suelo-acero, todos los cordones circunferenciales de soldadura resultantes de las uniones de tubos, existentes en el segmento de pilote hincado en el estrato de grava, deberá ser rebajado al diámetro del pilote.

Todos los tubos de acero que se utilicen en la fabricación de los segmentos hincados de los pilotes y zapatos de hincas, deberán cumplir, cada 1 m. y en dos diámetros ortogonales, con la siguiente condición de redondez:

$$( D_{\text{máx}} - D_{\text{mín.}} ) / D_{\text{nominal}} = 0.01$$

donde:

**D<sub>máx</sub>** : Diámetro máximo del pilote  
**D<sub>mín</sub>** : Diámetro mínimo del pilote  
**D<sub>nominal</sub>** : Diámetro nominal del pilote

El zapato de hincas deberá cumplir, además de la condición de redondez especificada, con las siguientes tolerancias en el diámetro exterior:



**Diámetro máximo:** Diámetro del pilote – 4.0 mm = **758 mm**

**Diámetro mínimo :** Diámetro del pilote -- 8.0 mm = **754 mm**

El pilote de prueba se marcará con pintura, de color contrastante con el color del pilote, mediante marcas distanciadas cada 10 cm. La longitud mínima de pilote cubierta por las marcas debe corresponder al tramo total a hincar.

### 3.6.3 Tapón de Hormigón

El pilote de prueba llevará en su extremo inferior un tapón de hormigón de 0.35 m de espesor. El hormigón será de calidad H 30. Durante la hinca del pilote el tapón de hormigón permitirá desplazar el suelo fino blando, impidiendo su ingreso al interior del pilote. Con el objetivo de lograr una adecuada adherencia entre el hormigón y el acero, el zapato de hinca deberá disponer de 2 anillos de acero (shear key), tal como se indica en la figura 83 (Pág. 184).

Este tapón de hormigón requiere que el pilote sea llenado con agua durante su instalación en el punto de hinca.

## 3.7 PRUEBAS DE HINCABILIDAD

La prueba de hinca tiene como principal objetivo probar la factibilidad de hinca del pilote de prueba y de los de reacción con los martinets Delmag D-44 y D-62.

La prueba de hinca podrá ser ejecutada en varias etapas, dependiendo del grado de cementación que presente el subsuelo. Preferentemente se utilizará el martinete D-44. El martinete D-62 podrá ser utilizado solo ante condiciones de rechazo del pilote.

Si alguno de los pilotes involucrados en las pruebas rechazan con el martinete D-62, y además los resultados de las pruebas dinámicas indican que ese pilote no ha desarrollado la capacidad de carga de tracción requerida, entonces se procederá a ejecutar una perforación piloto por el interior del pilote, de 20 pulgadas de diámetro y hasta una profundidad bajo la punta del pilote hincado que será definida en terreno



por el Ingeniero Geotécnico. En el Punto 8 de este documento se establece las condiciones generales que debe cumplir una perforación piloto.

### 3.7.1 Martinetes de Hinca

En las pruebas de hinca se utilizará martinetes Delmag D-44 y D-62, con sufridera formada por micarta y aluminio.

Las principales características de los martinetes son las siguientes:

<b>Características</b>	<b>D-44</b>	<b>D-62</b>
Energía Nominal, variable, mkg	6.000 a 12.000	11.000 a 22.800
Peso del Pistón, kg	4.313	6.630
Carrera del Pistón, m	2.80	3.40
Peso del martinete, kg	10.250	12.260
Golpes/min, variable	37 a 56	35 a 50

### 3.7.2 Presentación del Pilote

El pilote de prueba se presentará a través de las guías de hinca correspondientes y deberá ser llenado con agua para compensar su flotabilidad. Antes de la hinca, el pilote de prueba será totalmente llenado con agua. En la hinca a través del estrato de suelo blando no se podrá utilizar el martinete en régimen normal de funcionamiento. El martinete se usará con golpes aplicados sin combustión.

En las faenas de hinca se utilizará una grúa Link-Belt LS 331 de 90 ton montada en orugas, o similar.

La tolerancia de inclinación recomendada para el pilote de prueba es de 1.50 %

### 3.7.3 Hinca del Pilote

La hinca del pilote se iniciará una vez que éste haya alcanzado el estrato de grava arenosa.

Durante la hinca del pilote se llevará un registro en el cual se anotará, como mínimo la siguiente información:



- Número, diámetro, espesor, longitud inicial del pilote y tipo de zapato de hinca.
- Penetración del pilote debida a su peso propio.
- Penetración del pilote debida al peso propio del martinete
- Tipo y energía del Martinete
- Cantidad de golpes por cada 0.10 m de penetración del pilote.
- Cantidad de golpes por minuto, al menos durante el último metro de hinca y toda vez que el número de golpes por decímetro de penetración sea mayor o igual a 50.
- Registro de detenciones de la faena de hinca, indicando causa y duración de la detención.
- Variaciones de la altura de suelo en el interior del pilote.
- Registro de longitudes de pilotes, cortes, etc.
- Cotas referidas al Chart Datum de: superficie del fondo marino, profundidad final de hinca, nivel de corte, etc.

La hinca del pilote se suspenderá al alcanzar las condiciones de rechazo indicadas en el Párrafo 4.3.

En la figura 66 al 69 (Pág. 167 al 170) se muestra el formulario de registro de los datos de las faenas de hinca.

### 3.74 Pruebas Dinámicas

Toda faena de hinca del pilote de prueba y de los dos pilotes de reacción, serán monitoreadas dinámicamente en condiciones de hinca fresca y de re-hinca.

Con el objetivo de investigar efectos de set up o de relajación del suelo, sobre uno de los pilotes comprometidos por las pruebas se ejecutará re-hincas a las siguientes horas después de finalizada la hinca fresca: 2, 6, 12 y 24.

Las faenas de hinca y re-hinca de pilotes, serán monitoreadas dinámicamente con el equipo PDA, Pile Driving Analyzer, modelo Pak de Pile Dynamics. Las capacidades de carga axial serán estimadas sobre la base de análisis CAPWAP efectuados sobre golpes representativos de las correspondientes faenas de hinca.



Los trabajos de monitoreo dinámico de la hinca de pilotes se realizará de acuerdo al documento N°: PCAM-0550-PC-G-002-A, "Procedure for Pile Dynamic Testing and CAPWAP Analysis "

### **3.8 PRUEBA DE CARGA ESTÁTICA DE TRACCIÓN DE PILOTE PP-3**

La prueba de carga estática en tracción tiene los siguientes objetivos principales:

- Validar y ajustar los modelos de suelo propuestos para evaluar la capacidad de carga axial de pilotes hincados.
- Investigar el comportamiento carga deformación ante sollicitaciones cíclicas.
- Calibrar los resultados de las pruebas dinámicas y de los análisis CAPWAP.

Las figuras 82 a 85 (Pág. 183 al 186) contienen esquemas relacionados con las instalaciones necesarias para la ejecución de la prueba de carga estática en tracción.

#### **3.8.1 Sistema de Reacción, Aplicación de Cargas y Control de Desplazamientos**

##### **3.8.1.1 Pilotes de Reacción**

El sistema de reacción a las cargas de ensayo estará formado por los dos pilotes de proyecto correspondientes a los ejes B-3 y B-4. Sobre estos pilotes se conectará la viga de reacción a las cargas de ensayo.

Cada uno de los pilotes de reacción debe ser capaz de resistir sollicitaciones de compresión de 400 ton, la que es menor que la correspondiente a la máxima sollicitación última de proyecto.

Los dos pilotes de reacción serán sometidos a pruebas dinámicas.

Dado que los pilotes de reacción corresponden a pilotes de proyecto, estos deberán ser fabricados e hincados de acuerdo con las especificaciones del proyecto. Los pilotes



de reacción deberán ser hincados hasta desarrollar capacidades de carga axial últimas no menores de 520 ton de compresión y 391 ton de tracción, las que serán evaluadas con las pruebas dinámicas.

### **3.8.1.2 Viga de Reacción y Marco de Tracción**

Como sistema de reacción a las cargas de ensayo se utilizará una viga de acero de aproximadamente 2 metros de alto y 10 m de longitud, la que estará soldada al extremo superior de ambos pilotes de reacción.

Las cargas de ensayo serán aplicadas al pilote de prueba a través de un marco de tracción mostrado en las figuras 82 y 85 (Pág. 183 al 186).

### **3.8.1.3 Sistema de Aplicación y Control de Cargas de Ensayo**

El sistema de aplicación de cargas estará formado por un conjunto de cilindros hidráulicos, conectados a un sistema único de presión, y que actúan entre la viga de reacción y el marco de tracción, tal como se muestra en la figura 83 (Pág. 184).

El conjunto de cilindros hidráulicos estará formado por los siguientes cilindros hidráulicos:

- 4 Cilindros de 50 ton
- 4 Cilindros de 100 ton
- 2 Cilindros de 182 ton

La fuente de presión hidráulica estará formada por 2 bombas hidráulicas, una eléctrica y una manual. El control de las cargas de ensayo se efectuará mediante un manómetro análogo clase 1% y un transductor electrónico de presión, ambos con rango de presión compatible con el sistema hidráulico (0 – 10.000 psi).

En la figura 86 (Pág. 187) se muestra el diagrama hidráulico que se utilizará en la prueba de carga de tracción.



### 3.8.1.4 Sistema de Control de Desplazamientos

El sistema de control de desplazamientos estará formado por un sistema de referencia y por los elementos de medición.

El sistema de referencia consiste en 4 pilotes hincados hasta aproximadamente 10 m bajo la superficie del fondo marino, fuera del área de influencia de los pilotes comprometidos con la prueba de carga. Estos pilotes están unidos en su extremo superior por una estructura liviana, la que sirve de guía y de soporte a la viga de referencia.

En las figuras 84 a 85 (Pág. 185 al 186) se puede apreciar los esquemas generales del sistema de referencia.

Los desplazamientos verticales del pilote se registrarán mediante diales extenso métricos de 0.01 milímetros de precisión. En las figuras 84 y 85 (Pág. 185 y 186) se muestra la ubicación de los elementos de medición de desplazamientos.

Se instalará 3 diales extenso métricos en torno al pilote de prueba a 120° entre sí.

### 3.8.2 Equipos a Utilizar en las Pruebas de Carga

Los equipos a utilizar en la ejecución de la prueba de carga son los siguientes:

#### 3.8.2.1 Cilindros Hidráulicos

04	Cilindros hidráulicos	:Modelo CPH RS- 50, Marca Revesol, 150 mm de carrera, 50 ton de carga efectiva.
02	Cilindros hidráulicos	:Modelo RR 2006, Marca Enerpac, 150 mm de carrera, 180 ton de carga efectiva.
04	Cilindros hidráulicos	:Modelo RR 1003, Marca Enerpac, 333 mm de carrera, 100 ton de carga efectiva.

#### 3.8.2.2 Bombas Hidráulicas

01	Bomba Hidráulica Eléctrica	: Marca Enerpac, 10.000 psi.
02	Bomba Hidráulica Manual	: Marcas OTC y HiForce, 10.000 psi.

#### 3.8.2.3 Instrumentos de Control de Carga

01	Manómetro	: Bourdon, Clase 1 %, 10.000 psi
01	Transductor Electrónico de Presión	: Bourdon Sedeme,



Los cilindros hidráulicos y manómetros han sido calibrados por el Instituto de Investigación y Ensaye de Materiales (IDIEM) de la Universidad de Chile.

#### **3.8.2.4 Instrumentos de Control de Desplazamientos**

Las características de los diales extenso métricos son las siguientes:

- 03 Diales Extensométricos :Mitutoyo,  $\pm 0.01$  mm de precisión, 50 mm de carrera.
- 01 Dial Extensométrico :Mitutoyo,  $\pm 0.001$  pulgada de precisión, 50 mm de carrera.

#### **3.8.3 Procedimiento de Aplicación de Carga**

Los ensayos de carga en tracción se ejecutarán de acuerdo al procedimiento Quick Load Test Method de la norma ASTM D 3689, "Standard Test Method for Individual Piles Under Static Axial Tensile Load".

En la figura 87 a 88 (Pág. 189 a 189) se muestra el formulario de registro de datos de las pruebas de carga en tracción.

El procedimiento de ensayo considerará la aplicación de incrementos de cargas de 20 ton y cada estado de carga se mantendrá por espacio de 2.5 minutos.

Alcanzada la carga de 360 ton se reducirá la carga a 300 ton. A partir de este estado de carga se realizaría un ensayo cíclico entre las cargas iguales a las cargas de 240, 300 y 360 ton, con un mínimo de 40 ciclos de carga. Completado el ensayo de carga cíclica se continuará con la aplicación de los estados de carga de 20 ton cada uno hasta alcanzar la falla del sistema suelo-pilote o la carga máxima de ensayo (800 ton). Alcanzada la falla del sistema suelo-pilote se mantendrá la aplicación de la carga hasta completar la carrera de los cilindros hidráulicos. En el caso de no alcanzar la falla del sistema suelo-pilote, el estado final de carga se mantendrá por 6 horas.



Posteriormente se realizará la etapa de descarga, aplicando decrementos de carga de 40 ton y manteniendo cada decremento de carga por espacio de 2.5 minutos.

### **3.9 PERFORACIÓN PILOTO**

Adoptada la decisión de realizar una perforación piloto, ella deberá ser ejecutada de acuerdo con un procedimiento de perforación. Este procedimiento de perforación deberá considerar, entre otros, los aspectos siguientes:

- Remoción del tapón de suelo fino mediante un sistema de "air lift".
- Remoción del tapón de suelo de grava arenosa mediante sistema "air lift" o rotopercusión, según corresponda.
- Perforación, centralizada con el pilote, mediante sistema de rotopercusión MAX BIT de 20" de diámetro. La longitud de la perforación bajo la punta del pilote será determinada por el Ingeniero Geotécnico.

Con el objetivo de centralizar la perforación, el casing de 20 pulgadas de diámetro del MAX BIT (similar a sistema ODEX, Overburden Drilling Eccentricity ) deberá operar a través de una tubo-camisa de 24 pulgadas de diámetro, el que deberá estar centralizado con respecto al pilote, en al menos cuatro niveles. El nivel inferior de centralización del tubo-camisa deberá estar ubicado en su extremo inferior.

### **3.10 PRUEBAS COMPLEMENTARIAS DE PILOTES**

#### **3.10.1 Pruebas Adicionales en Área Plataforma**

De acuerdo con los resultados de las pruebas estáticas y dinámicas y del sondaje geotécnico adicional, el Ingeniero Geotécnico decidirá en terreno sobre la ejecución de siguientes trabajos y/o pruebas adicionales:

- Ejecución de perforación piloto;
- Continuar con la hincia del pilote;
- Realización de nuevas pruebas dinámicas.
- Ejecución de prueba de Carga Estática en Tracción.



### **3.10.2 Pruebas Adicionales en Área de Pruebas Terrestres**

Una vez validado un modelo de suelo que permita el uso de pilotes hincados para transferir al subsuelo las solicitaciones de tracción de pilotes, se realizará una prueba de carga adicional, la que será ejecutada en el área de las pruebas de carga terrestres y sobre uno de los pilotes de prueba existentes. Este ensayo tiene por finalidad completar los antecedentes geotécnicos de las pruebas de carga PP-1 y PP-2.

Este ensayo se ejecutará siguiendo el procedimiento contenido en el documento PCAM- 550-PC-G-001-A. Procedure for Onshore Pile Driveability and Tension Load Test .

### **3.11 TRATAMIENTO DEL AREA DE LAS PRUEBAS**

Una vez terminadas las pruebas se removerá toda la instalación y se cortará el pilote de prueba a nivel del fondo marino.



# **ANEXO A**

## **COMPORTAMIENTO LATERAL DEL PILOTE**

### **Análisis Curvas p-y**



## A.1.- INTRODUCCION

Para la modelación de la respuesta lateral de los pilotes de la obra de atraque se ha decidido utilizar el método de las curvas p - y y para modelar la interacción pilote-suelo.

En este análisis se ha considerado pilotes de 24", 30" y 36" de diámetro con los espesores considerados en el proyecto.

En el sector de las obras de atraque y de acuerdo con los antecedentes geotécnicos disponibles, los pilotes comprometerán dos estratos de suelo.; uno superficial, formado por limos muy blandos y el segundo constituido por gravas arenosas con cementación variable. En la **figura A -1** (ver pág. N° 89), se muestra un perfil estratigráfico del frente de atraque.

Para la determinación de las curvas p - y, los suelos superficiales son asimilados a arcillas blandas y se considera las recomendaciones establecidas por Matlock (1970). Las solicitaciones para los pilotes de proyecto se consideran del tipo cíclico. Las curvas para este estrato se efectúan con los considerados establecidos en la **figura 2 A 1** (ver pág. N° 90) y teniendo en cuenta los parámetros que se detalla más adelante.

Para la confección de las curvas p-y en el estrato de gravas arenosas, se considera las recomendaciones para arenas establecidas en la norma API RP-2A, para lo cual se hace necesario modelar el efecto del estrato superficial. Para esto, se considera un estrato granular ficticio sobre el estrato de interés. Ese estrato superficial se modela con muy poco espesor (0.1 m), muy baja resistencia y con un peso unitario efectivo que restituye sobre el estrato inferior el confinamiento impuesto por los suelos blandos superficiales. El estrato inferior se modela con las propiedades que se detalla más adelante.

Para la determinación de las curvas p-y en el estrato inferior se considera las siguientes expresiones:

Determinación de la capacidad lateral.

$$P_{us} = (C1 \cdot x + C2 \cdot D) \cdot \gamma' \cdot x \text{ (superficial)}$$

$$P_{ud} = C3 \cdot D \cdot \gamma' \cdot x \text{ (profundo)}$$



Donde:

$P_u$  = Resistencia última (fza/u. Largo). Menor valor entre  $P_{us}$  y  $P_{ud}$

$\gamma'$  = Peso unitario efectivo.

$x$  = Profundidad.

$C_1, C_2$  y  $C_3$  = Coeficientes dimensionales dependientes del ángulo de fricción interna del suelo o de su densidad relativa. **Fig. A-2.2 y A-2.3** (Pág. 90).

$D$  = Diámetro medio del pilote desde la superficie hasta la profundidad de interés.

$S_u$  = Resistencia al corte no drenada.

Confección curva carga – desplazamiento (P-Y), para sollicitación cíclica.

$$P = 0.9 \cdot \tanh ( k \cdot x \cdot y / (0.9 \cdot P_u) ) \text{ (fza/u. largo)}$$

Los parámetros propuestos para modelar los diferentes estratos para la construcción de las curvas P-Y son los siguientes:

**Estrato 1**, suelos blandos superficiales:

$$\gamma' = 0.4 \text{ T/m}^3$$

$$S_u = 0.13 + 0.027 \cdot x \text{ T/m}^2 \text{ (x en m)}$$

$$e_{50} = 0.02 \text{ (def. al 50\%)}$$

$$J = 0.5 \text{ (parámetro adimensional para arcillas blandas).}$$

$$D = 24, 30 \text{ y } 36''$$

**Estrato 2**, suelos granulares:

Suelo superficial ficticio:

$$\gamma' = 40 \text{ T/m}^3$$

$$\phi = 20^\circ$$

$$\text{MRL} = 10 \text{ lb/in}^3$$

Espesor = 0.1 m (representa 10 m del estrato de suelos blandos)

**Suelo inferior:**

$$\gamma' = 1.2 \text{ T/m}^3$$

$$\phi = 40^\circ$$

$$\text{MRL} = 150 \text{ lb/in}^3$$

Donde:

$\gamma'$  = peso unitario efectivo

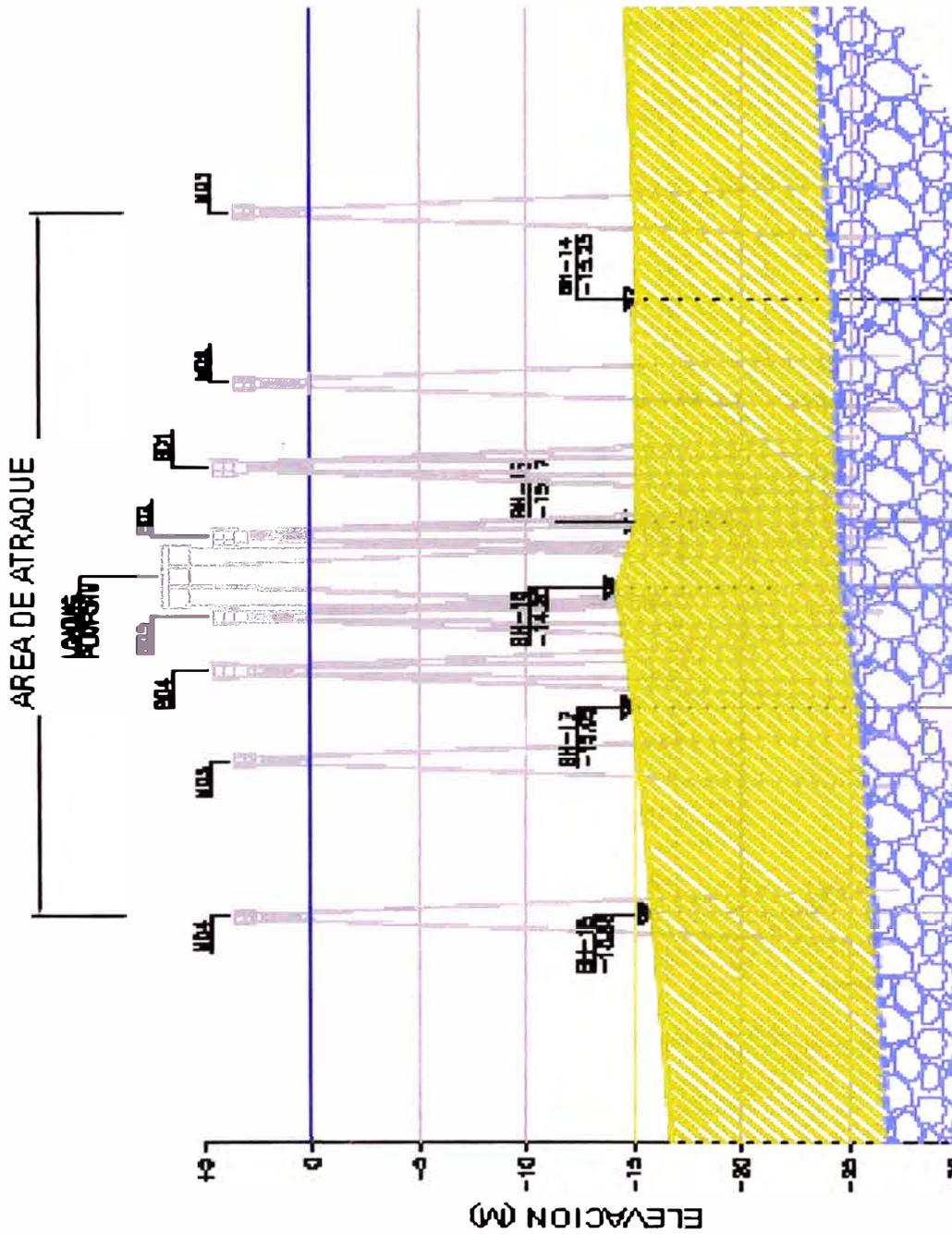
$\phi$  = ángulo de fricción interna

MRL = modulo de reacción lateral (inicial para el proceso)

Las curvas p-y obtenidas a diferentes profundidades, para los tres diámetros considerados se muestran en las figuras A-3 a A-8 (ver página 91 al 96).



# GRAFICOS



PEFIL ESTATIGRAFICO DEL FRENTE DE ATRIQUE

FIG. A.1

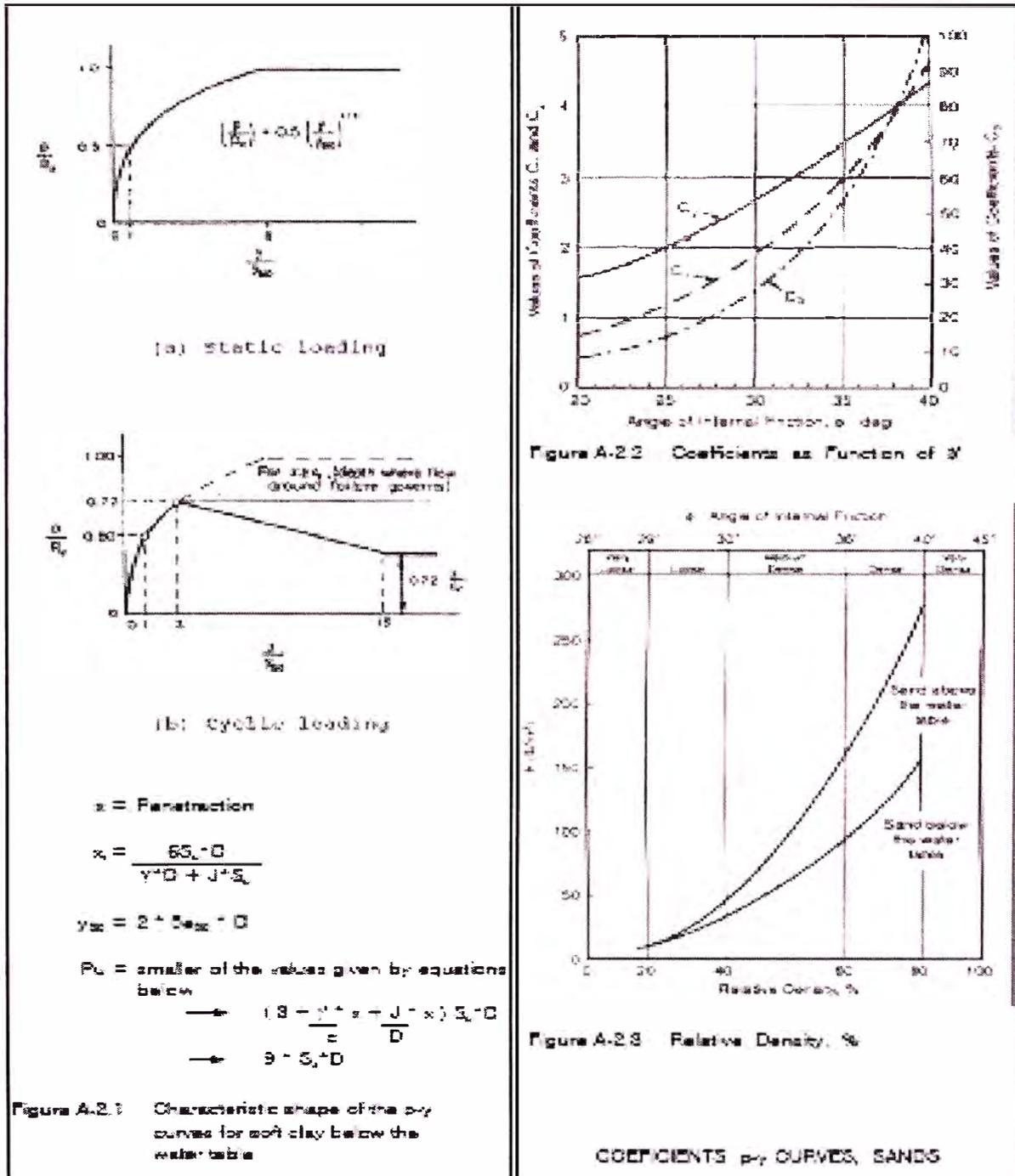
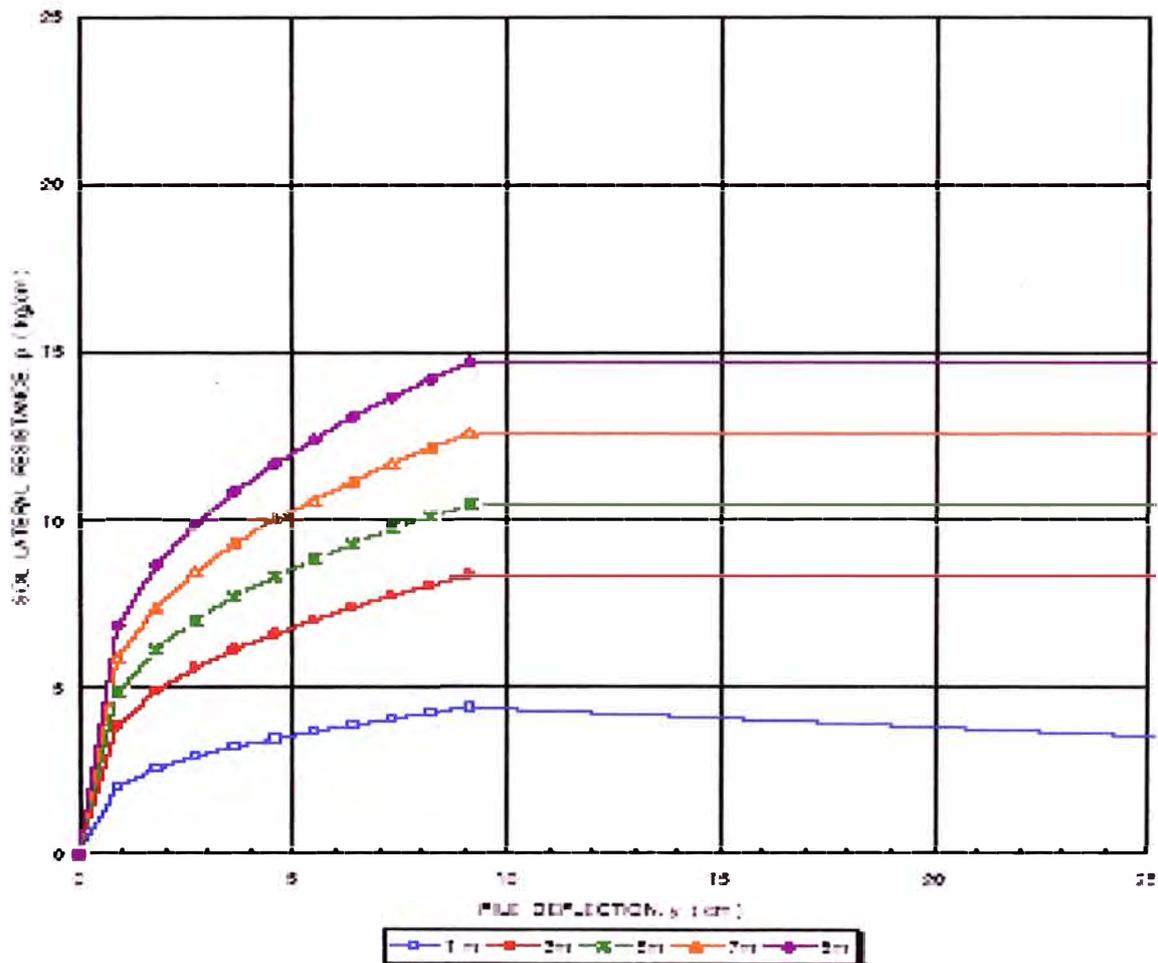
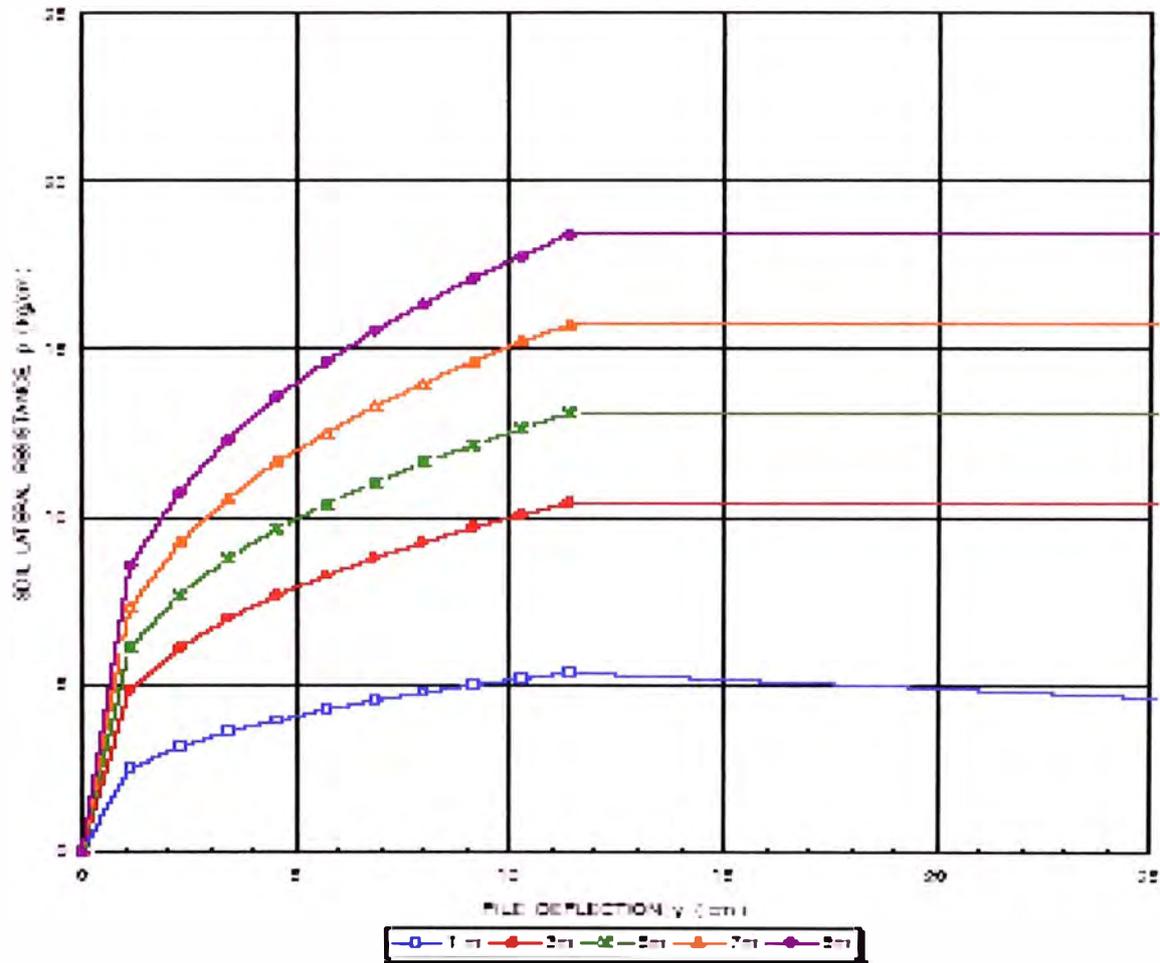


FIG. 2 A 1



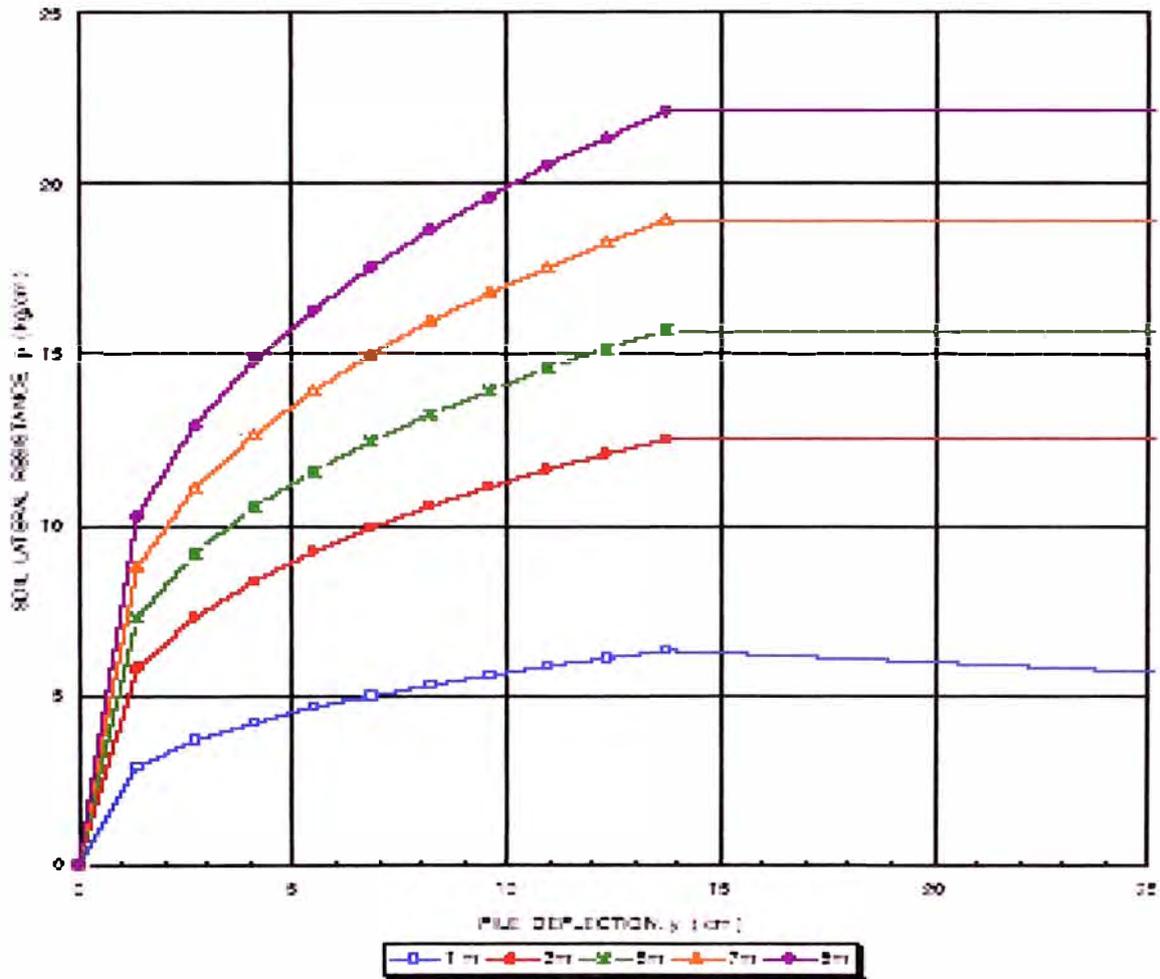
p - y CURVES. PILE  $\phi 24''$   
SUELO COHESIVO  
FIG. A- 3



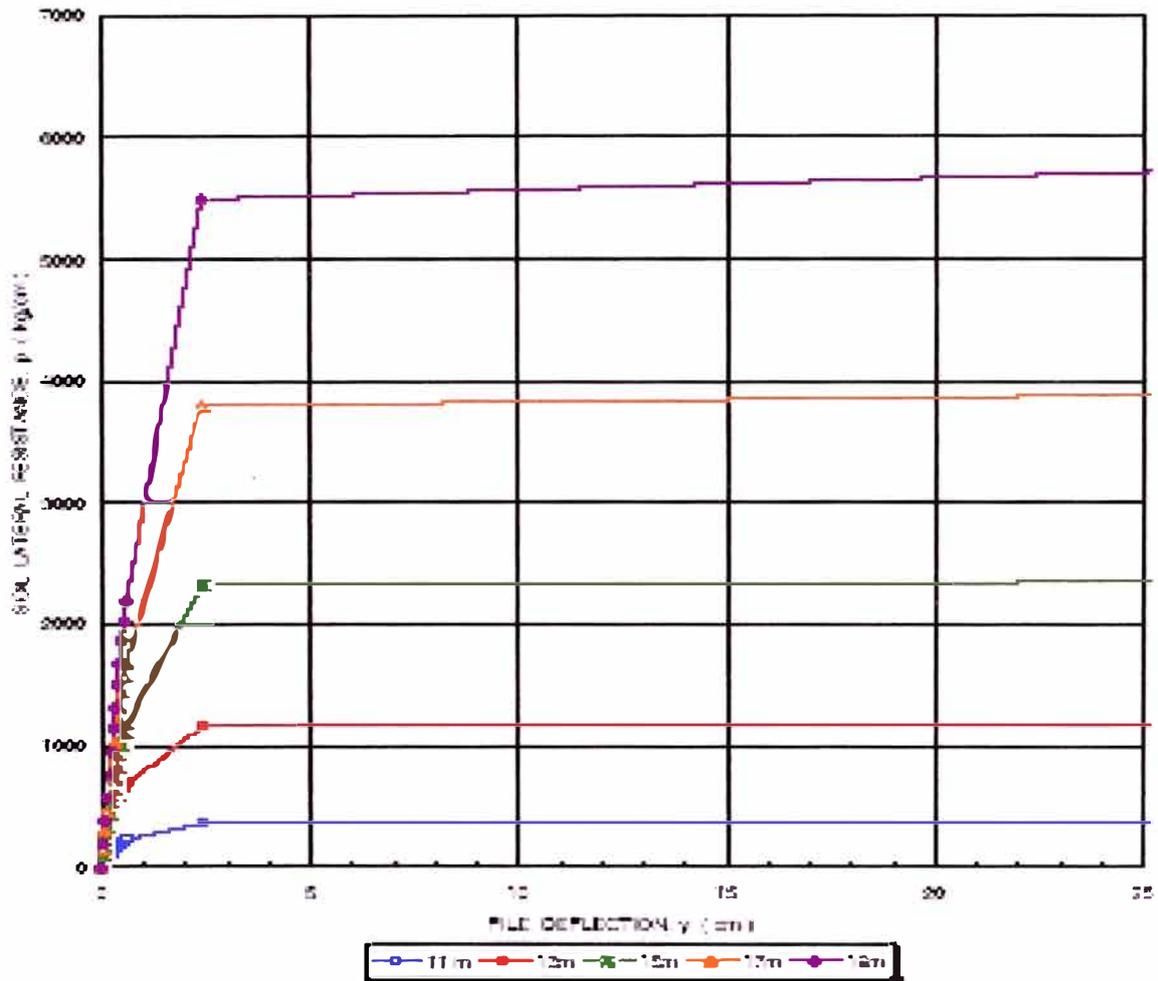
p - y CURVES. PILE  $\phi$  30"

SUELO COHESIVO

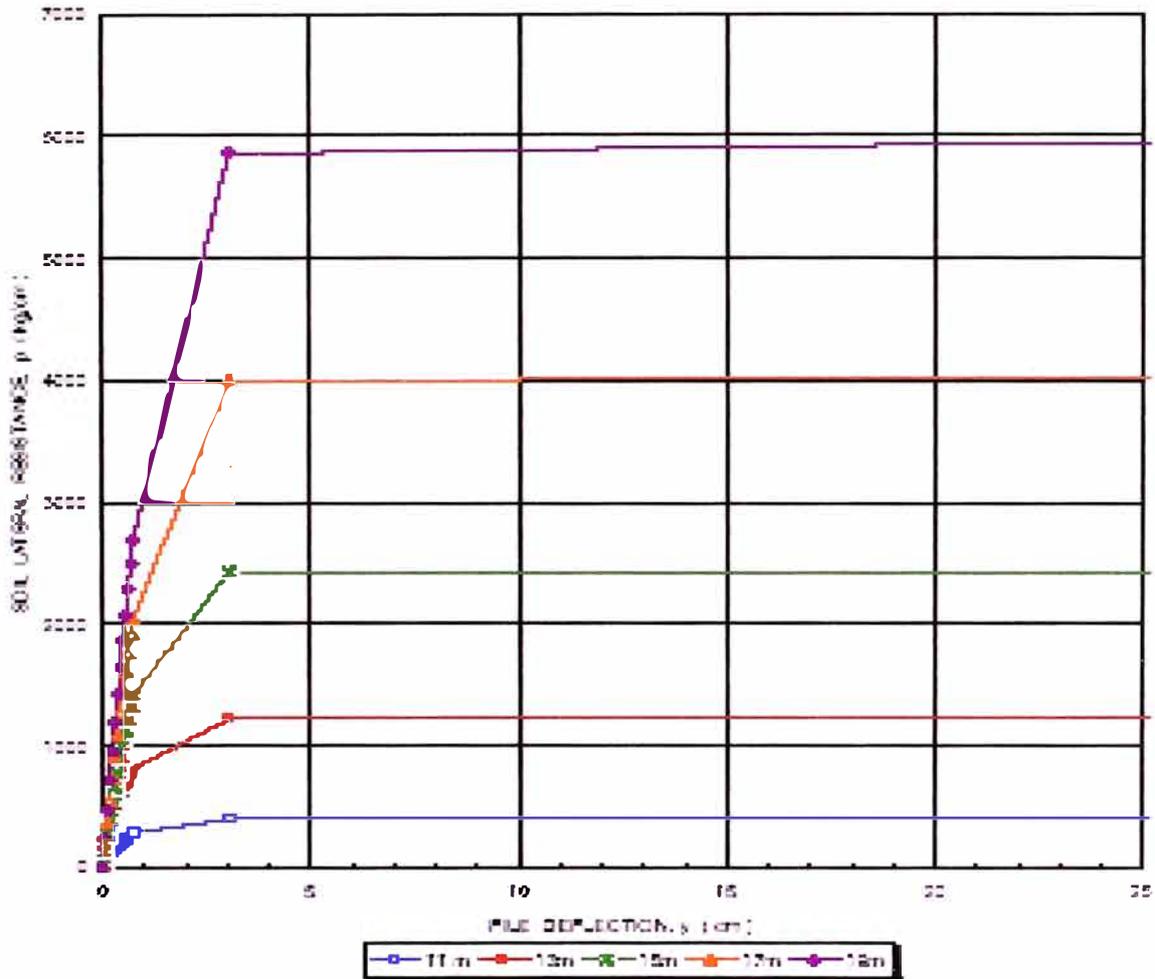
FIG. A- 4



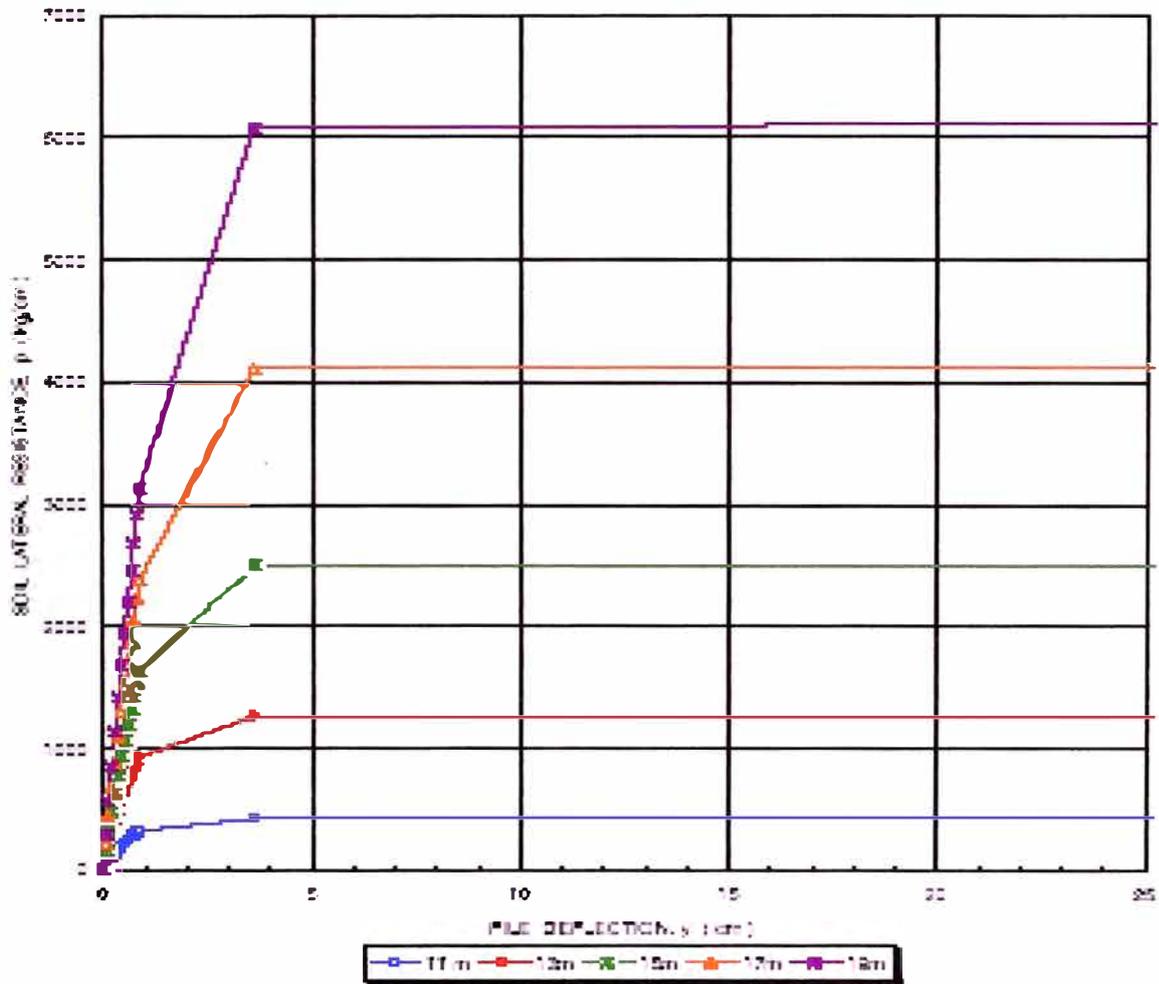
p - y CURVES. PILE  $\phi$  36"  
SUELO COHESIVO  
FIG. A-5



$p - y$  CURVES. PILE  $\phi 24"$   
SUELO GRANULAR  
FIG. A- 6



p - y CURVES. PILE  $\phi$  30'  
SUELO GRANULAR  
FIG. A- 7



p - y CURVES. PILE  $\phi$  36"  
SUELO GRANULAR

FIG. A- 8



# **ANEXO B**

## **RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO Y ANCLAJES DE PILOTES HINCADOS**



## B-1 - UTILIZACION DE ANCLAJES

Su utilización está considerado sólo si no se logra obtener la capacidad carga en tracción con los pilotes hincados.

Los anclajes tendrán la función de transferir total o parcialmente las cargas de tracción a la masa de suelo.

## B-2 .- DESCRIPCIÓN DE SISTEMA DE ANCLAJE

El sistema del anclaje consiste en un tubo de acero que transfiere la carga de tracción al interior del estrato de grava. Para eso, se debe perforar en el estrato de grava para permitir insertar el tubo de anclaje. La conexión estructural entre el tubo de anclaje y la pared del suelo y la pared interior del pilote se materializa con lechada de cemento.

El espesor de la lechada, en general, no debe ser inferior a 38 milímetros ni superior a 1/7 el diámetro exterior del anular de lechada. Para cumplir con estas condiciones geométricas, se puede utilizar un tubo intermedio o sleeve pipe.

En la figura B-1 se muestra un anclaje típico para pilote.

## B-3.- DISEÑO DE ANCLAJES

### B-3.1 Carga de Diseño

Los anclajes deberán ser diseñados para transferir al estrato de grava una tracción última,  $T_{últ}$ , equivalente al mayor de los siguientes valores:

#### B-3.1.1 Condiciones Extremas

$$T_{últ1} = \frac{(Tracción Sismica - 0.8 \text{ Capacidad tracción última Pilote hincado})}{0.8} / 1.5$$

#### B-3.1.2 Operaciones Extremas

$$T_{últ2} = \frac{(Tracción Op. Extrema - 0.7 \text{ Cap. tracción. última Pilote hincado})}{0.7} / 1.5$$

#### B-3.1.3 Operaciones Normales

$$T_{últ3} = \frac{(Tracción Op. Normal - 0.5 \text{ Capacidad tracción última Pilote hincado})}{0.5} / 1.5$$



### B-3.2 Tipos de Fallas por Deslizamiento

En el diseño del anclaje, además de todas las verificaciones estructurales, debe ser considerado que este puede fallar por el deslizamiento las siguientes interfases:

- Falla por deslizamiento entre la lechada y la grava.
- Falla por deslizamiento entre el tubo de anclaje y la lechada.
- Falla por deslizamiento de la conexión entre el tubo de anclaje y la Superficie interna del pilote.

En las secciones siguientes, se entrega recomendaciones para verificar la seguridad de las fallas descritas.

### B-3.3 Resistencia al Deslizamiento entre la Lechada y el Suelo Gravoso y entre el Tubo de Anclaje y la Lechada.

Para el diseño del anclaje, se puede utilizar una resistencia última al deslizamiento entre la lechada y la pared perforada del suelo gravoso, variable con la profundidad  $z$ ,  $f_{g-s}(z)$ , equivalente a:

$$f_{g-s}(z) = 0.7 \sigma_g \tan \delta$$

Donde

$\sigma_g$  : Presión neta de la columna de lechada en el punto considerado.

$\delta$  : Angulo de roce entre la lechada endurecida y el estrato de grava ( $\delta=40^\circ$ )

La presión de la lechada,  $\sigma_g$ , no debe exceder la presión vertical efectiva,  $\sigma_v'$ , para evitar la fractura hidráulica del suelo.

Para prevenir el deslizamiento entre el tubo de anclaje y la lechada basta con limitar la resistencia de manto de la interfase lechada – suelo a la siguiente:

$$f_{g-s}(z) \leq 16'' \text{ (diámetro del tubo de anclaje)} f_{p-g} \\ 21'' \text{ (diámetro de la perforación)}$$

Donde

$$f_{p-g} = 20 \text{ T/m}^2 \text{ ( pile grout bond limit)}$$



La carga última que se puede transferir entre la lechada y el suelo gravoso,  $F_{g-s}$ , puede ser calculada con la siguiente expresión:

$$F_{g-s} = \pi \phi \text{ perf} \int f_{g-s} dz$$

$\phi \text{ perf}$  : diámetro de perforación (m) ( $\approx 21"$ )

### **B-3.4 Deslizamiento entre el tubo de anclaje y la pared interior del pilote**

El diseño de la conexión entre el tubo de anclaje y el pilote puede ser diseñada de acuerdo con las recomendaciones contenidas en la norma "**Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms – Load and Resistance Factor Design, API RP2A-LRFD, 1993**". Estas recomendaciones consideran, entre otros aspectos del diseño, los valores unitarios siguientes para la tensión axial nominal de la transferencia de la carga entre la lechada y la superficie de tubo de acero,  $f_{ba}$ :

#### **B-3.4.1 Conexiones de tubo liso**

$$f_{ba} = 25 \text{ T/m}^2$$

#### **B-3.4.2 Superficies de acero con resaltes**

$$f_{ba} = 25 + 0.90 \cdot f_{cu} \cdot h/s \text{ ( T/ m}^2 \text{ )}$$

Donde:

- $f_{cu}$  : Resistencia a la compresión no confinada a la lechada, (T/m<sup>2</sup>)
- $H$  : Altura de los resaltes (mm)
- $s$  : Separación entre resaltes (mm)

La máxima tensión de transferencia de las cargas compuestas por factores,  $f_{max}$ , deben satisfacer la siguiente condición:

$$f_{bmax} \leq 0.9 f_{ba}$$

Los detalles de los resaltes deben ser diseñados de acuerdo con lo establecido en la sección **H.4 "Grouted Pile to Structure Connections"** de la norma **API RP 2A-LRFD, 1993**



El espesor de la lechada, en general, no debe ser inferior a 38 milímetros ni superior a  $1/7$  el diámetro exterior del anular de lechada. Para cumplir con estas condiciones geométricas, se puede utilizar un tubo intermedio o sleeve pipe.

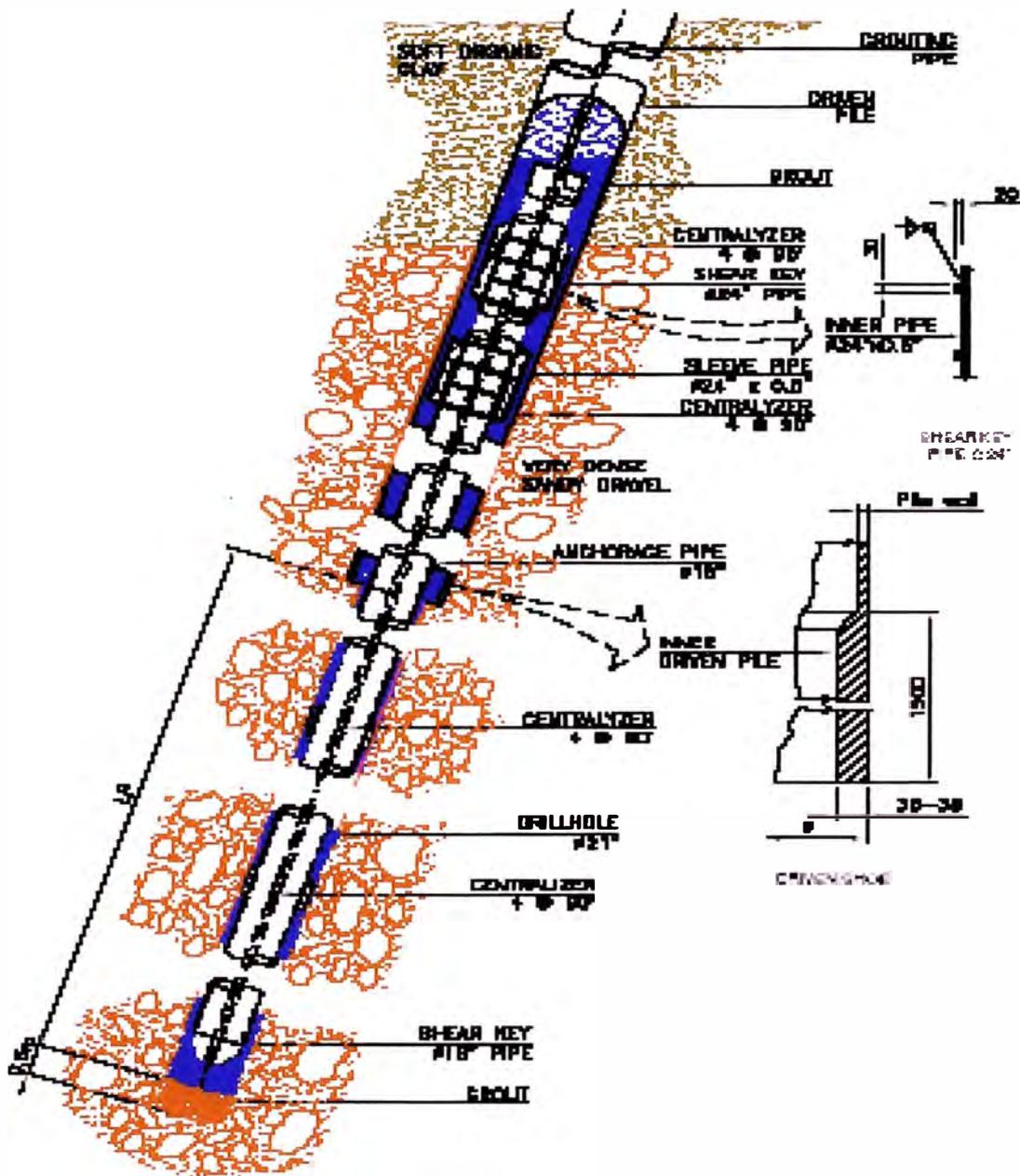
#### **B-4.- PROFUNDIDAD DE PERFORACIÓN**

La longitud de la perforación para la colocación del tubo de anclaje, (**dp**), se medirá desde el extremo inferior del zapato del pilote hincado.

La longitud de perforación debe ser 0.50 m. más larga que la longitud teórica necesaria para alojar el anclaje. Esta longitud extra permite recibir una cantidad mínima de gravas que puedan caer de la pared perforada durante la perforación u durante la colocación del tubo de anclaje.



# GRAFICOS



### DETALLE DE ANCLAJE TIPICO

FIG B - 1



# **ANEXO C**

## **ESPECIFICACIONES GEOTECNICAS PARA LA HINCA DE PILOTES**



## C-1 INTRODUCCION

Las especificaciones contenidas en este documento se refiere a los aspectos geotécnicos de los trabajos de fabricación, instalación e hincada de los pilotes del proyecto Pisco Marine Berth de Pluspetrol Perú Corporation S.A., en Pisco, Perú.

Estas especificaciones geotécnicas deben complementarse con las especificaciones estructurales de provisión y fabricación de pilotes.

## C-2 FABRICACION DE PILOTES

Los pilotes serán de acero de calidad ASTM A-572 Gr. 50 o superior, de sección tubular, de diámetro y espesores de pared indicados en los planos del proyecto.

### C-2.1 TOLERANCIA DE FABRICACIÓN

Los tubos que se emplearán en la fabricación de los pilotes, a ser hincado en el estrato de grava, deberán cumplir, cada metro de longitud y en dos diámetros ortogonales, con las siguientes condiciones de redondez:

$$(D_{\text{máx}} - D_{\text{mín}}) / D_{\text{nominal}} < 0.01$$

Donde:

$D_{\text{máx}}$  : Diámetro máximo del pilote

$D_{\text{mín}}$  : Diámetro mínimo del pilote

Nominal : Diámetro nominal del pilote

La circunferencia exterior medida en los tubos no deberá diferir de la nominal teórica en más de 1.0 %.

### C-2.2 SECCIONES DE PILOTES

Preferentemente, los segmentos de pilotes hincados en el estrato de grava deberá ser de una sección tubular única, sin otro empalme que el correspondiente al zapato de hincada.

Si el segmento de hincado en el estrato de grava de alguno de los pilotes debe ser fabricado por tramos, entonces su fabricación deberá cumplir con lo especificado a continuación:



- Los distintos tramos de sección tubular que conformarán el segmento del pilote, hincado en grava, deberán ser inspeccionados previamente, registrando en ambos extremos las medidas máximas y mínimas de dos diámetros ortogonales. Se seleccionará y presentará los tramos de manera tal de lograr que el pilote presente un diámetro uniforme. En caso que ello no sea posible, deberá presentarse los tramos de manera tal de lograr un pilote con diámetro decreciente hacia su exterior inferior.
- Además, con el objetivo de no reducir la fricción que se desarrolla en la interfase suelo-acero, todos los cordones de soldadura, circunferenciales, resultantes de las uniones de tubos, existentes en el segmento de pilote, a ser hincado en el estrato de grava, deberán ser rebajados hasta el diámetro del pilote.

### C-2.3 LONGITUDES DE PILOTES

El constructor deberá de fabricar los pilotes con una longitud suficientemente holgada para alcanzar la penetración de proyecto detallada en los planos más la sobre hincada que pueda resultar por la erraticidades del subsuelo.

Preliminarmente se establece que los pilotes deberán ser hincados hasta penetrar aproximadamente 10 metros en grava arenosa. Esta profundidad de hincada podrá variar en función del grado de cementación que presente y en función de las solicitaciones de tracción de cada pilote.

### C-2.4 ZAPATOS DE HINCA

Todos los pilotes llevarán soldado en su extremo inferior el zapato de hincada que está indicado en los planos y que es descrito a continuación:

**Zapato Tipo A:** Se utilizará en todos los pilotes del proyecto con 30" o 36" de diámetro exterior. Su diámetro exterior nominal será el mismo que el resto del pilote, su espesor mínimo será de 36



mm. Y con una longitud de 1,500 mm.. Acero de calidad ASTM A-275 Gr.50.

**Zapato Tipo B:** Se utilizará como alternativa del zapato tipo A, en todos los pilotes del proyecto con 30" o 36" de diámetro exterior. Su diámetro exterior nominal será el mismo que el acero del pilote, su espesor no será inferior a 40 mm. Y con una longitud de 1,500 mm. Acero de calidad ASTM A-572 Gr. 42.

**Zapato Tipo C:** Se utilizará en todos los pilotes del proyecto con 24" de diámetro exterior. Su diámetro nominal será el mismo que el resto del pilote, su espesor no será inferior a 32 mm. Y con una longitud de 1,000 mm. Acero de calidad ASTM A-572 Gr.42.

Los zapatos de hincia deberá cumplir, además de la condición de redondez especificada para los tubos de los pilotes, con las siguientes tolerancias en el diámetro exterior:

**Diámetro máximo:** Diámetro nominal teórico del pilote

**Diámetro mínimo :** Diámetro nominal teórico – 6.0 mm.

## C-2.5 MARCAS PARA EL CONTROL DE HINCA

Los pilotes se marcarán con pintura, de color contrastante con el color del pilote, mediante marcas distanciadas cada 10 cm. La longitud mínima de pilote cubierta por las marcas debe corresponder al tramo total a hincar. Al menos cada 2 m. deberá estar indicada la longitud acumulada del pilote, medida desde el extremo inferior del zapato de hincia.

## C-3 INSTALACION E HINCA DE PILOTES

### C-3.1 REGISTRO DE HINCA

El registro de hincia de cada pilote del proyecto deberá contener, como mínimo, la siguiente información:

- Número, diámetro, espesor y longitud inicial del pilote.
- Penetración del pilote debida a su peso propio.
- Penetración del pilote debida al peso propio del martinete.
- Tipo y energía del martinete.



- Cantidad de golpes por cada 0.10 m. de penetración del pilote.
- Registro de detenciones de la faena de hincada, indicando causa y duración de la detención.
- Cantidad de golpes por minuto, al menos durante los últimos 2.0 m. de hincada y cada vez que el número de golpes por decímetro de penetración sea mayor a 50.
- Ubicación del tapón de suelo en el interior del pilote después de la hincada.
- Longitudes de los tramos de tubo que conforman el pilote, cortes, etc.
- Cotas referenciales al Chart Datum del Proyecto: fondo marino, de fin de hincada y nivel de corte.

### **C-3.2 TOLERANCIAS DE HINCADO Y CRITERIOS DE ACEPTACION**

El espaciamiento entre centros de los pilotes será el indicado en los pilotes del proyecto. En la presentación del pilote, previa al hincado. El eje del pilote no podrá quedar a más de 75 mm., respecto a la ubicación teórica detallada en los planos, medidos horizontalmente a nivel de la cota de corte. Después de finalizada la hincada del pilote, esa distancia no podrá ser superior a 0.25 veces el diámetro del pilote.

La medida de tolerancia se efectuará en el nivel de corte del pilote.

La inclinación del eje de los pilotes no deberá variar en más de 2% con respecto a la inclinación teórica.

Después de cortar los pilotes se deberá efectuar un levantamiento de su localización. A cada pilote se le determinará las coordenadas, si algún pilote excede las tolerancias especificadas, el constructor debe proponer las medidas técnicas necesarias para solucionar el problema. La solución debe ser revisada y aprobada por el Ingeniero Proyectista Estructural.

Los pilotes que resulten dañados durante el hincado podrán ser rechazados. Se deberá evaluar el daño presentado por el pilote, sobre la base de una inspección visual si corresponde o, a través



de los resultados de pruebas dinámicas efectuadas mediante un equipo analizador de hinca de pilote. El constructor podrá presentar un procedimiento detallado que permita corregir la anomalía producida en el pilote, el que deberá ser aprobado por el Ingeniero Projectista Estructural.

### **C-3.3 MARTINETE.**

En la hinca final de los pilotes se podrá utilizar un martinete Demag D-44, un Delmag D-62, u otros con pesos y energía del martillo D-44 es suficiente, será obligatorio el empleo del martillo Delmag D-62. El martinete que sea utilizado deberá estar en perfectas condiciones mecánicas.

La hinca inicial puede ser efectuada con un martillo de menor energía.

Como materiales de sufridera se deberá utilizar combinaciones de Micarta, o material equivalente, con aluminio. El martinete deberá disponer de un cabezal de hinca apropiado para el empleo de ese tipo de sufridera. El estado de la sufridera deberá ser revisado regularmente y reemplazadas las planchas dañadas.

### **C-3.4 PROFUNDIDADES DE HINCA Y CRITERIO DE RECHAZO**

La profundidad de hinca de cada pilote será la necesaria para desarrollar sus capacidades de carga en compresión y tracción la que inicialmente ha sido estimada en aproximadamente en 10 metros. En general, los pilotes deberán penetrar lo establecido en los planos del proyecto, sin embargo esas profundidades podrán variar dependiendo principalmente del grado de cementación del estrato de grava arenosa y de las erraticidades del subsuelo.

Será de responsabilidad del constructor definir la longitud de fabricación de los pilotes para alcanzar las penetraciones definitivas, que resultarán al considerar la erraticidades del subsuelo.

Preliminarmente se establece los siguientes criterios de rechazo para los pilotes:



PILOTE DIAMETRO X ESPESOR	MARTINETE	POSICION INYECCION	RECHAZO (golpe/10cm.)
24" x 0.500	D - 44	4	120
30" X 0.551	D - 62-22	1	120
30" X 0.625	D - 62-22	2	120
30" X 0.688	D - 62-22	4	120
36" X 0.866	D - 62-22	4	200

Los criterios de rechazo finales serán establecidos una vez conocidos los resultados de las pruebas de hincabilidad y de la prueba de carga estática en tracción de pilotes.

Además, el Ingeniero Geotécnico podrá efectuar modificaciones en esos criterios de rechazo a lo largo de la Obra, considerando los resultados de los registros de hincada, de pruebas y de las pruebas dinámicas de pilotes precedentes.

### **C-3.5 INSTALACION DE PILOTES**

El Constructor deberá disponer para la hincada de los pilotes de un equipo de posicionamiento de pilotes, formado por estructuras guía, correderas, plantillas, etc. El equipo de posicionamiento deberá mantener permanentemente al pilote dentro de las tolerancias de posición e inclinación establecidas para los pilotes del proyecto. El sistema de guiado de pilotes deberá prevenir el daño en la pintura de los pilotes.

Durante toda la faena de hincada se exigirá la perfecta alineación y coaxialidad entre el pilote y el martinete.

### **C-3.6 HINCA DE PILOTES**

Una vez presentado el pilote se deslizará hasta alcanzar la penetración debida a su propio peso. Luego se instalará el martinete y permitirá la penetración adicional del pilote, generada por el peso propio del martinete. Ambas penetraciones deberán ser registradas.



Posteriormente, y en caso que resulte necesario, se podrá aplicar golpes de martinete sin combustión, hasta alcanzar el estrato de grava arenosa. No se podrá utilizar el martinete en condición normal de operación, hasta que el pilote haya alcanzado el estrato de grava arenosa.

### **C-3.7 PERFORACION PILOTO.**

En aquellos casos en los cuales los pilotes alcancen el rechazo con el martinete Delmag D-62 y no presenten las capacidades de carga requeridas por el proyecto, se deberá realizar una perforación piloto por el interior del pilote hincado, hasta la profundidad que especificará el Ingeniero Geotécnico. Luego de ejecutada la perforación piloto, el pilote podría ser rehincado.

Con el objetivo de centralizar la perforación, el casing del sistema de perforación deberá estar centrado con el respecto al pilote, en al menos cuatro niveles. El nivel inferior de centralización del casing deberá estar en su extremo inferior.

Una vez completada la perforación piloto se continuará con la hincada del pilote. Este procedimiento se aplicará todas las veces que sea necesario para alcanzar la profundidad final de hincada requerida por el proyecto.

Dependiendo de las solicitudes y de la profundidad final de hincada, alguno de los pilotes en los cuales se utilice la perforación piloto como medio para continuar con la hincada, podrían requerir del relleno parcial con hormigón para resistir su capacidad de carga de punta. Cada caso será revisado por el Ingeniero Geotécnico, quien determinará la necesidad y volúmenes de este relleno de hormigón.

### **C-4.- PRUEBAS DINÁMICAS**

Se especifica la ejecución de pruebas dinámicas sobre los siguientes pilotes:

- 25 % de los pilotes de la Plataforma de Carga
- 50% de los pilotes de los Postes de Amarre
- 100% de los pilotes del Duque de Alba.



Los pilotes de la Plataforma de Carga deben corresponder a los pilotes inclinados y que presenten las mayores solicitaciones de tracción. Los pilotes de cada Poste de Amarre corresponderán a los dos pilotes con las mayores solicitaciones de tracción.

Adicionalmente se deberá ejecutar pruebas dinámicas en todo pilote que presente un registro de hincada anómalo con respecto al de los pilotes vecinos, o que por cualquier otra evidencia se sospeche de un daño, o que no haya alcanzado la profundidad de hincada requerida.

Las pruebas dinámicas serán ejecutadas en la etapa final de hincada y/o en una etapa de rehincada que debe efectuarse en todos esos pilotes, después de un periodo de reposo que será establecido por el Ingeniero Geotécnico una vez conocidos los resultados de las pruebas dinámicas y de hincabilidad. En todo caso, el tiempo mínimo de reposo será de 2 horas.

Se estimará capacidades de carga en base a análisis CAPWAP para las condiciones fin de hincada e inicio de rehincada.

Las pruebas dinámicas de pilotes se efectuarán mediante un equipo analizador de hincada de pilote PDA (Pile Driving Analyzer) el que debe cumplir con las exigencias establecidas en la norma ASTM D-4945, Standard Test Method for High- Strain Dynamic Testing of piles.

#### **C-5.- PRUEBA DE CARGA DE PILOTE**

Se considera la ejecución de un ensayo de carga estática en tracción sobre un pilote hincado a la ficha de proyecto, u otra que determine el Ingeniero Geotécnico. La prueba de carga estática en tracción tiene los siguientes objetivos principales:

- Validar y ajustar los modelos de suelo propuestos para evaluar la capacidad de carga axial de pilotes hincados.
- Investigar el comportamiento carga deformación ante solicitaciones cíclicas.
- Calibrar los resultados de las pruebas dinámicas y de los análisis CAPWAP.

La prueba de carga deberá ser realizada al inicio de los trabajos de hincada de los pilotes del área del proyecto. El pilote de prueba de carga deberá estar hincado en un sector cercano o dentro del área de la Plataforma de Carga. El pilote de prueba podrá ser un pilote del



proyecto o un pilote adicional de las mismas características que un pilote de proyecto.

Los ensayos de carga en tracción se ejecutará de acuerdo al procedimiento Quick Load Test Method de la norma ASTM D 3689, "Standard Test Method for Individual Piles Under Static Axial Tensile Load".

El equipo de ensayo de carga debe ser capaz de aplicar una carga límite de ensayo de 700 ton.

El Constructor deberá presentar un detallado procedimiento de prueba. El informe de resultados de los ensayos, incluirá la ubicación y descripción de los elementos de prueba, los procedimientos finales de ejecución, los resultados de los ensayos de hincabilidad y de carga, la interpretación de los resultados obtenidos y recomendaciones preliminares sobre el sistema de fundación de las obras de atraque.

El Ingeniero Geotécnico, podrá ordenar cambios en los procedimientos de hincado de los pilotes de reacción o de carga y en los procedimientos de prueba.

#### **C-6.- SONDAJES GEOTECNICOS ADICIONALES**

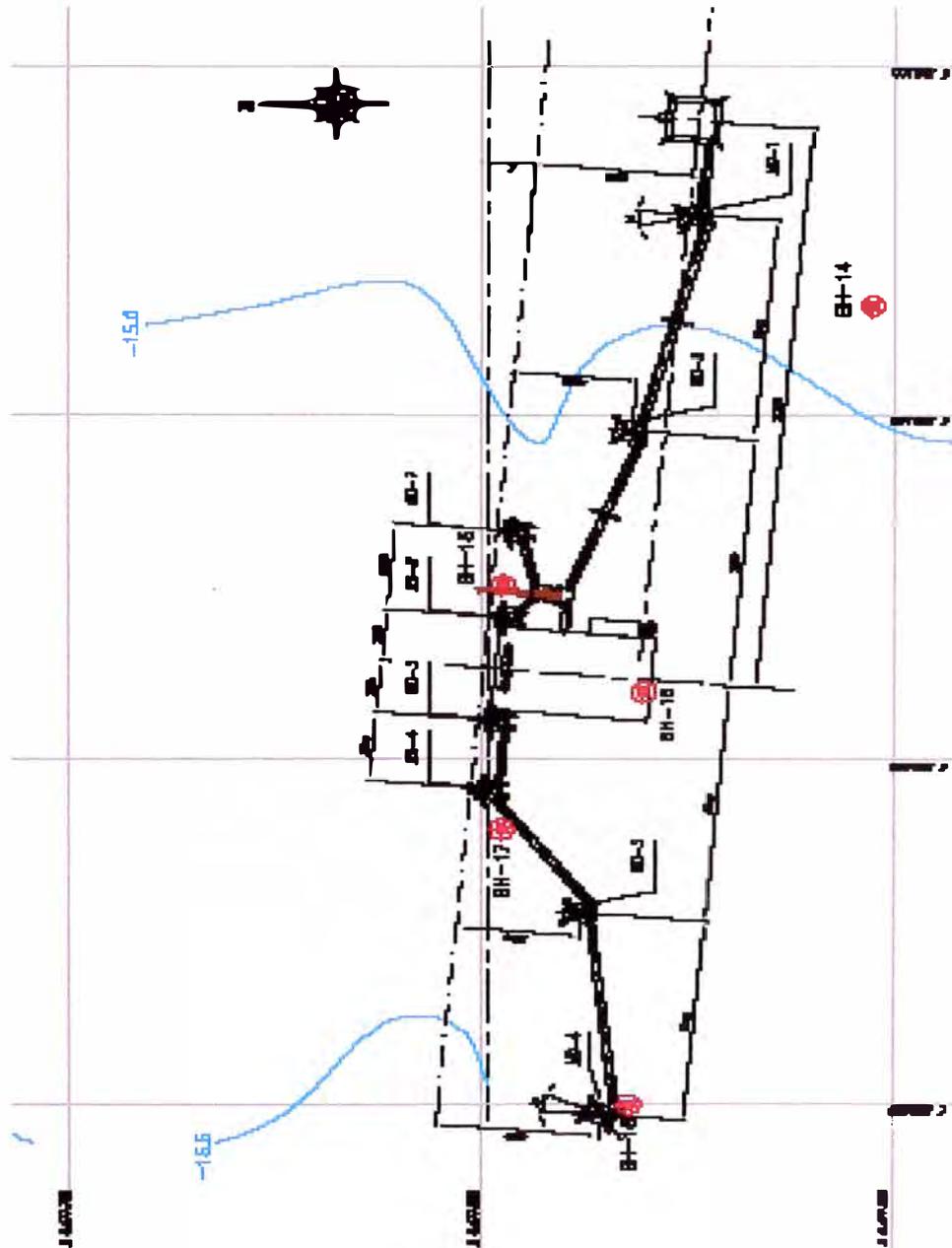
El constructor deberá ejecutar sondajes geotécnicos complementarios y cuya finalidad es la determinar el grado de cementación del estrato de grava arenosa. Con ese objetivo se deberá ejecutar como mínimo 3 sondajes. Uno ubicado en la Plataforma de Carga y próximos al pilote de prueba; y uno en Cada Poste de Amarre extremo (N°1 y 4)

Las principales características de los sondajes son:

- Perforación con barril triple tubo HQ-3
- Perforación y recuperación de muestra cada 0.50 m. y hasta 30 m. de profundidad
- Utilización de aditivo de perforación del tipo biodegradable.
- Determinación cualitativa del contenido de carbonatos mediante ácido clorhídrico diluido.
- Faena de perforación y muestreo supervisada permanentemente o por técnicos geotécnicos de amplia experiencia en trabajos similares
- Fotografías de muestras de suelo.

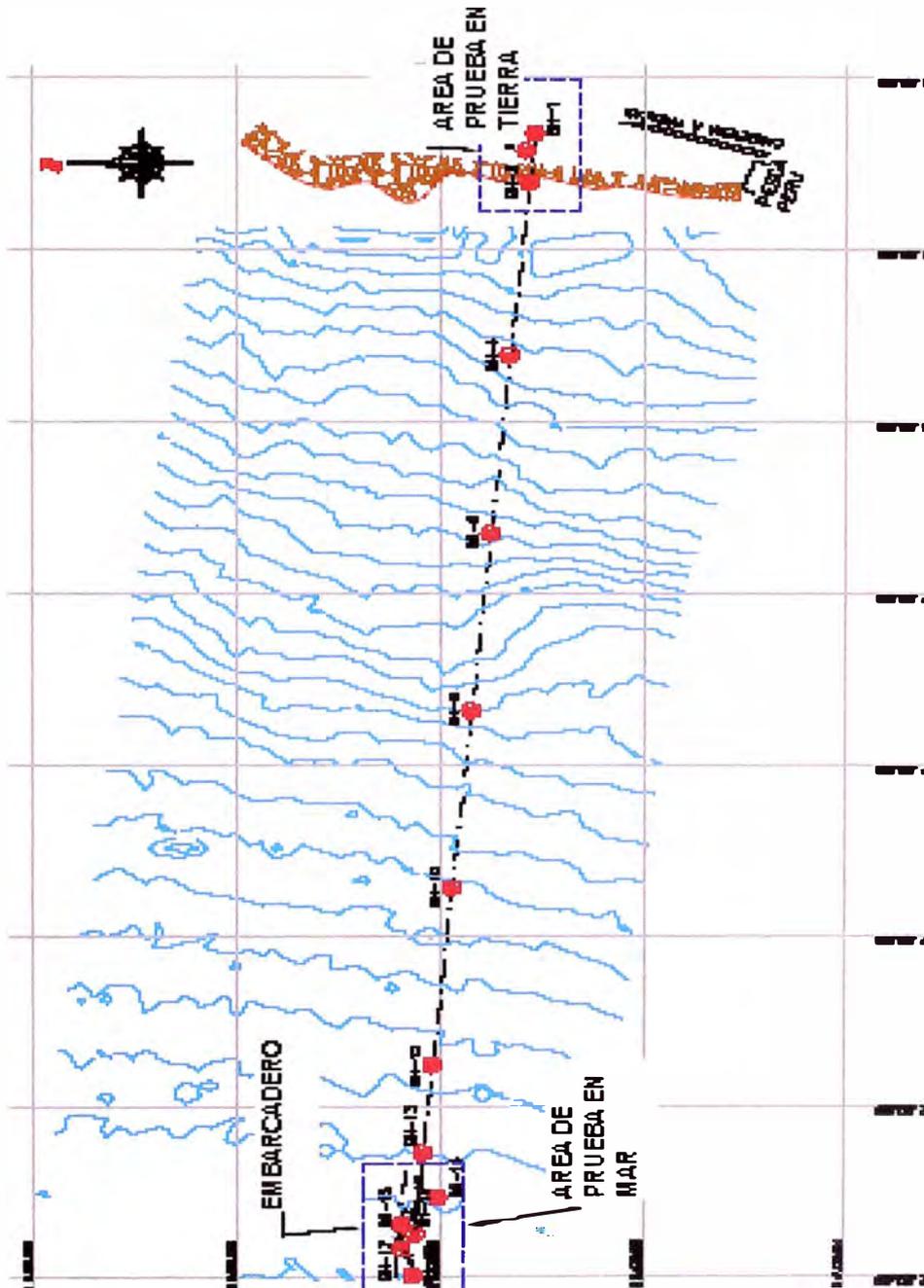


# FIGURAS



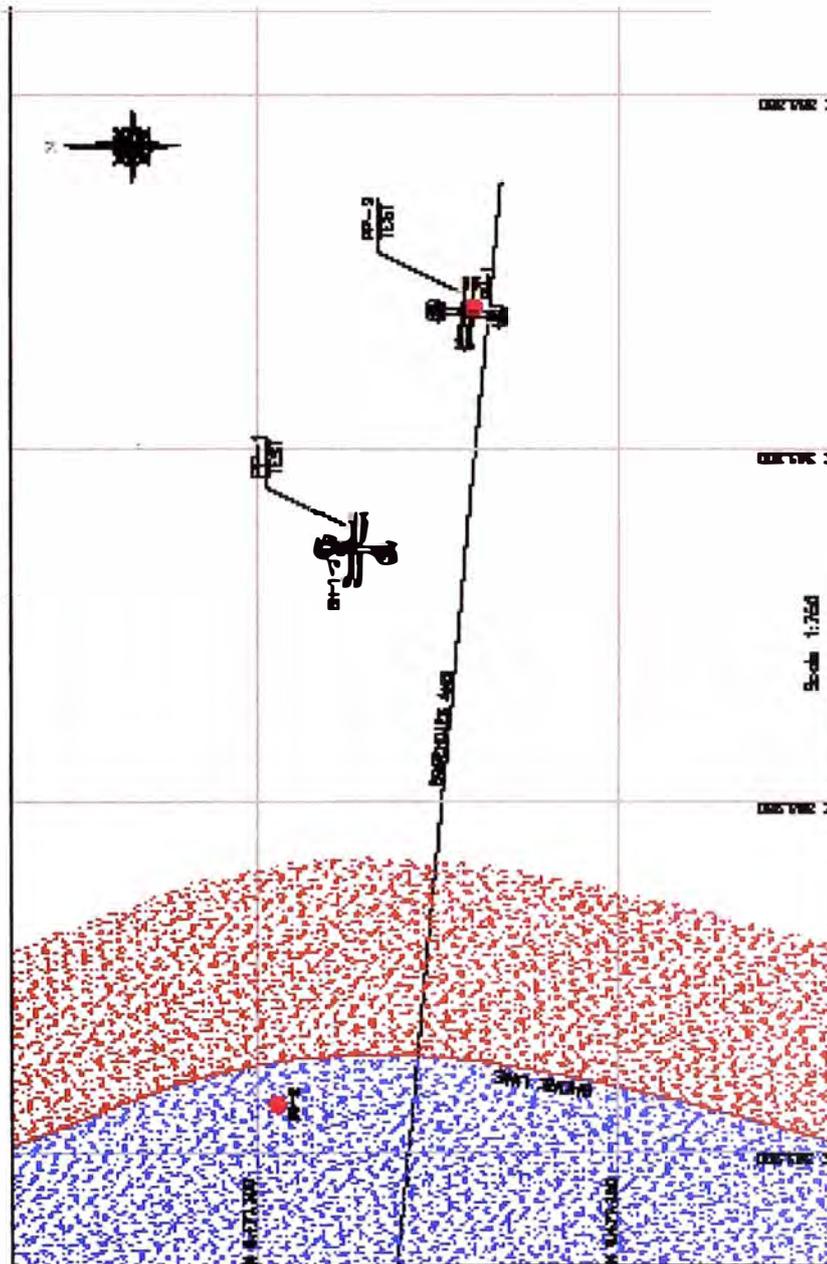
UBICACION GENERAL DEL EMBARCADERO

FIGURA N° 01



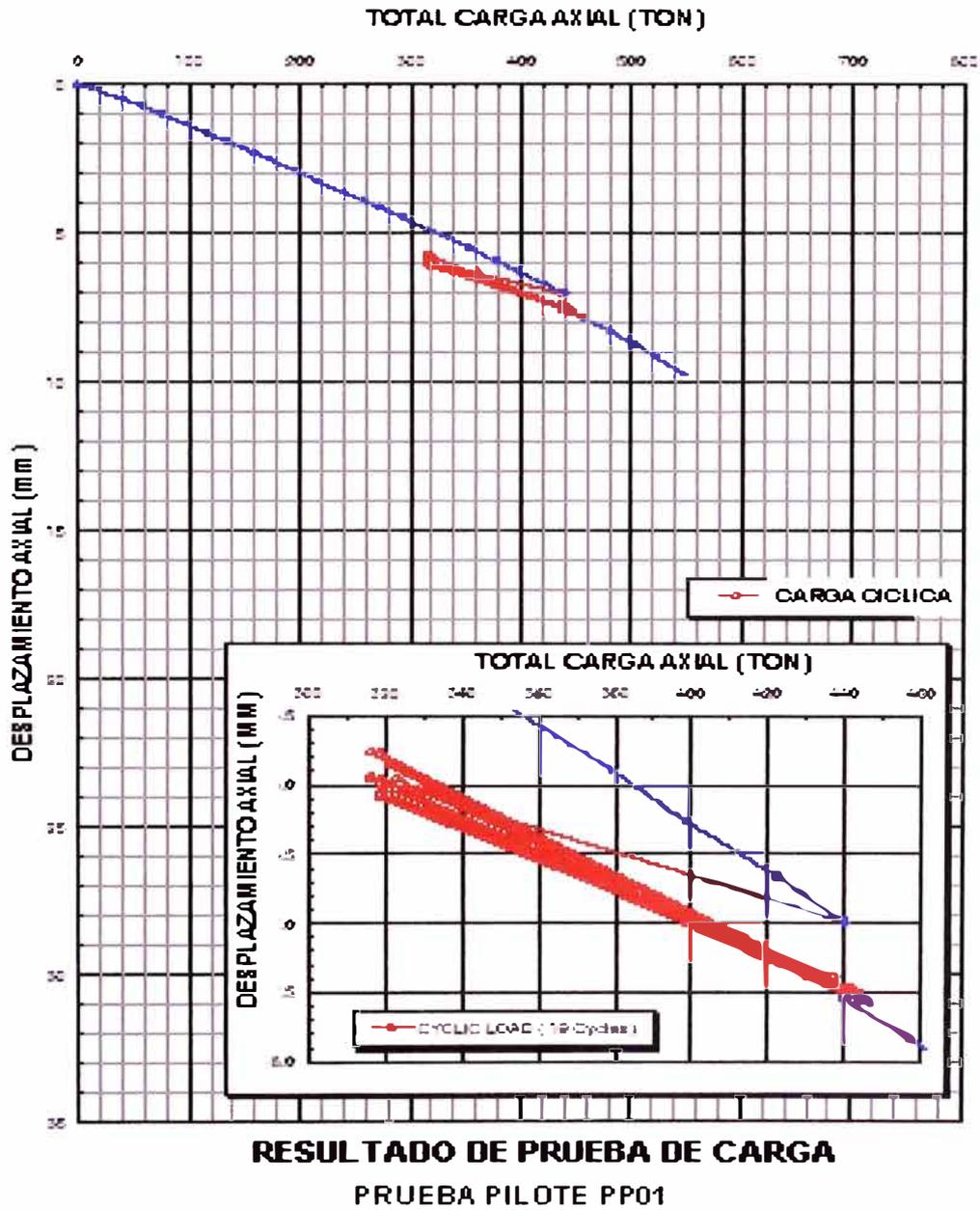
LOCALIZACION GENERAL

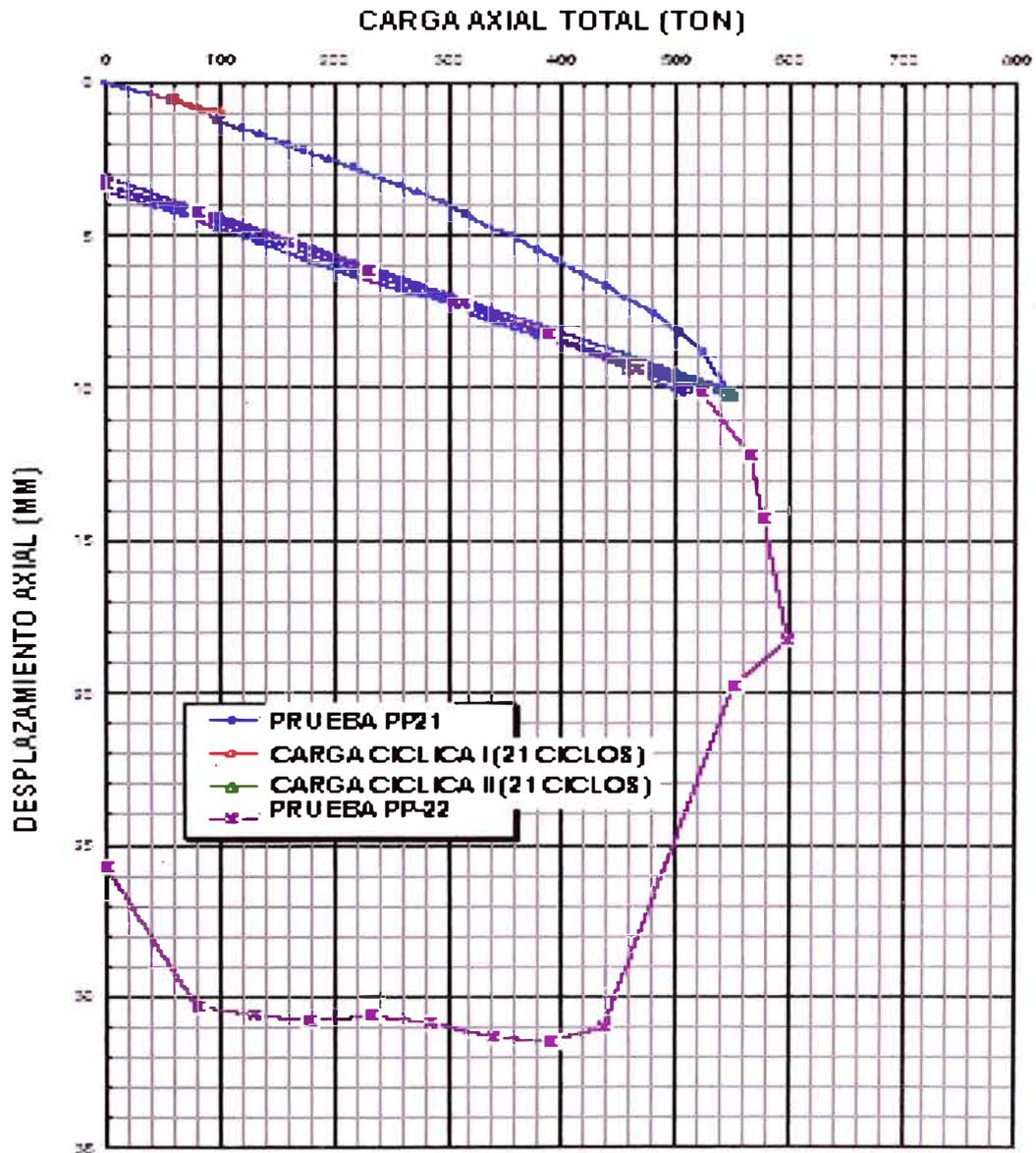
FIG. N1 02



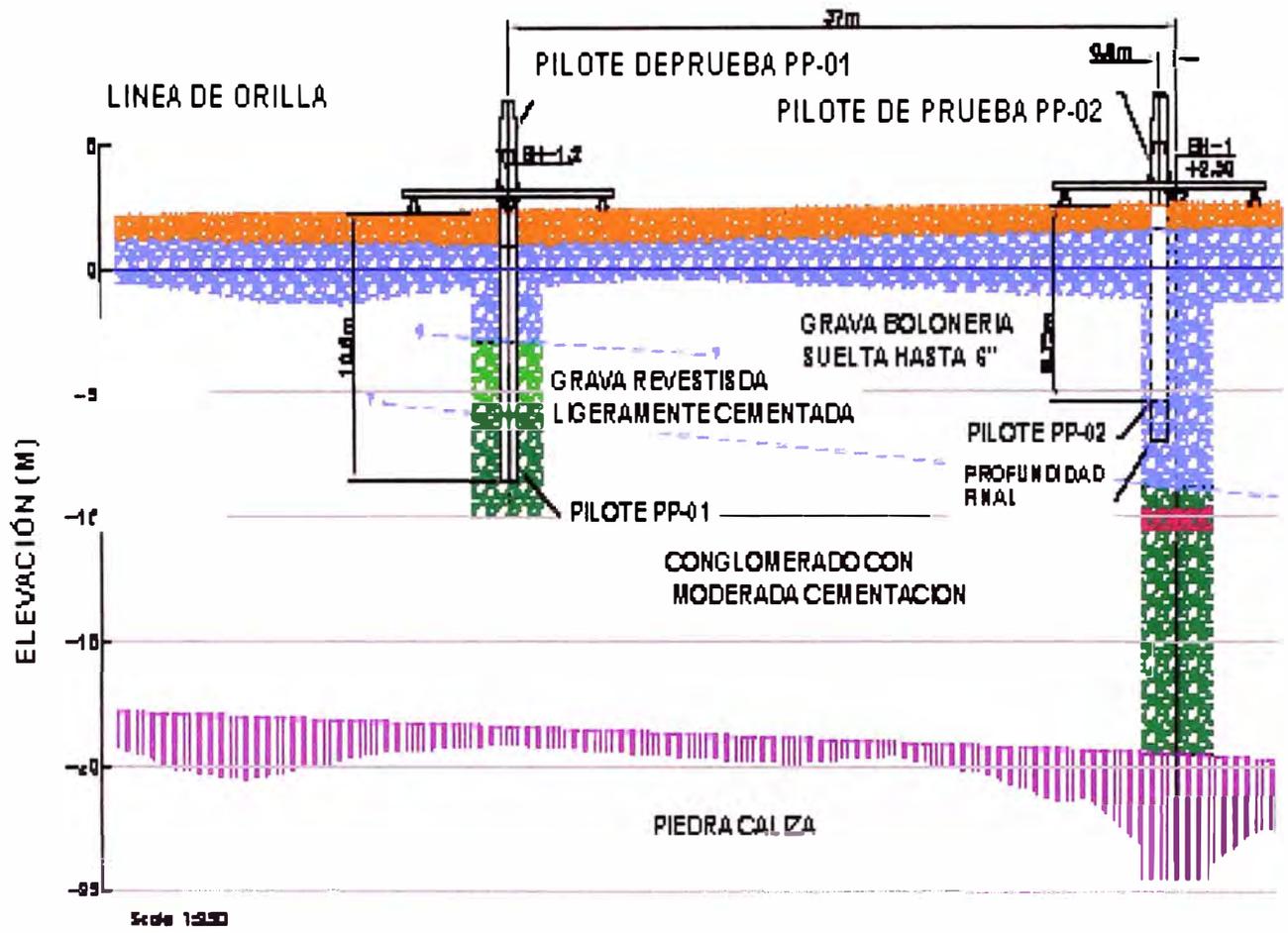
AREA DE PRUEBA EN TIERRA

FIG. N° 03

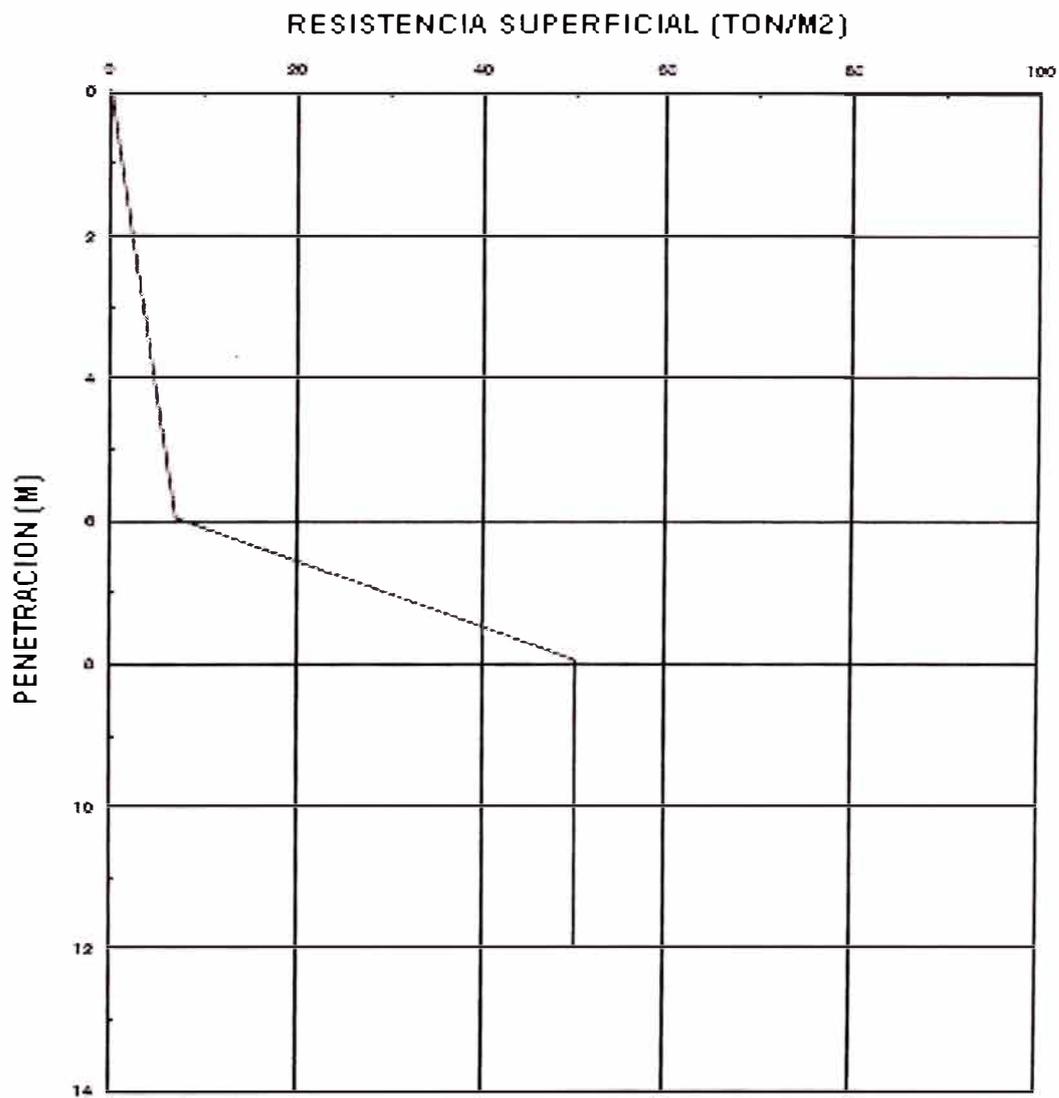




**RESULTADOS DE LA PRUEBA DE CARGA**  
**PRUEBA PILOTE PP-02**  
**FIG. 05**

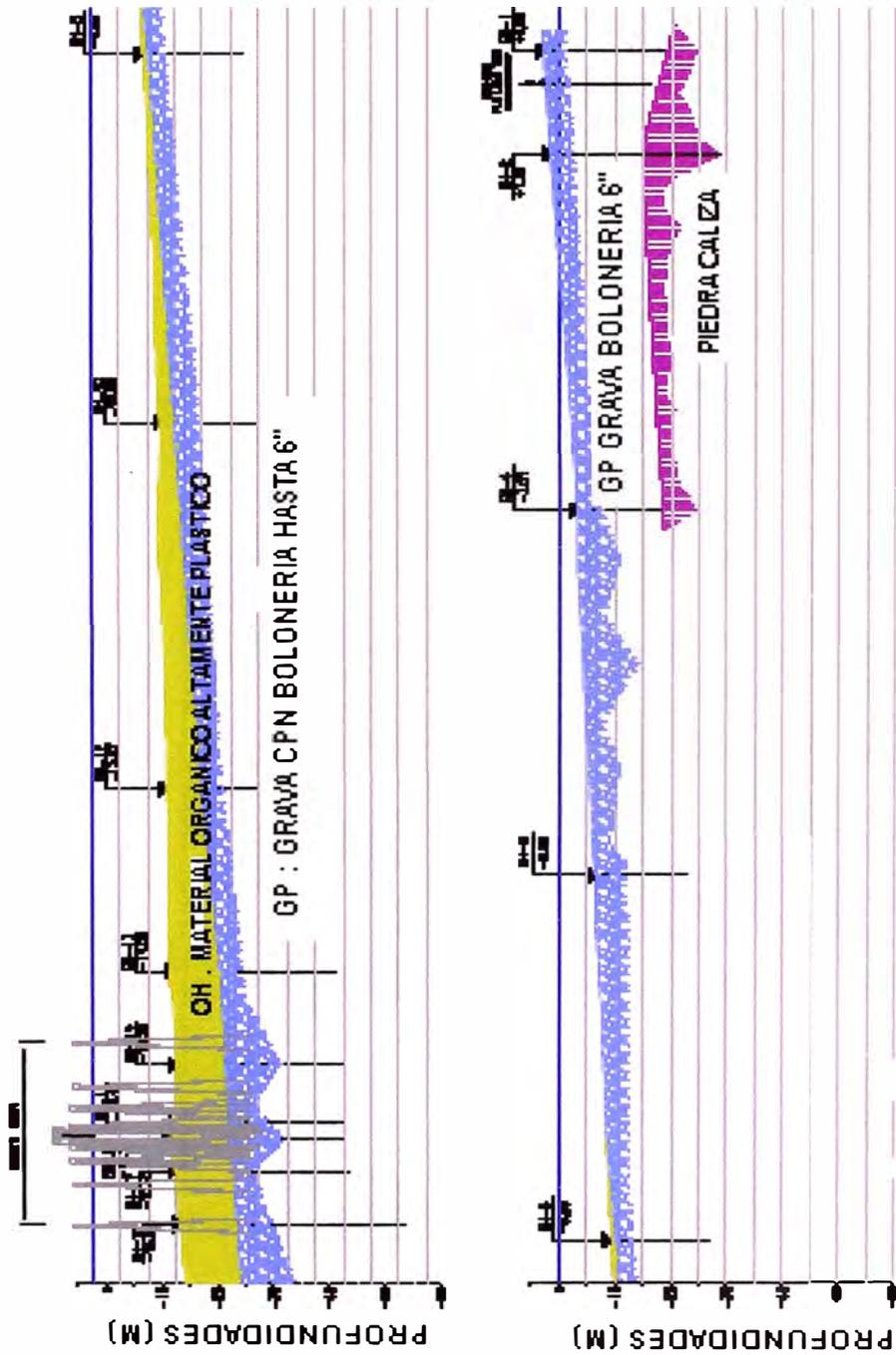


**PERFIL ESTATIGRAFICO**  
PRUEBA EN TIERRA  
FIG. N° 06



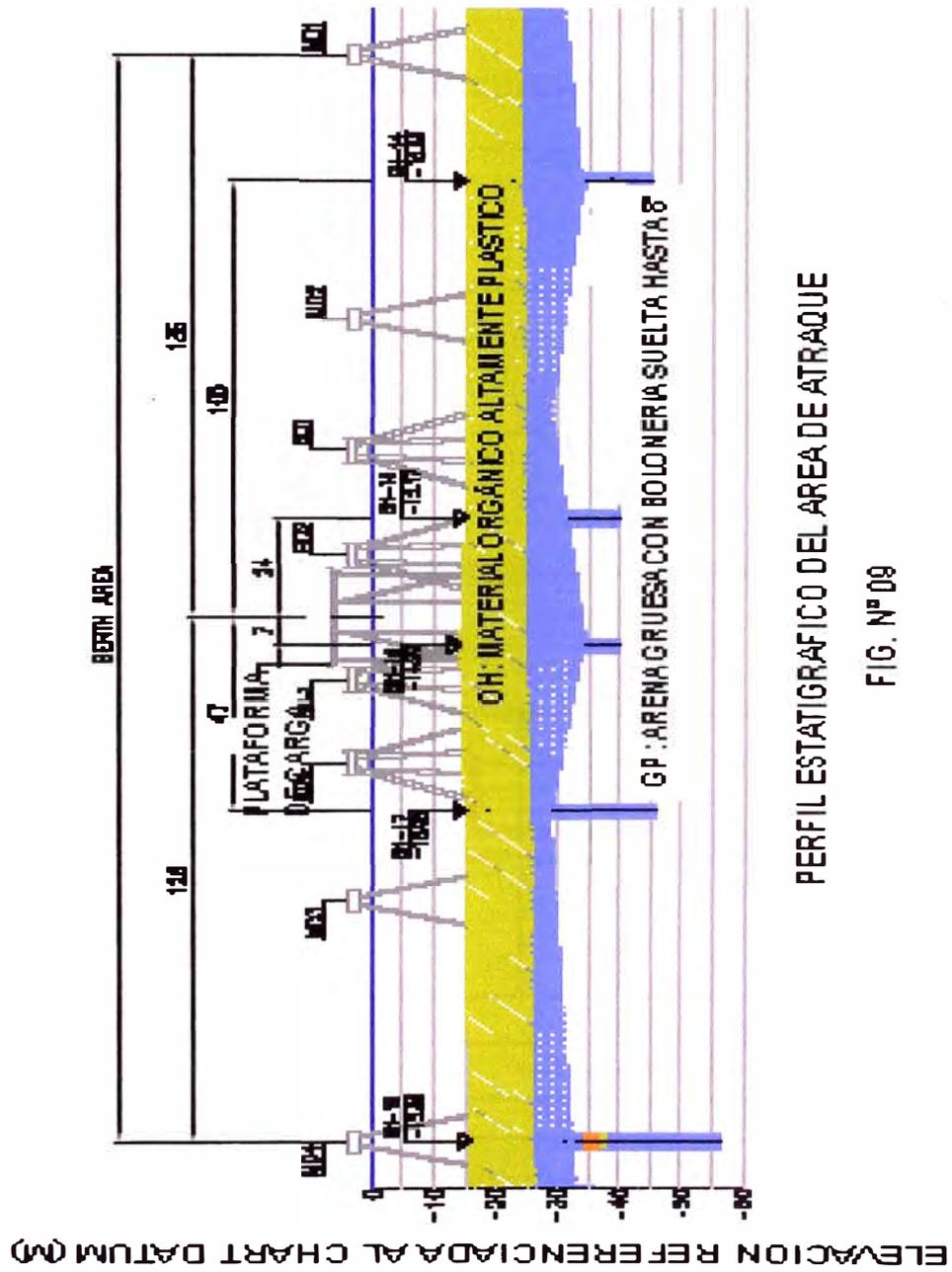
MODELO DE LA RESISTENCIA SUPERFICIAL DEL PILOTE EN TIERRA

FIG. N° 07



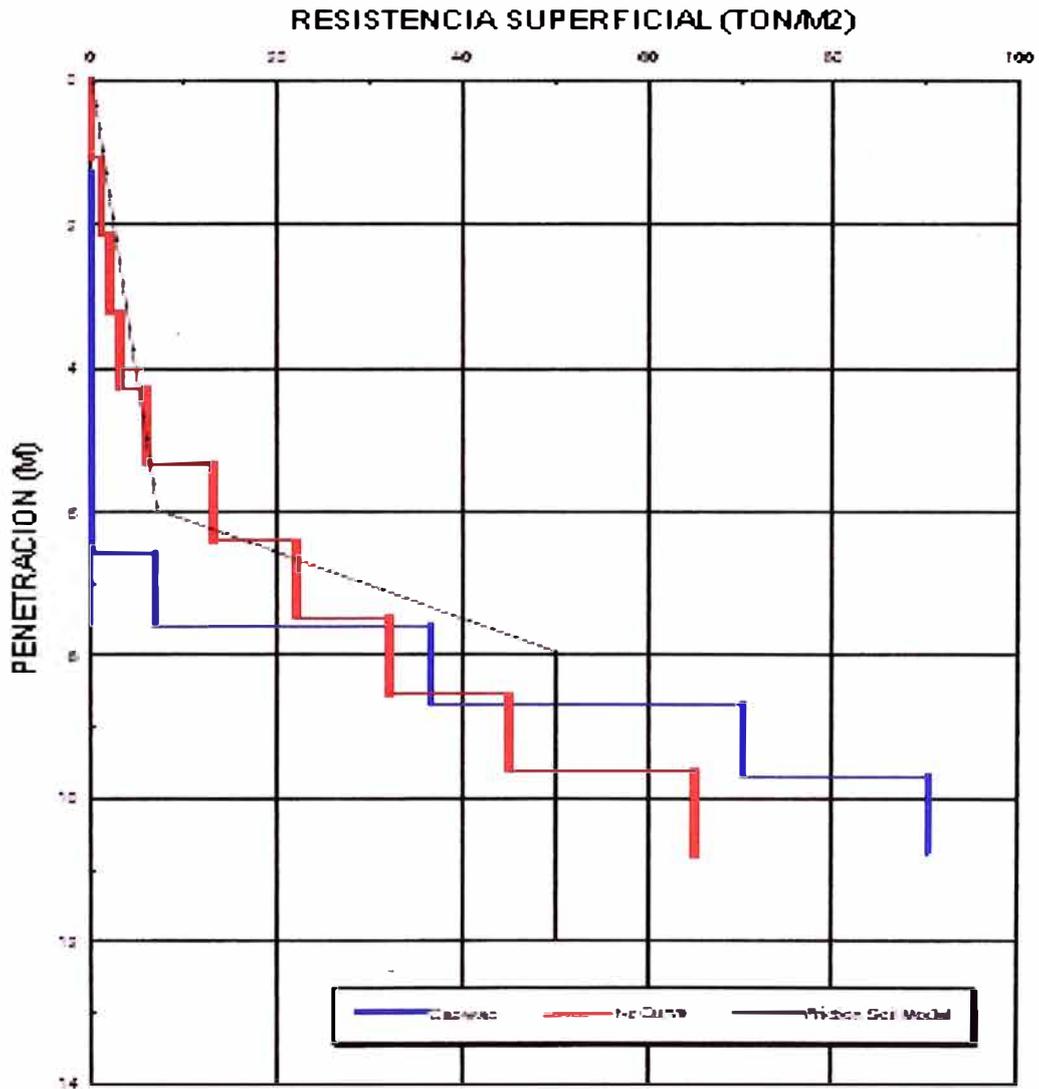
PERFIL ESTATIGRAFICO GENERAL

FIG. N° 08

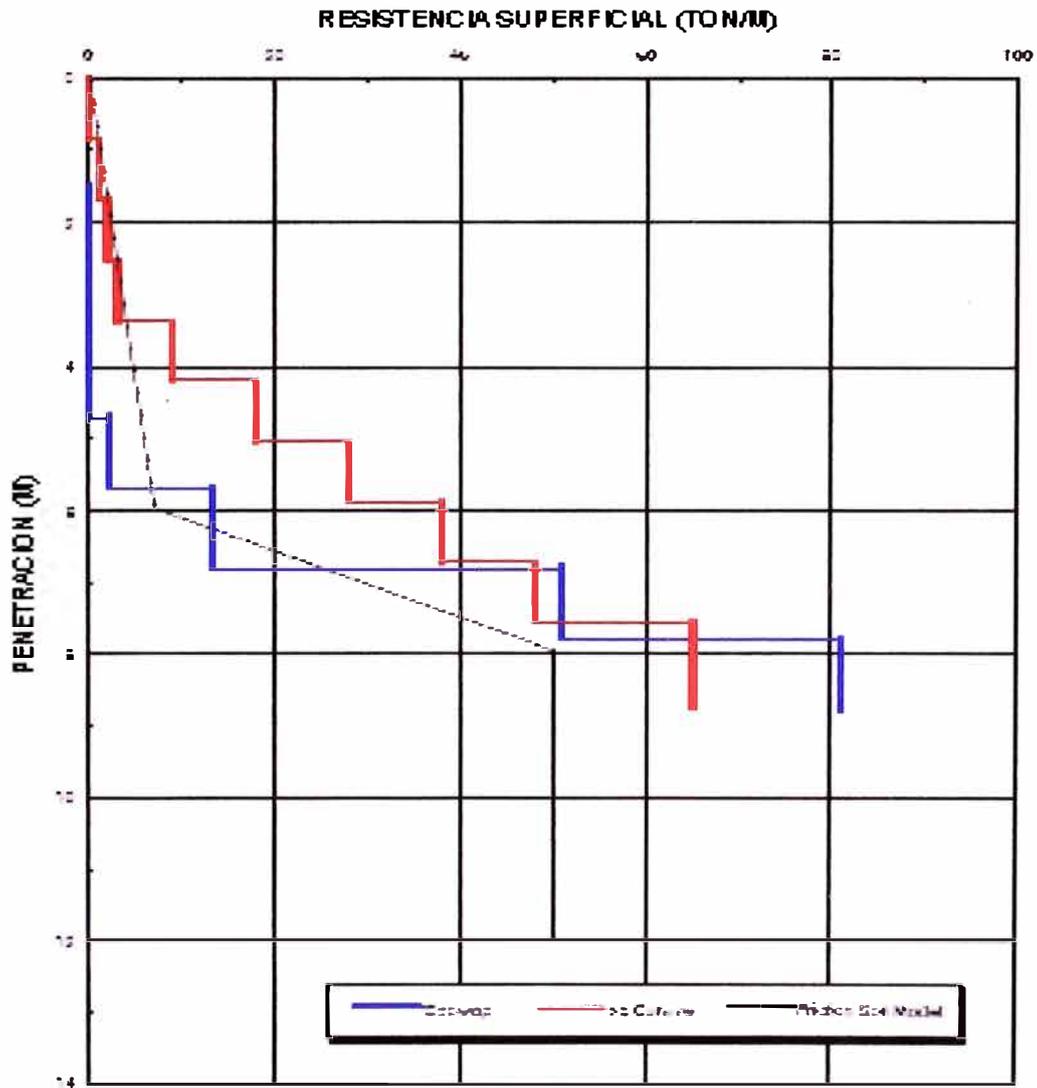


PERFIL ESTADIGRAFICO DEL AREA DE ATRAQUE

FIG. N° 09

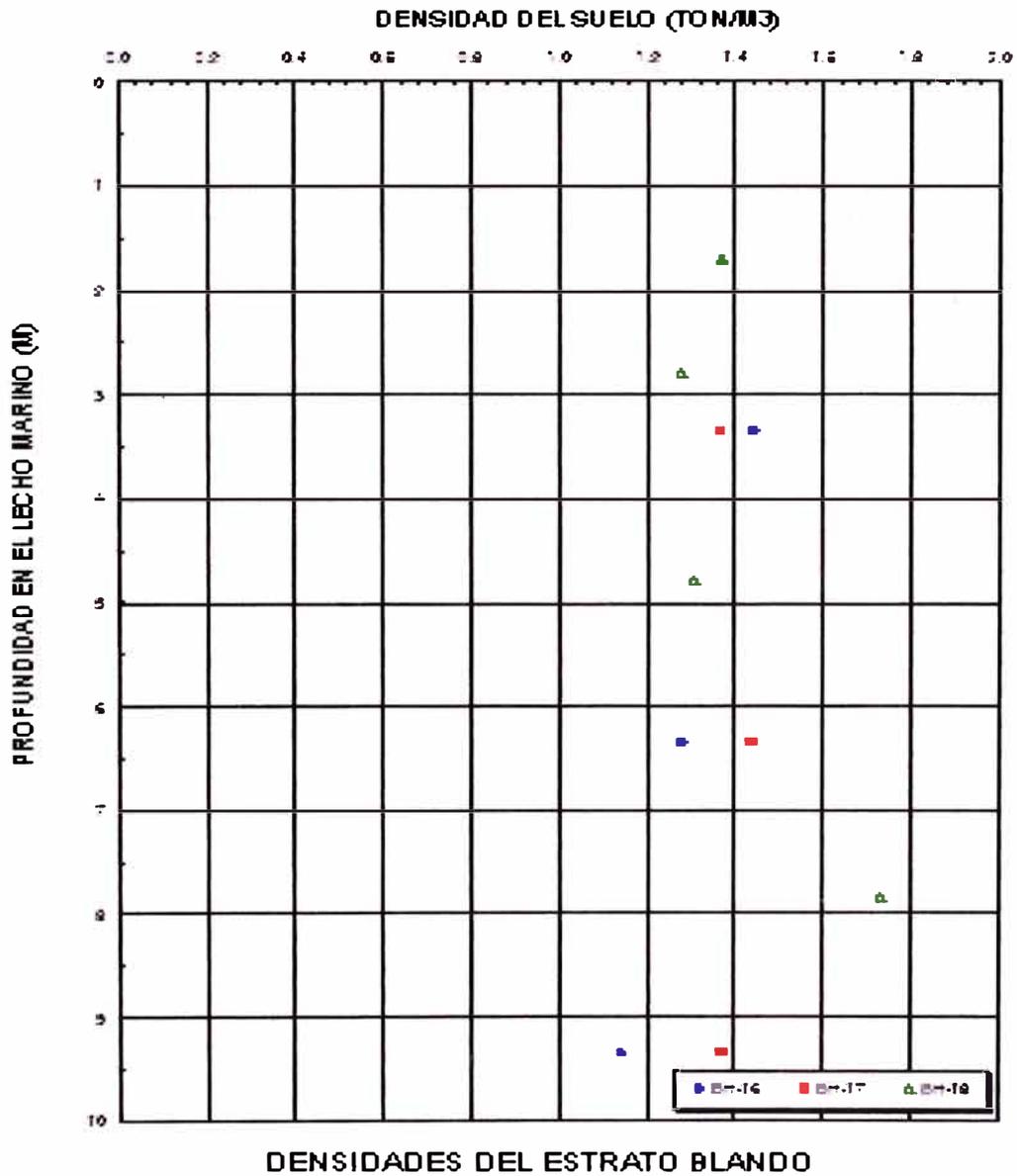


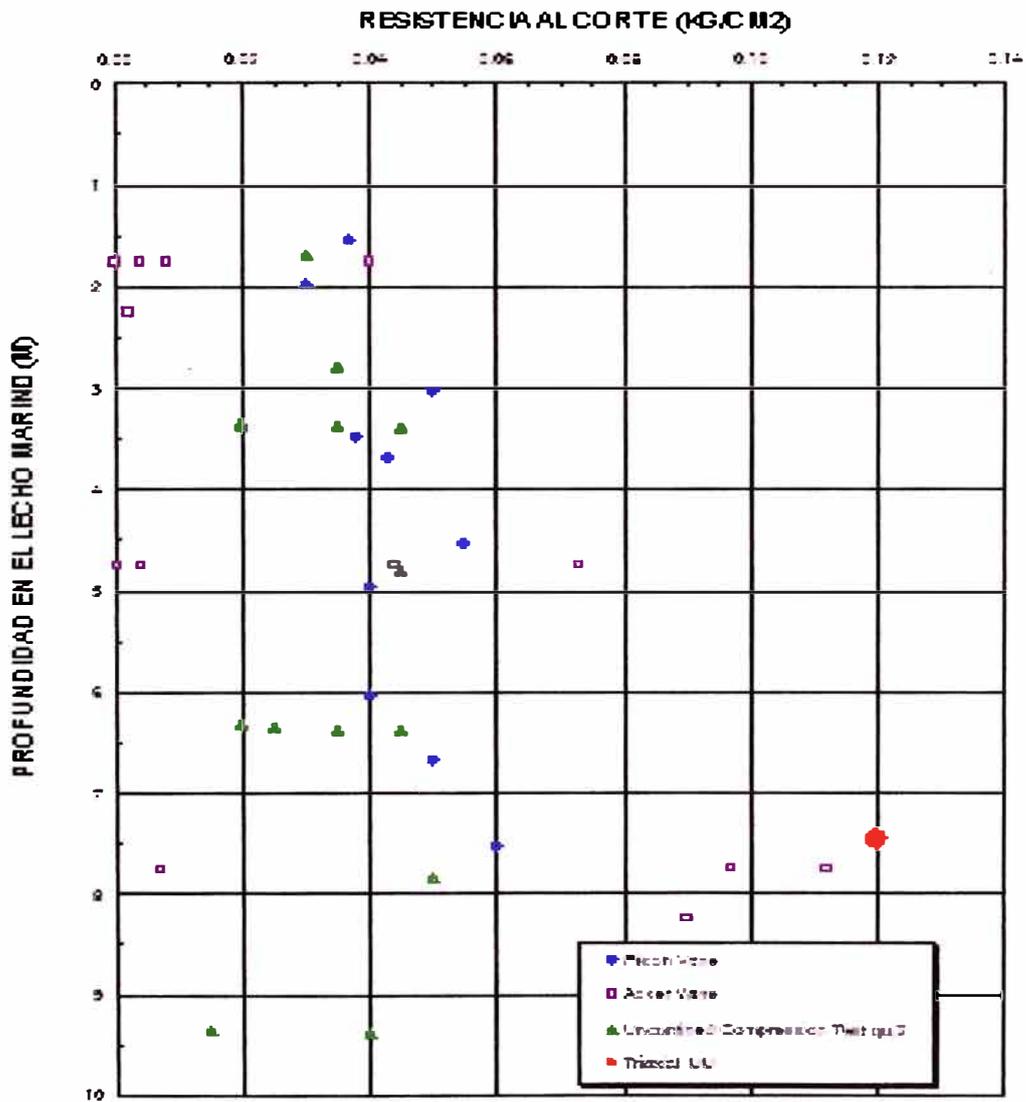
**DISTRIBUCIÓN DE LA RESISTENCIA SUPERFICIAL DEL PILOTE PP1  
DIAMETRO 813 MM ESPESOR 14 MM. MARTILLO DELMAG D - 44**



DISTRIBUCIÓN DE LA RESISTENCIA SUPERFICIAL DEL PILOTE PP-2  
DIAMETRO = 813 MM ESPESOR = 14 MM MARTILLO DEUMAG D-44

FIG. N° 11





**ENSAYO DE RESISTENCIA ALCORTE ALSUELO BLANDO SEDIMENTOS  
FIG. N° 13**

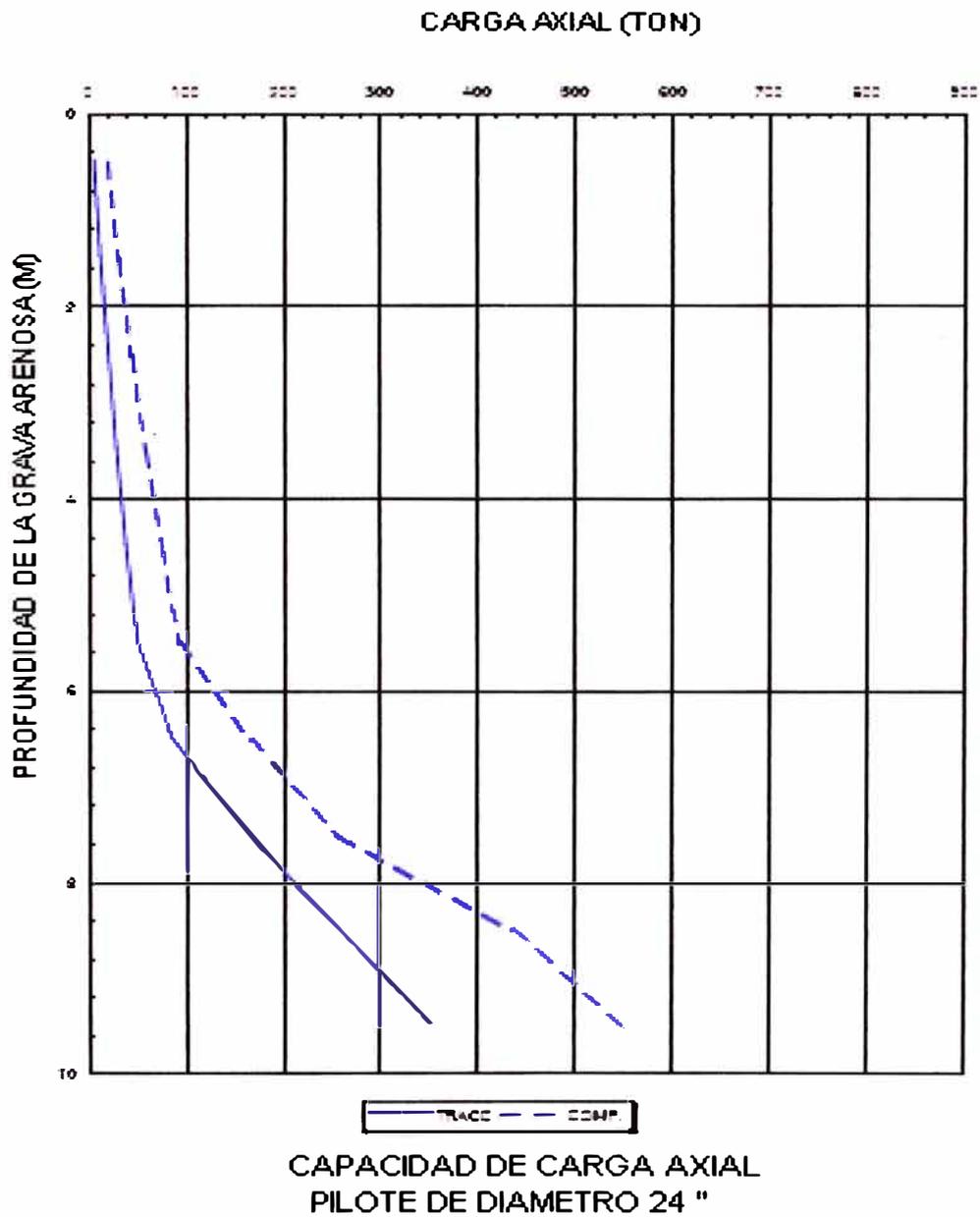
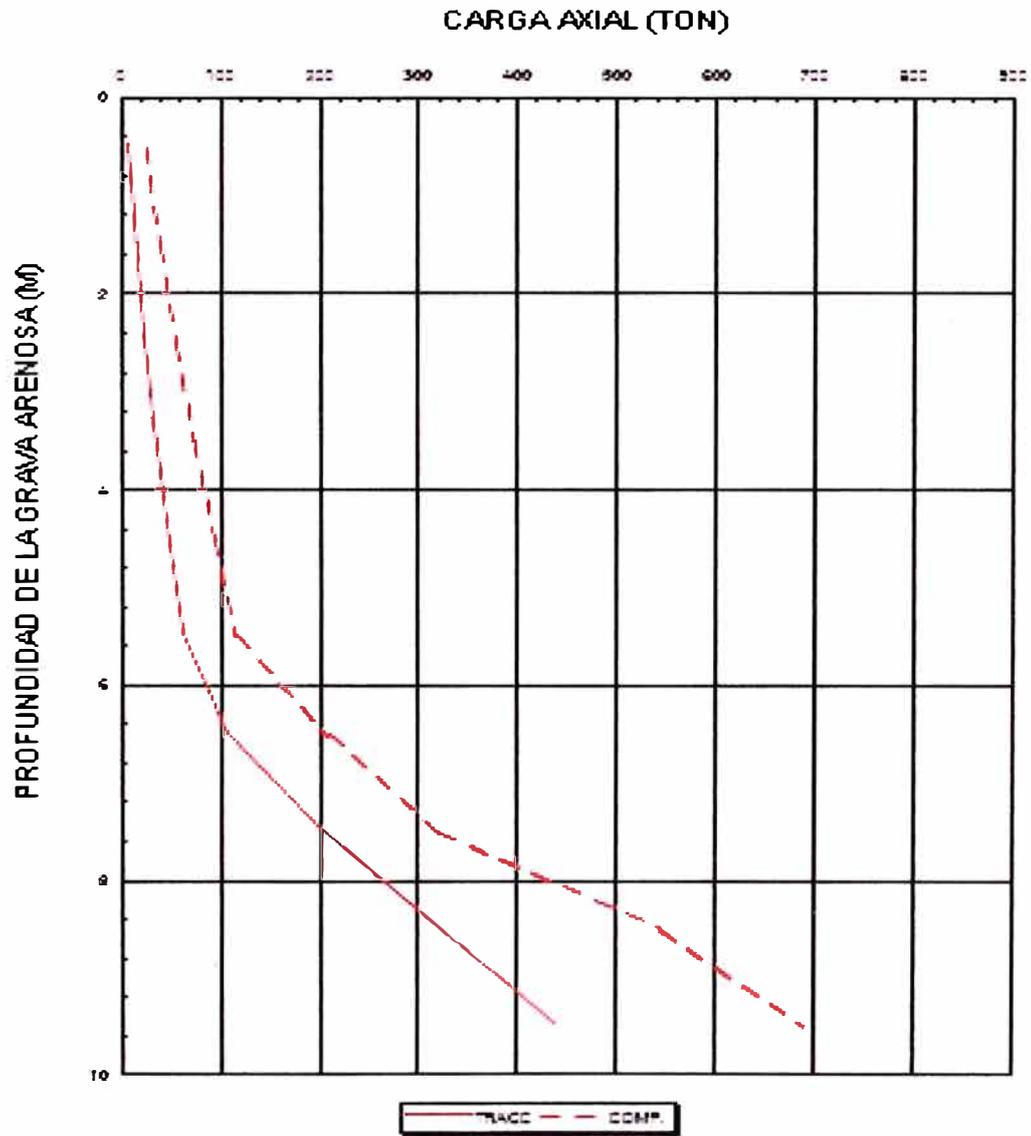
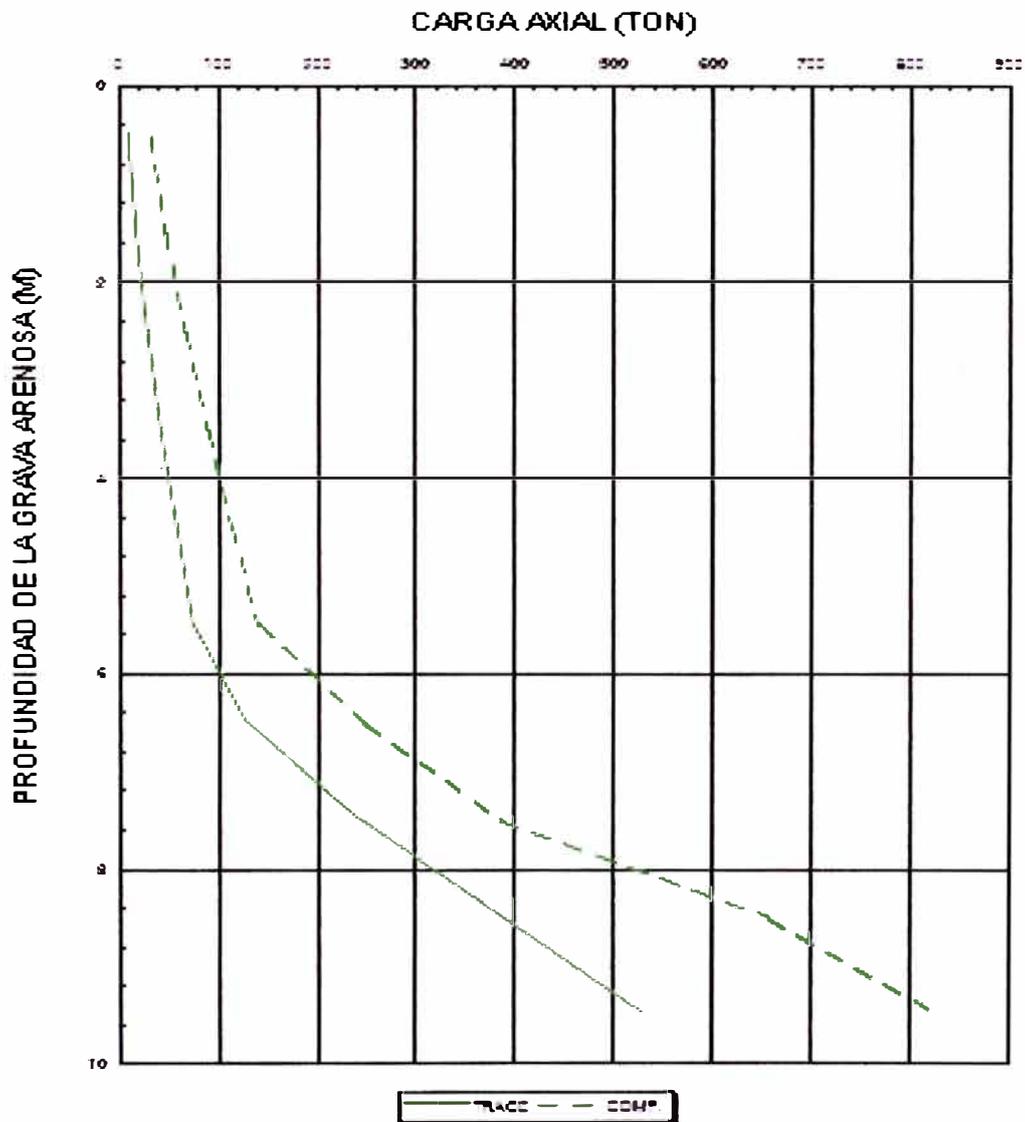


FIG. N° 14

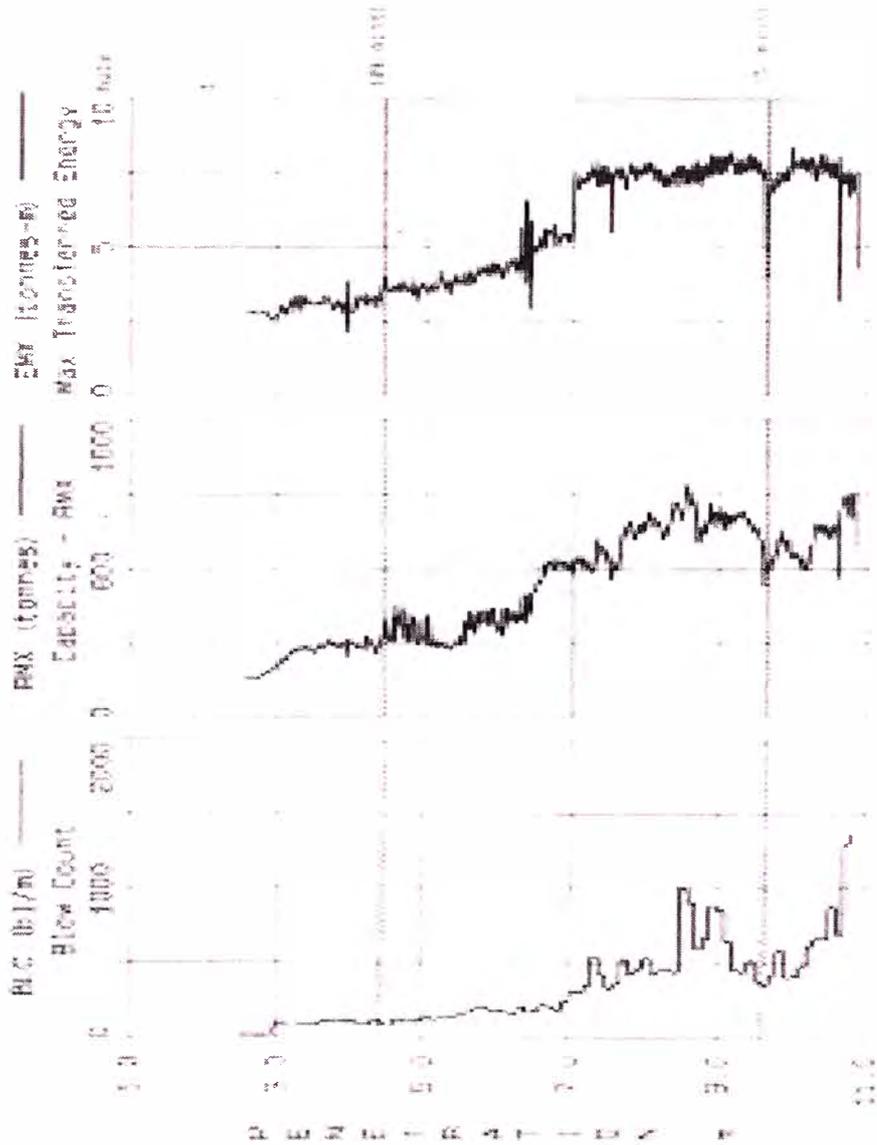


CAPACIDAD DE CARGA AXIAL  
PILOTE DE DIAMETRO DE 30"  
FIG. N° 15

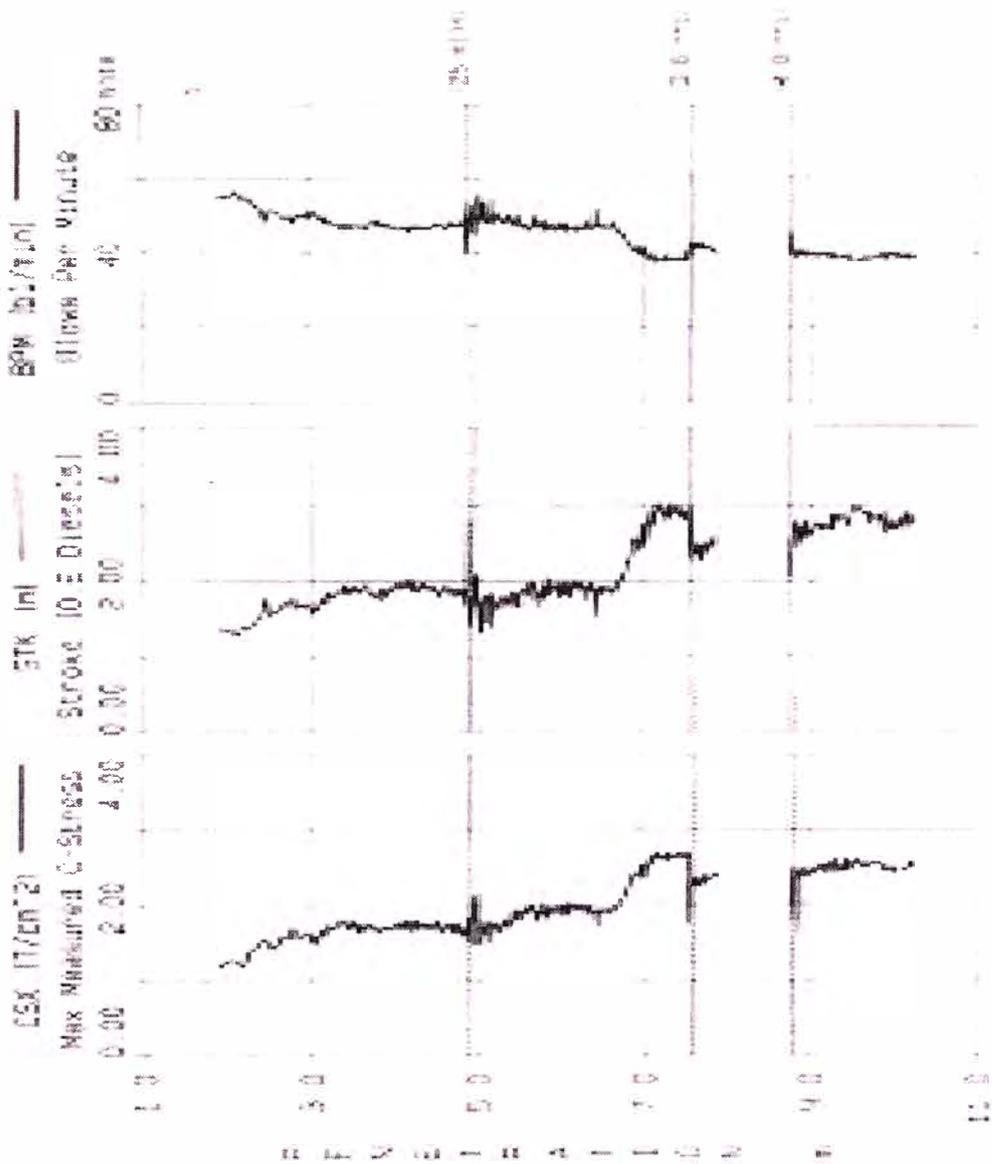


CAPACIDAD DE CARGA AXIAL  
PILOTE DE DIAMTERO 36"

FIG. N° 16

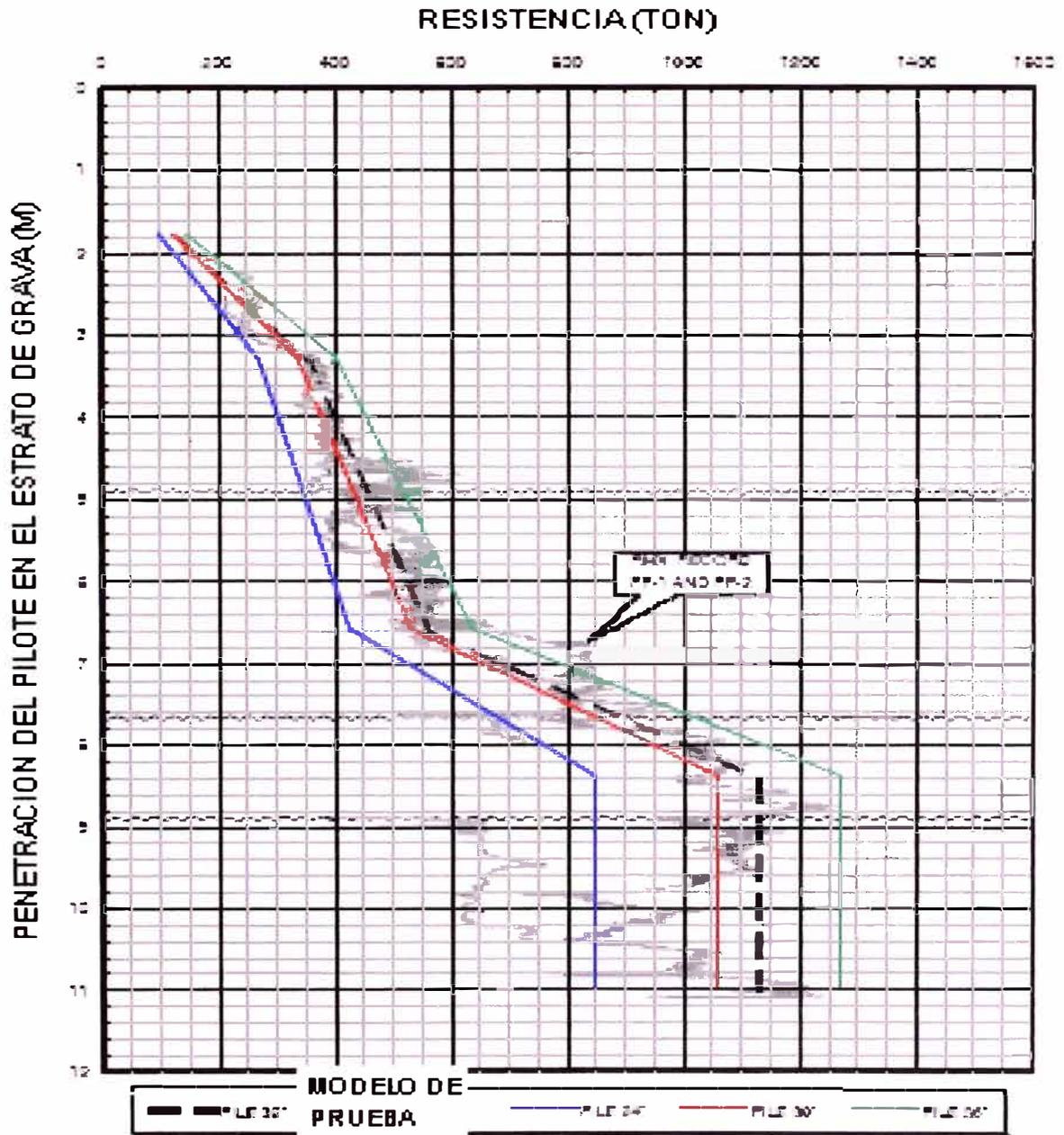


**CURVAS DE CAPACIDAD DE CARGA AXIAL  
PILOTE DEPRUEBA PP-01  
PROFUNDIDAD = 10.78 M. DIAMETRO 813 MM  
ESPEJOR 14 MM MARTILLO DELMAG D-44  
FIG. N° 17**



**CURVAS DE CAPACIDAD DE CARGA AXIAL  
PILOTE DE PRUEBA PP- 02  
PROFUNDIDAD = 10.25 M. DIAMETRO 813 MM  
ESPESOR 14 MM MARTILLO DEUMAG D-44**

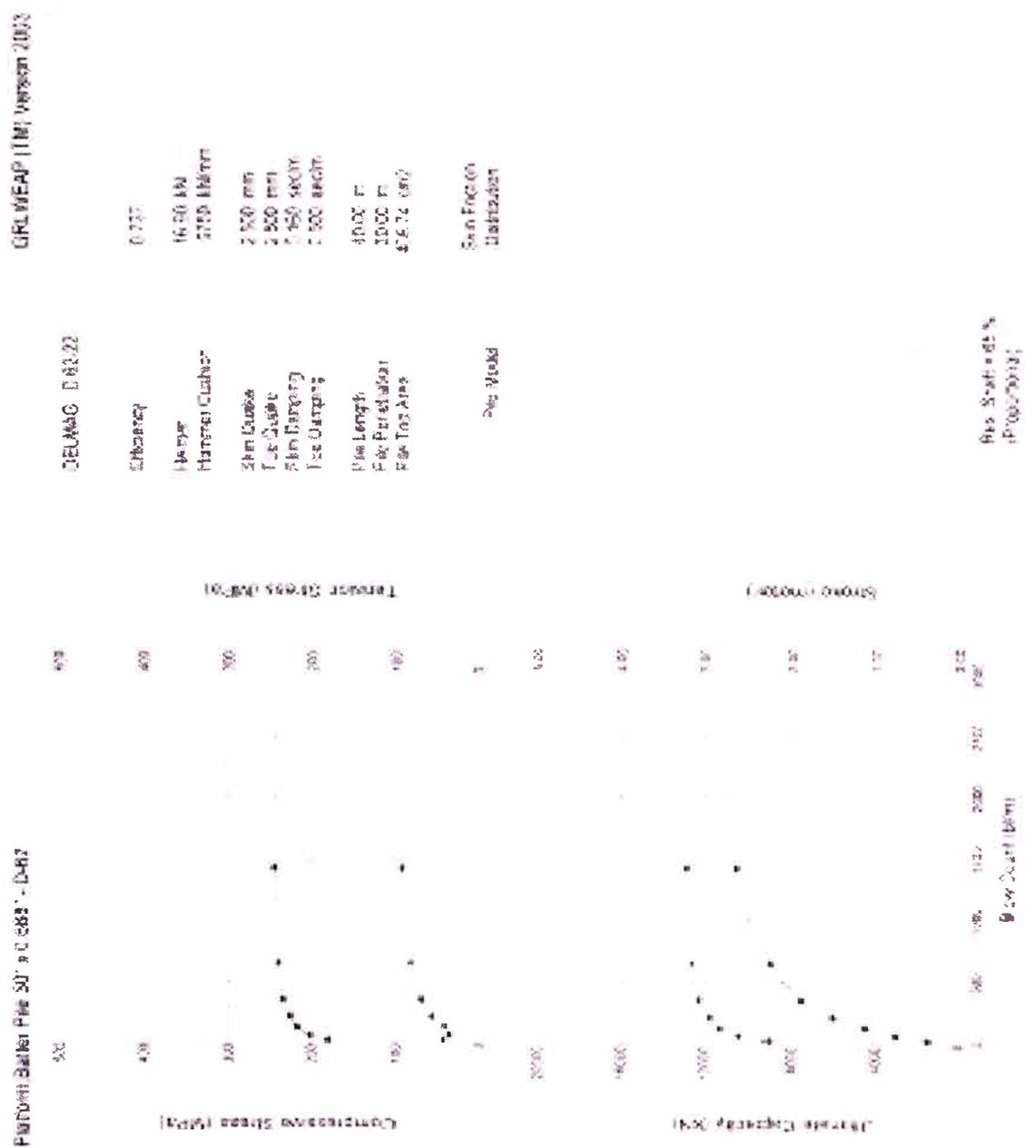
**FIG. N° 18**

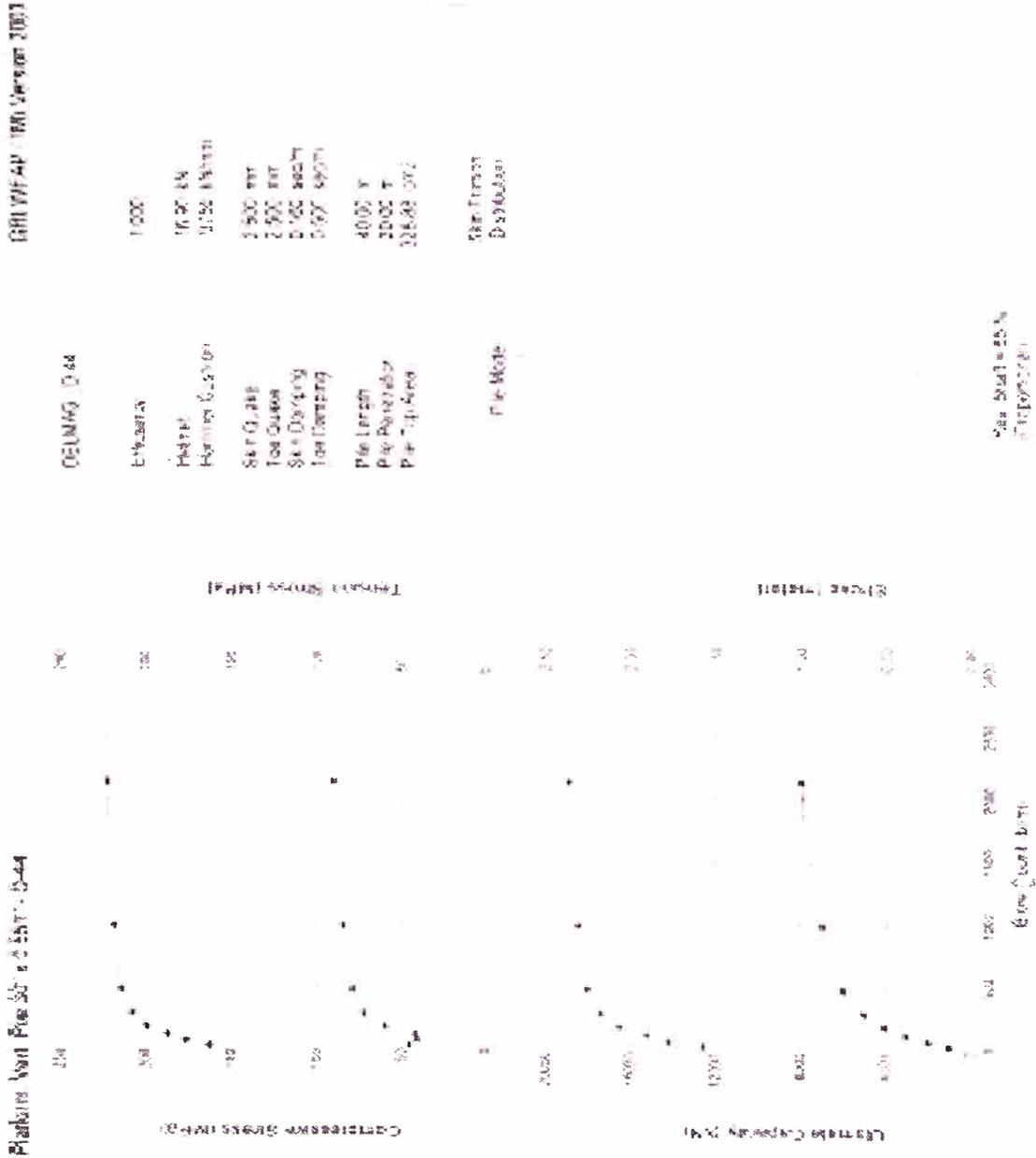


### RESISTENCIA DEL PILOTE

FIG. N° 19

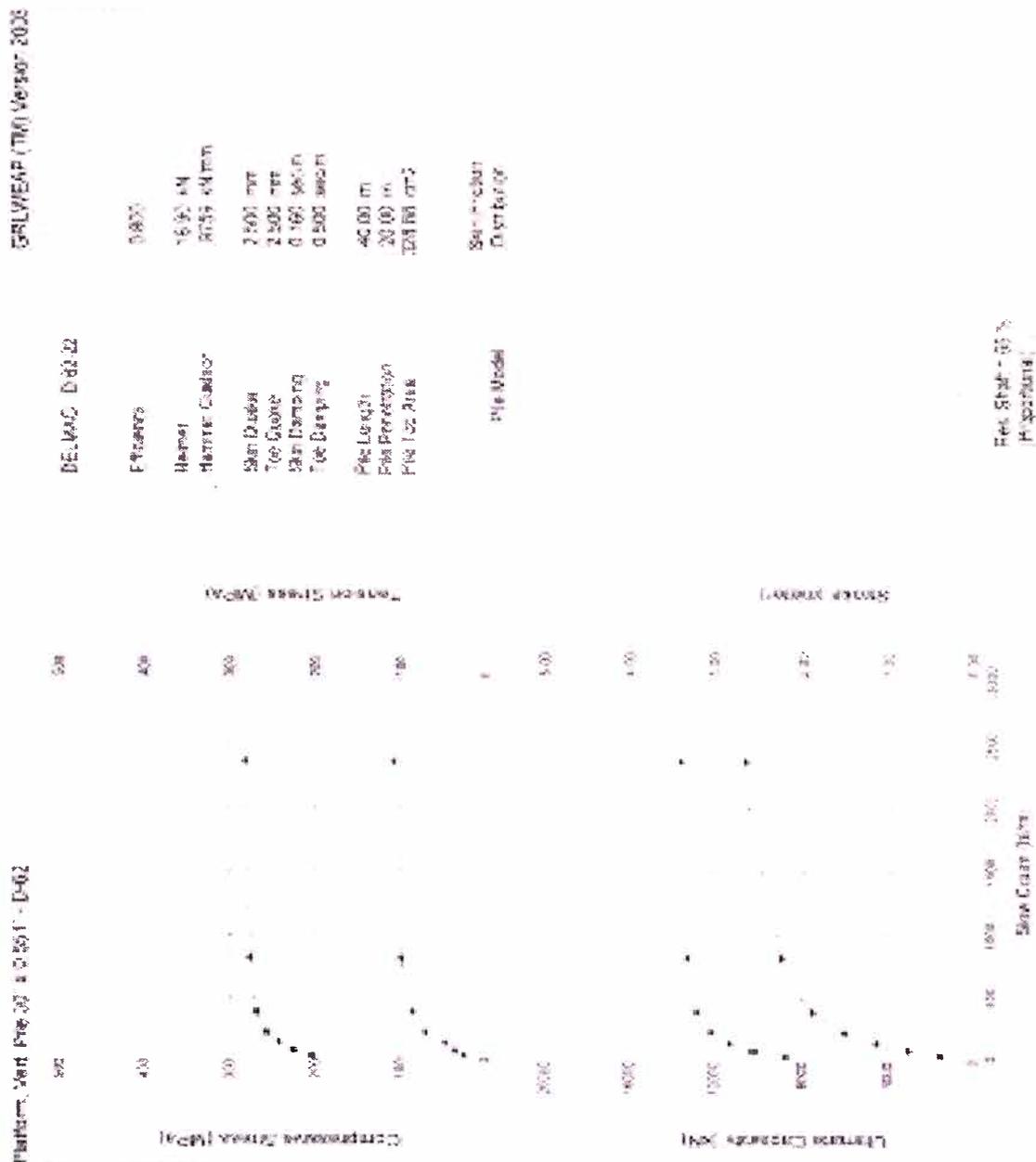






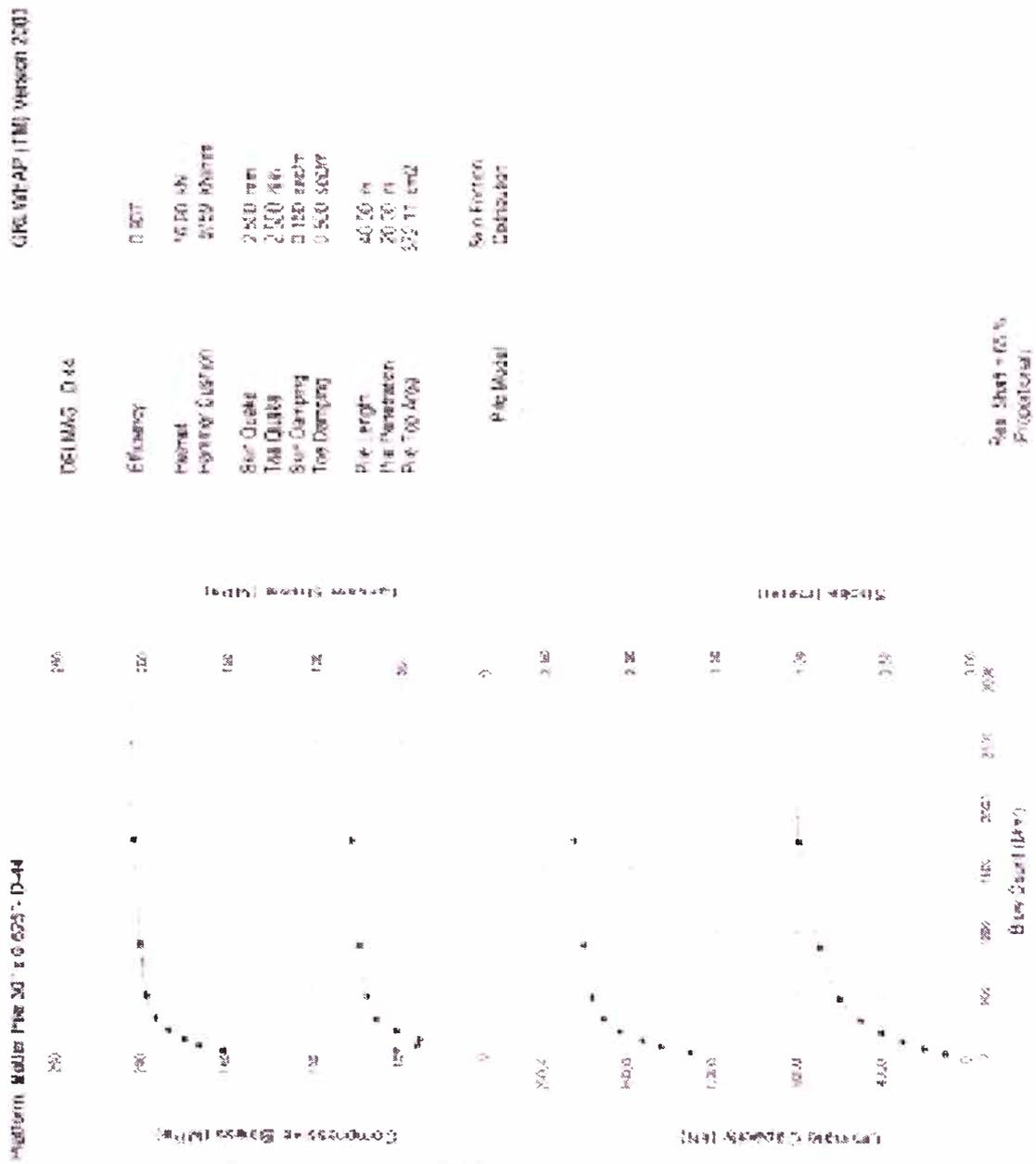
**GRLWEAP BEARING GRAPH**  
**PLATFORM, VERTICAL PILE 30' x 0,551', DELMAG D-44**

**FIG. N° 22**



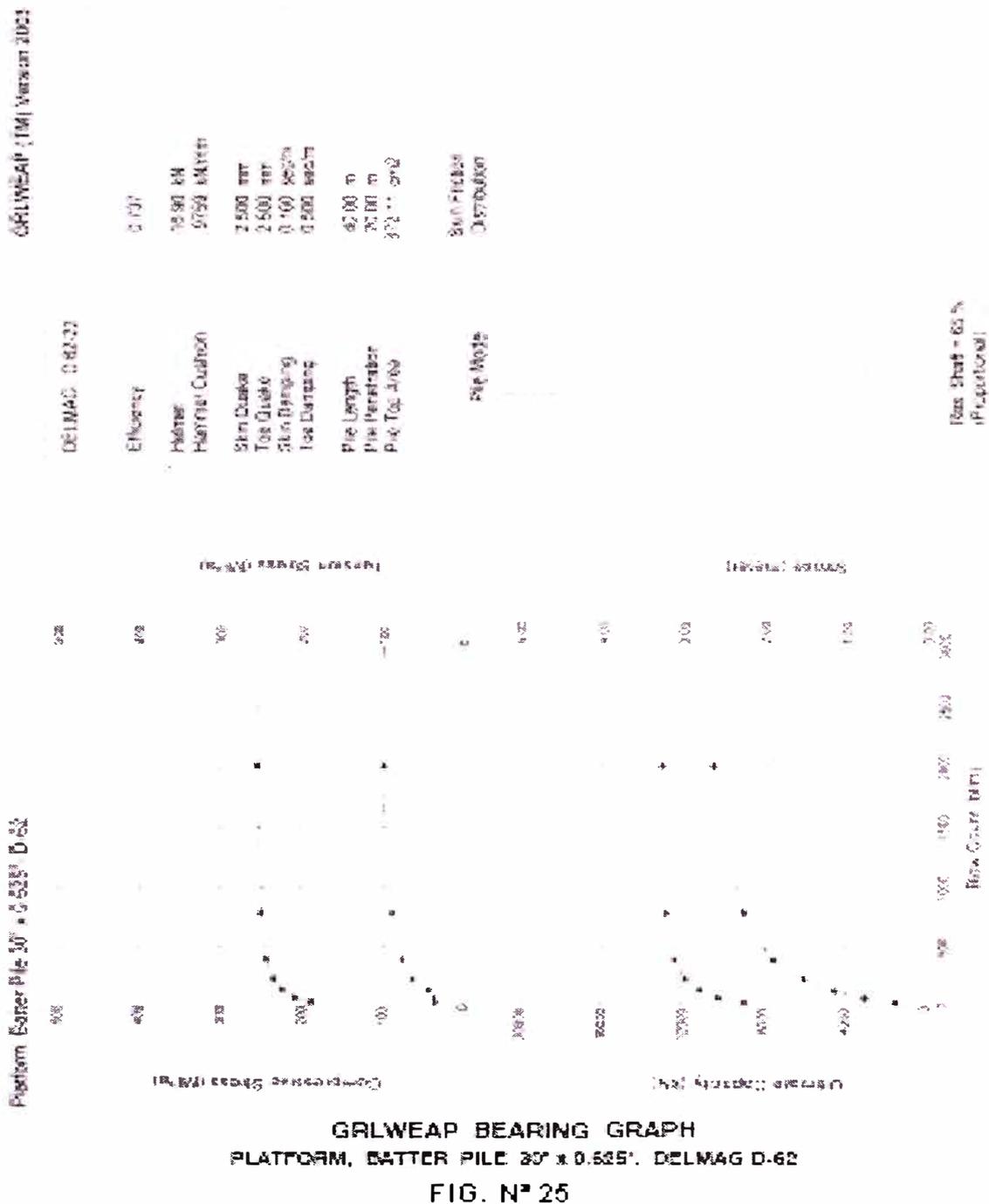
**GRLWEAP BEARING GRAPH**  
**PLATFORM, VERTICAL PILE 30" x 0.551'. DELMAG D-62**

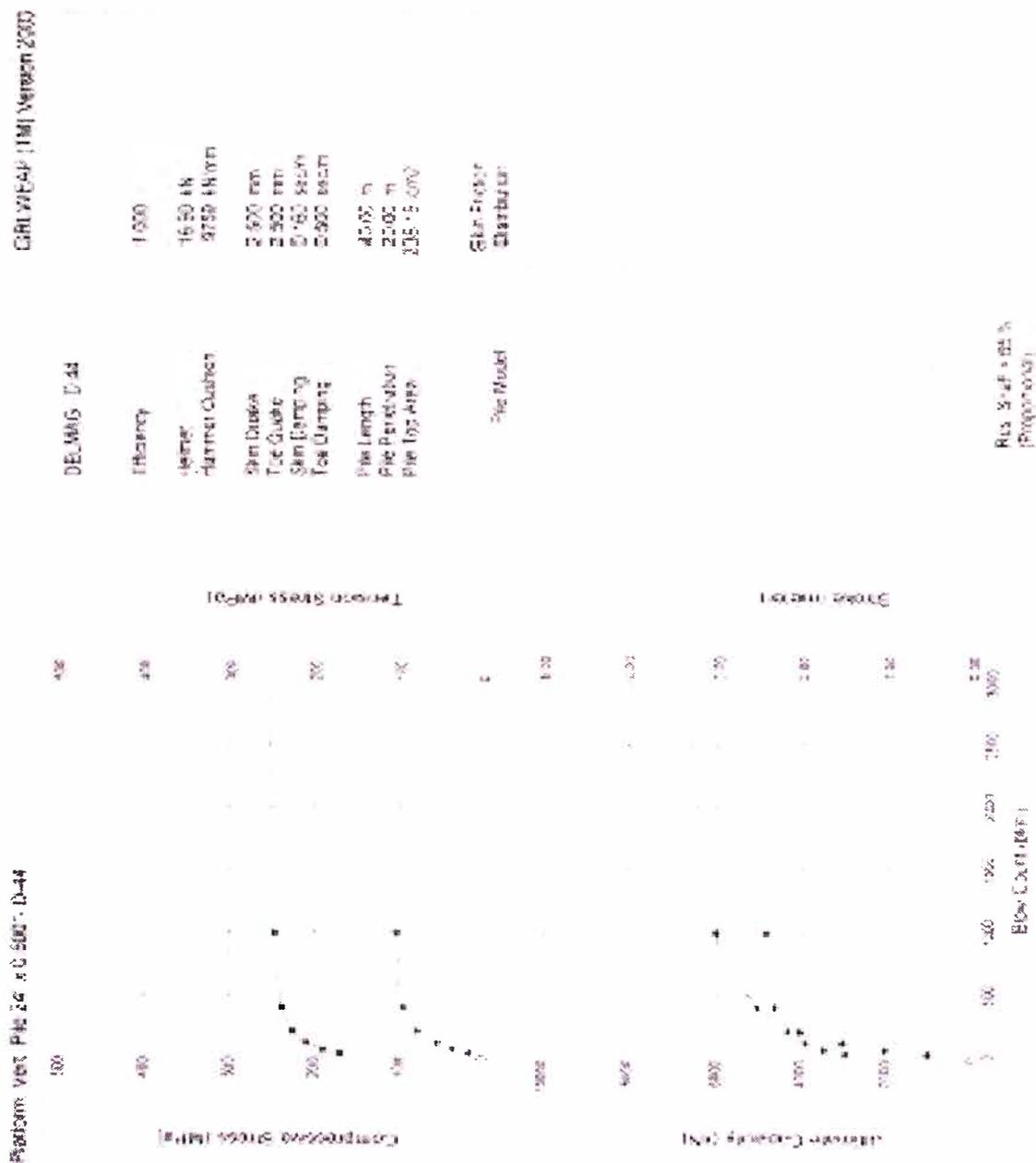
**FIG. N° 23**



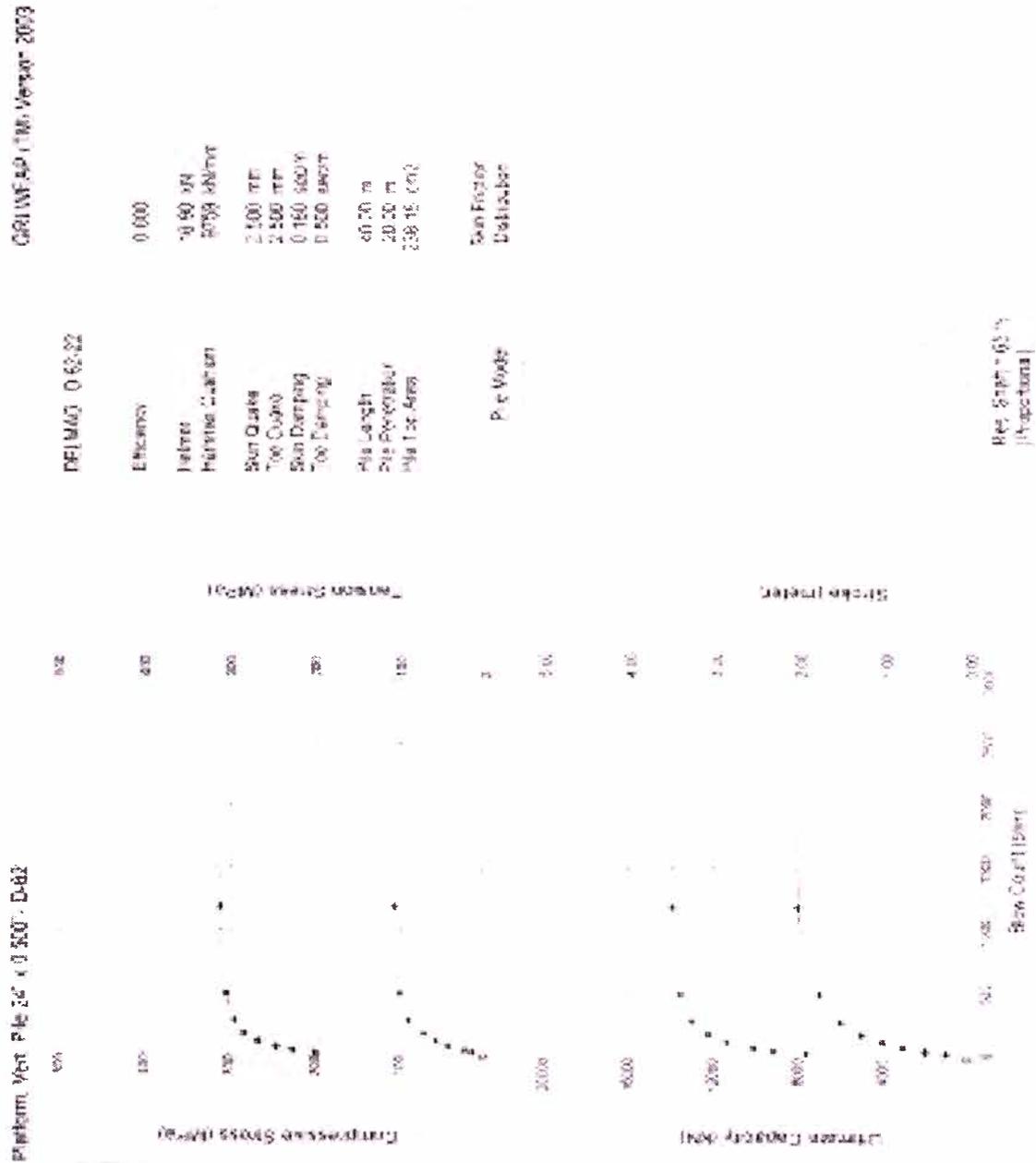
**GRLWEAP BEARING GRAPH**  
PLATFORM, BATTER PILE 30° x 0.625'. DELWAG D-44

FIG. N° 24





**GRLWEAP BEARING GRAPH**  
**PLATFORM, VERTICAL FILE 24 x 0.500. DELMAG D-44**  
**FIG. N° 26**



**GRLWEAP BEARING GRAPH**  
**PLATFORM, VERTICAL PILE 24" x 0,500', DELMAG D-62**  
**FIG N° 27**

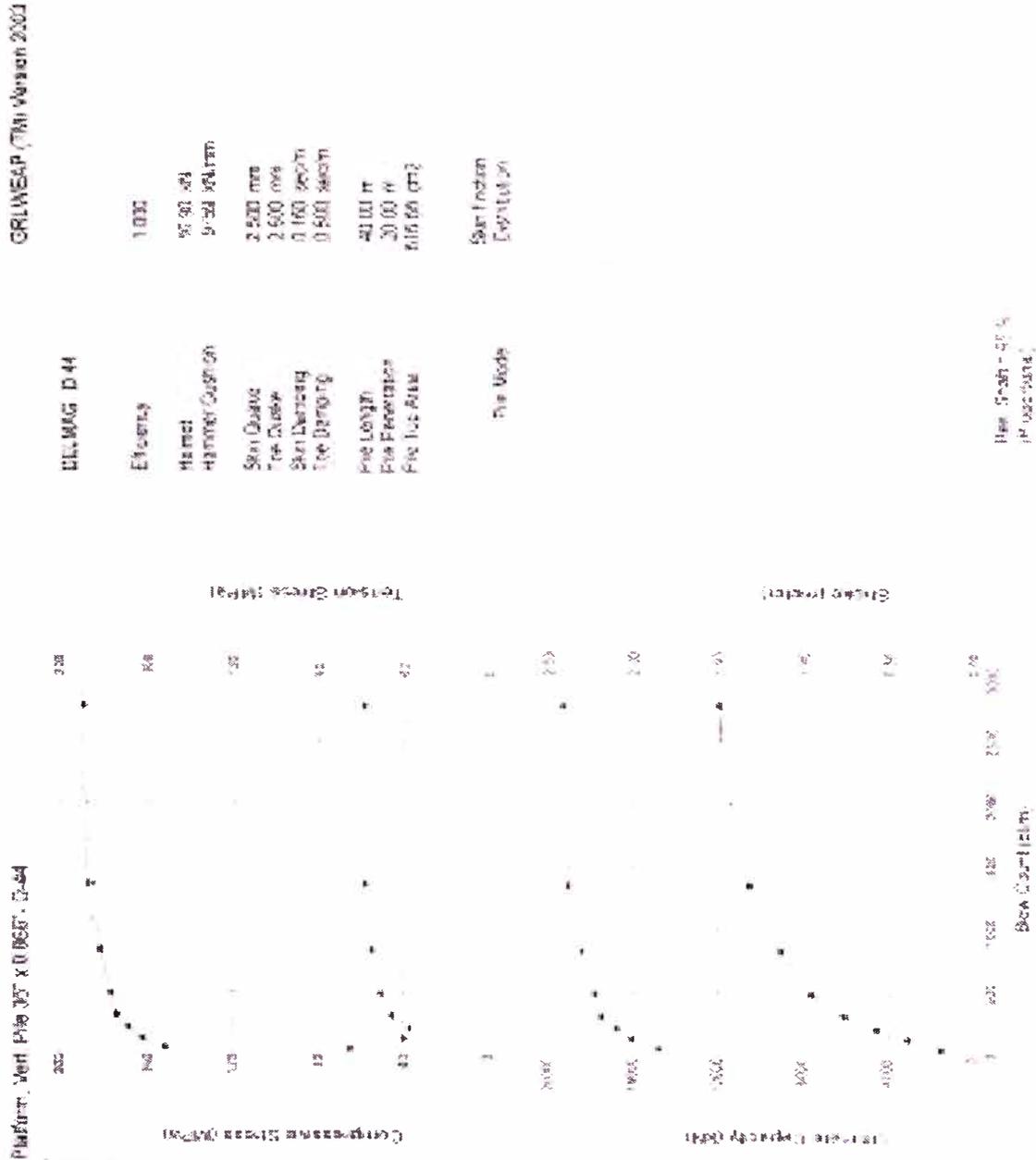
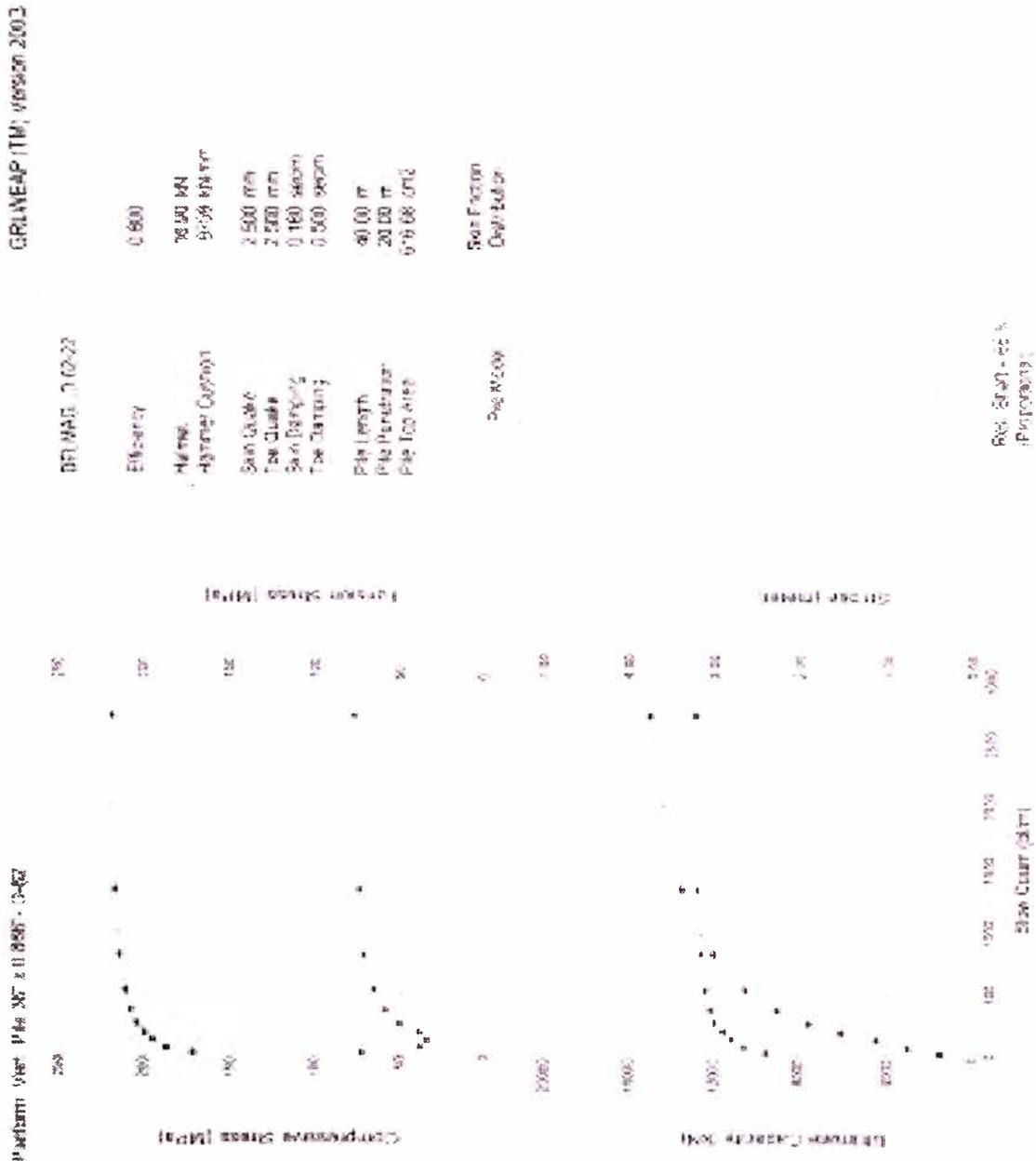
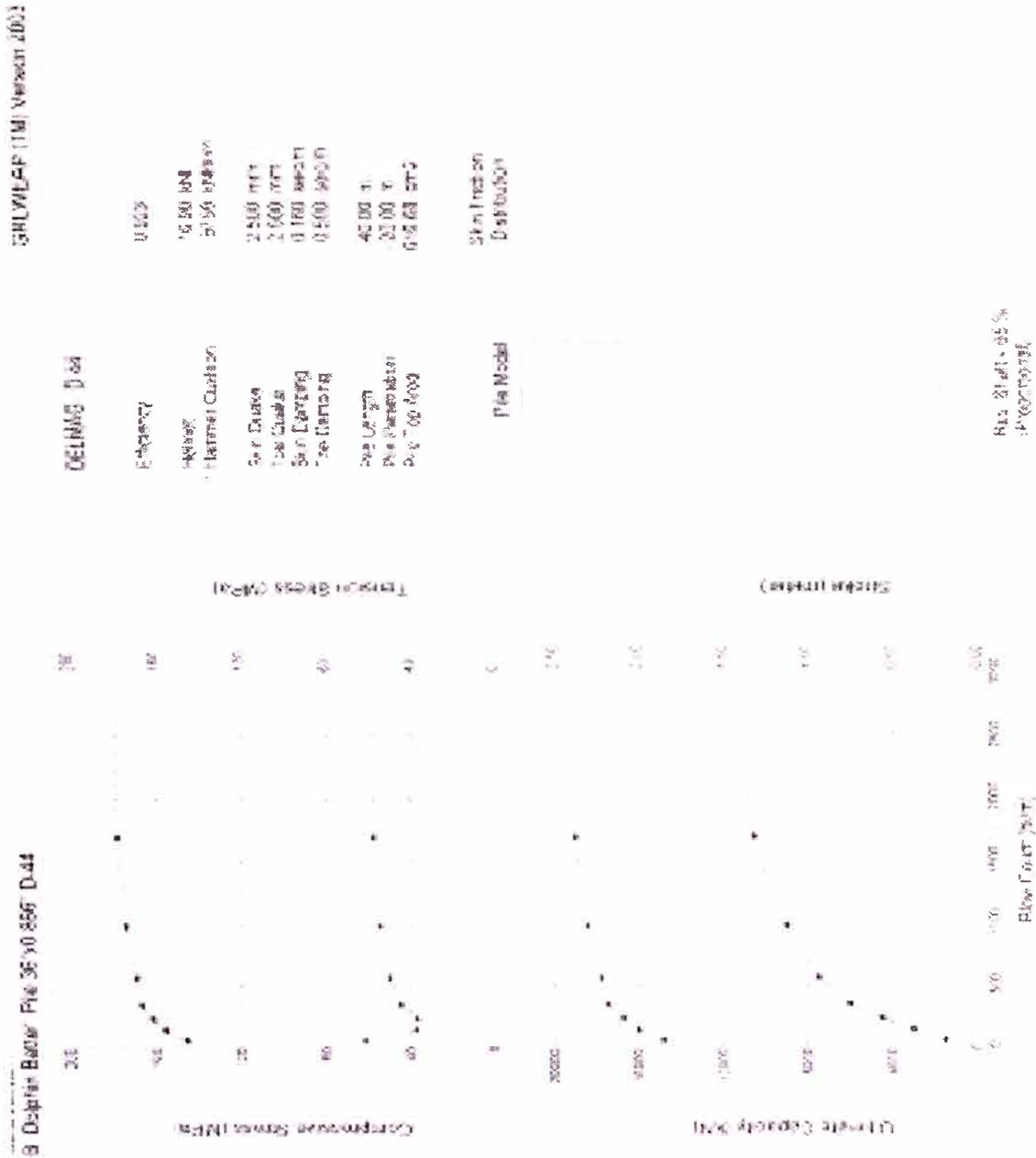


FIG. N° 28

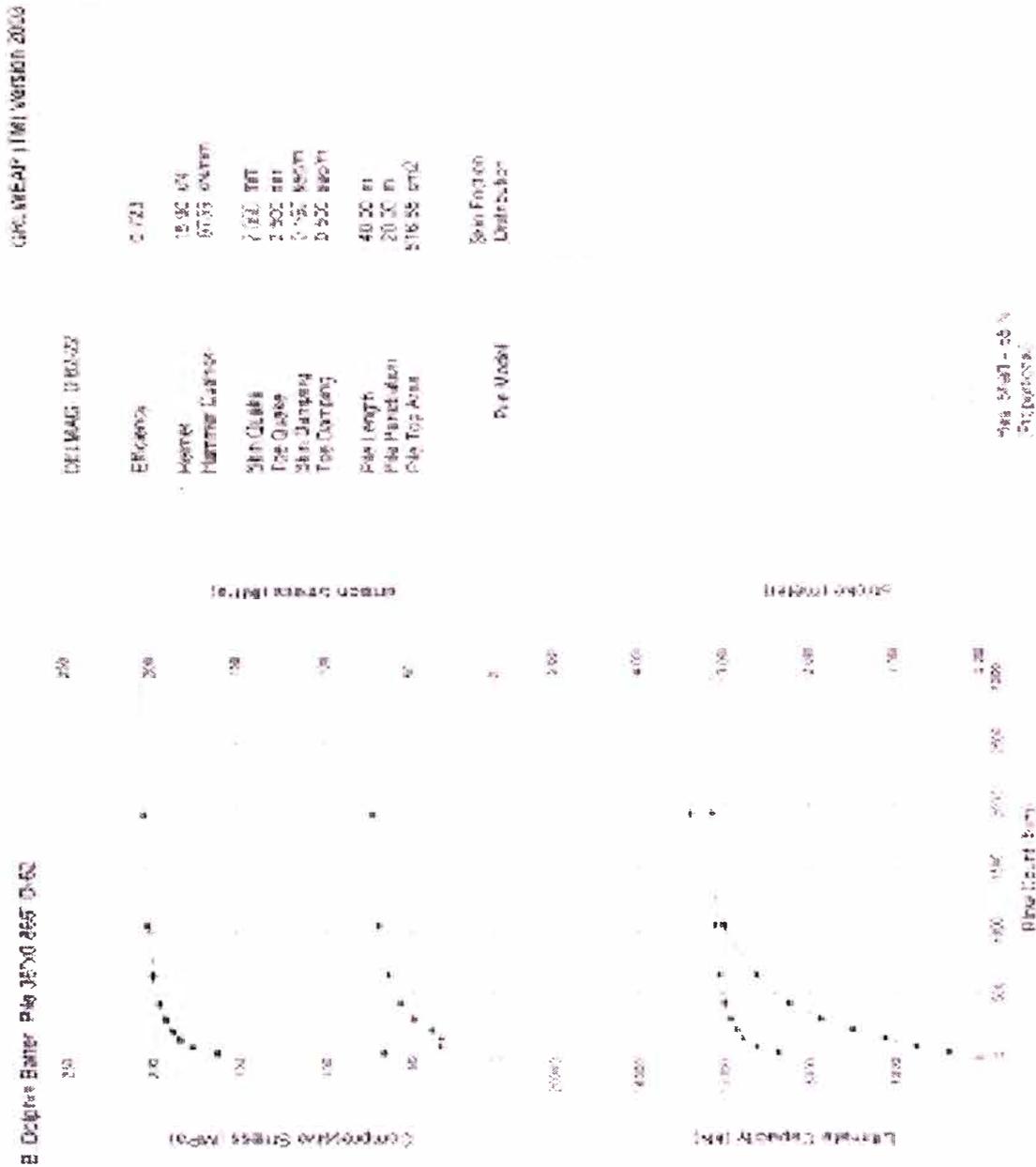


**GRLWEAP BEARING GRAPH**  
**PLATFORM, VERTICAL PILE 30" x 0,866". DELMAG D-62**

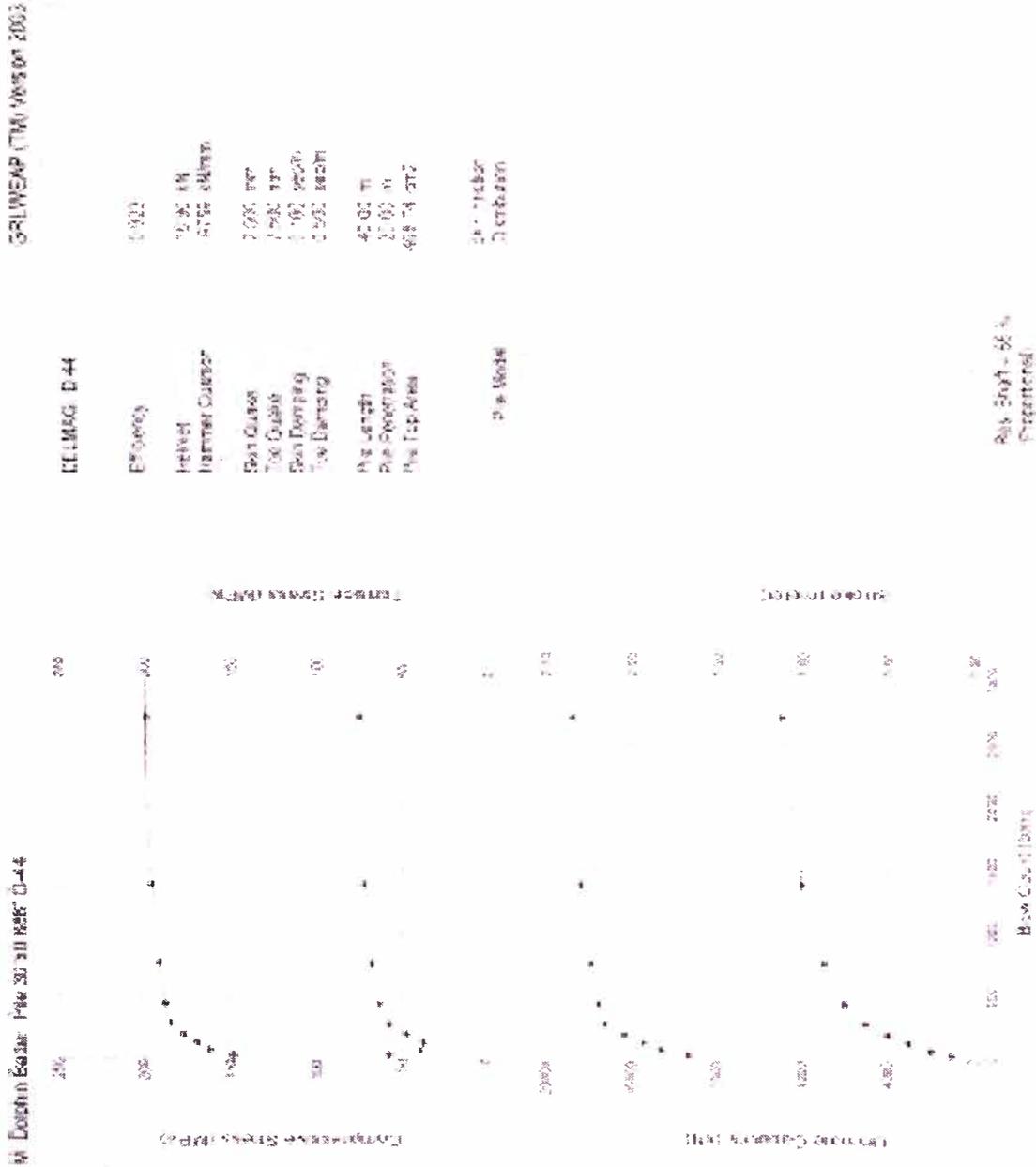
**FIG. N° 29**



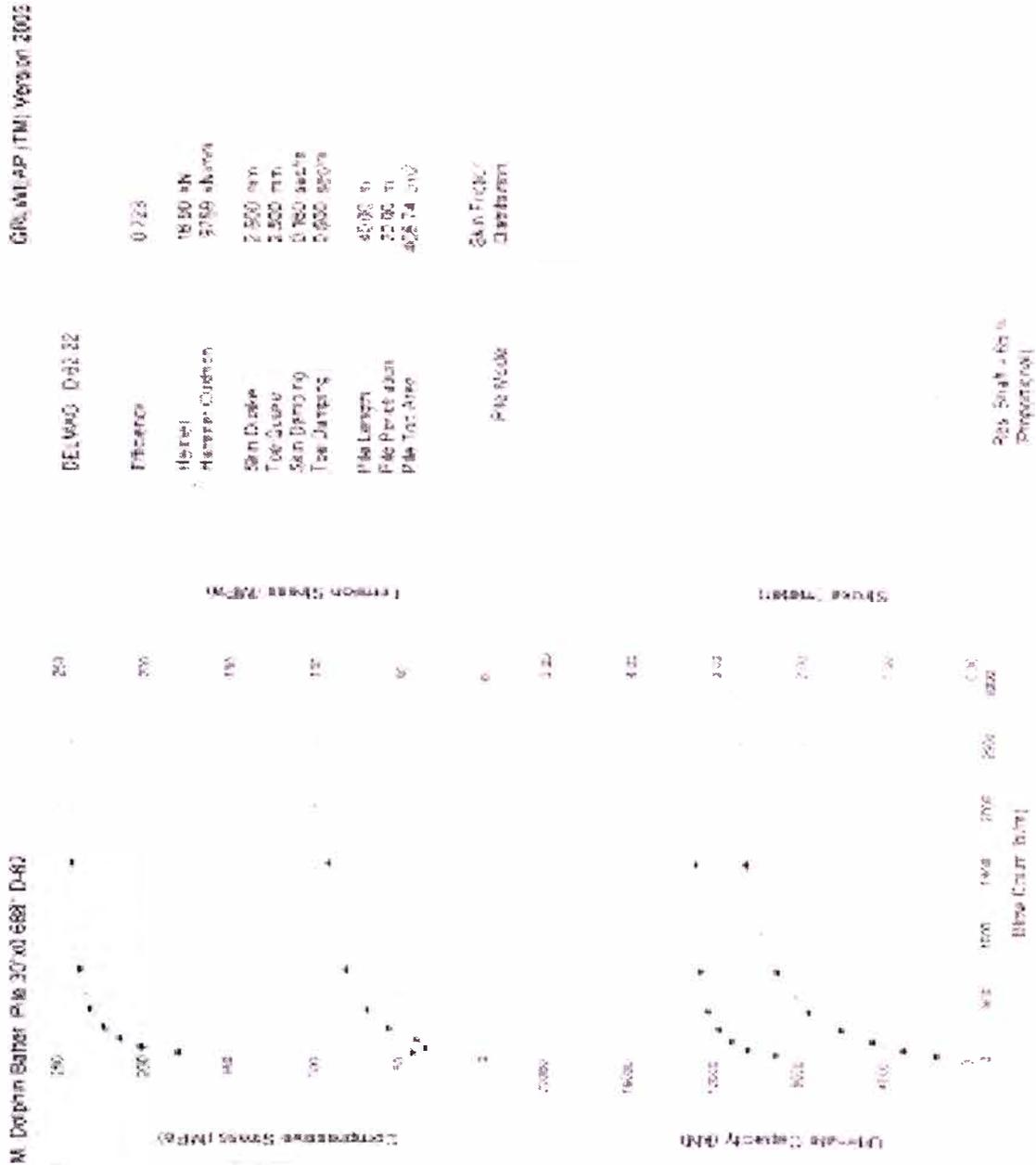
**GRLWEAP BEARING GRAPH**  
BERTHIN DOLPHIN, BATTER PILE 36° x 0,865°, GELMAG D-64  
FIG. N° 30



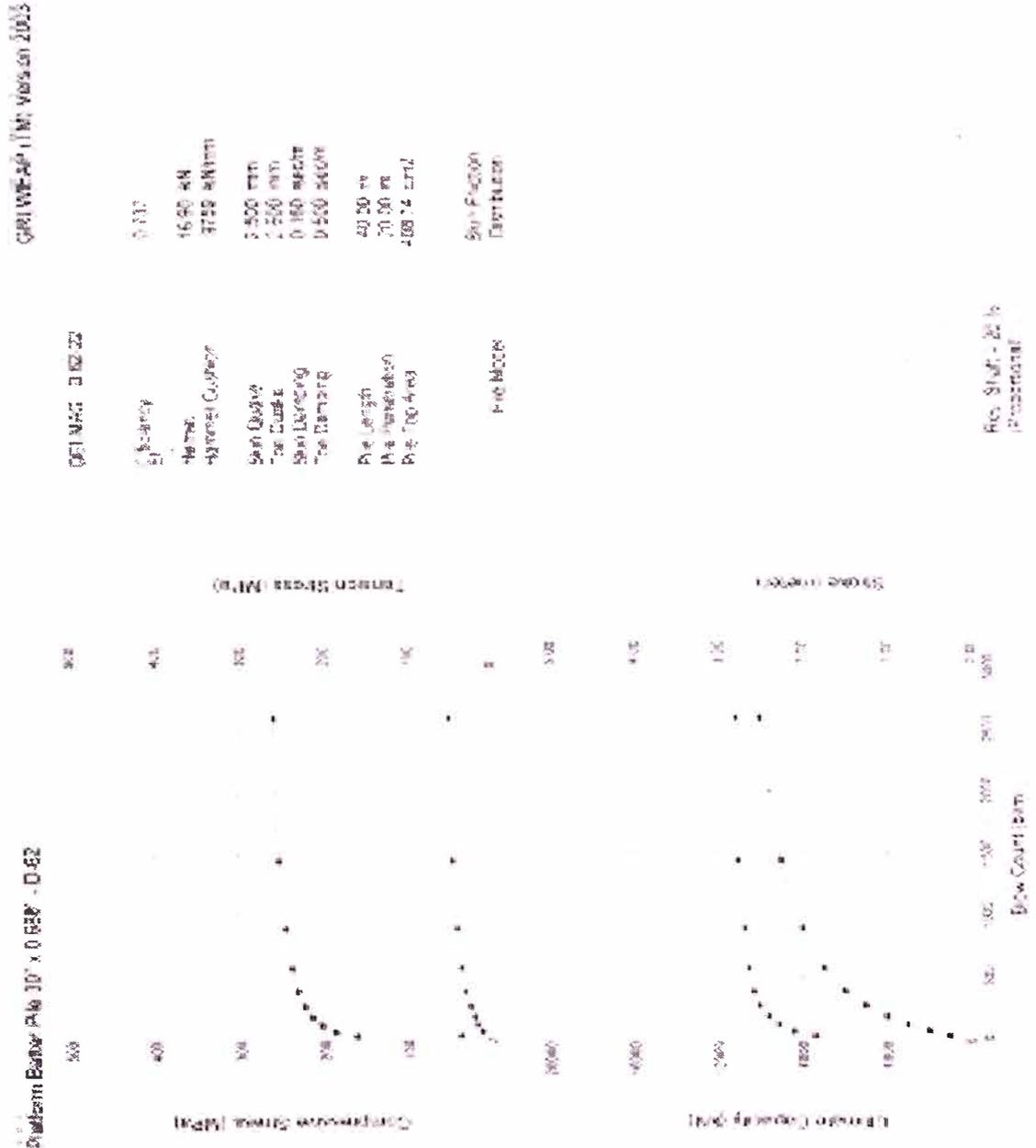
**GRLWEAP BEARING GRAPH**  
**DELTA BATTER PILE 36" x 0.866" DELMAG D-82**  
**FIG. N° 31**



**GRLWEAP BEARING GRAPH**  
**MOORING DOLPHIN, BATTER PILE 30" x 0,688". DELMAG 0-44**  
**FIG. N° 32**



**GRLWEAP BEARING GRAPH**  
**MOORING DOLPHIN, BATTER PILE 30' x 0.688' DELMA0 D-62**  
**FIG. N° 33**



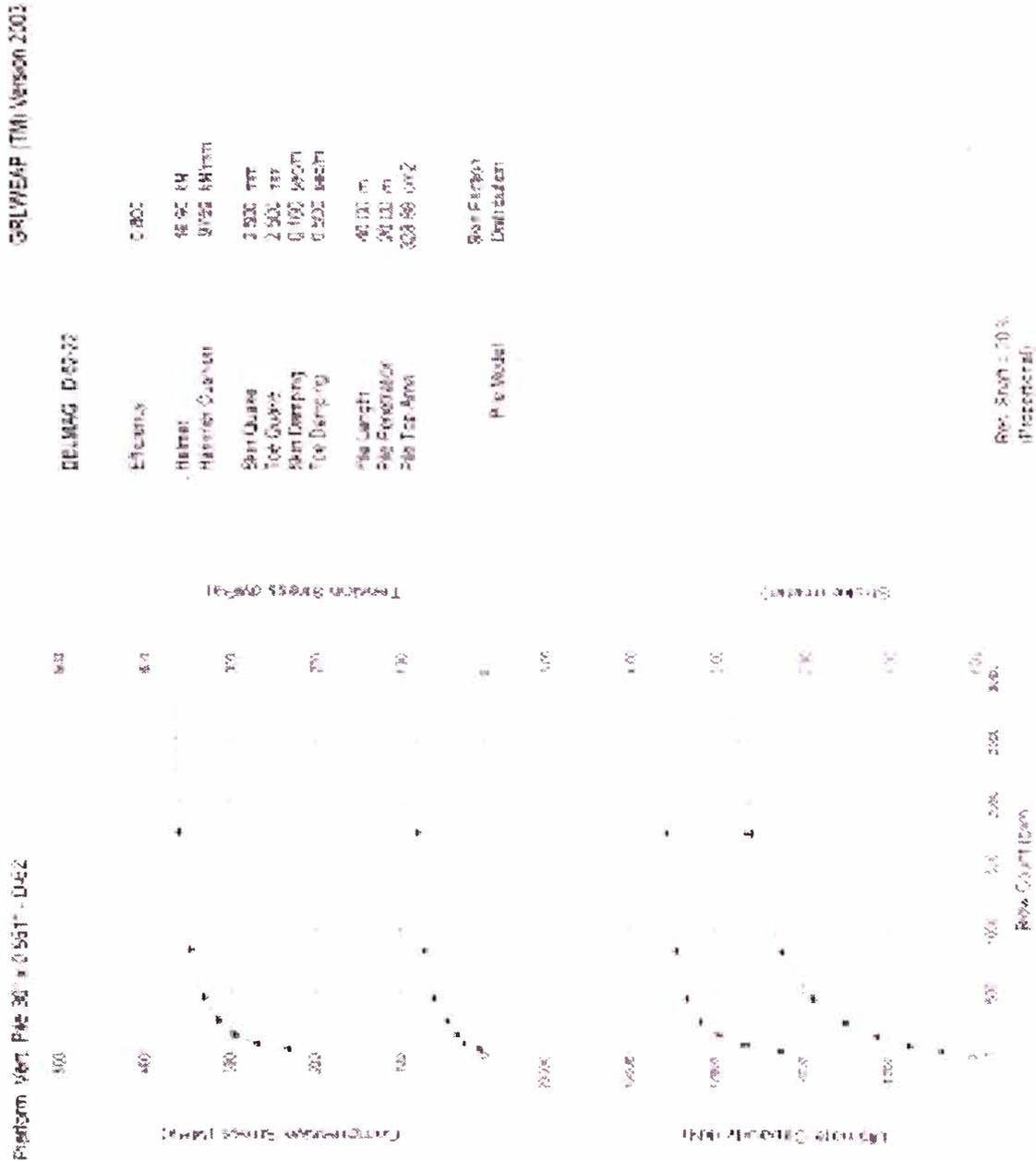
**GRLWEAP BEARING GRAPH**  
**PLATFORM, BATTER PILE 30" x 0.688". DELMAG D-44**

**FIG. N° 34**

GRLWEAP (1)M: version 2003

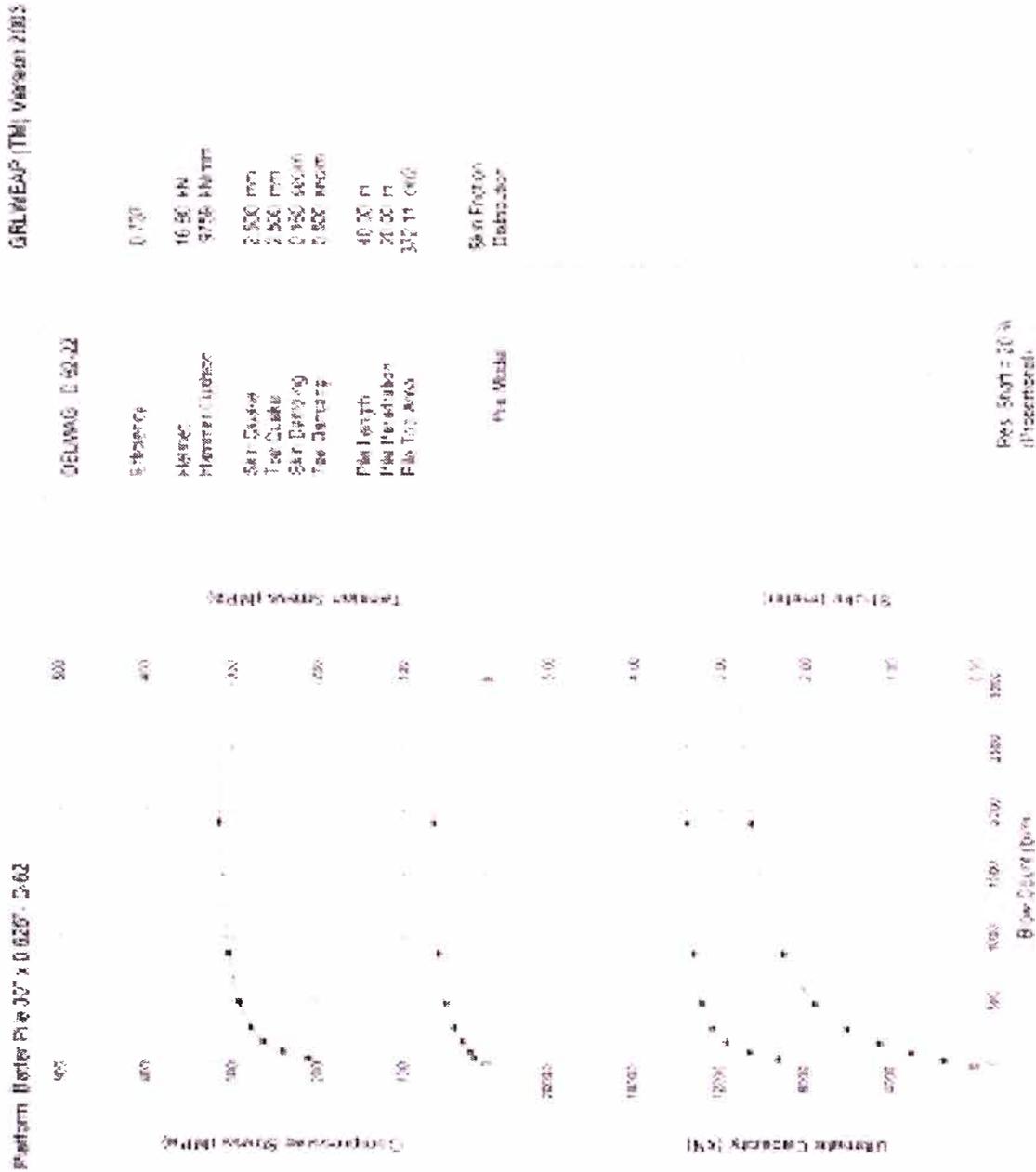
DEL MAG D-44	
Capacity	0.117
Height	16.90 m
Horizontal Capacity	3759 kN/m
Soil Quality	3-500 mm
Top Capable	2-500 mm
Soil Density	0.180 mg/cm <sup>3</sup>
Top Diameter	0.500 m
Pile Length	40.00 m
Pile Perimeter	70.00 m
Pile Top Area	2.0074 m <sup>2</sup>
Soil Friction Distribution	Soil Friction Distribution

Res. Staff - 2016  
Procedente:

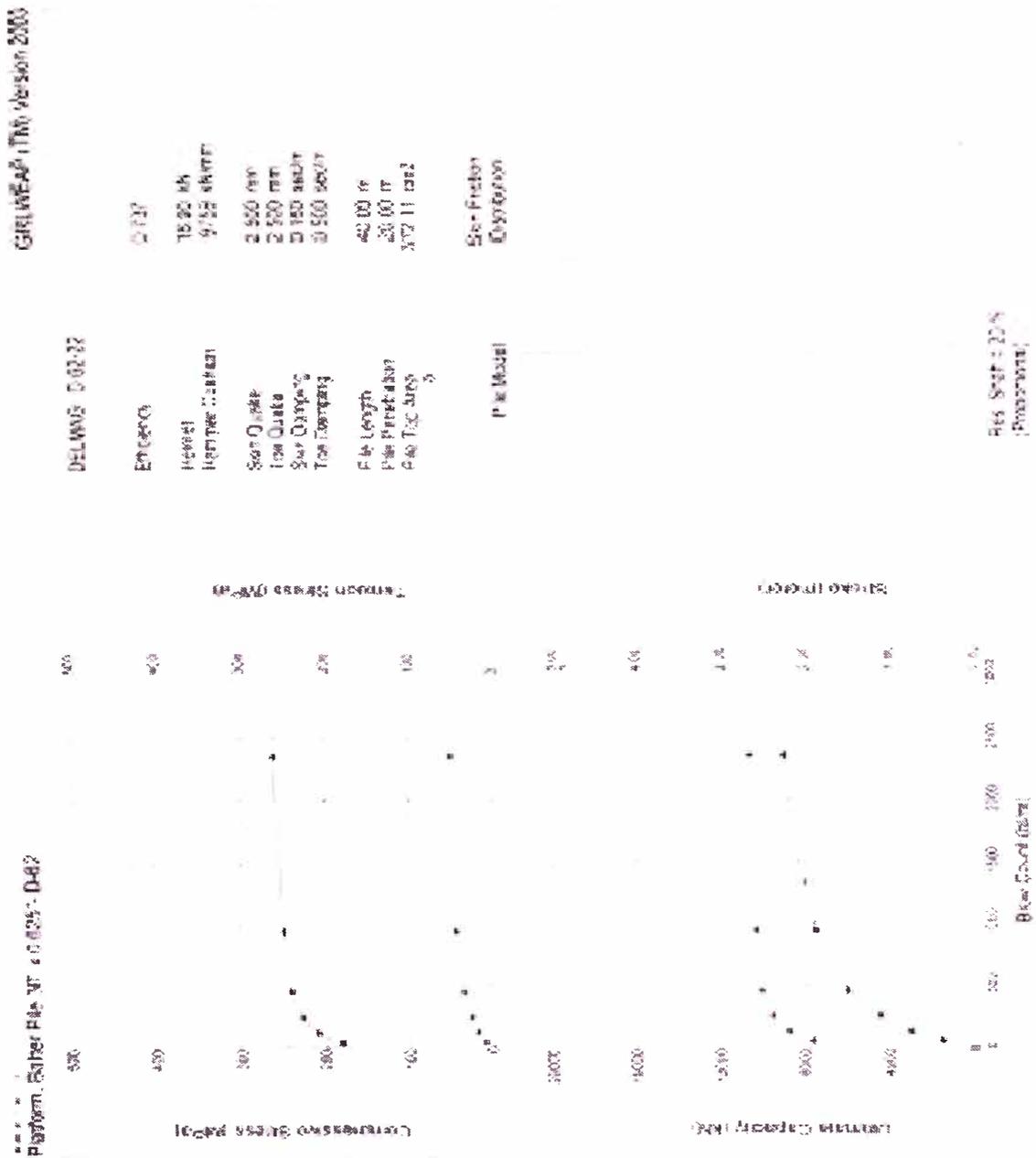


**GRLWEAP BEARING GRAPH**  
**PLATFORM, BATTER PILE 30" x 0.581". DELWAG D-62**  
**FIG. N° 35**

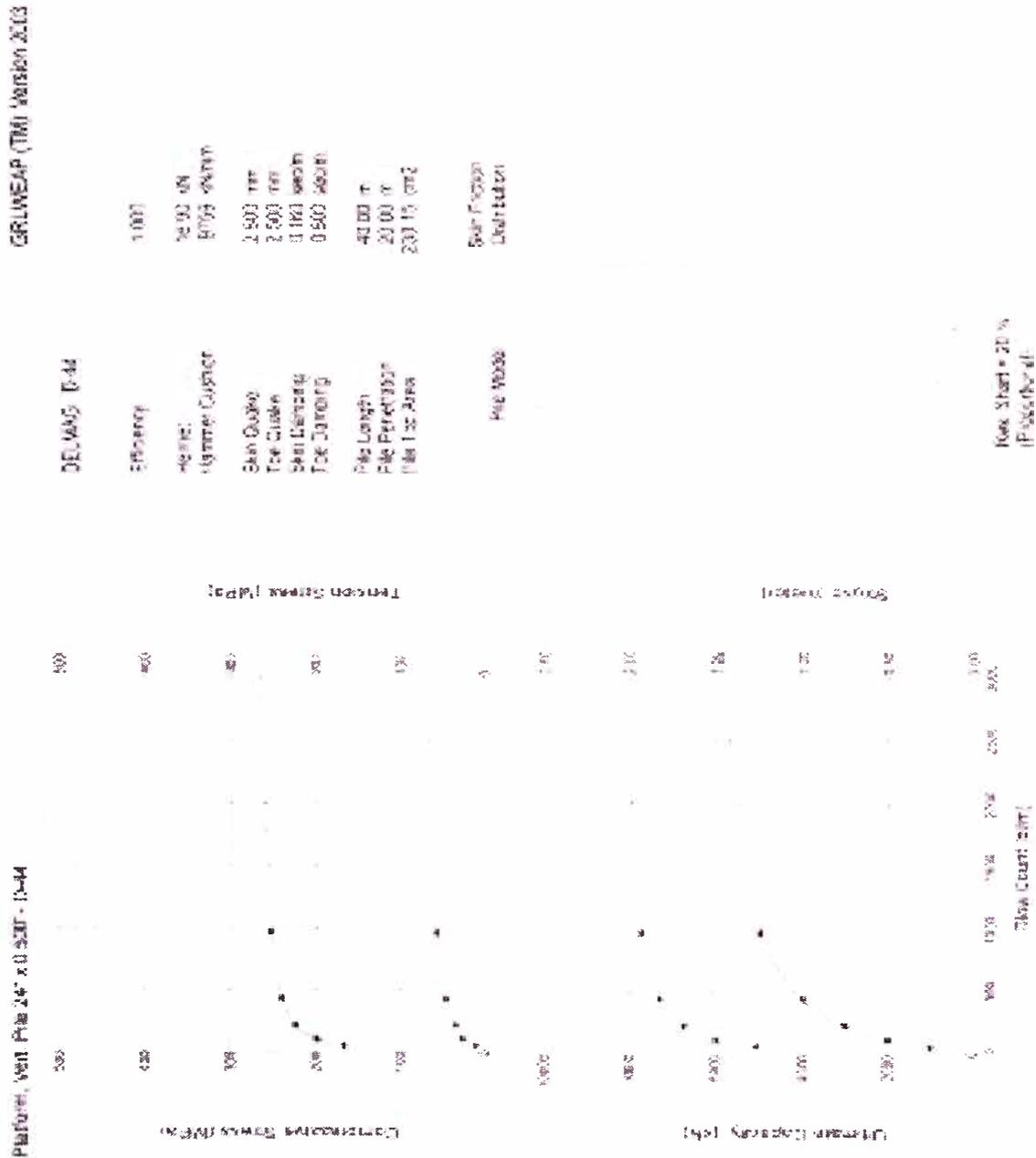




**GRLWEAP BEARING GRAPH**  
**PLATFORM, VERTICAL PILE 30" x 0,551". DELMAG D-62**  
**FIG. N° 37**

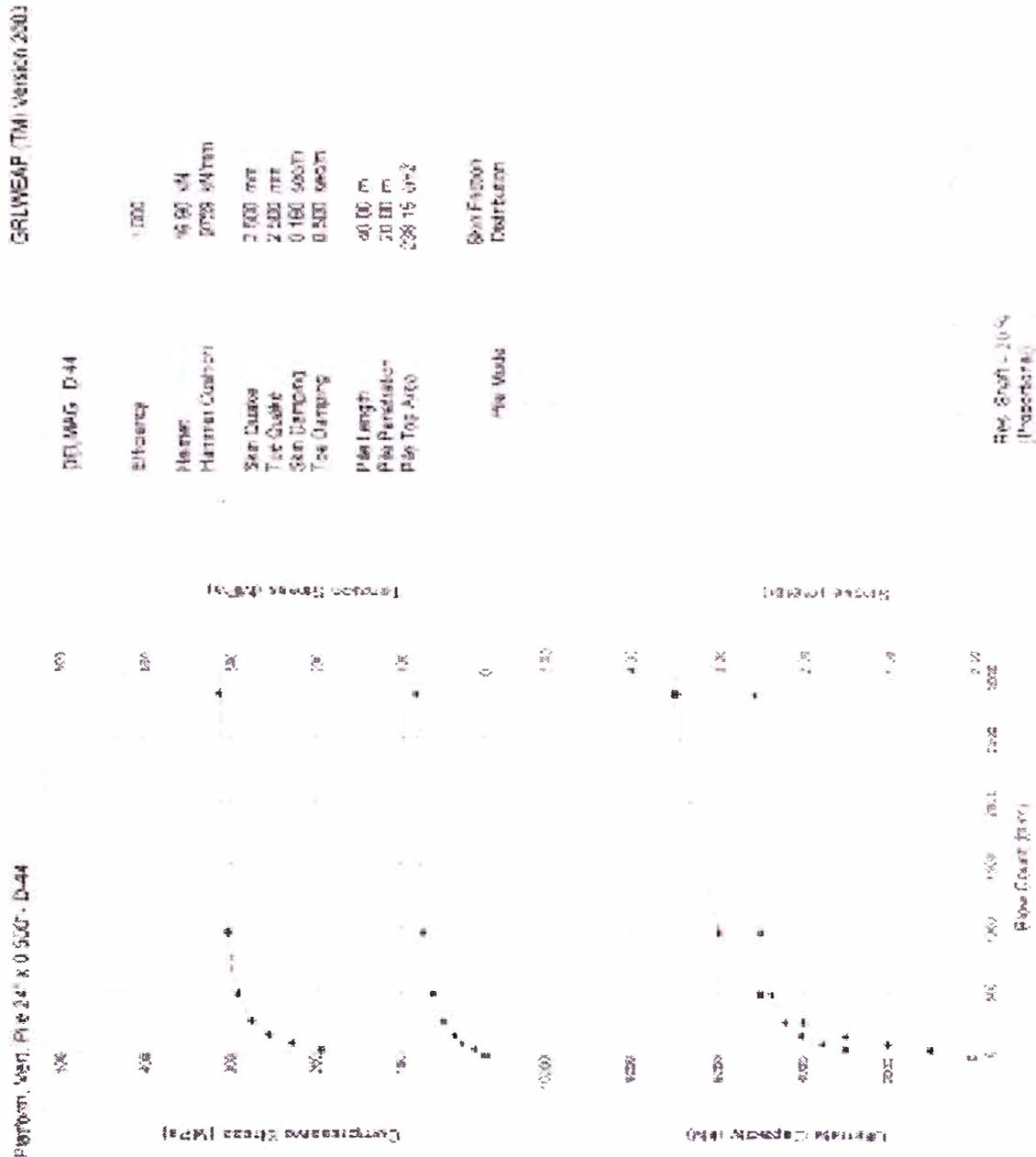


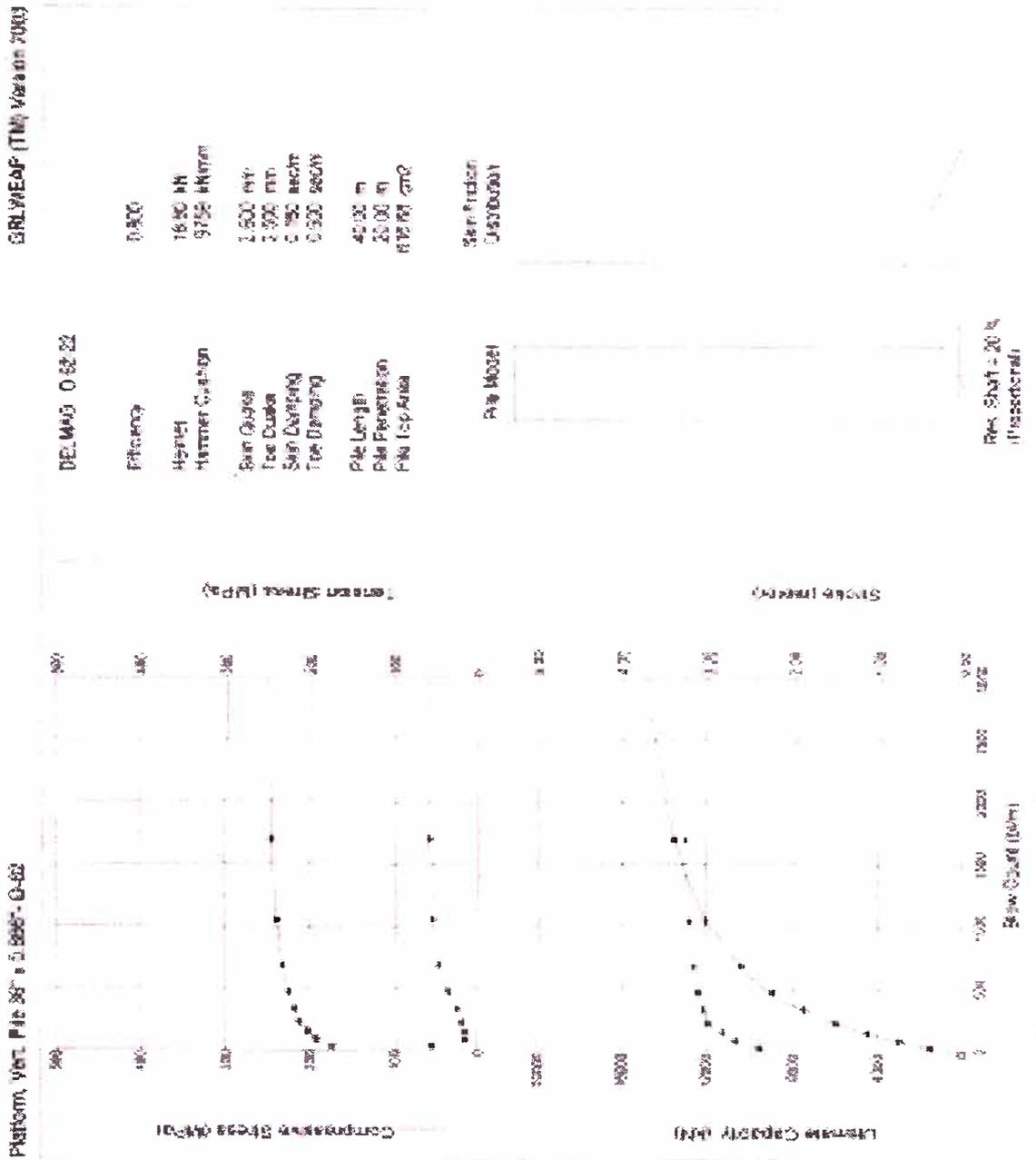
**GRLWEAP BEARING GRAPH**  
**PLATFORM, BATTER PILE 20" x 0.625". DELMAG D-4A**  
**FIG. N° 38**



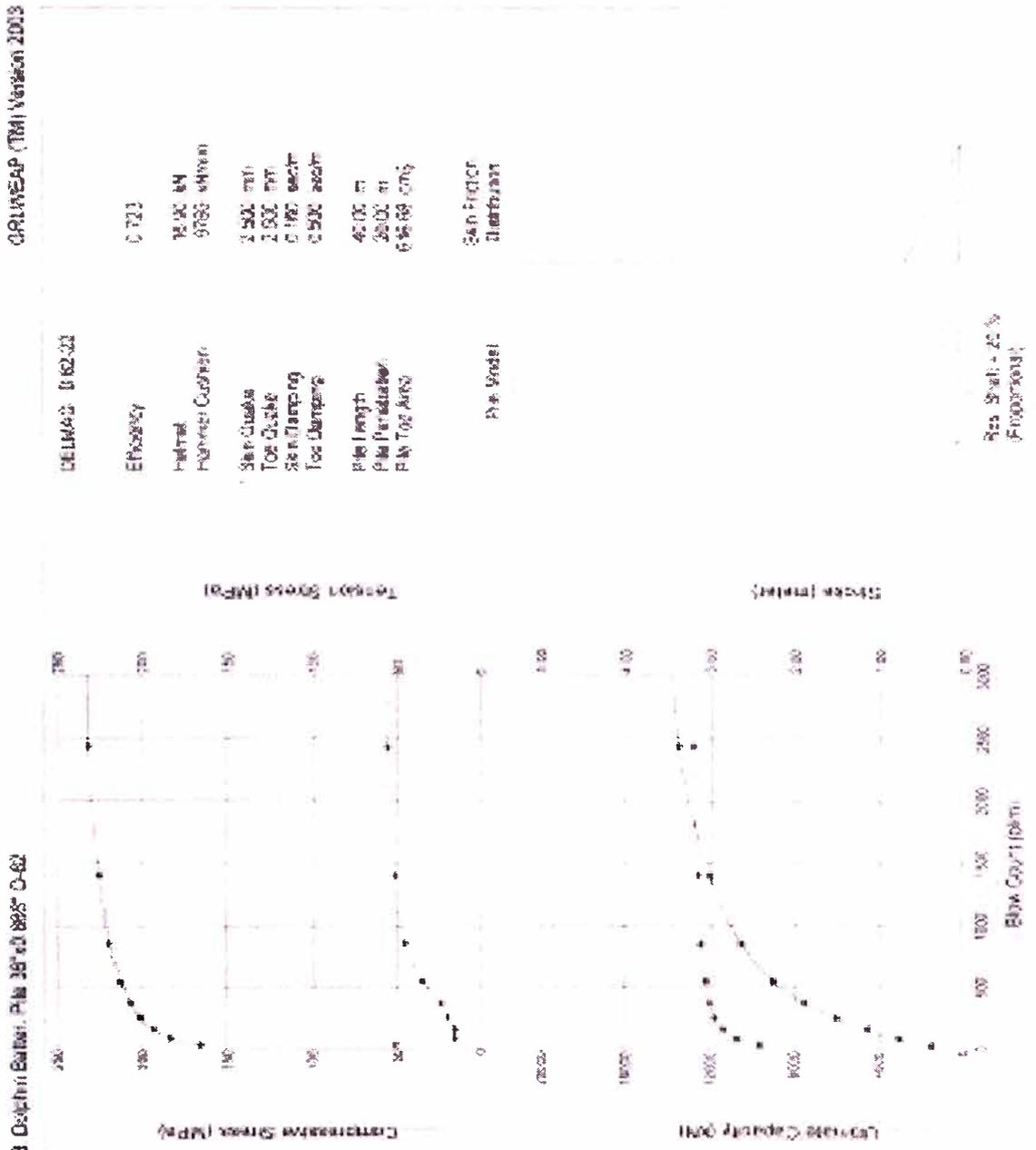
**GRLWEAP BEARING GRAPH**  
**PLATFORM, VERTICAL PILE 24" x 0.500". DELMAG D-44 (Pile setting 10)**

FIG. N° 39

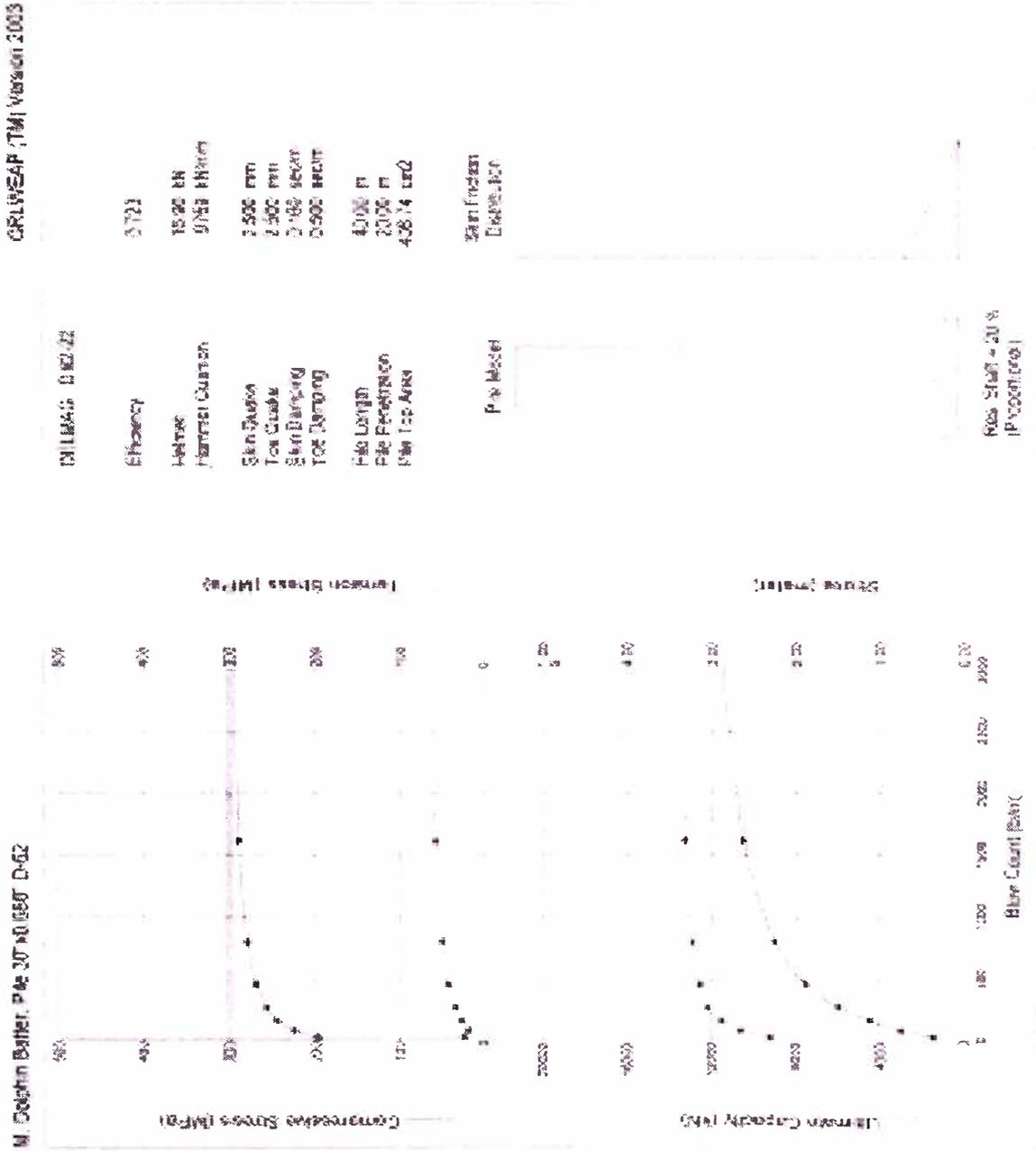




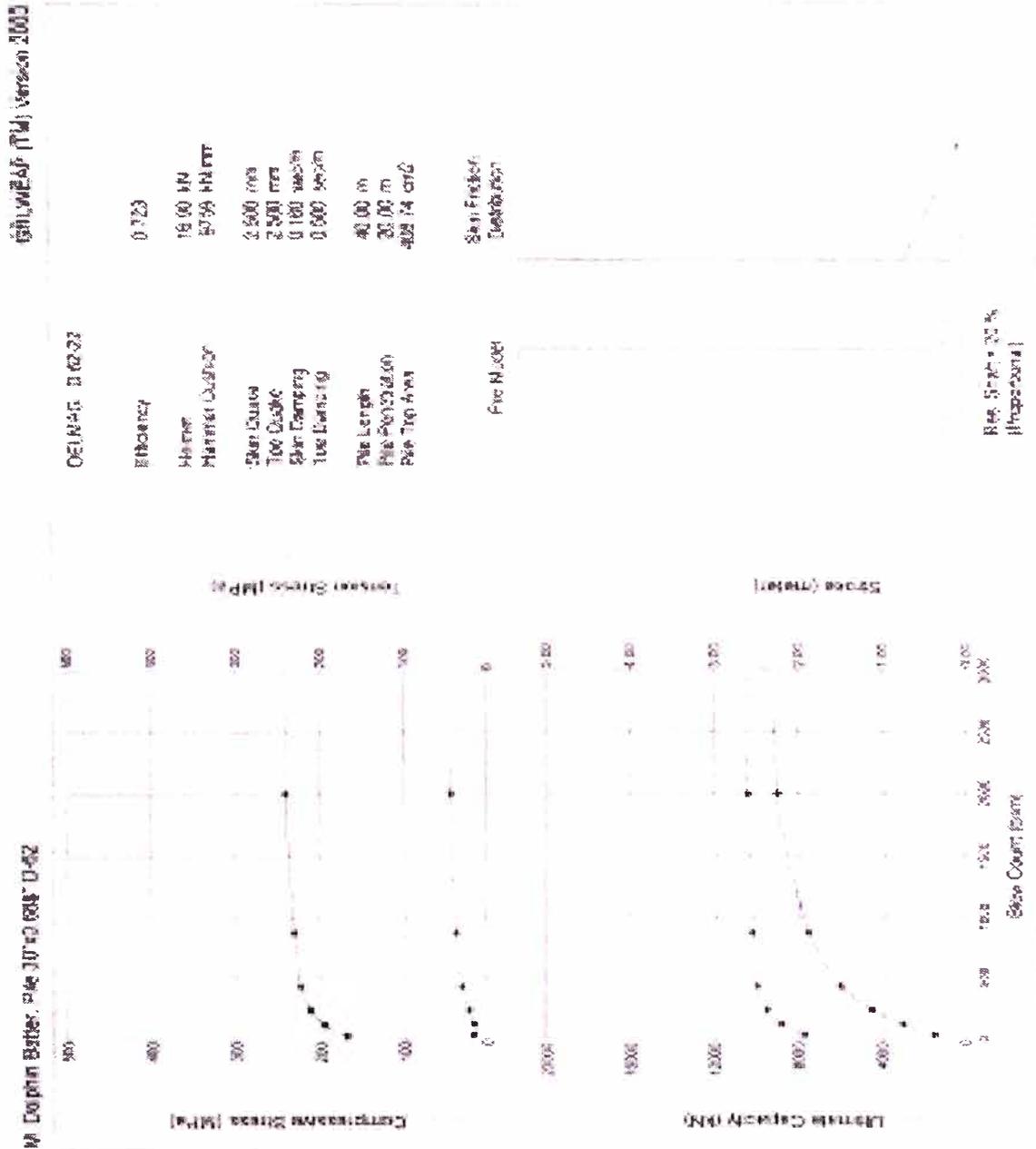
**GRLWEAP BEARING GRAPH**  
**PLATFORM, VERTICAL PILE 36" x 0.666" DELMAG D-62**  
**FIG. N° 41**



**GRLWEAP BEARING GRAPH**  
BERTHON DOLPHIN BATTER PILE 36" x 0.866'. DELMAG D-52  
FIG. N 42



**GRLWEAP BEARING GRAPH**  
**MOORING DOLPHIN, BATTER PILE 30" x 0.866", CELMAG D-62 (Fuel setting 4)**  
**FIG. N 43**



**GRLWEAP BEARING GRAPH**  
**MOORING DOLPHIN, BATTER PILE 30" x 0,866". DELMAG D-62 (Fuel setting 2)**

**FIG. N° 44**

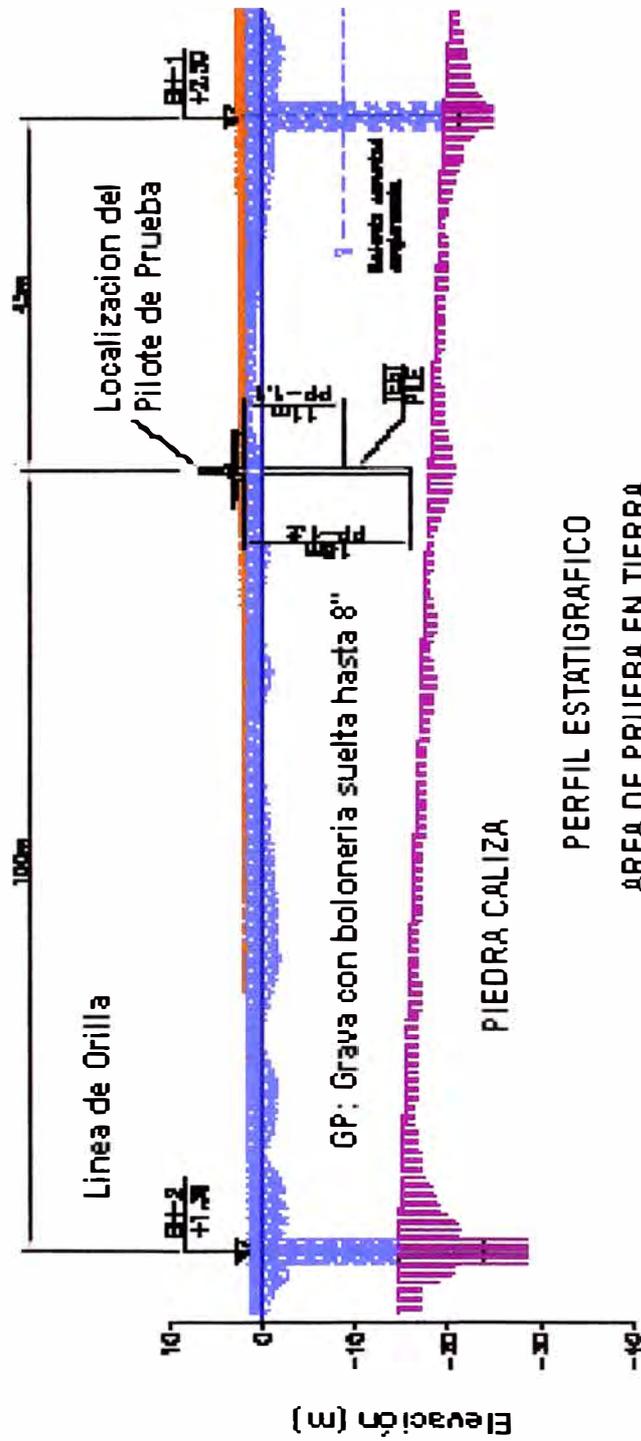


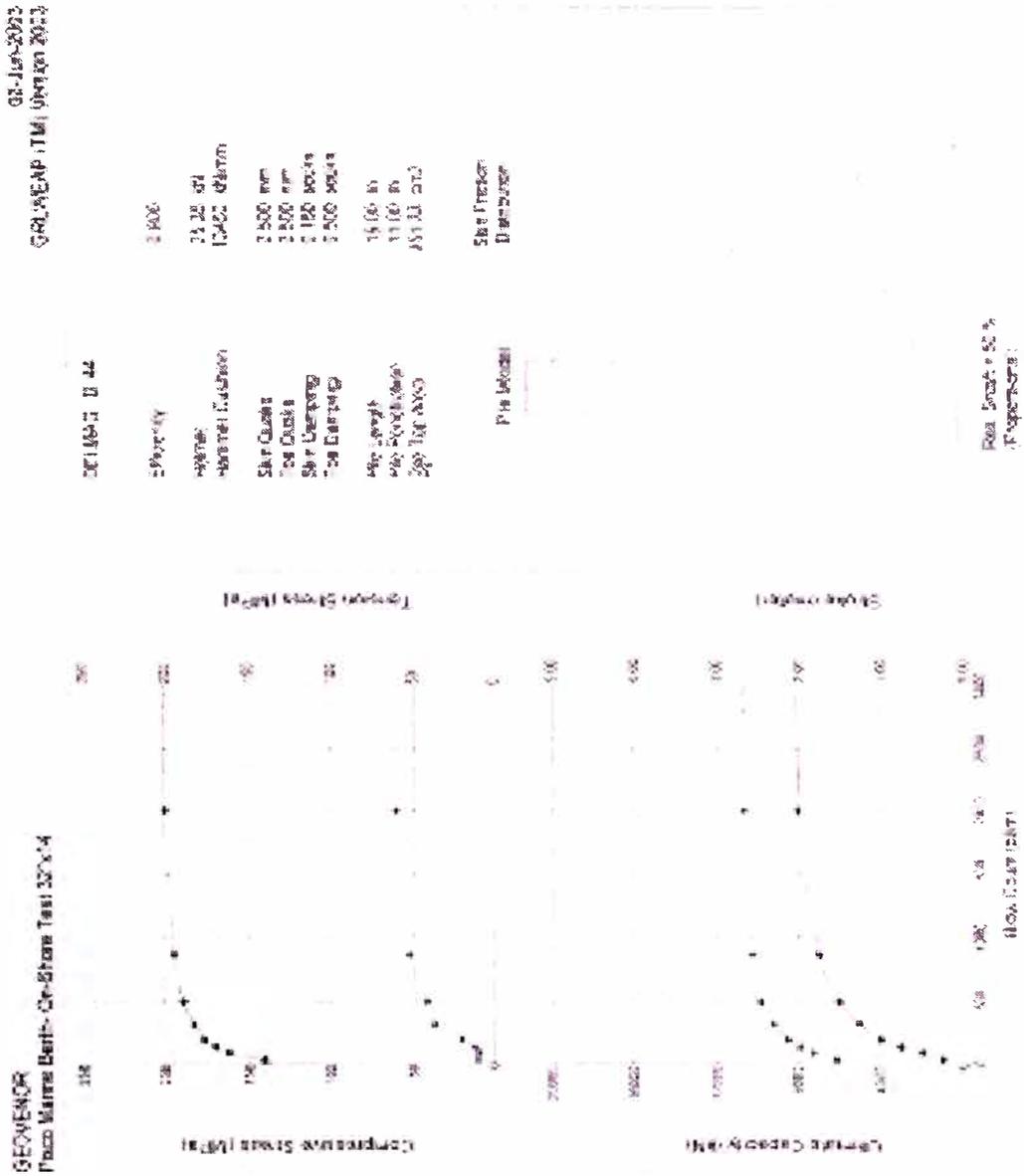
FIG. N° 03







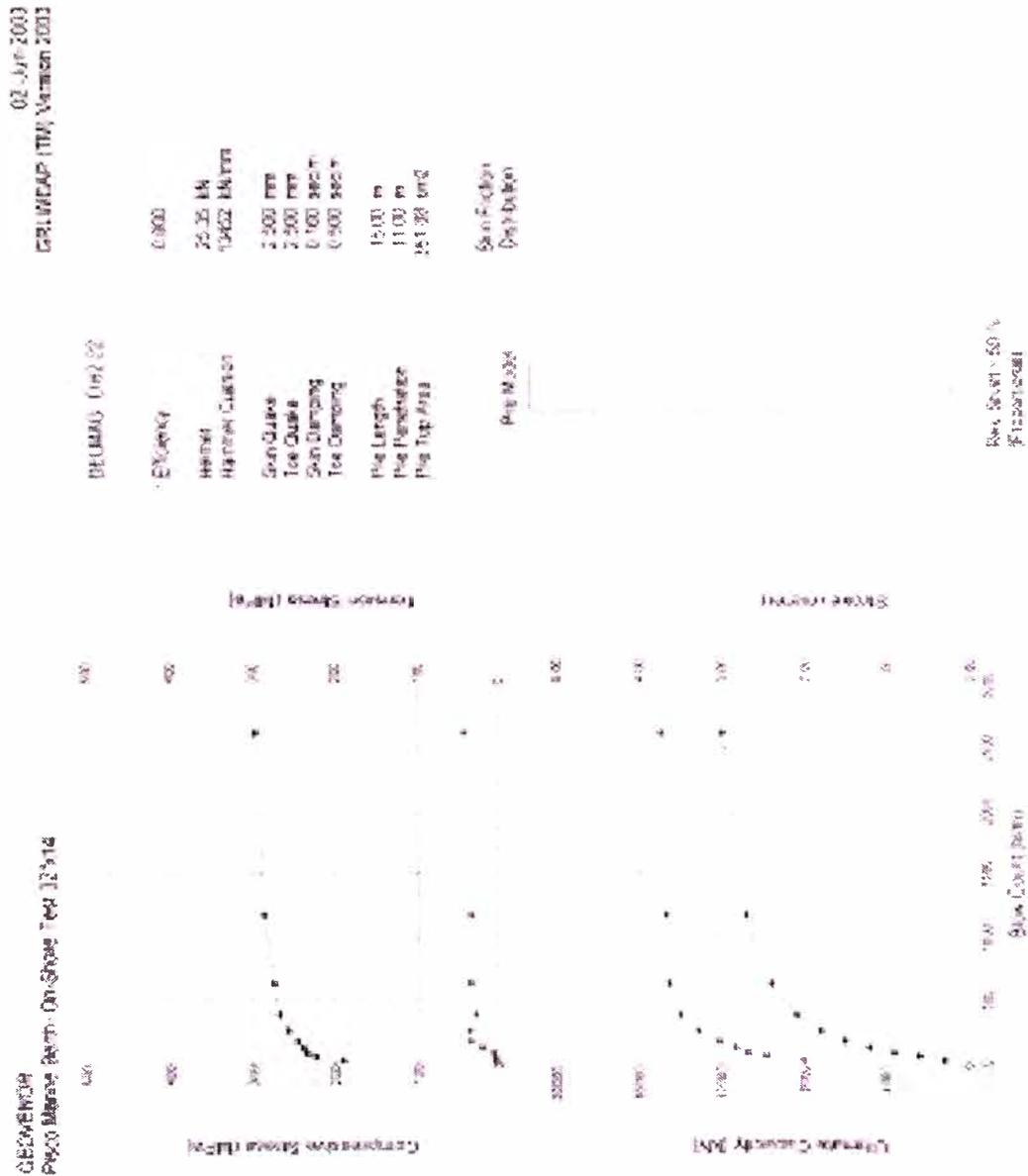




**CONDUCTIBILIDAD Y ANALISIS DEL PILTE DURANTE LA HINCA**  
Penetración del pilote = 11.00 m

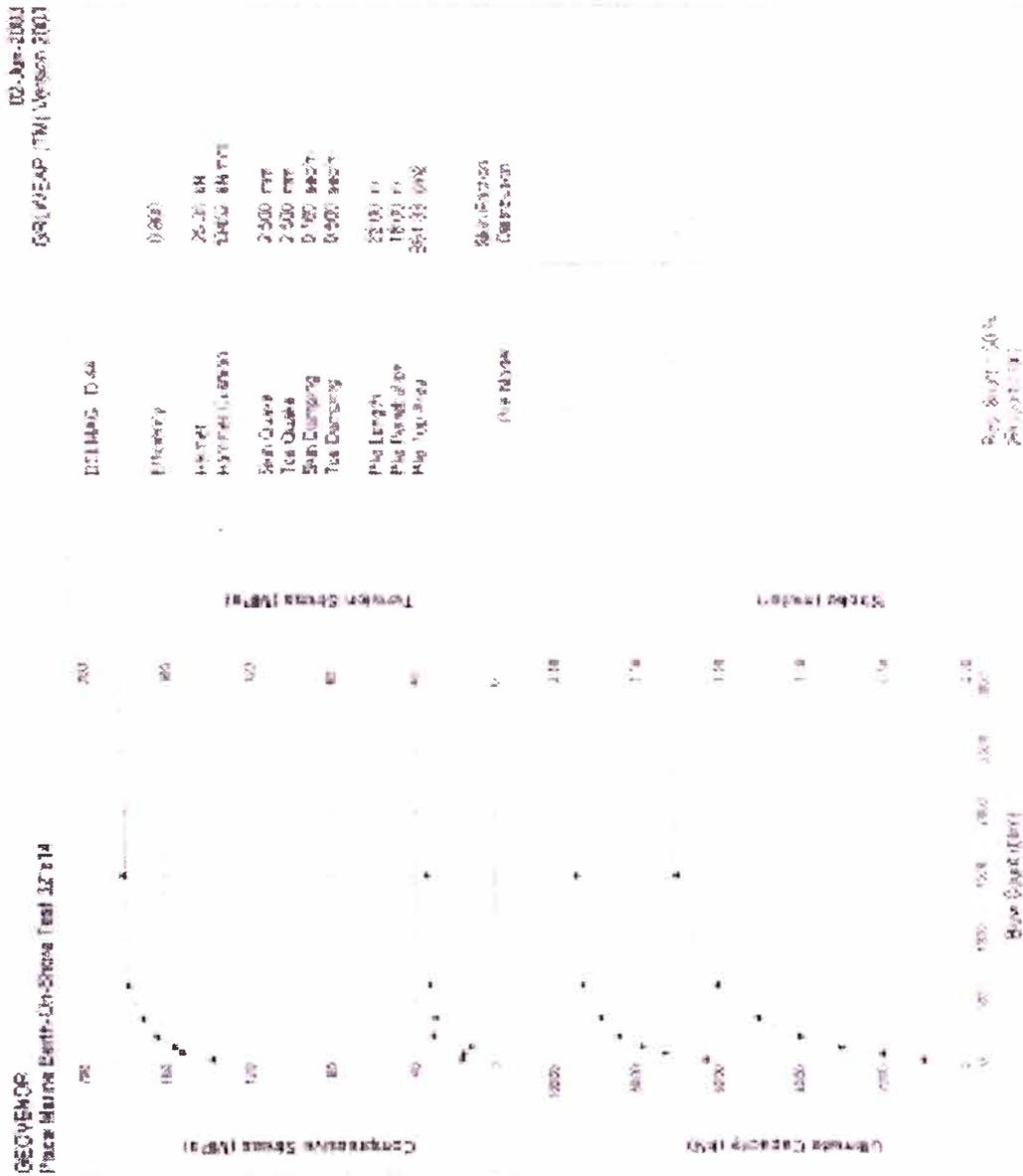
Martillo Delmag D-44 - Capacidad del Embolo 60%

FIG. N° 08



**CONDUCTIBILIDAD Y ANALISIS DEL PILTE DURANTE LA HINCA**  
Penetración del pilote = 11.00 m  
Martillo Delmag D62-22 - Capacidad del Embolo 60%

FIG. N° 09



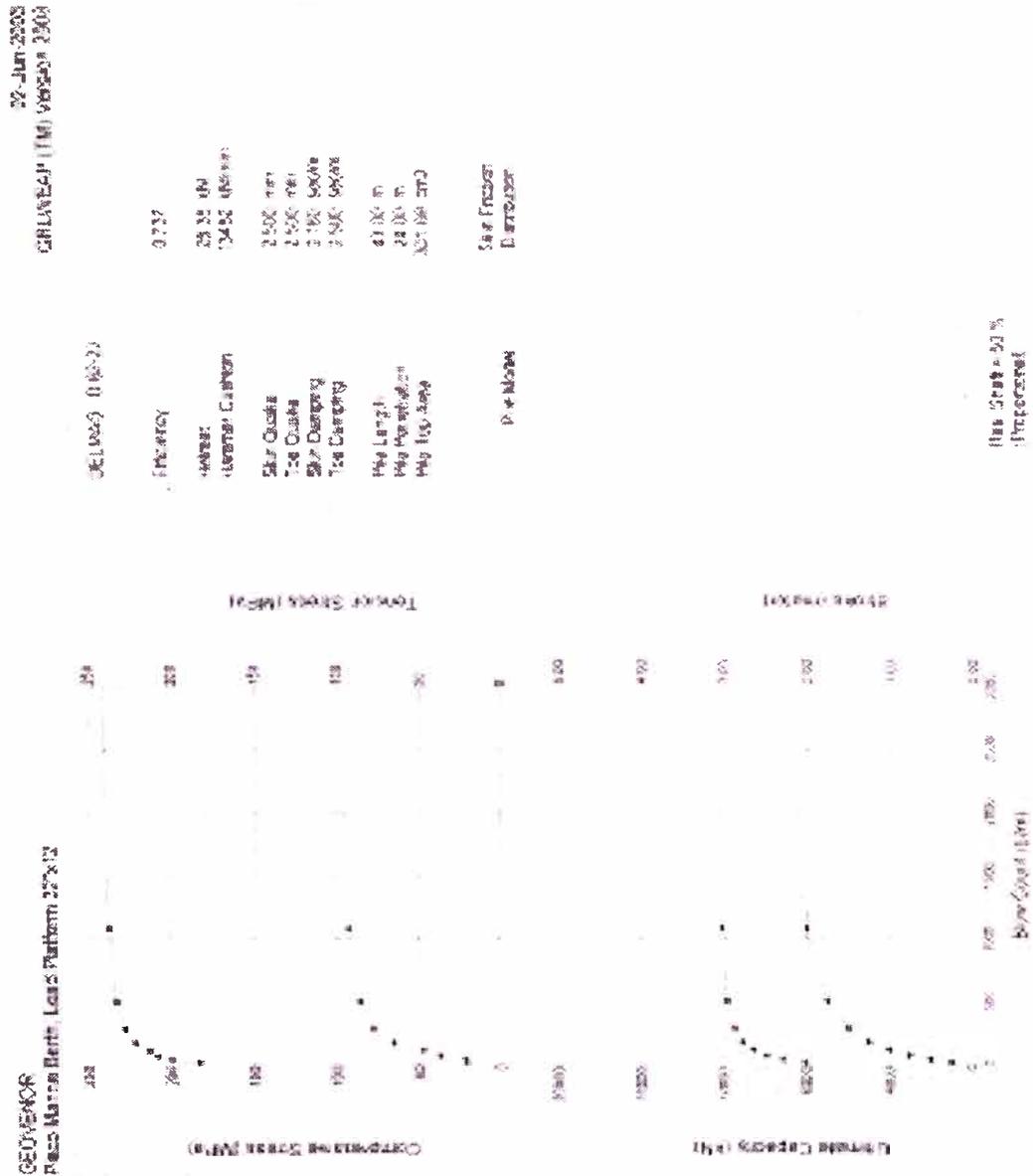
**CONDUCTIVIDAD Y ANALISIS DEL PILTE DURANTE LA HINCA**  
Penetración del pilote = 18.00 M.

Martillo Delmag D-44 - Capacidad del Embolo 60%

FIG. N° 10







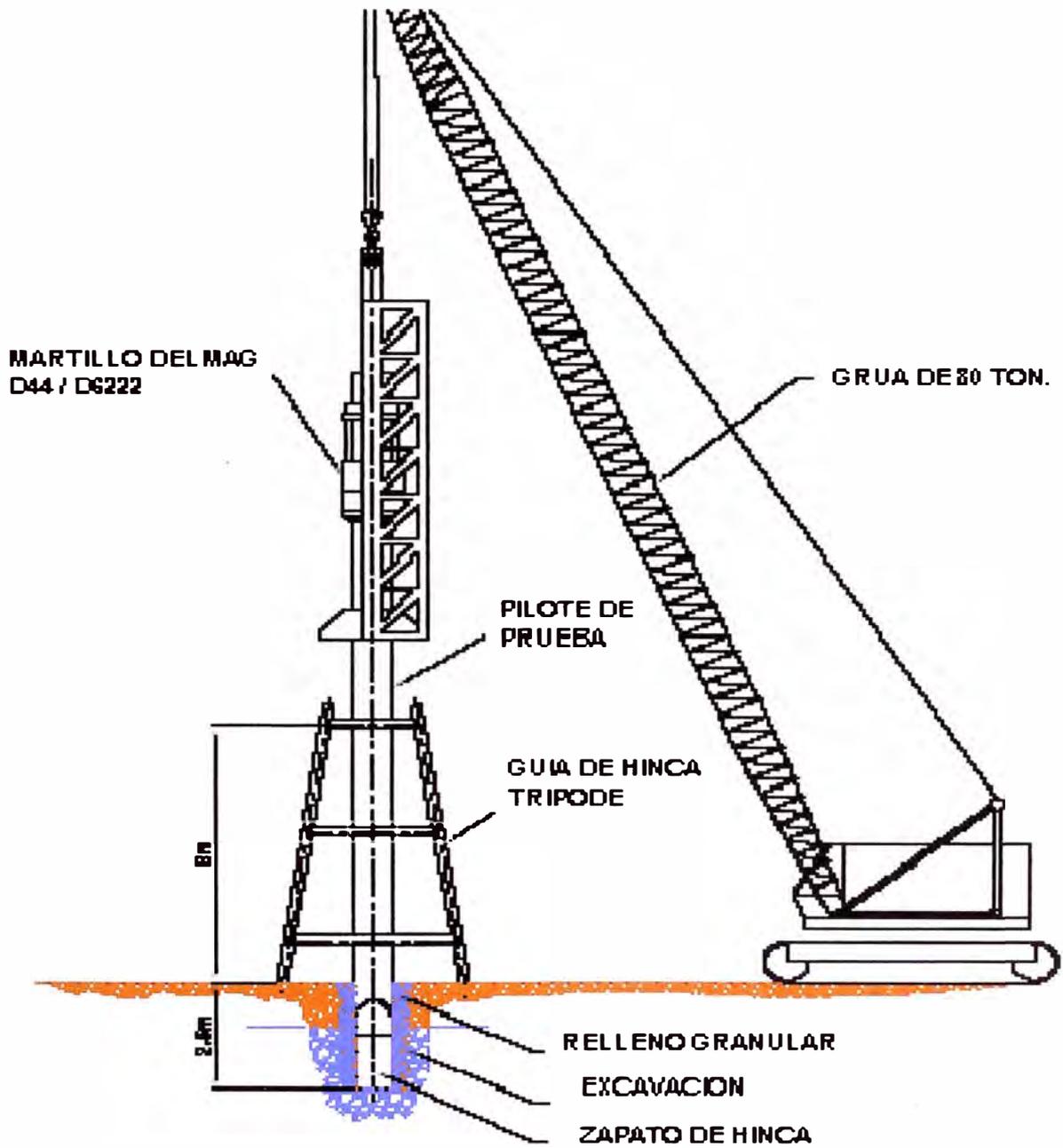
**CONDUCTIVIDAD Y ANALISIS DEL PILTE DURANTE LA HINCA**  
Penetración del pilote = 24.00 M

Martillo Delmag D62-22 - Capacidad del Embolo 60%

FIG. N° 13







PRESENTACION DEL PILOTE DE PRUEBA  
FIG. N 16



<b>pluspetrol</b> Perú Corporación S.A.	<b>GAMISEA PROJECT</b> <b>Pisco Marine Berth</b>	
	Doc.: PCAM-550-PC-G-001-A <b>Procedure for Onshore Pile Drivability and Tension Load Tests</b>	
		<b>FIGURE 17</b>

<b>PILE DRIVING RECORD</b>	NOTES:	PAGE 1 OF 2																				
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;"><b>Project PISCO MARINE BERTH</b></td> </tr> <tr> <td style="width: 15%;">Pile</td> <td style="width: 15%;">Diameter (mm)</td> <td style="width: 15%;">Wall Thick. (mm)</td> <td style="width: 55%;">Inst. Length : m</td> </tr> <tr> <td>FP-1</td> <td>813</td> <td>14</td> <td>Inst. Length : m</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Driving Hammer :</td> <td>D 44</td> <td>Inst. Driving Depth : m</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Custion Material :</td> <td>Micarta + Alum.</td> <td>Theoretical Driving Depth : m</td> </tr> </table>			<b>Project PISCO MARINE BERTH</b>				Pile	Diameter (mm)	Wall Thick. (mm)	Inst. Length : m	FP-1	813	14	Inst. Length : m	Driving Hammer :		D 44	Inst. Driving Depth : m	Custion Material :		Micarta + Alum.	Theoretical Driving Depth : m
<b>Project PISCO MARINE BERTH</b>																						
Pile	Diameter (mm)	Wall Thick. (mm)	Inst. Length : m																			
FP-1	813	14	Inst. Length : m																			
Driving Hammer :		D 44	Inst. Driving Depth : m																			
Custion Material :		Micarta + Alum.	Theoretical Driving Depth : m																			
		Soil Surface Level :      Pile Top Level : Pile Cut Off Level :      Pile Soil Plug Level :																				

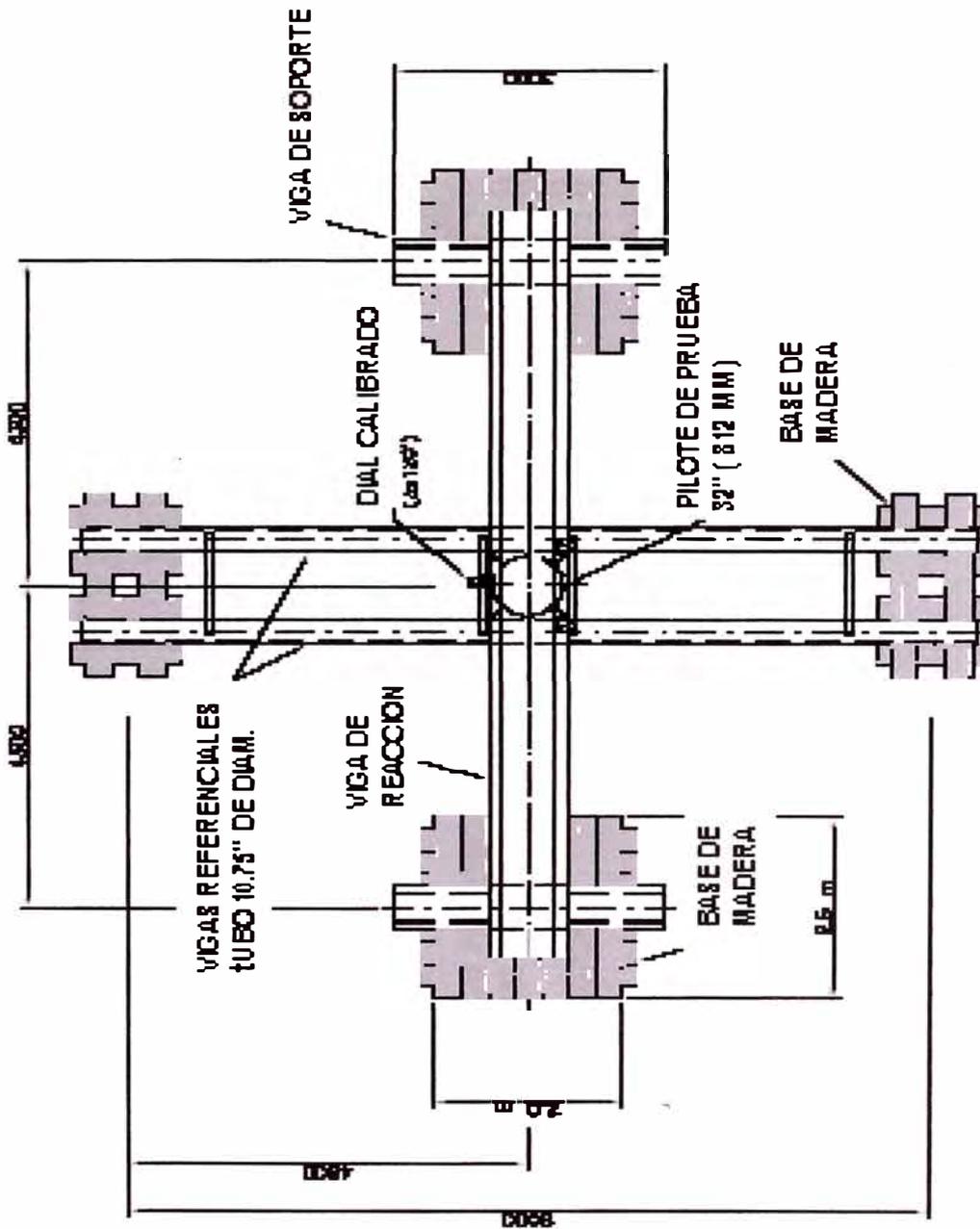
PROP. (m)	Blow Count	OBSERVATIONS	PROP. (m)	Blow Count	OBSERVATIONS	PROP. (m)	Blow Count	OBSERVATIONS
0.1			24			67		
0.2			25			68		
0.3			26			69		
0.4			27			70		
0.5			28			71		
0.6			29			72		
0.7			40			73		
0.8			41			74		
0.9			42			75		
1.0			43			76		
1.1			44			77		
1.2			45			78		
1.3			46			79		
1.4			47			80		
1.5			48			81		
1.6			49			82		
1.7			50			83		
1.8			51			84		
1.9			52			85		
2.0			53			86		
2.1			54			87		
2.2			55			88		
2.3			56			89		

REGISTERED BY:	SIGN :	DATE :	TIME :
----------------	--------	--------	--------

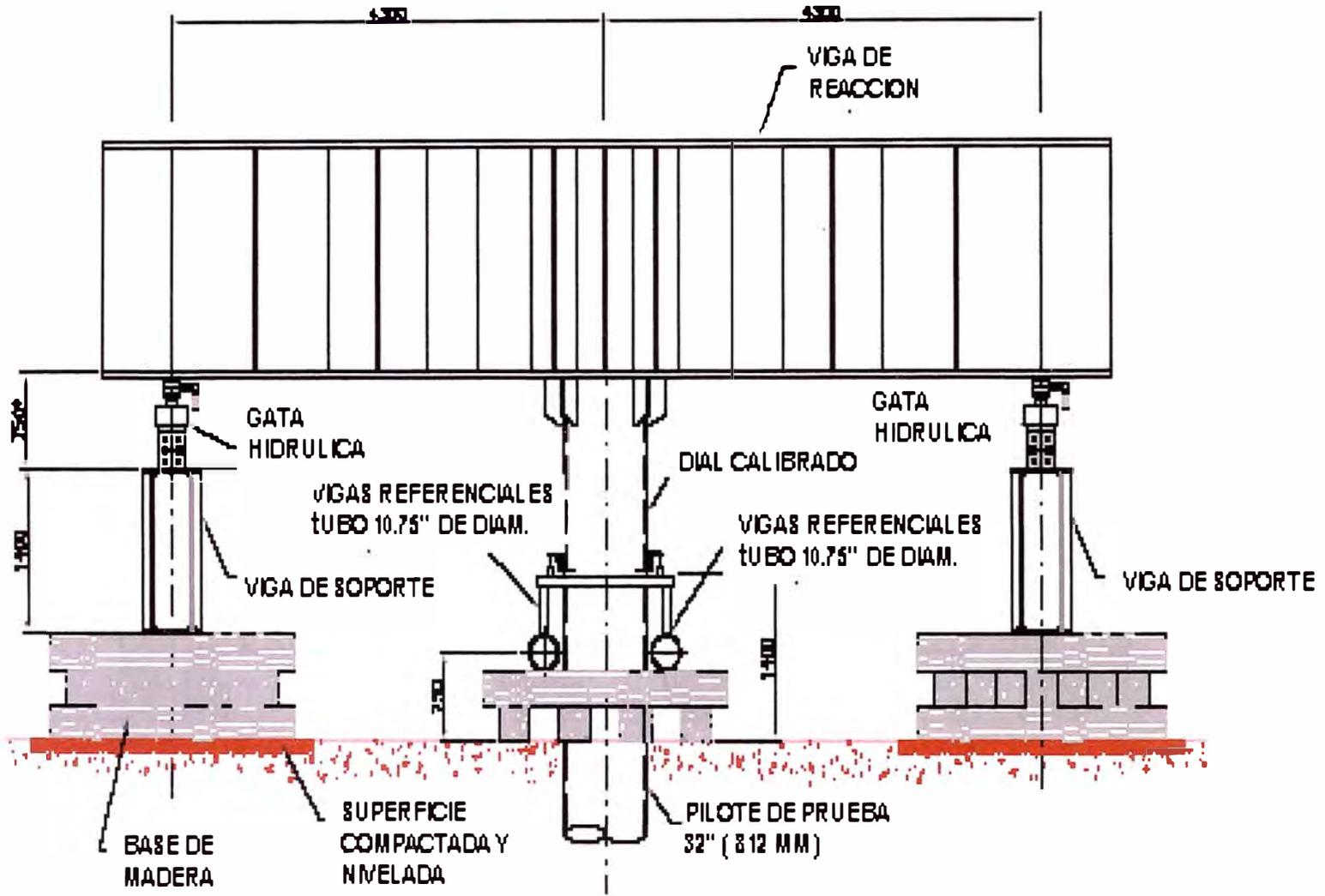


<b>pluspetrol</b> <small>Petrol Department S.A.</small>	<b>CAMISEA PROJECT</b> <b>Fixed Marine Benth</b>								
	Doc.: POCAM-570-PD-G-001-A <b>Procedure for Grathone File Drivesbility and Tension Load Tests</b>								
<b>PILE DRIVING RECORD</b>		<b>FIGURE 17</b>							
<b>Project: PISCO MARINE BERTH</b>		NOTES: <table border="1" style="float: right; margin-left: 20px;"> <tr> <td style="width: 30px;">PAGE</td> <td style="width: 30px;">3</td> <td style="width: 30px;">OF</td> <td style="width: 30px;">3</td> </tr> </table>	PAGE	3	OF	3			
PAGE	3	OF	3						
Pile	Diameter (mm)	Wall Thick. (mm)	Inlet Length :     m	NOTES:					
FF-1	313	14	Final Length :     m						
Driving Hammer :	D +		Final Driving Depth :     m					Soil Surface Level :     m	Pile Top Level :     m
Casing Material :	Micarta + Alum.		Theoretical Driving Depth :     m					Pile Cut Off Level :     m	Pile Dr. Plug Level :     m
R.P.D. (m)	Blow Count	OBSERVATIONS	R.P.D. (m)	Blow Count	OBSERVATIONS	R.P.D. (m)	Blow Count	OBSERVATIONS	
10.0			13.3			16.6			
10.1			13.4			16.7			
10.2			13.5			16.8			
10.3			13.6			16.9			
10.4			13.7			17.0			
10.5			13.8			17.1			
10.6			13.9			17.2			
10.7			14.0			17.3			
10.8			14.1			17.4			
10.9			14.2			17.5			
11.0			14.3			17.6			
11.1			14.4			17.7			
11.2			14.5			17.8			
11.3			14.6			17.9			
11.4			14.7			18.0			
11.5			14.8			18.1			
11.6			14.9			18.2			
11.7			15.0			18.3			
11.8			15.1			18.4			
11.9			15.2			18.5			
12.0			15.3			18.6			
12.1			15.4			18.7			
12.2			15.5			18.8			
12.3			15.6			18.9			
12.4			15.7			19.0			
12.5			15.8			19.1			
12.6			15.9			19.2			
12.7			16.0			19.3			
12.8			16.1			19.4			
12.9			16.2			19.5			
13.0			16.3			19.6			
13.1			16.4			19.7			
13.2			16.5			19.8			
REGISTERED BY :			SIGN :		DATE :		TIME :		



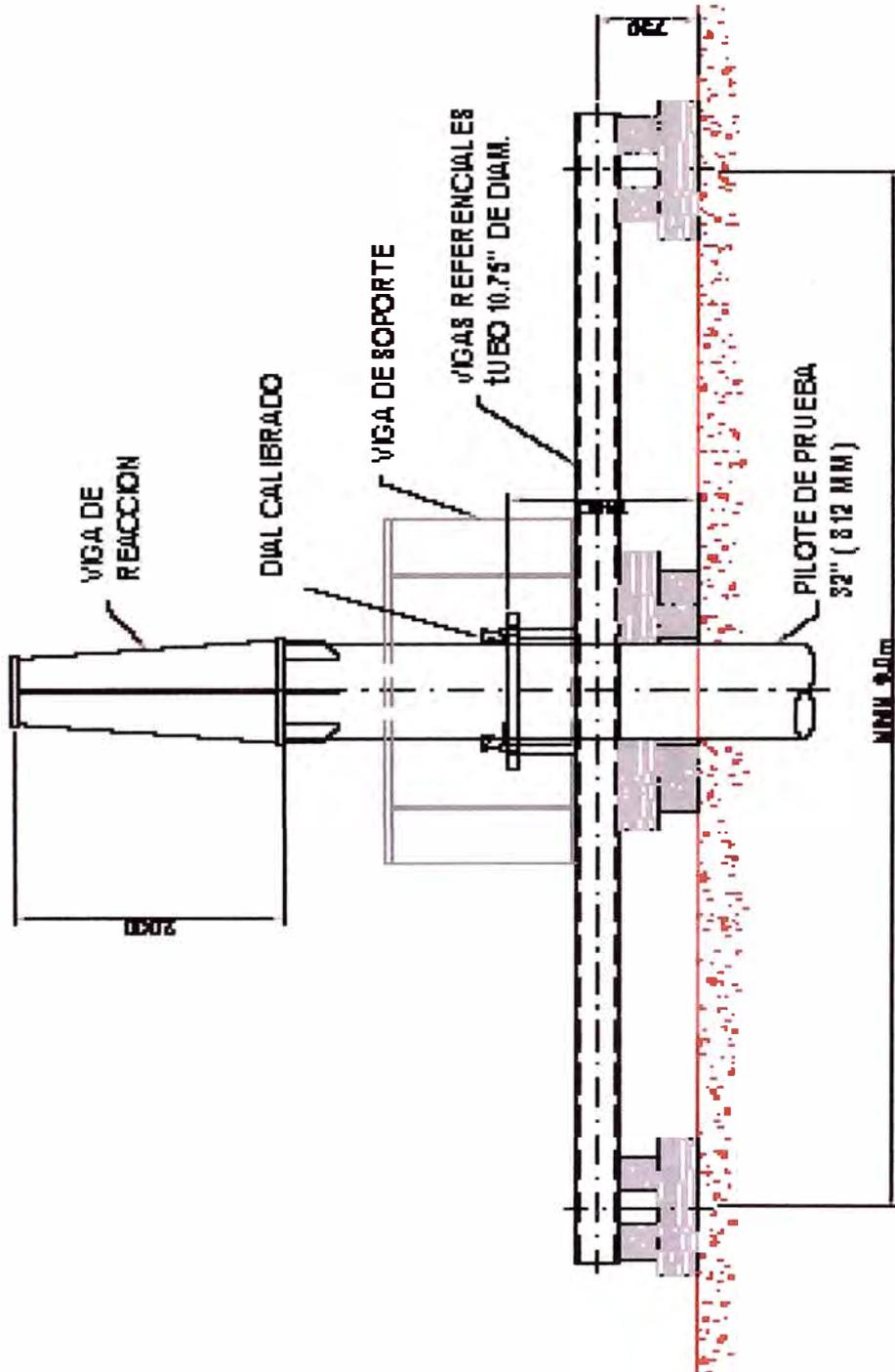
VISTA GENERAL DE LA PRUEBA DE TENSION

FIG. N° 18



VISTA GENERAL DE LA PRUEBA DE TENSION

FIG. N° 19



VISTA GENERAL DE LA PRUEBA DE TENSION  
FIG. N° 20

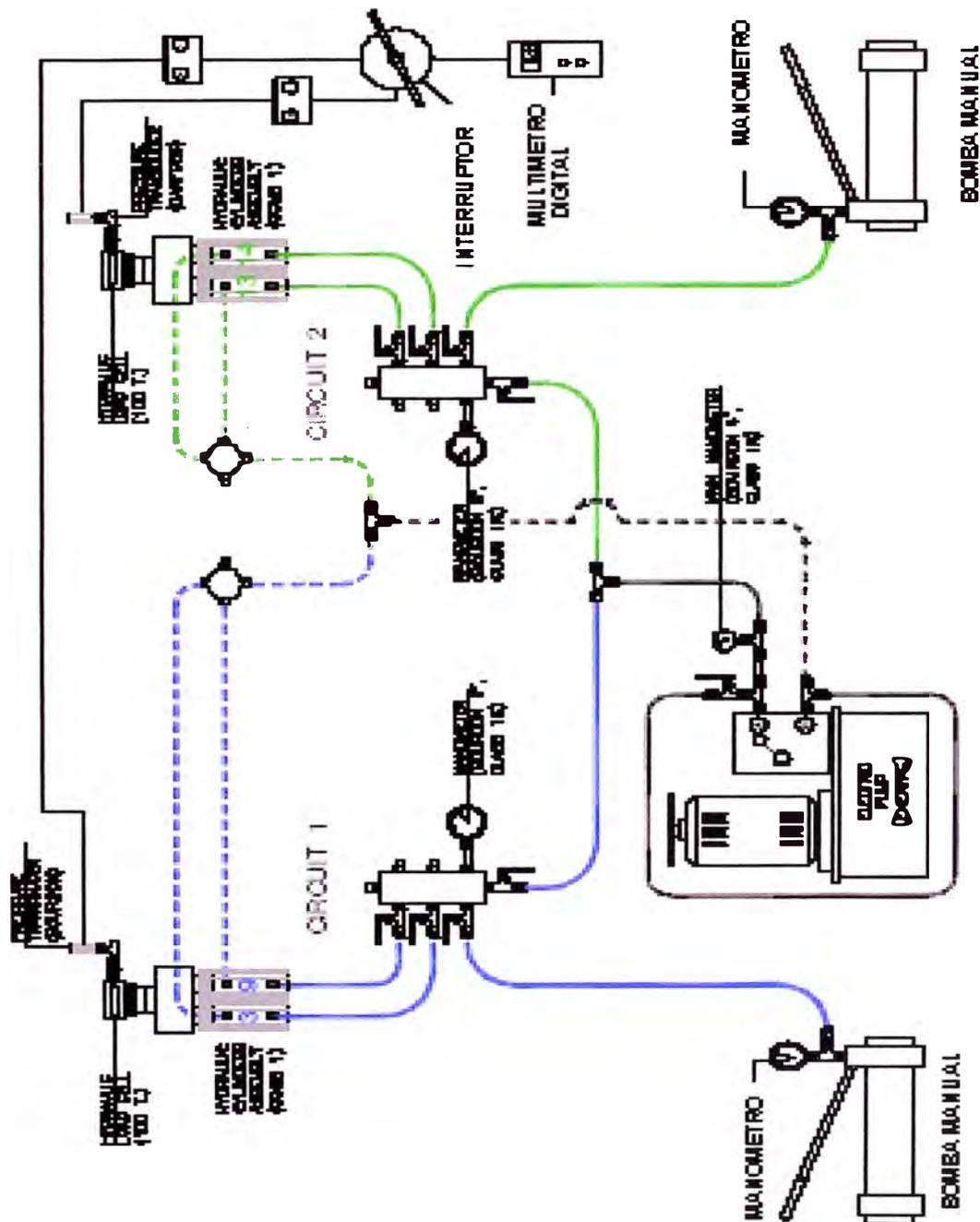


DIAGRAMA DE SISTEMA HIDRAULICO N° 01

PILOTE DE PRUEBA PP- 1.1

FIG. N° 21

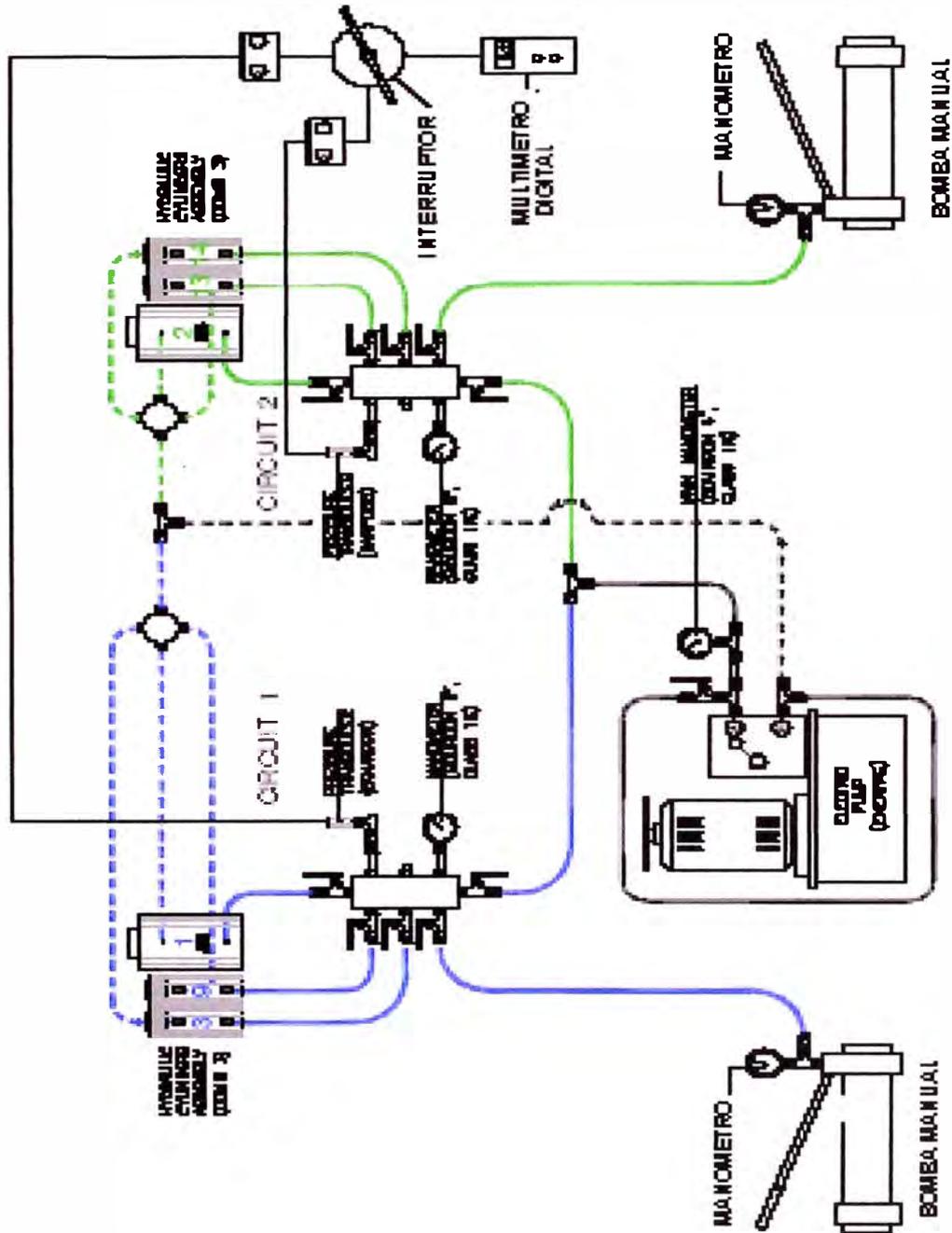


DIAGRAMA DE SISTEMA HIDRAULICO N° 02

PILOTE DE PRUEBA PP- 1.2

FIG. N° 22



	<b>CAMISEA PROJECT</b> Pisco Marine Berth	
	Des.: P04M-230-PC-U-001-A <b>Procedure for Onshore Pile Drivability and Tension Load Tests</b>	 <b>FIGURE 23a</b>

<b>TENSION PILE LOAD TEST</b>	<b>TEST: PP-1.1</b>
-------------------------------	---------------------

<b>Project: PISCO MARINE BERTH</b>	<b>PAGE 1 OF</b>
------------------------------------	------------------

<b>Pile: PP-1</b>	<b>Diameter: 22" (Ø13)</b>	<b>Wall Thickness: 12mm</b>	<b>Total Length: :</b>	<b>Driving Depth:</b>
-------------------	----------------------------	-----------------------------	------------------------	-----------------------

**Load Application**

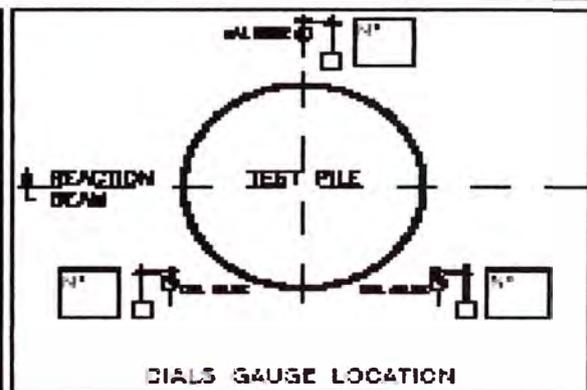
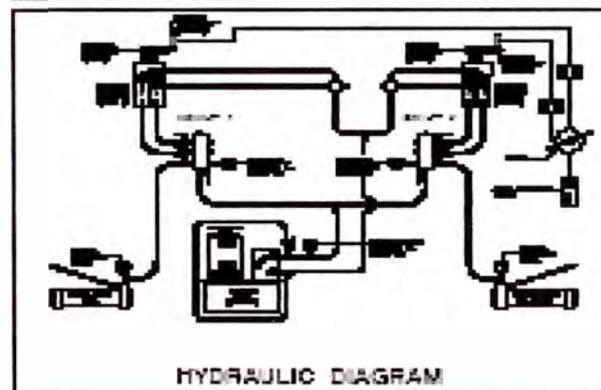
Hydraulic Cylinders	<input type="checkbox"/>	Energpac 55-2005 (2x2x1000mm)	<b>TEST LIMIT LOAD = 300 T</b>
Hydraulic Cylinders	<input checked="" type="checkbox"/>	Revsco CPH SM-50 (100mm)	
Hydraulic Pumps		CIRCUIT 1	CIRCUIT 2
Electric		Energpac	
Manual		DTC	no-Force

**Load Control**

INSTRUM	PUMP (Energpac)	CIRCUIT 1		CIRCUIT 2	
		CELL 1	HYDRAULIC CYLINDERS	CELL 2	HYDRAULIC CYLINDERS
Analogue	Bourdon 4"	-	Bourdon 6"	-	Bourdon 6"
Electronic	-	Bourdon-Setpoint	-	Deflex	-

**Displacement Control**

DIAL GAUGE (0.01 mm)	
TEST PILE	Matoso (201201)



REGISTERED BY:	SIGN:	DATE:	TIME:
----------------	-------	-------	-------



 <b>pluspetrol</b> <small>Petrol Corporation S.A.</small>	<b>CAMISEA PROJECT</b> Pisco Marine Berth	
	Doc.: POCAM-250-PC-01-001-A <b>Procedure for Onshore Pile Drivability and Tension Load Tests</b>	

<b>TENSION PILE LOAD TEST</b>	<b>TEST: PP-1.2</b>
-------------------------------	---------------------

Project: <b>PISCO MARINE BERTH</b>	PAGE: 1 OF 5*
------------------------------------	---------------

Pile: <b>PP-1</b>	Diameter: <b>33" (Ø13)</b>	Wall Thickness: <b>12mm</b>	Total Length: <b> </b>	Final Driving Depth: <b> </b>
-------------------	----------------------------	-----------------------------	------------------------	-------------------------------

**Load Application**

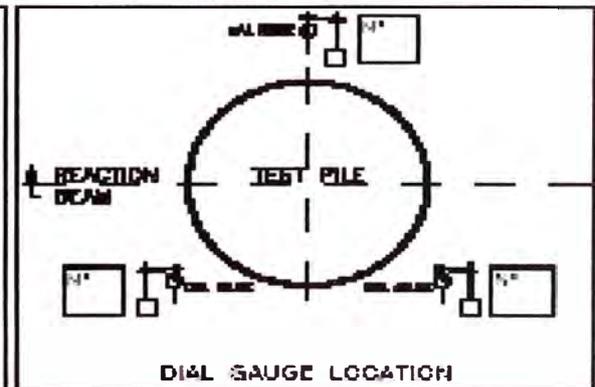
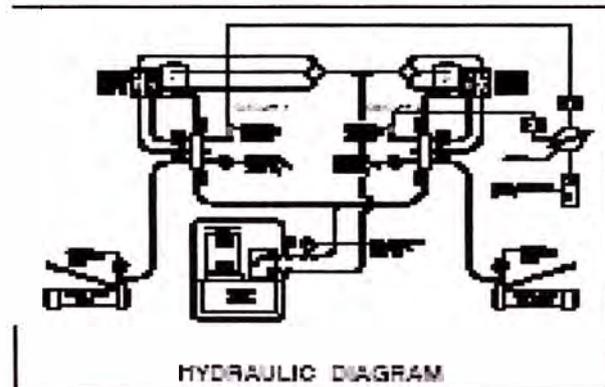
Hydraulic Cylinder	<b>2</b>	Enerpac RP-2000 (each/reverse)	<b>LIMIT TEST LOAD : 560 T.</b>
Hydraulic Cylinder	<b>4</b>	Reverso CPH 50-60 (each/reverse)	
Hydraulic Pumps	CIRCUIT 1	CIRCUIT 2	
Electric	Enerpac		
Manual	DTC	H-Force	

**Load Control**

INSTRUM.	PUMP (Enerpac)	CIRCUIT 1		CIRCUIT 2	
		CELL 1	HYDRAULIC CYLINDERS	CELL 2	HYDRAULIC CYLINDERS
Analogue	Boulton 4"	-	Boulton 6"	-	Boulton 6"
Electronic	-	-	Boulton-Seletra	-	Control

**Displacements Control**

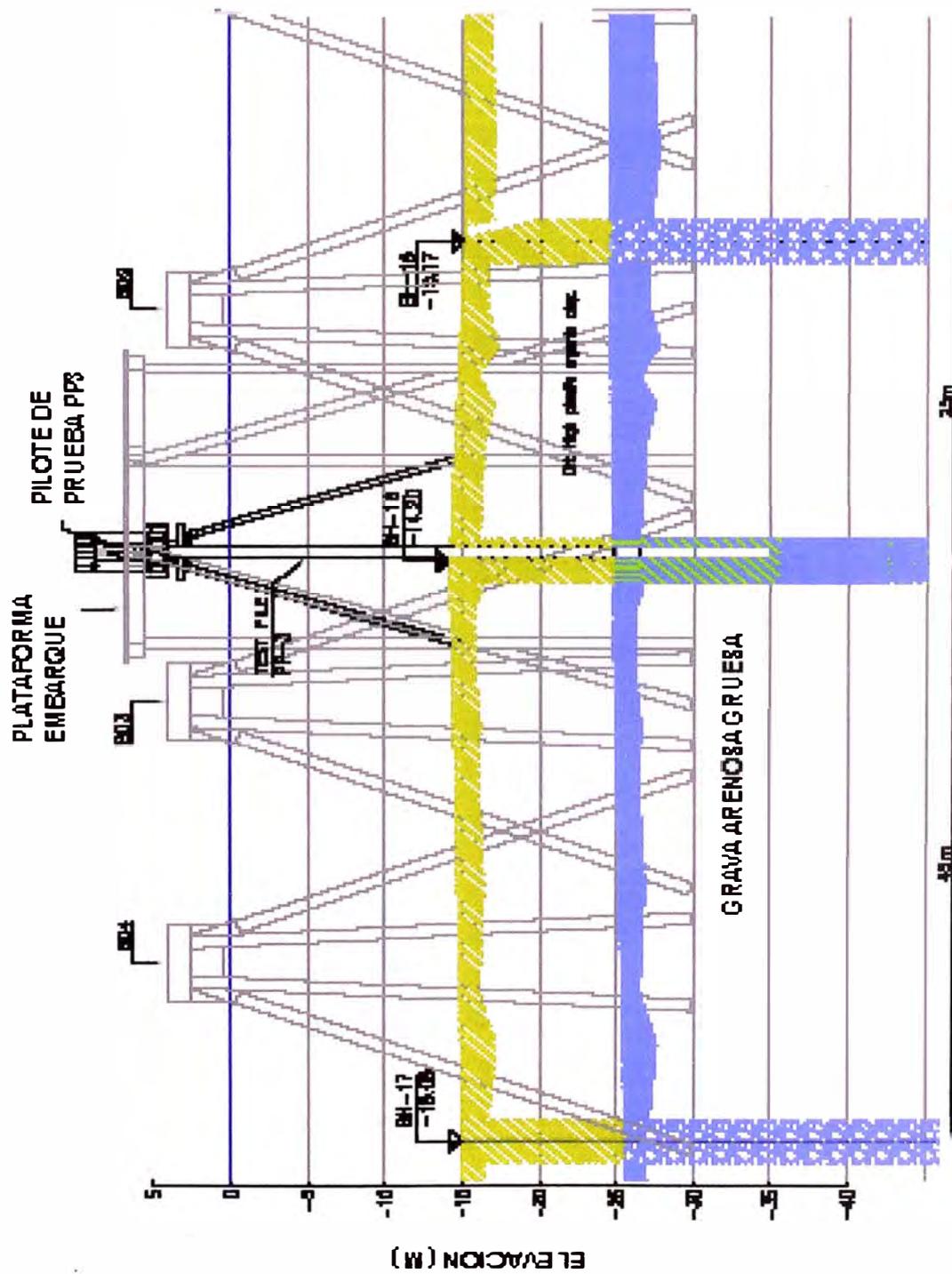
DIAL GAUGE (Ø31 mm)	
TEST PILE	Matteo (3 @190°)



REGISTERED BY:	SIGN:	DATE:
		TIME:



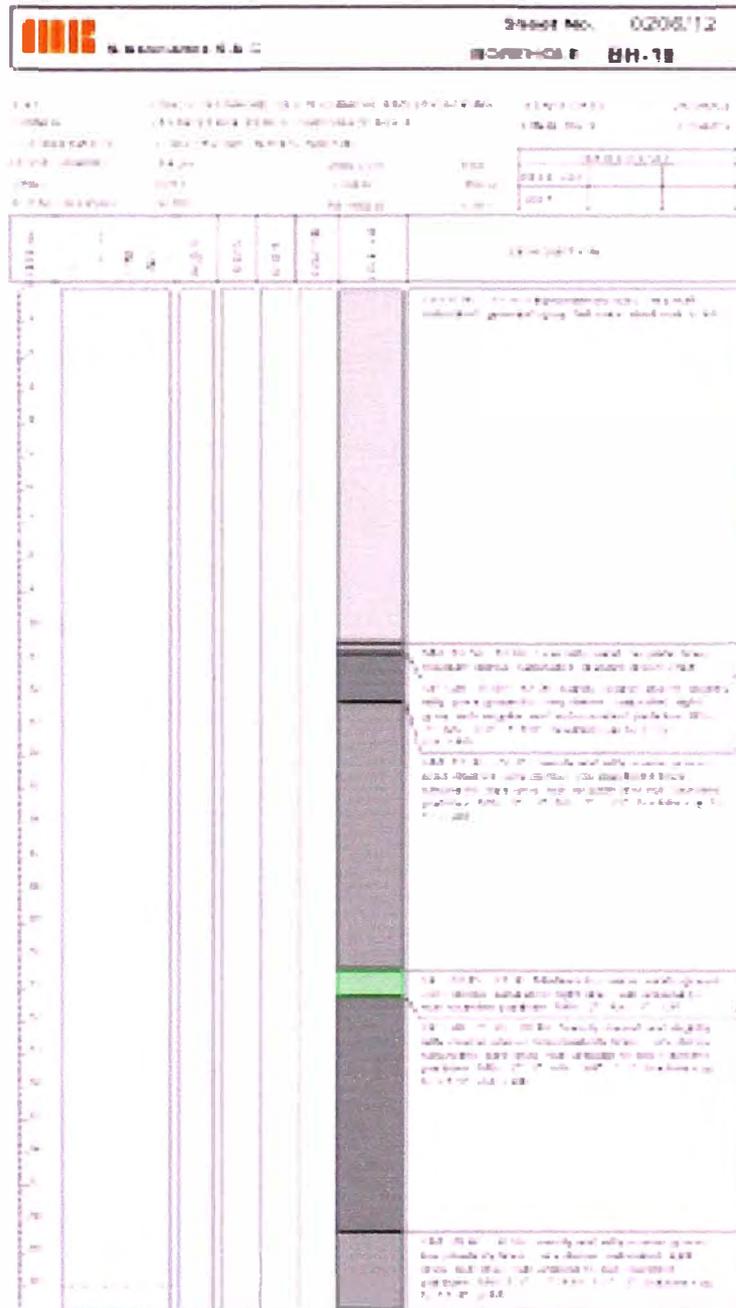
		COMISIA MIXTA Pisco Marina Berth Doc. PCMV 200905001A		 				FIGURE 23b																	
										Procedure for Composite Pile (Repeatability and Tension Load Tests)															
<b>TENSION PILE LOAD TEST</b>																									
CYCLE	CICLO 1				CICLO 2				TEST: PP-1.2	PAGE	OF														
	TRANSIENT		LOAD		TRANSIENT		LOAD																		
	Transit (mm)	Load (kN)	Transit (mm)	Load (kN)	Transit (mm)	Load (kN)	Transit (mm)	Load (kN)	APPLIED LOAD (Ton)	TEMP (°C)	TIME (min)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	PEAK ACCUMULATED			
1																									
2																									
3																									
4																									
5																									
6																									
7																									
8																									
9																									
10																									



PERFIL ESTATIGRAFICO  
AREA DE MAR - EMBARCADERO  
FIG. N° 03







NOTA: Se debe considerar que el nivel freático puede variar en el tiempo debido a las condiciones de operación. Asimismo, se debe considerar la posibilidad de infiltraciones de agua desde el subsuelo que puede afectar la estabilidad y el comportamiento de la estructura. Se debe considerar que el nivel freático puede variar en el tiempo debido a las condiciones de operación.



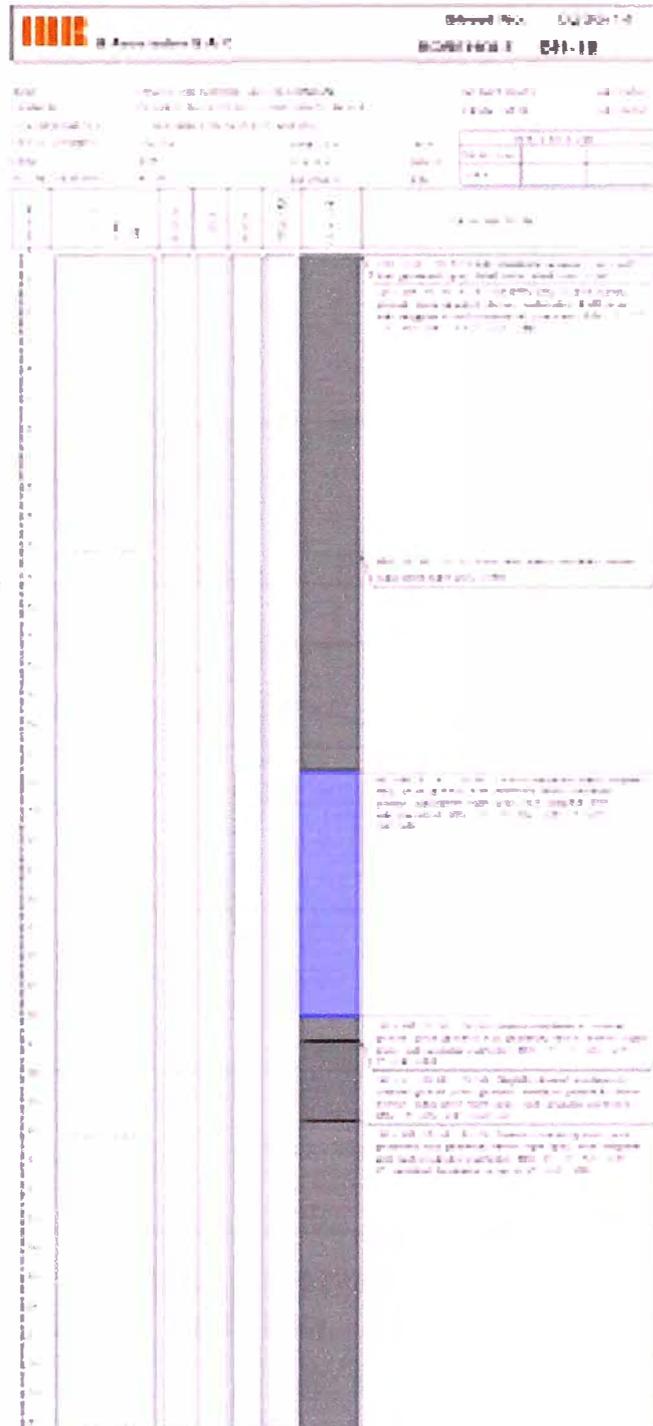
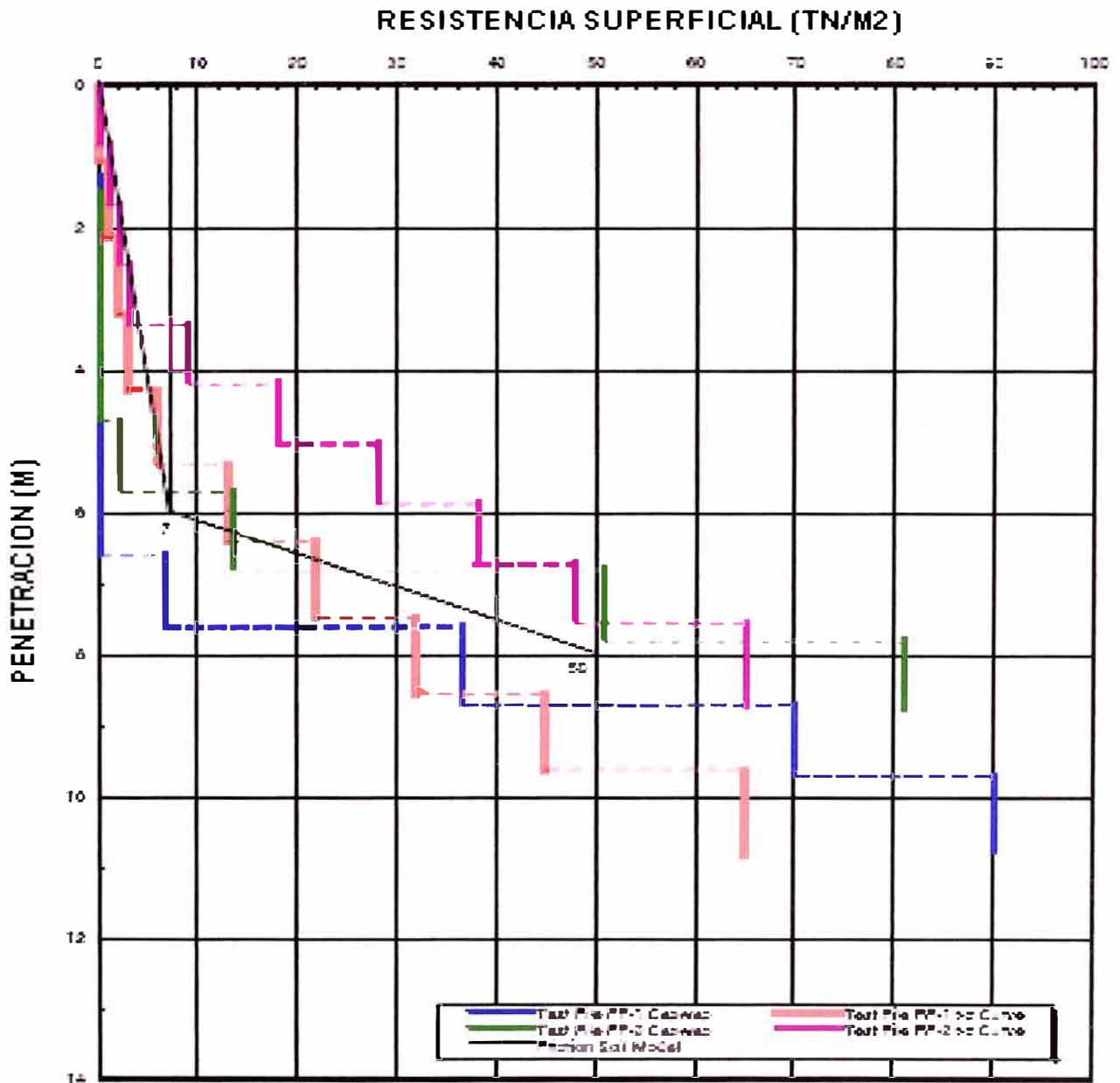
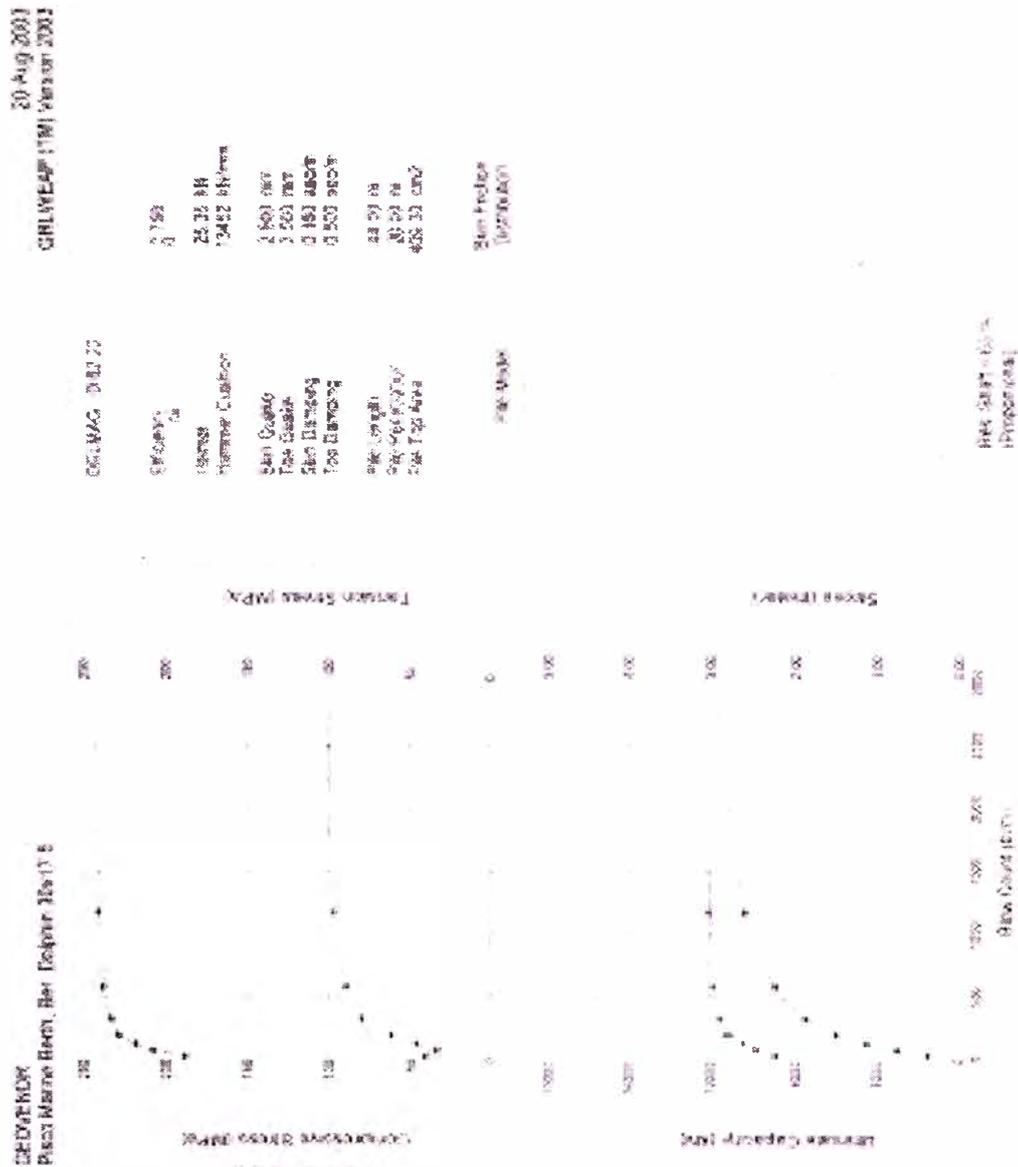


Figura N° 75. Sección transversal de la plataforma de embarque para la salida del gas de Camisea. Se muestra la estructura de concreto armado y los estratos de suelo que se encuentran en el sitio de construcción. Se indica la profundidad de los estratos de suelo y la ubicación de la estructura de concreto armado.



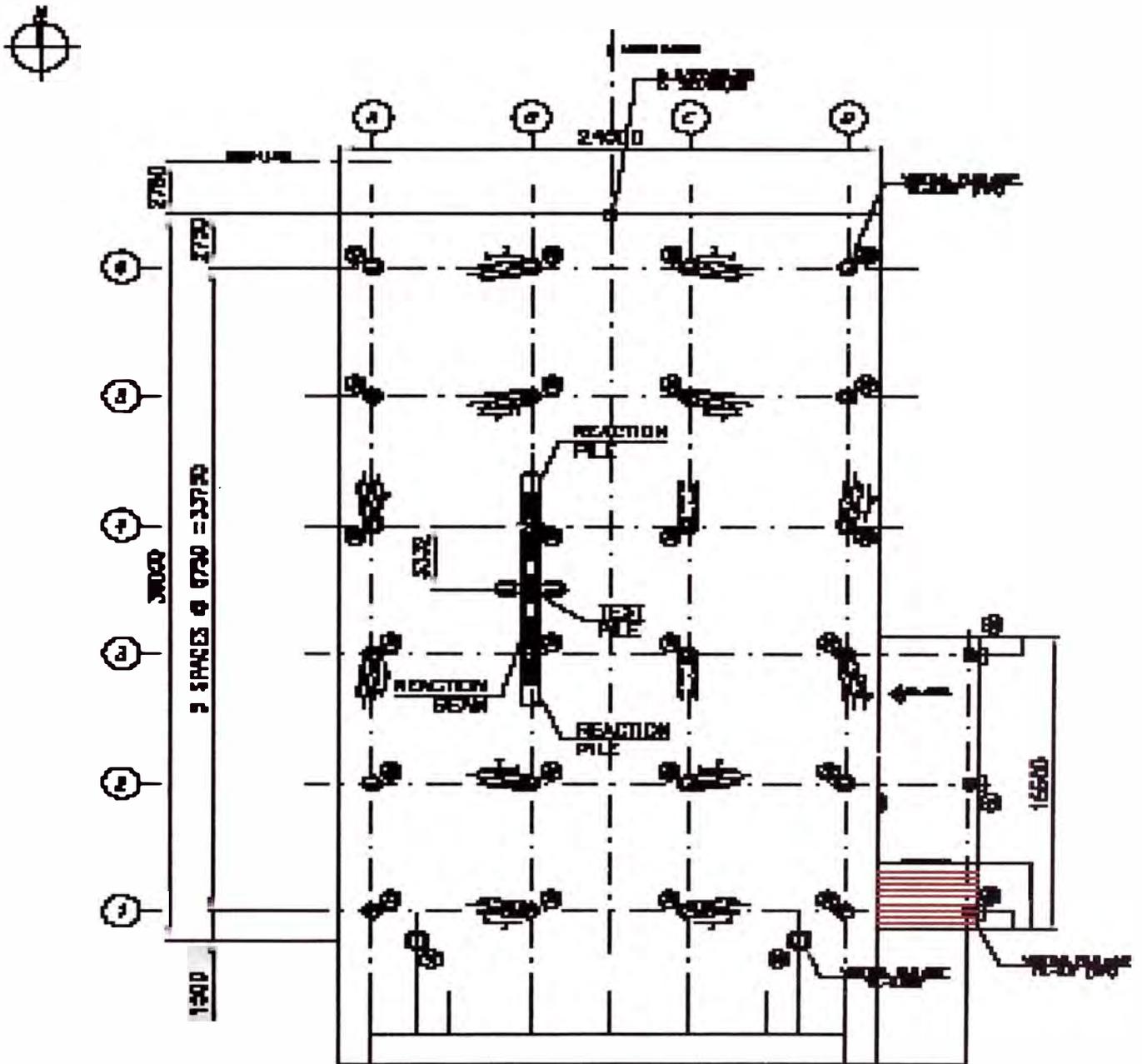




**CONDUCTIBILIDAD Y ANALISIS DE LA HINCA DE PILOTE DE 30"**  
**PENETRACION DEL PILOTE 20.00 M.**  
**MARTILLO DELMAG D - 62 22**  
**CAPACIDAD DEL EMBOLO 65%**  
**FIG. N° 11**

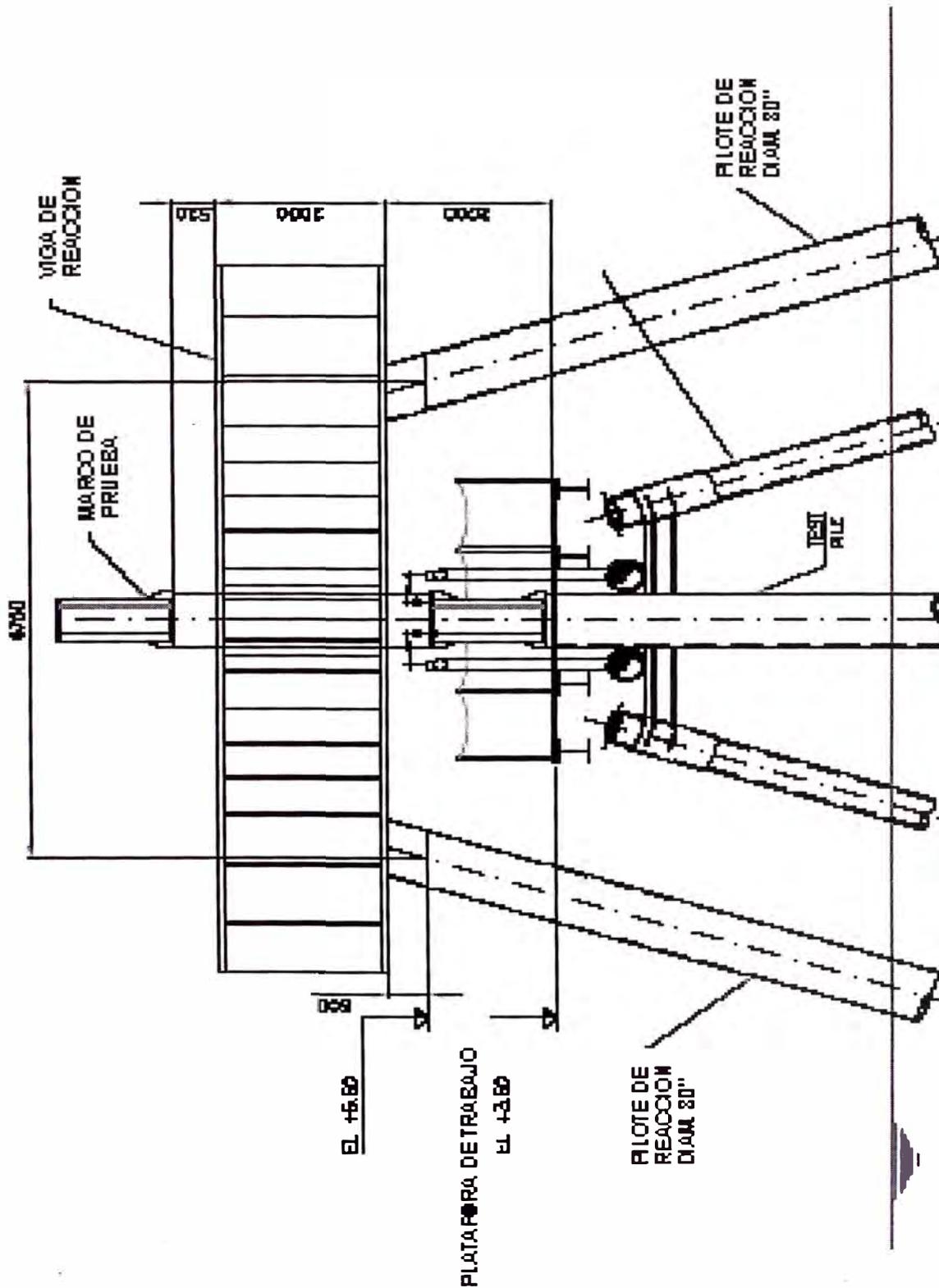


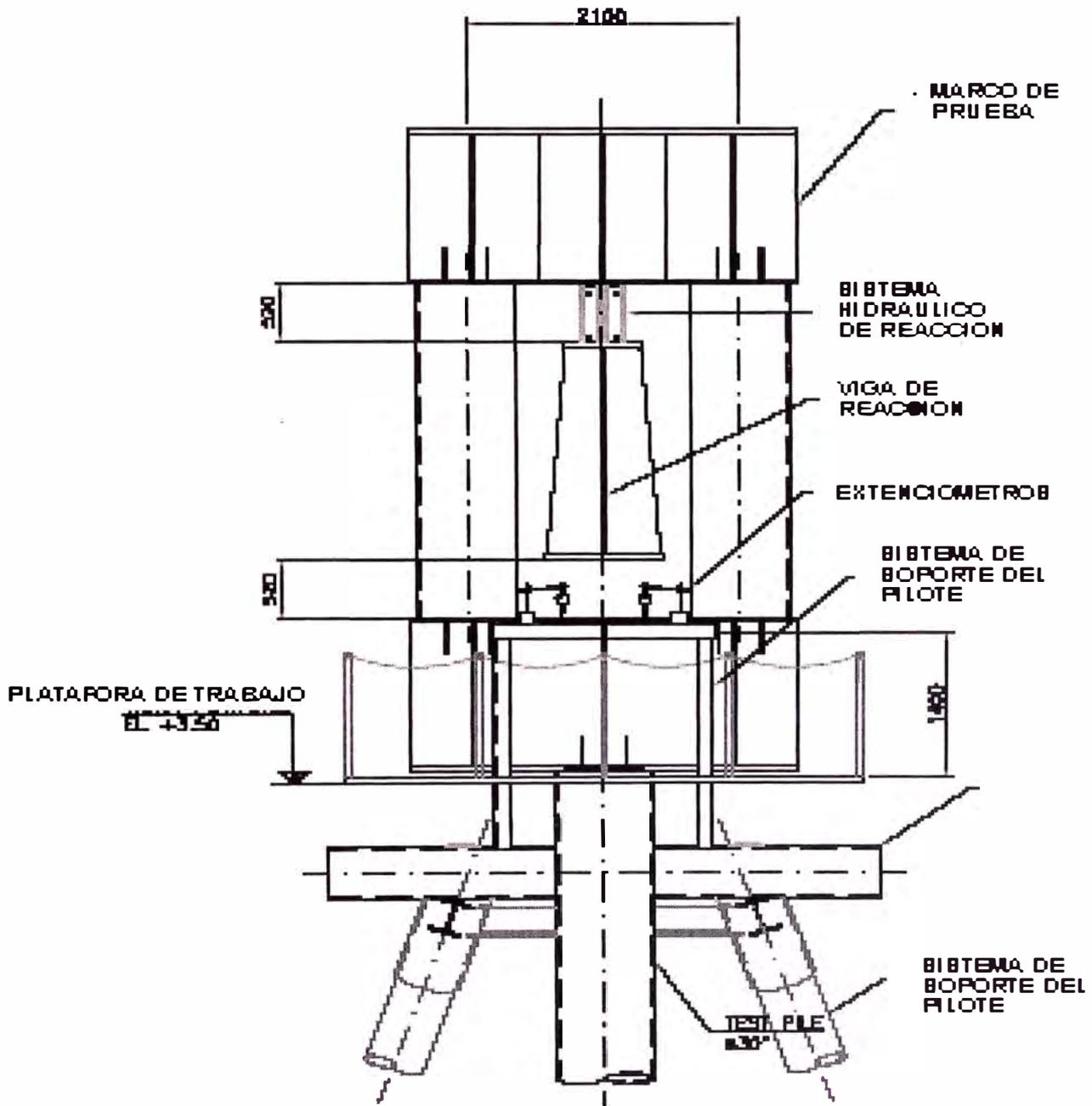




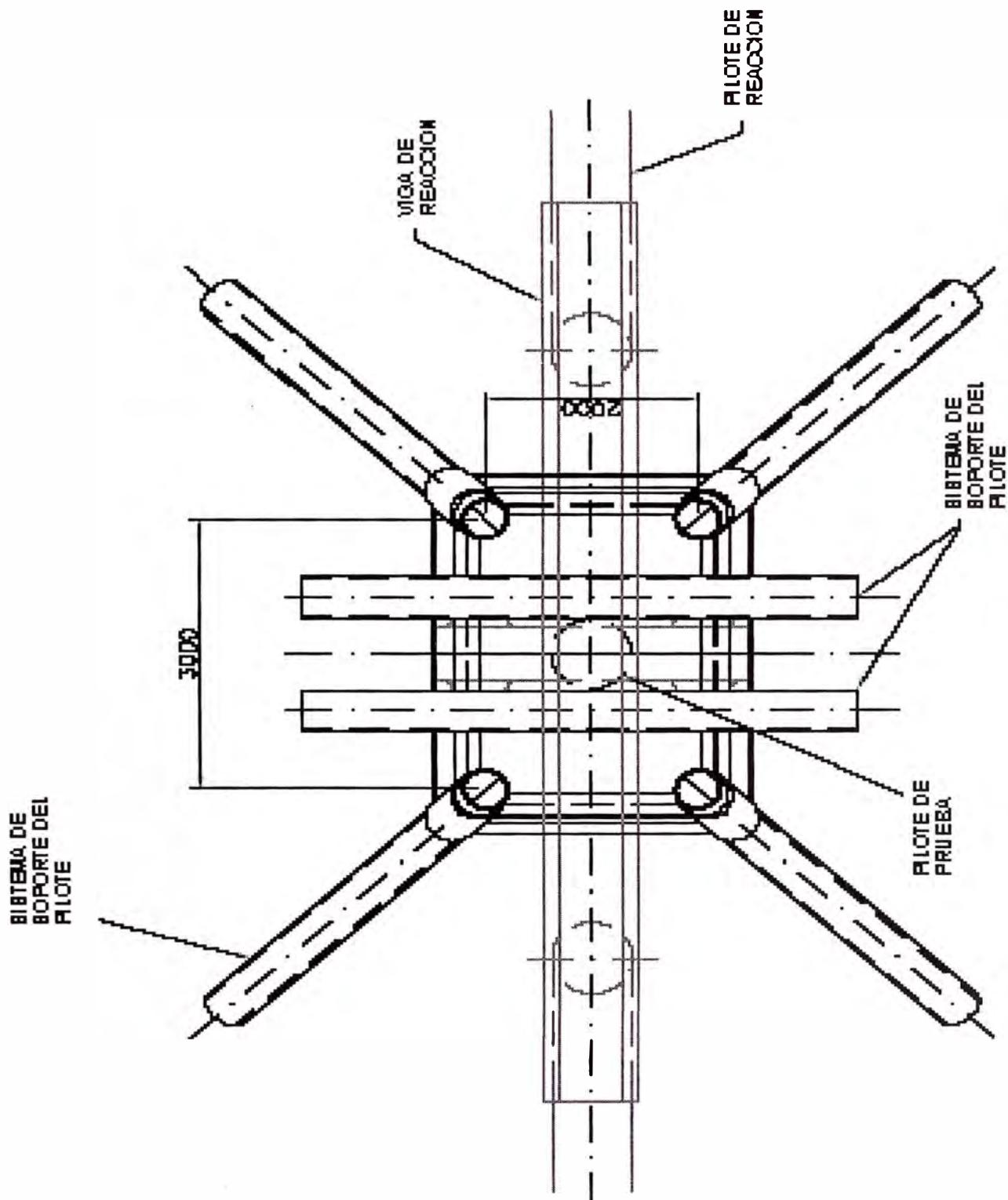
**PLANTA DE LA PLATAFORMA DE CARGA  
LOCALIZACIÓN DEL PILOTE DE PRUEBA**







**VISTA GENERAL DEL PILOTE DE PRUEBA**



VISTA GENERAL DEL PILOTE DE PRUEBA





	<b>CONCRETA PROJECT</b> Pisco Marine Berth	
	Item: PISC0004P03-0204	
	Procedure for Offshore Pile Drivability and Tension Load Tests	<b>FIGURE-01</b>

<b>TENSION PILE LOAD TEST</b>	<b>TEST: PP-3</b>
-------------------------------	-------------------

From: <b>PISCO BARRIO BELTRAMI</b>	PAGE: 1 OF 3
------------------------------------	--------------

File: <b>PP3</b>	Column: <b>30</b> DIN	Pile Model: <b>17mm</b>	Pile Length: <b>1</b>	Final Driving Rate: <b>1 m/s</b>
------------------	--------------------------	-------------------------	-----------------------	----------------------------------

**Local Applications**

Hydraulic Cylinder	<b>2</b>	Energy: <b>100000</b> (max. pressure)	<b>LIMIT TEST LOAD: 1000 T.</b>
Hydraulic Cylinder	<b>4</b>	Energy: <b>100000</b> (max. pressure)	
Hydraulic Cylinder	<b>4</b>	Pressure: <b>1000</b> (max. pressure)	
Hydraulic Pumps	CIRCUIT 1	CIRCUIT 2	
Pressure	Pressure		
Manual	OFF	OFF	

**Local Control**

FUNCTION	PUMP	CIRCUIT 1		CIRCUIT 2		LOCAL CONTROL TEST MODE	
		CELL 1	HYDRAULIC CYLINDER	CELL 2	HYDRAULIC CYLINDER	TEST FILE	Manual (Input)
Analogue	Pressure 4"	-	Pressure 4"	-	Pressure 4"	TEST FILE	Manual (Input)
Electronics	-	-	Pressure 4"	-	Pressure	TEST FILE	Manual (Input)

**Complementos Control**

**HYDRAULIC DIAGRAM**

**LOCAL CONTROL LOCATION**

FUNCTIONS NO.	ISSUE	DATE	FILE



TENSION PILE LOAD TEST		GROUP 1						GROUP 2						GROUP 3						TOTAL						
		Load (kN)	Displacement (mm)	Stiffness (kN/mm)	Capacity (kN)	Settlement (mm)	Stiffness (kN/mm)	Load (kN)	Displacement (mm)	Stiffness (kN/mm)	Capacity (kN)	Settlement (mm)	Stiffness (kN/mm)	Load (kN)	Displacement (mm)	Stiffness (kN/mm)	Capacity (kN)	Settlement (mm)	Stiffness (kN/mm)	Load (kN)	Displacement (mm)	Stiffness (kN/mm)	Capacity (kN)	Settlement (mm)	Stiffness (kN/mm)	
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
1	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
2	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00



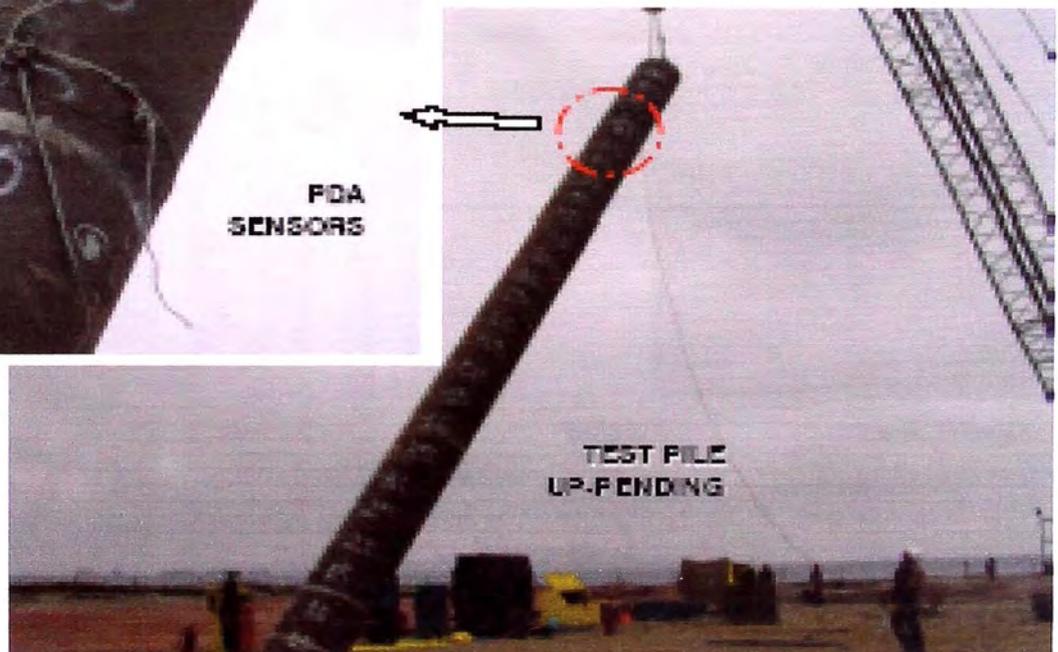
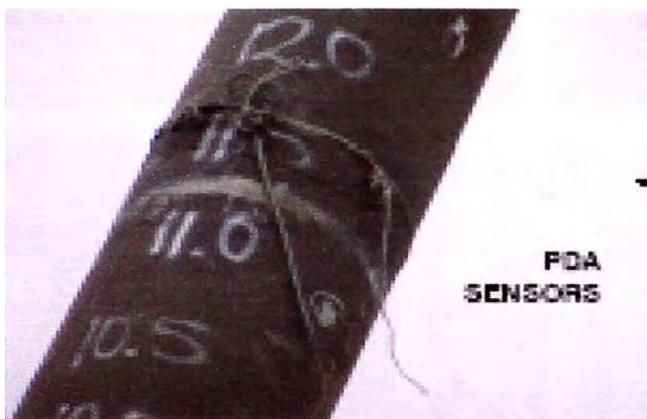
# FOTOGRAFÍAS

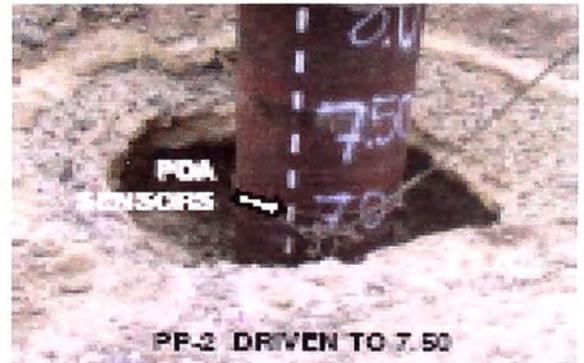
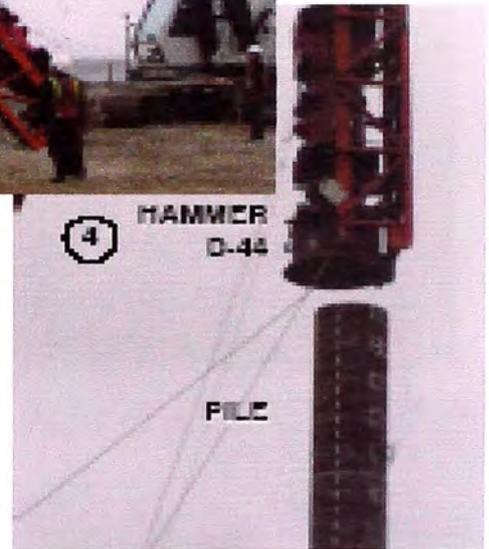
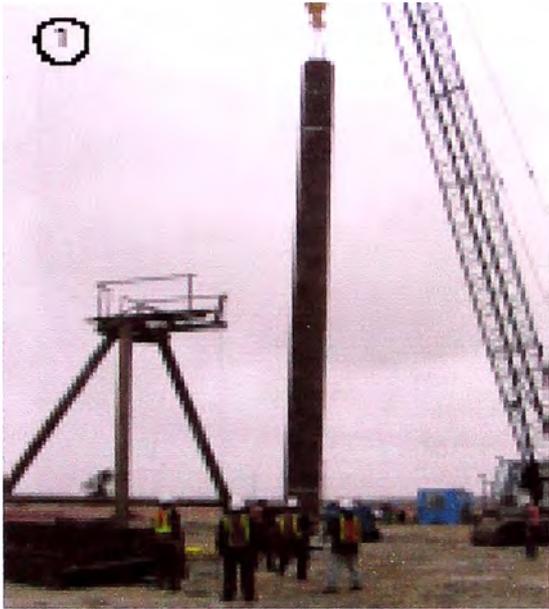


### UBICACION DEL HITO BH-2 Y BH-1



### PILOTE DE PRUEBA PP-01 Y PP-02



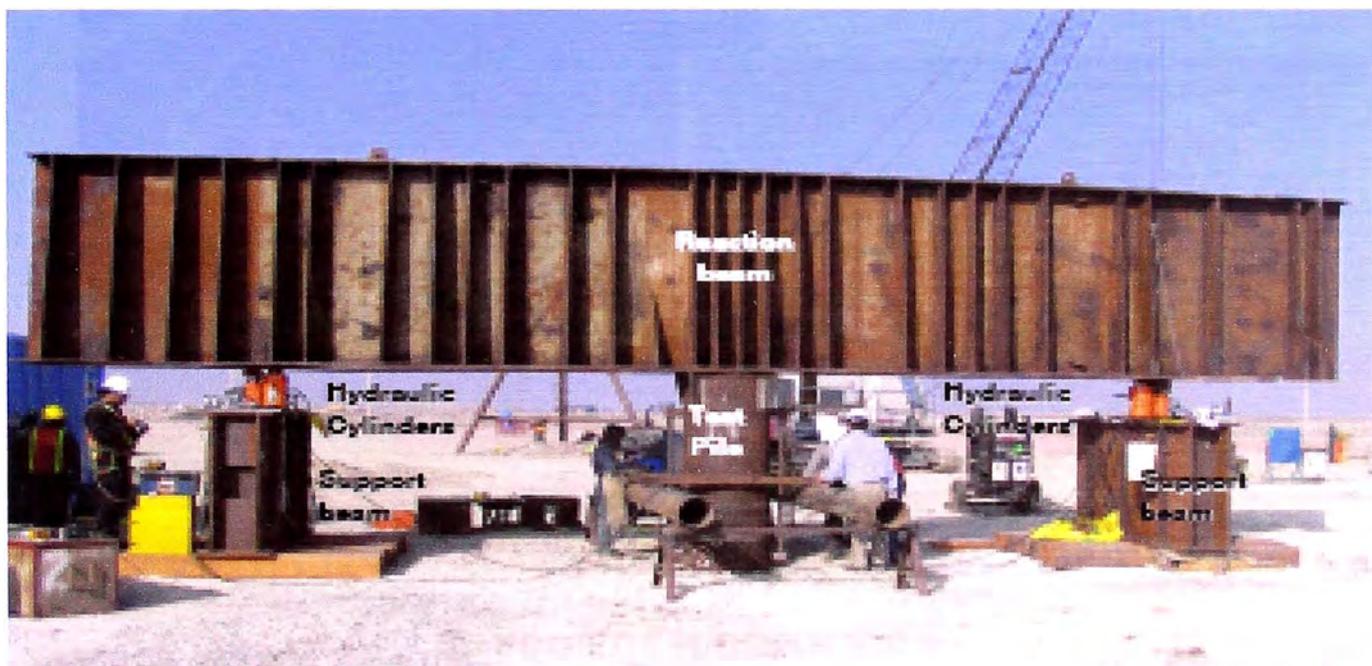
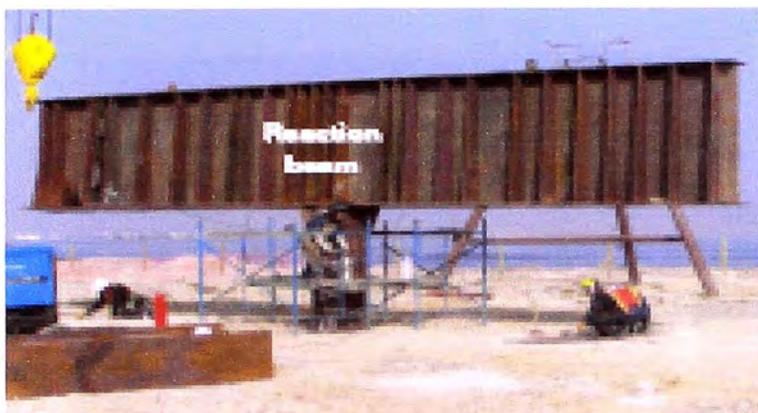




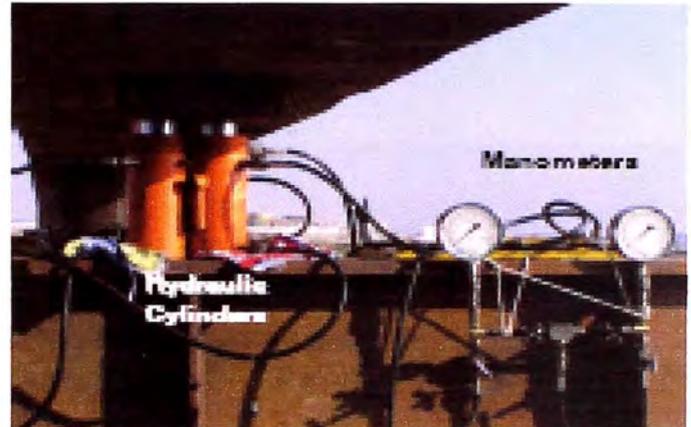
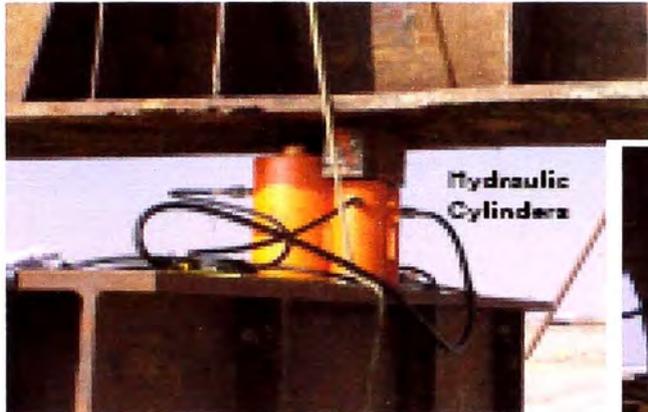
**PANTALLA  
DEL PTD**



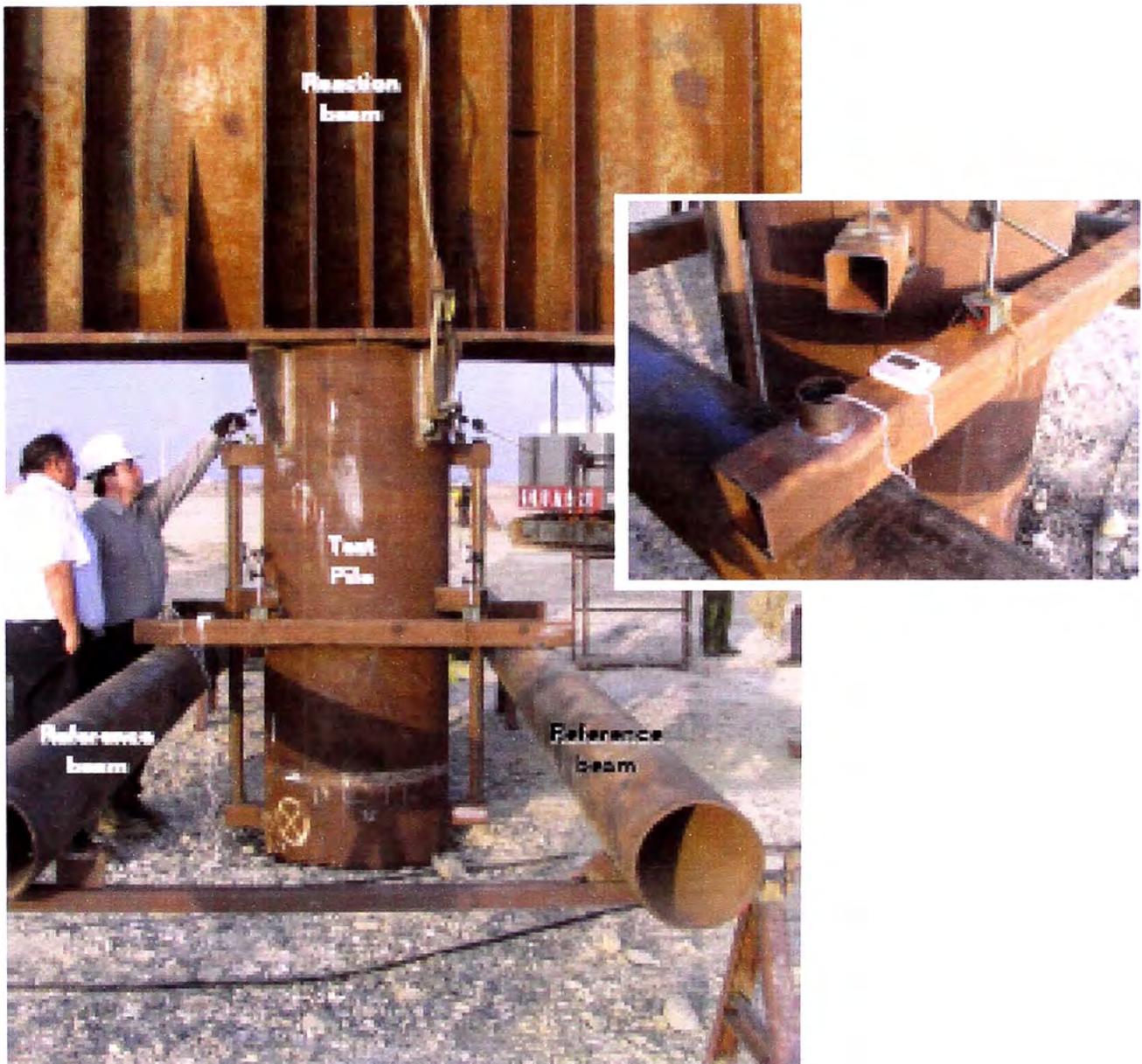
**SISTEMA DE CONTROL DE HINCA**



## ARREGLO DEL PILOTE DE PRUEBA



## EQUIPOS HIDRAULICOS



## ARREGLO DEL SISTEMA DE REFERENCIA



**VISTA DE PLANTA DE LA PLATAFORMA DE  
EMBARQUE - SALIDA DEL GAS DE CAMISEA**



## **SISTEMA DE ENCOFRADO**



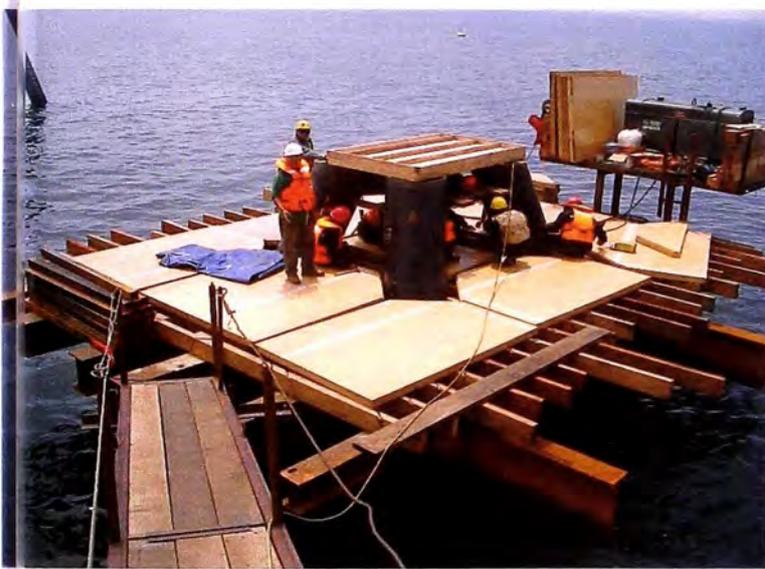
## **ENTRAMADO DE VIGAS METALICAS Y MADERA**



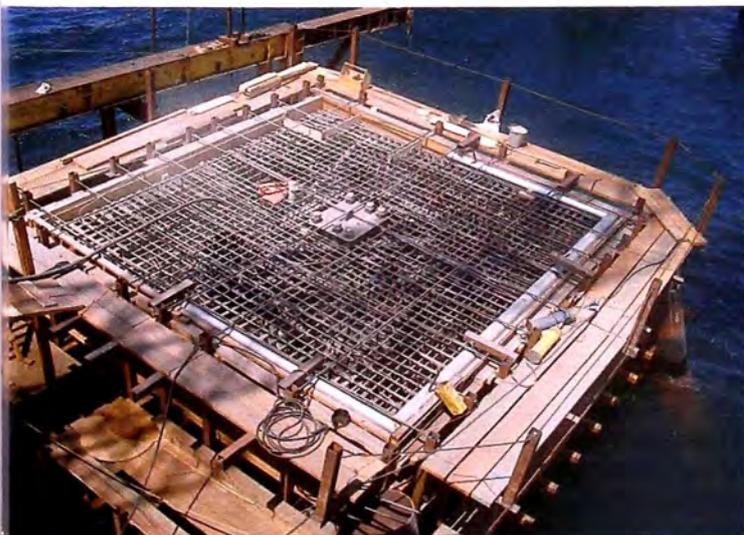
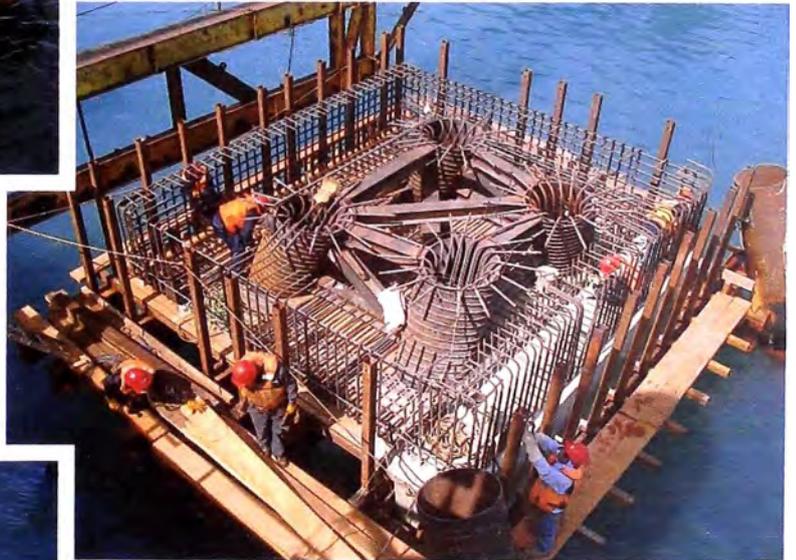
CONSTRUCCIÓN DE LA PLATAFORMA DE EMBARQUE PARA LA SALIDA DEL GAS DE CAMISEA  
Bach. MARTIN H. MATOS MILLONES



**DISTRIBUCIÓN DE SOLERAS DE  
MADERA- POSTE DE AMARRE**



**FONDO DE ENCOFRADO**



**COLOCACION DE  
ARMADURA EN EL POSTE  
DE AMARRE**



**SISTEMA DE COLOCACION  
DE CONCRETO**



**TERMINACION DE POSTE  
DE AMARRE**

CONSTRUCCIÓN DE LA PLATAFORMA DE EMBARQUE PARA LA SALIDA DEL GAS DE CAMISEA  
Bach. MARTIN H. MATOS MILLONES



## ***PLATAFORMA DE CARGA***



## ***SISTEMA DE ENCOFRADO PARA LA PLATAFORMA DE CARGA***





**TRANSPORTE DE  
PILOTES A ZONA DE  
HINCADO**





**PREPARACION DE LA  
TUBERIA PARA LA  
FABRICACION DE  
PILOTES**



**PROCESO DE ARENADO**



**PINTURA EN TUBERIA**



**SISTEMA DE ENCOFRADO DE LA PLATAFORMA DE CARGA**



**COLOCACION DE  
ARMADURA EN EL PSOTE  
DE AMARRE**





**PROCESO DE HINCA DE  
PILOTES**





**PLATAFORMA DEL  
INCENERADOR**





***PROCESO DE FABRICACION  
DE PILOTE***



***ABRAZADERA DE SOPORTE  
PARA ENCOFRADO***



***FABRICACION DE PILOTES***