

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



**DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN Y OBRAS DE PROTECCIÓN EN
LA AMPLIACIÓN DEL PUENTE INDEPENDENCIA
ASPECTO CONSTRUCTIVO DE LA CIMENTACIÓN PROFUNDA**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

FLAVIO VARGAS BYRNE

Lima- Perú

2008

ÍNDICE DEL INFORME

RESUMEN	04
LISTA DE CUADROS	06
LISTA DE FIGURAS	07
INTRODUCCIÓN	08
CAPÍTULO I: CIMENTACIONES PROFUNDAS	10
1.1 Partes de una cimentación por pilotaje	11
1.2 Funciones de los pilotes	12
1.3 Tipos de pilotes	13
1.3.1 Incidencia de procedimiento de instalación de pilotes en las condiciones del suelo	13
1.3.2 Materiales usados para pilotes	14
1.4 Ensayos	16
1.4.1 Ensayo estático	16
1.4.2 Métodos aplicativos	18
1.4.3 Ensayos con métodos no destructivos	18
1.4.4 Método de ensayo de integridad estructural	20
1.4.5 Métodos rápidos de ensayo de carga	22
1.4.6 Método sónico	24
CAPÍTULO II: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA CIMENTACIÓN Y OBRAS DE PROTECCIÓN EN LA AMPLIACIÓN DEL PUENTE INDEPENDENCIA	26
2.1 Fabricación de pilotes de concreto	27

2.1.1	Excavación	29
2.1.2	Colocación de la armadura de acero	30
2.1.3	Vaciado del concreto	31
2.1.4	Descabezado de pilotes	33
2.2	Platea de protección a la socavación	34
2.3	Gaviones tipo colchón plastificado y gaviones tipo caja	35
2.4.	Geotextiles	36

**CAPITULO III: ANÁLISIS CONSTRUCTIVO DE LOS SISTEMAS DE
CIMENTACIÓN UTILIZADOS EN EL PUENTE
INDEPENDENCIA**

37

3.1	Pilotes de desplazamiento	38
3.1.1	Pilotes prefabricados de concreto	38
3.1.2	Pilotes de concreto hechos in situ de entubación hincada	41
3.2	Pilotes de extracción.	43
3.2.1	Pilotes excavados a rotación	43
3.2.2	Pilotes barrenados a rotación	45
3.2.3	Pilotes de concreto hechos in situ mediante entubación a lodos	47

CONCLUSIONES 51

RECOMENDACIONES 53

BIBLIOGRAFÍA 55

ANEXOS

- ANEXO I: ENSAYOS

- ANEXO II: PLANOS

RESUMEN.

El actual puente Independencia se ubica en Catacaos, sobre las aguas del río Piura, en la carretera Piura-Sullana Km. 10.3, provincia y departamento de Piura.

El presente informe se elige con el propósito de diseñar la cimentación de la ampliación del puente Independencia para revertir los daños causados por El Niño de 1998, basado en el proyecto de rehabilitación del puente Independencia. Esta obra ha permitido incrementar la capacidad de carga del puente y dotarla de ancho para doble vía, logrando además que su nueva longitud ofrezca una mayor área hidráulica para las descargas del río Piura y mayor protección contra la socavación de las corrientes. También otorga mayor seguridad para el tránsito peatonal, brindando una vía alterna a la ciudad de Catacaos. Con ello se mejorará el tránsito eliminando la posibilidad de aislamiento ante eventos extraordinarios como el fenómeno mencionado.

El antiguo puente Independencia, de pilotes de concreto hechos in situ (entubación hincada), falló durante El Niño de 1983, del cual quedaron solo el estribo izquierdo y parte del último tramo derecho como. El nuevo puente, de pilotes excavados a rotación, fue construido en el año 1985 a 50 m aguas arriba del antiguo puente. Durante El Niño de 1998 el puente fue sobrepasado por las aguas del río Piura sin fallar, mostrando problemas hidráulicos por lo cual se proyectó la ampliación y reforzamiento del puente, con pilotes de concreto hechos in situ mediante entubación a lodos, en los dos tramos adicionales y el pilar intermedio. La obra fue concluida en enero del 2007 por el consorcio TYT S. A. C.-IBECO S. A.

La cimentación profunda del puente consiste en la construcción de seis pilotes excavados con concreto reforzado de diámetro $D = 0.60$ m y una longitud de 19.67 m, distribuidos en el pilar intermedio. El sistema se desarrolla de acuerdo a las especificaciones técnicas de construcción y seguridad vigentes. Estos pilotes también son conocidos como barrenados por el tipo de equipo utilizado.

El objetivo principal del sistema es garantizar un trabajo de calidad, asegurando una sección completa a lo largo de todo el pilote, con especial atención al refuerzo para que no se desplace de su posición teórica planteada.

El perfil estratigráfico del terreno es determinante para definir el método que supere las contingencias y garantice un rendimiento aceptable. Se considera la utilización de un perforador Rotary RTC/10 de Soilmec conocido también como "sistema de la barra Kelly",

Este método considera como elemento estabilizador durante la excavación, una funda de acero de $D_i = 0.60$ m y de longitud no mayor de 6.00 m para conservar la sección de la excavación. En casos especiales cuando nos encontramos con suelos inestables como arenolimosos se utiliza lodo de bentonita. Todos estos parámetros lo define la capacidad de soporte del terreno.



Figura 1. Pilotes excavados.

LISTA DE CUADROS.

Cuadro 1: Relación entre la longitud de onda de la fuerza aplicada y el
doble de la longitud del pilote

21

LISTA DE FIGURAS.

Figura 1: Pilotes excavados	5
Figura 2: Puente Independencia	9
Figura 3: Prueba de integridad de los pilotes	25
Figura 4: Equipo de pilotaje	26
Figura 5: Poza de lodos	27
Figura 6: Plataforma de operación de equipos de excavado	28
Figura 7: Armadura del pilote	29
Figura 8: Inicio de la excavación	30
Figura 9: Colocado de la armadura del pilote	31
Figura 10: Tubería tremie	32
Figura 11: Vaciado de concreto	33
Figura 12: Descabezado de pilotes	34
Figura 13: Obras de protección	35
Figura 14: Colocado de geotextil	36
Figura 15: Cimentación del pilar central del puente Independencia	37
Figura 16: Pilotes prefabricados	39
Figura 17: Pilotes excavados	43
Figura 18: Operación de equipos de excavado	44
Figura 19: Uso de accesorio en excavación	46
Figura 20: Lodos de arcillas tixotrópicas(bentonita)	48
Figura 21: Sistema de la barra Kelly	49
Figura 22: Método para romper las capas duras	50

INTRODUCCIÓN.

El actual puente Independencia se ubica en Catacaos, sobre las aguas del río Piura, en la carretera Piura-Sullana Km. 10.3, provincia y departamento de Piura.

Como consecuencia de las intensas lluvias ocurridas durante El Niño de 1998 en el Perú, en sólo los primeros 3 meses de ese año, 68 puentes fueron destruidos, 13 de los cuales no tenían más de 14 años de antigüedad, y 8 de ellos fueron construidos en los últimos cinco años previos al fenómeno. Sólo en la ciudad de Piura dos de los cuatro puentes colapsaron. Los puentes Bolognesi e Independencia sucumbieron en las aguas del río Piura, mostrando la vulnerabilidad hidráulica de los puentes frente a caudales producidos por lluvias extraordinarias. Por lo general los diseños no son suficiente o adecuadamente largos, sus estribos y pilares no son suficientemente profundos y el nivel del tablero no es lo suficientemente alto.

El puente Independencia fue construido el año 1985, por la firma Lau Castillo Contratistas Generales, según el diseño de Cárdenas y Bautista S.C.R.L. 50m aguas arriba del puente antiguo, que falló durante El Niño de 1983, de lo cual queda el estribo izquierdo y parte del último tramo derecho como estructuras remanentes. El puente ha demostrado tener problemas hidráulicos, es por eso que se ha proyectado la construcción de la superestructura definitiva en los dos tramos adicionales (en tramo de puente metálico provisional) y el pilar intermedio en la margen izquierda del puente actual. Aprobado por resolución directoral N° 299-2006 MTC/20 de fecha 5 de junio del 2006.

Las estadísticas mundiales de fallas de puentes sobre cursos de agua, demuestran que la mayoría de puentes fallan por razones hidráulicas, generalmente por erosión en pilares y/o estribos. Las fallas de puentes por razones estructurales son raras en comparación con las fallas por erosión hidráulica. En el Perú las fallas de puentes por razones hidráulicas son probablemente aún más altas que en otras partes del mundo, por la ocurrencia de El Niño, lo cual hace prestar mucha atención al diseño hidráulico de puentes y un método efectivo para estabilizar las cimentaciones de éstas es mediante el pilotaje y obras de protección. Durante El Niño del año 1998 el puente Independencia fue sobrepasado por las aguas del río Piura, presentando un comportamiento meándrico, sin fallar, presentó entonces problemas hidráulicos, el puente quedó corto.

La falla de estos puentes se produce por erosión hidráulica en la mayoría de los casos porque la longitud del puente es demasiado corta. En la costa los ríos tienen cauces relativamente planos y amplios, el puente no cubre el ancho total del río sino una parte del cauce principal y el resto es cubierto mediante la construcción de terraplenes. Este estrechamiento del cauce genera dos efectos negativos: aumenta los niveles de agua e incrementa la profundidad de erosión.

El aumento del nivel de agua puede causar inundaciones aguas arriba del puente y hasta el vertido de agua por encima del mismo, lo que causa la destrucción del terraplén. Por otro lado, la erosión socava la cimentación de los pilares y estribos del puente, pudiendo causar una falla. Es evidente que uno de los aspectos más importantes del diseño de un puente con terraplenes que estrechen un cauce, es precisamente el dimensionamiento hidráulico de su longitud y elevación para minimizar los riesgos de falla.

La longitud inicial del puente era de 175 m y ha sido ampliada a 227 m, en dos tramos adicionales y el pilar intermedio, en la margen izquierda del estribo derecho.

Figura 2. Puente Independencia.



CAPÍTULO I: CIMENTACIONES PROFUNDAS

Los pilotes son miembros estructurales hechos de acero, concreto y/o madera y son usados para construir cimentaciones, cuando son profundas y cuestan más que las cimentaciones superficiales. A pesar del costo, el uso de pilotes es a menudo necesario para garantizar la seguridad estructural. La siguiente lista identifica algunas de las condiciones que requieren las cimentaciones de pilotes.

Cuando el estrato o estratos superiores del suelo son altamente compresibles y demasiado débiles para soportar la carga transmitida por la superestructura se usan pilotes para transmitir la carga al lecho rocoso o a una capa dura. Cuando no se encuentra un lecho rocoso a una profundidad razonable debajo de la superficie del terreno, los pilotes se usan para transmitir la carga estructural gradualmente al suelo. La resistencia a la carga estructural aplicada se deriva principalmente de la resistencia a la fricción desarrollada en la interfaz suelo - pilote.

Cuando están sometidas a fuerzas horizontales, las cimentaciones con pilotes resisten por flexión mientras soportan aún la carga vertical transmitida por la superestructura. Este tipo de situación se encuentra generalmente en el diseño y construcción de estructuras de retención de tierra y en la cimentación de estructuras altas que están sometidas a fuerzas de viento y/o sísmicas.

En muchos casos, suelos expansivos y colapsables están presentes por debajo de la superficie del terreno. Los suelos expansivos se hinchan y se contraen conforme el contenido de agua crece y decrece y su presión de expansión es considerable. Si se usan cimentaciones superficiales en tales circunstancias, la estructura sufrirá daños considerables. Sin embargo, las cimentaciones con pilotes se consideran como una alternativa cuando éstos se extienden más allá de la zona activa de expansión, y contracción. Los suelos como los constituidos por loess son de naturaleza colapsable. Cuando el contenido de agua de esos suelos aumenta, su estructura se rompe.

Una disminución repentina de la relación de vacíos induce a grandes asentamientos de las estructuras soportadas por cimentaciones superficiales. En tales casos, las cimentaciones con pilotes se usan con éxito si éstos se extienden hasta las capas de suelo estables mas allá de la zona de cambio posible de contenido de agua.

Las cimentaciones de algunas estructuras, como torres de transmisión, plataformas fuera de la costa y losas de sótanos debajo del nivel freático, están sometidas a fuerzas de levantamiento. Algunas veces se usan pilotes para esas cimentaciones y así resistir la fuerza de levantamiento.

Los estribos y pilares de puentes son usualmente construidos sobre cimentaciones de pilotes para evitar la posible pérdida de capacidad de carga que una cimentación superficial sufrirá por erosión del suelo en la superficie del terreno.

Aunque numerosas investigaciones, tanto teóricas como experimentales, se efectuaron para predecir el comportamiento y la capacidad de carga de pilotes en los suelos granulares y cohesivos, los mecanismos no han sido totalmente entendidos y tal vez nunca lo sean. El diseño de las cimentaciones con pilotes es considerado un "arte" en vista de las incertidumbres implícitas al trabajar con las condiciones del subsuelo.

En ocasiones , cuando comenzamos a realizar la excavación para la ejecución de una obra , podemos encontrarnos con diversas dificultades para encontrar el estrato resistente o firme donde queremos cimentar . O simplemente se nos presenta la necesidad de apoyar una carga aislada sobre un terreno sin firme , o difícilmente accesible por métodos habituales. En estos casos se recurre a la solución de cimentación profunda , que se constituye por medio de muros verticales profundos , los muros pantalla o bien a base de pilares hincados o perforados en el terreno , denominados pilotes.

1.1 Partes de una cimentación por pilotaje.

Soporte o pilar : Elemento estructural vertical , que arranca del encepado .

Encepado : Pieza prismática de concreto armado similar a una zapata aislada . encargada de recibir las cargas del soporte y repartirlas a los pilotes.

Vigas riostras : Elementos de atado entre encepados . Son obligatorias en las dos direcciones si el encepado es de un solo pilote. En encepados de dos pilotes es obligatorio el arrostramiento en al menos una dirección, la perpendicular a la dirección de su eje de menor inercia.

Fuste del pilote : Cuerpo vertical longitudinal del pilote . Las cargas son transmitidas al terreno a través de las paredes del fuste por efecto de rozamiento con el terreno colindante .

Punta del pilote : Extremo inferior del pilote . Transmite las cargas por apoyo en el terreno o estrato resistente. Los pilotes pueden alcanzar profundidades superiores a los 40 m teniendo una sección transversal de 2-4 m , pudiendo gravitar sobre ellos una carga de 2000 t.

1.2 Funciones de los pilotes.

Constituyen los pilotes elementos de fundación apreciablemente versátiles, por motivo de que pueden realizar gran variedad de funciones, tales como las que se describen brevemente a continuación.

Pilotes de punta: Transmiten cargas a través de agua o suelos blandos hasta estratos con suficiente capacidad portante, por medio del soporte en la punta del pilote.

Pilote de fricción, flotante: Transmite cargas a un cierto espesor de suelo relativamente blando mediante fricción desarrollada sobre la superficie lateral del pilote, a lo largo de la longitud del mismo. Es aplicable cuando, dentro de profundidades alcanzables, no se encuentran estratos que provean soporte significativos en la punta.

Pilote de fricción, compactación: Compacta suelos granulares relativamente sueltos incrementando su compacidad y, en consecuencia, su capacidad de carga por fricción (también, una parte significativa por punta).

Debemos trasladar el soporte de la fundación más allá de la profundidad de socavación en corrientes de agua, para proveer seguridad contra la pérdida de soporte al ser horadado el suelo portante.

Pilotes de tensión: Su capacidad para resistir fuerzas al arranque les permite evitar el desplazamiento hacia arriba de estructuras sometidas a fuerzas de levantamiento (presión hidrostática), o, al trabajar conjuntamente con pilotes a compresión, configuran mecanismos resistentes a momentos de volcamiento sobre la fundación, como los producidos por cargas actuantes en la parte superior de estructuras de gran altura. **Pilotes de anclaje:** Configuran mecanismos de anclaje resistentes a empujes horizontales de tablestacados u otras estructuras. Usualmente se combinan pilotes a tensión con pilotes a compresión.

Pilotes de defensa: Son parte integrante de estructuras que se deforman elásticamente bajo cargas dinámicas, que les confiere gran capacidad de amortiguación de energía y les permite proteger estructuras frente al agua (muelles), del impacto de embarcaciones y otros elementos flotantes masivos. Frecuentemente se usa la madera.

Pilotes inclinados: Al instalar un pilote con su eje longitudinal inclinado en un cierto ángulo respecto a la vertical, la componente horizontal de la capacidad axial de carga del pilote se puede aprovechar para resistir fuerzas horizontales (el vector de fuerza resistente axial tiene componentes horizontal y vertical). Si, por ejemplo, en la fundación de un muro de contención sobre pilotes, los pilotes verticales solos, no tiene capacidad para resistir la fuerza horizontal proveniente de los empujes de tierra sobre el muro, se puede considerar el uso de una o más filas de pilotes inclinados para trabajar en la forma descrita.

1.3 Tipos de pilotes.

1.3.1 Incidencia del procedimiento de instalación de pilotes en las condiciones del suelo.

Un criterio aplicado en muchos sistemas de clasificación es distinguir dos categorías referentes a diferencias básicas en las acciones sobre el suelo vecino al pilote durante la instalación y, por consiguiente, al comportamiento de los pilotes bajo carga.

- **Pilotes de desplazamiento:** En este sistema el suelo es desplazado del espacio que va a ocupar el pilote, por acción de los esfuerzos de penetración. Pueden generarse una densificación, posiblemente benéfica, en los suelos granulares sueltos. En otros medios tiene lugar levantamientos del terreno, empujes sobre elementos vecinos y otras consecuencias casi siempre nocivas para estructuras y servicios aledaños al sitio de instalación. Dentro de esta categoría lo más importante son:

- a. Pilotes prefabricados, hincados por el impacto de martillos.
- b. Pilotes hincados por impacto y vaciados en el sitio.
- c. Pilotes atornillados.
- d. Pilotes penetrados mediante presión continua, como la producida por gatos hidráulicos.

- Pilotes preexcavados (o perforados): En este sistema de pilotaje, se remueve el suelo del espacio que va ocupar el pilote, al aplicar varias posibles técnicas de excavación o perforación, formando así una cavidad que en caso necesario se protege del derrumbe de sus paredes, en cuyo interior se hecha el concreto integrante de cuerpo del pilote.

Este criterio ha sido adoptado y precisado mejor en Gran Bretaña y considera que los pilotes caen en una de tres grandes clases:

- a. Gran desplazamiento .
- b. Pequeño desplazamiento.
- c. Sin desplazamiento.

1.3.2 Materiales usados para pilotes.

- Pilotes de acero.

Los pilotes de acero son generalmente a base de tubos o de perfiles H laminados. Los pilotes de tubo se hincan en el terreno con sus extremos abiertos o cerrados. Las vigas de acero patín ancho y de sección I también se usan. Sin embargo, se prefiere los perfiles H porque los espesores de sus almas y patines son iguales. En las vigas de patín ancho y de sección I, los espesores del alma son menores que los espesores de los patines. En muchos casos, los tubos se llenan con concreto después de ser hincados. La capacidad admisible estructural para pilotes de acero es $Q (adm) = A(s) f(s)$. Donde $A(s)$ = área de la sección transversal del acero, $f(s)$ = esfuerzo admisible del acero. Con base en consideraciones geotécnicas (una vez determinada la carga de diseño para un pilote), es siempre aconsejable calcular si el $Q(diseño)$ está dentro del rango admisible definido en la ecuación anterior. Cuando es necesario, los pilotes de acero se empalman por medio de soldaduras, remaches o tornillos. Cuando se esperan condiciones difíciles de hincado, como a través de grava densa, lutitas y roca blanca, los pilotes de acero se usan adaptados con puntas o zapatas de hincado. Los pilotes de acero llegan a estar sometidos a corrosión, como en suelos pantanosos, las turbas y otros suelos orgánicos. Los suelos con un pH mayor a 7 no son muy corrosivos. Para compensar el efecto de la corrosión se recomienda considerar un espesor adicional de acero (sobre el área de la sección transversal real de diseño). En muchas circunstancias, los recubrimientos epóxicos, aplicados en la fábrica, sobre los pilotes funcionan

satisfactoriamente. Esos recubrimientos no son dañados fácilmente por el hincado del pilote. El recubrimiento con concreto también los protege contra la corrosión en la mayoría de las zonas corrosivas.

- Pilotes de concreto.

Los pilotes de concreto se dividen en dos categorías: (a) pilotes prefabricados y (b) hechos in situ. Los prefabricados se preparan usando refuerzo ordinario y son cuadrados u octogonales en su sección transversal. El refuerzo se proporciona para que el pilote resista el momento flexionante desarrollado durante su manipulación y transporte, la carga vertical y el momento flexionante causado por la carga lateral. Los pilotes son fabricados a las longitudes deseadas y curados antes de transportarlo a los sitios de trabajo.

Los pilotes prefabricado también son presforzados usando cables de presfuerzo de acero de alta resistencia. La resistencia última de esos cables es de aproximadamente 260 Ksi (\gg 1800 MN/m²). Durante el vaciado de los pilotes, los cables se pretensan entre 130 – 190 ksi (\gg 900 – 1300 MN/m²) y se vierte concreto alrededor de ellos. Después del curado, los cables se recortan produciéndose así una fuerza de compresión en la sección del pilote.

- Pilotes de madera.

Los de madera son troncos de árboles cuyas ramas y corteza fueron cuidadosamente recortadas. La longitud máxima de la mayoría de los pilotes de madera es de entre 10 y 20 m. Para calificar como pilote, la madera debe ser recta, sana y sin defectos. Se dividen en tres clases:

1. Pilotes clase A que soportan cargas pesadas. El diámetro mínimo del fuste debe ser de 356 mm.
2. Pilotes clase B se usan para tomar cargas medias. El diámetro mínimo del fuste debe ser de entre 305 y 220 mm.
3. Pilotes de clase C que se usan para trabajos provisionales de construcción. Estos se usan permanentemente para estructuras cuando todo el pilote está debajo del nivel freático. El diámetro del fuste debe ser de 305 mm.

Los pilotes de madera no resisten altos esfuerzos al hincarse, por lo tanto su capacidad se limita a aproximadamente 23 – 30 toneladas. Se deben usar

zapatatas de acero para evitar daños en la punta del pilote (en el fondo) . La parte superior de los pilotes de madera también podría dañarse al ser hincados, para evitarlo se usa una banda metálica o un capuchón o cabeza. Debe evitarse el empalme de los pilotes de madera, particularmente cuando se espera que tomen cargas de tensión o laterales. Sin embargo, si el empalme es necesario, éste se hace usando manguitos de tubo o soleras metálicas con tornillos. La longitud del manguito de tubo debe ser por lo menos de cinco veces el diámetro del pilote. Los extremos deben cortarse a escuadra de modo que se tenga un contacto pleno entre las partes. Las porciones empalmadas deben recortarse cuidadosamente para que queden estrechamente ajustadas dentro de los manguitos o camisas de tubos. En caso de soleras metálicas con tornillos, los extremos al tope deben también recortarse a escuadra y los lados de las porciones empalmadas deben ser recortadas planas para el buen asiento de las soleras.

Los pilotes de madera permanecerán indefinidamente sin daño si están rodeados por suelos saturados. Sin embargo, en un ambiente marino, están sometidos al ataque de varios organismos y pueden ser dañados considerablemente en pocos meses. Cuando se localizan arriba del nivel freático, los pilotes son atacados por insectos. Su vida se incrementará tratándolos con preservadores como la croesota.

- Pilotes compuestos.

Las porciones superiores o inferiores de los pilotes compuestos están hechos de diferentes materiales, por ejemplo, se fabrican de acero y concreto o de madera y concreto. Los pilotes de acero y concreto consisten en una porción inferior de acero y una porción superior de concreto vertido en el lugar.

1.4 Ensayos.

1.4.1 Ensayo estático.

Consiste en la aplicación de una carga, según un determinado procedimiento (normalizado) y en el registro de los desplazamientos provocados por dicha carga.

Un tratamiento relativamente completo de los pilotes en la ingeniería de fundaciones es particularmente extenso, por los siguientes motivos:

- Muy diversas funciones de los pilotes y formas de utilizarlo.
- Gran variedad de equipos y procedimientos de instalación de los mismos.
- Gran variedad de tipos de pilotes.
- Diversos enfoques para determinar la capacidad de carga y los asentamientos de los pilotes.

Es, además, complejo por razón de:

- Incidencia determinante del método constructivo de instalación en el comportamiento bajo carga de los pilotes.
- Complejidad de los mecanismo de comportamiento del sistema suelo-pilote bajo carga, tanto para pilotes individuales como para grupos de pilotes.
- Trascendencia de la interacción suelo-estructura en el análisis y diseño de fundaciones con pilotes.
- Necesidad de usar métodos numéricos y programas de computadora para el diseño final.

Típicamente, el tratamiento completo de fundaciones con pilotes comprende:

1. Investigaciones del subsuelo para fundaciones con pilotes.
2. Descripción de tipos y materiales de los pilotes y de la selección de los mismos.
3. Equipos y métodos de instalación de los pilotes.
4. Análisis y diseño de fundaciones con pilotes individuales o en grupos, bajo cargas verticales.
5. Análisis y diseño de fundaciones con pilotes individuales o en grupos bajo cargas laterales.
6. Análisis y diseño de placas reforzadas con pilotes.
7. Fundaciones con pilotes bajo cargas dinámicas.
8. Ensayos de carga sobre pilotes.
9. Pruebas de integridad de pilotes.

10. Problemas constructivos en pilotajes.

1.4.2 Métodos aplicativos.

Tipos de carga: Axiales de compresión, axiales de tracción, transversales (horizontal) y combinadas (muy poco común).

Normas:

ASTM D1586 - 84 (r.94) Standard test method for piles under static axial compressive load.

ASTM D3689 - 90 (r.95) Standard test method for individual piles under static axial tensile load.

NBR 12131 - 1991. Estacas-prova de carga estática - Método de ensaio.

1.4.3 Ensayos con métodos no destructivos.

Son tres los métodos utilizados para comprobar la integridad estructural de pilotes mediante sistemas no destructivos:

a. El método sónico mediante martillo de mano que genera una onda sónica que baja por el fuste del pilote, rebota en la punta y es captada por un acelerómetro. También se le conoce como "ensayo de impedancia mecánica" o "sonic echo" (en inglés).

b. El método de cross-hole ultrasónico, que consiste en hacer descender un emisor y un receptor de ultrasonidos por dos conductos huecos paralelos en el interior del fuste del pilote, registrándose el tiempo que tarda la onda en recorrer la distancia entre ambos. También se le conoce como "sondeo sónico" o "ensayo por transparencia sónica".

c. El tercer método es el ensayo dinámico mediante un impacto importante sobre la cabeza del pilote. Generalmente se realiza en pilotes prefabricados utilizando el mismo martillo de hincas, siendo al mismo tiempo un ensayo de integridad estructural del pilote y un ensayo rápido de carga. En todo el mundo se está ya utilizando también sobre pilotes de concreto hechos "in situ".

El incremento de la demanda de estos ensayos ha provocado que éstos salgan del ámbito de unos pocos especialistas para entrar de lleno en el abanico de servicios de los laboratorios de ensayos de materiales de construcción. Sin embargo, con frecuencia no se obtienen los niveles de calidad esperados en la realización de los ensayos, debido a que no siempre los equipos comprados

tienen la tecnología óptima y a que las personas que los utilizan e interpretan no disponen muchas veces de la suficiente experiencia y preparación. Los ensayos de integridad de pilotes suministran informaciones sobre las dimensiones físicas, la continuidad o la consistencia de los materiales empleados en los pilotes, y no suministran información directa sobre el comportamiento de los pilotes en condiciones de carga.

Estos ensayos no pretenden reemplazar a los ensayos estáticos de carga, sino que constituyen una fuente adicional de información sobre los pilotes construidos. Significan una potente herramienta de trabajo para poder determinar experimentalmente la existencia de defectos en los pilotes con rapidez y economía, por lo que son utilizados básicamente como control de calidad generalizado de los pilotes.

En el caso de detectarse anomalías mediante los ensayos de integridad, se puede recurrir a otros métodos para intentar investigar las causas, la naturaleza y la extensión de la anomalía, y determinar si el pilote es apto para el uso que se pretende. Los métodos empleados tradicionalmente en estos casos son la excavación alrededor del pilote y los sondeos con extracción de testigo continuo del fuste del pilote. La realización de sondeos solo permite obtener datos del testigo extraído y de las paredes del sondeo, cuya posición con respecto al eje del pilote es difícil de conocer exactamente cuando la profundidad es grande. Los resultados de los ensayos de integridad necesitan ser interpretados por personal experimentado. Las modernas técnicas electrónicas e informáticas permiten un procesamiento y un tratamiento de las señales que facilitan la posterior presentación e interpretación de los resultados. No se puede esperar que los ensayos de integridad identifiquen todas las imperfecciones existentes en un pilote, pero son una potente herramienta principalmente como salvaguardia contra defectos importantes. Los ensayos de integridad pueden identificar defectos de menor importancia que no afecten gravemente al pilote, por lo que resulta fundamental la experiencia del técnico responsable de la interpretación.

Las pruebas de carga permiten conocer el comportamiento real de los pilotes en el terreno, sometidos a cargas generalmente superiores a las de servicio. Se realizan en la fase de proyecto de la cimentación, o en la fase de construcción, como comprobación del diseño realizado. Dadas las elevadas cargas a aplicar, usualmente del orden de cientos de toneladas, son ensayos muy costosos, por lo que la tendencia es a realizarlos cada vez menos y solo en obras de elevado

presupuesto. Los modernos ensayos rápidos de carga, de costo muy inferior, permiten la realización de pruebas de carga en obras de presupuestos medios, que se benefician así también del diseño más ajustado que admiten las normas cuando se realizan ensayos de carga.

1.4.4 Métodos de ensayo de integridad estructural.

Las nomenclaturas existentes son variadas y contradictorias en la literatura, utilizándose palabras como "sónico", "sísmico" y "dinámico" con diferente significado según los autores, por lo que se debe tener en cuenta más el método en sí que el nombre.

Son tres los métodos de ensayo de integridad de pilotes más difundidos, que también se emplean:

a. El más utilizado internacionalmente consiste en golpear la cabeza del pilote con un martillo de mano y obtener mediante instrumentación el movimiento de la cabeza del pilote como consecuencia de la onda de tensión generada. Es un método dinámico que induce una baja deformación en el pilote, denominándose generalmente "método sónico", aunque también se le nombra como "sísmico", "ensayo de integridad de baja deformación", "sonic echo" (en inglés) o "ensayo de impedancia mecánica". Se aplica a cualquier tipo de pilote, no requiere ninguna preparación especial en el mismo, ni necesita equipo pesado, por lo que resulta económico y de gran rendimiento.

b. Otro método muy conocido consiste en hacer descender un emisor y un receptor de ultrasonidos por dos conductos huecos paralelos en el interior del fuste del pilote, registrándose el tiempo empleado en recorrer la distancia entre ambos. Es también un método dinámico que induce una baja deformación en el pilote, denominándose generalmente "cross-hole ultrasónico", aunque también se le denomina "sondeo sónico", "sondeo sísmico", "ensayo sísmico paralelo", "cross hole sonic logging" (en inglés) o "ensayo por transparencia sónica". Requiere que se dejen dos o más tubos embebidos en el concreto, o que se realicen taladros en el concreto endurecido. Una vez realizado esto, el ensayo es rápido y no precisa equipos pesados. Este método se utiliza también en muros pantalla de concreto armado.

c. El tercer método es el que dispone de más tradición, consistiendo en dejar caer una masa importante sobre la cabeza del pilote protegida por una sufridera, instrumentándose la cabeza del pilote para obtener la fuerza y la velocidad en

función del tiempo. Es un método utilizado preferentemente en pilotes hincados, ya que aprovecha la misma energía proporcionada por el martillo de hinca. Es un método dinámico que induce una fuerte deformación en el pilote, denominándose generalmente "ensayo de respuesta dinámica" o simplemente "ensayo dinámico".

En el cuadro 1 figuran algunos de los parámetros característicos de los diferentes tipos de ensayos descritos, comparados también con los ensayos estáticos de puesta en carga.

CUADRO 1

ENSAYOS	SÓNICOS	DINÁMICOS	SEMIESTÁTICOS	ESTÁTICOS
Masa martillo	0,5-5 kg	2000-10000 kg	2000-5000 kg	N/A
Deformación máxima en pilote	2-10*10 ⁻⁶	500-1000*10 ⁻⁶	1000*10 ⁻⁶	1000*10 ⁻⁶
Velocidad máxima en pilote	10-40 mm/s	2000-4000 mm/s	500 mm/s	10-3 mm/s
Fuerza máxima	2-20 kN	2000-10000 kN	2000-10000 kN	2000-10000 kN
Duración de la fuerza	0.5-2 ms	5-20 ms	50-200 ms	107 ms
Aceleración del pilote	50 g	500 g	0.5-1 g	10-14 g
Desplazamiento del pilote	0.01 mm	10-30 mm	50 mm	> 20 mm
Longitud onda relativa (*)	0.1	1	10	108

(*) Relación entre la longitud de onda de la fuerza aplicada y el doble de la longitud del pilote.

En pilotes hincados no requiere preparación especial ya que se utiliza el mismo martillo de hinca y la instrumentación es sencilla, pero en otros tipos de pilotes si que requiere medios pesados, ajenos a los de ejecución del pilote, para disponer sobre el mismo una masa considerable con una cierta altura de caída. En la actualidad se han desarrollado sistemas más sencillos y transportables de dar la energía necesaria para el ensayo.

1.4.5 Métodos rápidos de ensayo de carga.

El método más conocido es el mismo ensayo dinámico anterior, tercer método para la comprobación de la integridad estructural de pilotes. Está descrito en la norma ASTM D 4945-89 y es utilizado tanto en pilotes hincados como en pilotes perforados.

En pilotes prefabricados la carga se aplica con el mismo martillo de hinca empleado. En pilotes perforados y de concreto vaciados "in situ" hace falta buscar una carga cualquiera con un peso entre 1 y 1.5 % de la carga de prueba estática y una altura de caída entre 2 y 3 m. Es decir, para una carga de prueba de 500 t, se necesita una masa de 5-7 t suspendida con una grúa. La cabeza del pilote se prepara usualmente realizando un recocado de concreto dentro de una camisa metálica, en el que se colocan los sensores de velocidad y deformación, con una superficie plana en el extremo superior protegida por una chapa metálica y una sufridera sobre la que se produce el impacto. La carga se eleva con una grúa y se deja caer sobre el pilote, registrándose en una computadora portátil la fuerza y la velocidad en la cabeza del pilote en función del tiempo. Es importante que la energía del impacto sea suficiente para movilizar la capacidad resistente del suelo. Por ello es usual aplicar 4 ó 5 golpes con altura de caída creciente, registrándose los parámetros de la respuesta del pilote.

Los resultados obtenidos se tratan en la computadora con programas informáticos que incorporan diferentes fórmulas o métodos numéricos para estimar la capacidad de carga y presentar los resultados obtenidos de manera rápida, incluso en la misma obra. Es práctica usual realizar al menos un ensayo estático de carga de tipo convencional en un pilote ensayado dinámicamente, con objeto de correlacionar la resistencia estática y dinámica del pilote. En el caso de que exista ya experiencia local en pilotes similares con parecidas condiciones del subsuelo, se puede obviar el ensayo estático de carga. El otro método rápido de ensayo de carga es el denominado "Statnamic". La

carga se aplica de manera casi estática, con duración del orden de 100 milisegundos, mientras que en el método dinámico era de pocos milisegundos, por lo que no se produce onda de choque ni efectos dinámicos, que en determinados casos pueden llegar a dañar al pilote. Se empuja el pilote de manera suave hasta la carga de prueba prevista, obteniéndose una curva carga-asiento directa e instantáneamente. La aceleración que sufre el pilote es de 1 g, mientras que en el ensayo dinámico es de 100 a 1000 g.

Para conseguir aplicar una carga importante de esta manera suave, se utiliza un ingenioso sistema consistente básicamente en una cámara de combustión colocada en el centro de la cabeza del pilote, en la que se produce la ignición controlada de un combustible. La fuerza generada levanta un pistón sobre el que apoyan unos contrapesos importantes, del orden del 5 al 10% de la carga estática de prueba. Por el principio de acción y reacción, una fuerza centrada de igual magnitud comprime el pilote.

Los contrapesos pueden ser construidos "in situ", con materiales locales (concreto o acero), de tipo modular, de manera que se pueden apilar sobre el pistón en piezas manejables de no más de 3 t de forma circular, con un hueco en el centro para dejar pasar un eje centrador, que sirve también de vía de escape de los gases de la combustión. El conjunto queda dentro de un contenedor cilíndrico exterior de chapa relleno de grava, que, al producirse la ignición y levantarse los contrapesos, rellena los espacios creados y amortigua la caída posterior de los contrapesos. Últimamente se han desarrollado bastidores metálicos que simplifican la operación de frenado y sujeción de los contrapesos. La instrumentación consiste en una célula de carga que mide directamente la fuerza aplicada a la cabeza del pilote y en un sensor de desplazamientos por láser colocado en la cabeza del pilote, sobre el que incide un rayo láser de referencia desde 20 m de distancia. Se obtiene de este modo una curva carga-deformación de manera instantánea en la pantalla de la computadora portátil que recibe las señales.

En la computadora se comparan los resultados obtenidos con dos pruebas estáticas de carga y una Statnamic en pilotes con carga de trabajo 1.55 MN (158 t) ensayados con carga de prueba 200 % de la de trabajo, 3.1 MN (316 t). Como se puede ver, los resultados son idénticos.

Se puede ensayar un pilote al día, con un costo sensiblemente inferior al de una prueba estática convencional.

El ensayo Statnamic es el que suministra más información sobre el comportamiento del pilote bajo carga.

1.4.6 Método sónico.

En el ensayo sónico de integridad de pilotes se utiliza un equipo desarrollado por el instituto TNO de Holanda, que cuenta con más de veinticinco años de experiencia en este tipo de ensayos, habiendo ensayado millones de pilotes, y habiendo detectado centenares de pilotes con defectos más o menos serios.

El ensayo es del tipo de martillo de mano, cuyo golpe envía una onda de compresión a lo largo del fuste del pilote. Esta onda es reflejada por las discontinuidades del pilote, por su punta, o por cambios de sección o variaciones del terreno que lo rodea. Los movimientos consiguientes de la cabeza del pilote son captados por un acelerómetro. La señal del acelerómetro es amplificada y digitalizada por un sistema electrónico y convertida en medida de velocidad, que se presenta inmediatamente en la pantalla de una microcomputadora portátil. La curva obtenida se puede archivar en el disco duro del equipo para su posterior tratamiento e impresión mediante ploter o impresora. El gráfico de velocidad de un pilote continuo aparece en la pantalla como una línea relativamente recta con dos picos. El primero de ellos es el causado por el impacto del martillo, mientras que el segundo es causado por la reflexión en la punta del pilote. El programa informático incorpora diferentes técnicas para mejorar y explotar las señales obtenidas, tales como suavizar y promediar los golpes de martillo, la obtención de la curva media de varios pilotes, y la amplificación de la señal con la profundidad de manera lineal o exponencial para compensar los efectos de pérdida de señal con la profundidad.

Los pilotes no requieren ninguna preparación especial, únicamente se necesita que se haya realizado ya el descabezado en el momento del ensayo, para que el golpe del martillo se realice sobre concreto sano y la onda no refleje en discontinuidades o coqueas del concreto poco compacto existente en la cabeza del pilote antes del descabezado. La edad mínima del concreto en el momento del ensayo es de siete días, para garantizar un grado de endurecimiento y un módulo de elasticidad que permitan que la onda se propague. En ocasiones se han conseguido obtener buenas señales a edades incluso más tempranas. Los ensayos no producen ninguna interferencia en la marcha de la obra, ya que se pueden ensayar grupos de pilotes a medida que se van construyendo y

descabezando, y suele bastar un día o dos de preaviso para la realización de los ensayos. El rendimiento es elevado, y en condiciones óptimas se pueden ensayar más de 100 pilotes al día.

El ensayo sísmico también se puede utilizar en pilotes de cimentaciones antiguas, realizando previamente una cata por el lateral del encepado y dando el golpe del martillo y captando la onda en un lateral del pilote.

El ensayo se realiza según la norma ASTM D 5882-96.



Figura 3. Prueba de integridad de los pilotes.

CAPÍTULO II: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA CIMENTACIÓN Y OBRAS DE PROTECCIÓN EN LA AMPLIACIÓN DEL PUENTE INDEPENDENCIA.

La cimentación profunda del puente Independencia consiste en la construcción de 6 pilotes excavados con concreto reforzado de diámetro $D = 0.60$ m y una longitud de 19.67 m, distribuidos en el pilar intermedio en la margen izquierda del río Piura. El sistema se desarrolla de acuerdo a las especificaciones técnicas de construcción y seguridad vigentes. Estos pilotes también son conocidos como barrenados por el tipo de equipo utilizado.

Se considera la utilización de un perforador Rotary RTC/10 de Soilmec conocido también como "sistema de la barra Kelly",

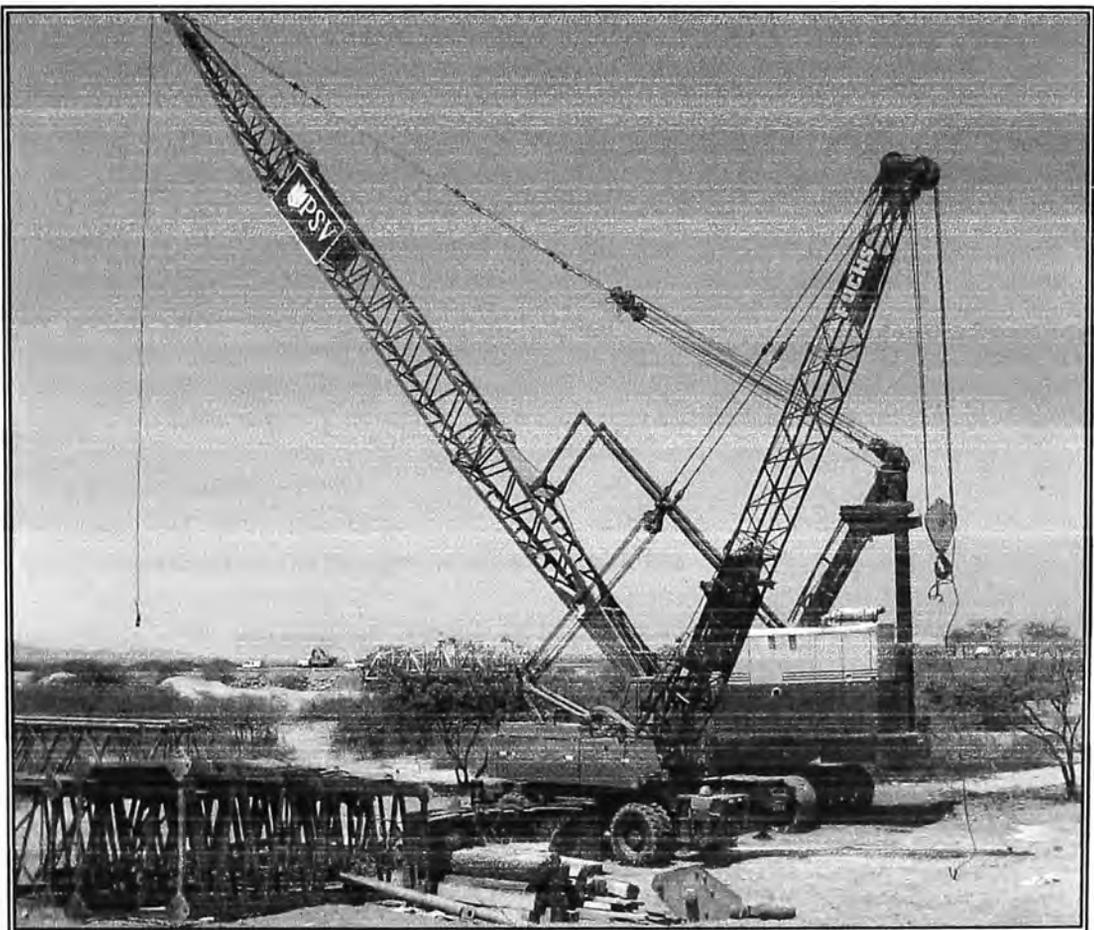


Figura 4. Equipo de pilotaje.

Este método considera como elemento estabilizador durante la excavación, una funda de acero $D_i = 0.60$ m y de longitud de 7.5 m para conservar la sección

de la excavación. En casos especiales cuando nos encontramos con suelos inestables como arenolimosos se utiliza lodo de bentonita. Todos estos parámetros lo define la capacidad de soporte del terreno.



Figura 5. Poza de lodos.

2.1 Fabricación de pilotes perforados de concreto.

Se prepara la plataforma de operaciones que debe ser compacta, nivelada, espaciosa y despejada para mejor maniobrabilidad. Con estas condiciones el equipo se puede ubicar y se realiza un trabajo limpio y preciso.

Esta plataforma se prepara con un relleno apropiado (no se colocan piedras ni rocas) hasta una cota por encima del nivel de fondo de zapata y por lo menos + 1.00 m del nivel de espejo de agua. Su determinación obedece al proceso constructivo propio del sistema para facilitar al equipo de barrenado un nivel de plataforma estable que permita una verticalidad en la perforación, extracción de la funda de ser posible y control de la contaminación del concreto fresco. Se deja en claro que la cota superior del pilote fundido sea del nivel de fondo de la zapata + 1.00 m aproximadamente.

La parte superior de la plataforma está conformada con un material tipo afirmado y ligeramente compactado por las ruedas de un vehículo pesado.

Se replantea los ejes de la cimentación según los planos del proyecto.



Figura 6. Plataforma de operación de equipos de excavado.

La armadura de los pilotes se ubican a pie de obra y con los elementos complementarios que garantizan el recubrimiento especificado y además para que no se desplace de su posición teórica (rodillos de concreto).

Se utiliza concreto premezclado a pie de obra de manera coordinada con el equipo de preexcavado.

Se emplea equipo complementario de fundido (bomba, mangaembudo y tubería tremie).

El nivel freático no es limitante en aplicación del sistema, es decir la excavación para los pilotes considera la presencia de agua y se deben tomar las previsiones del caso para asegurar una sección de excavado uniforme.

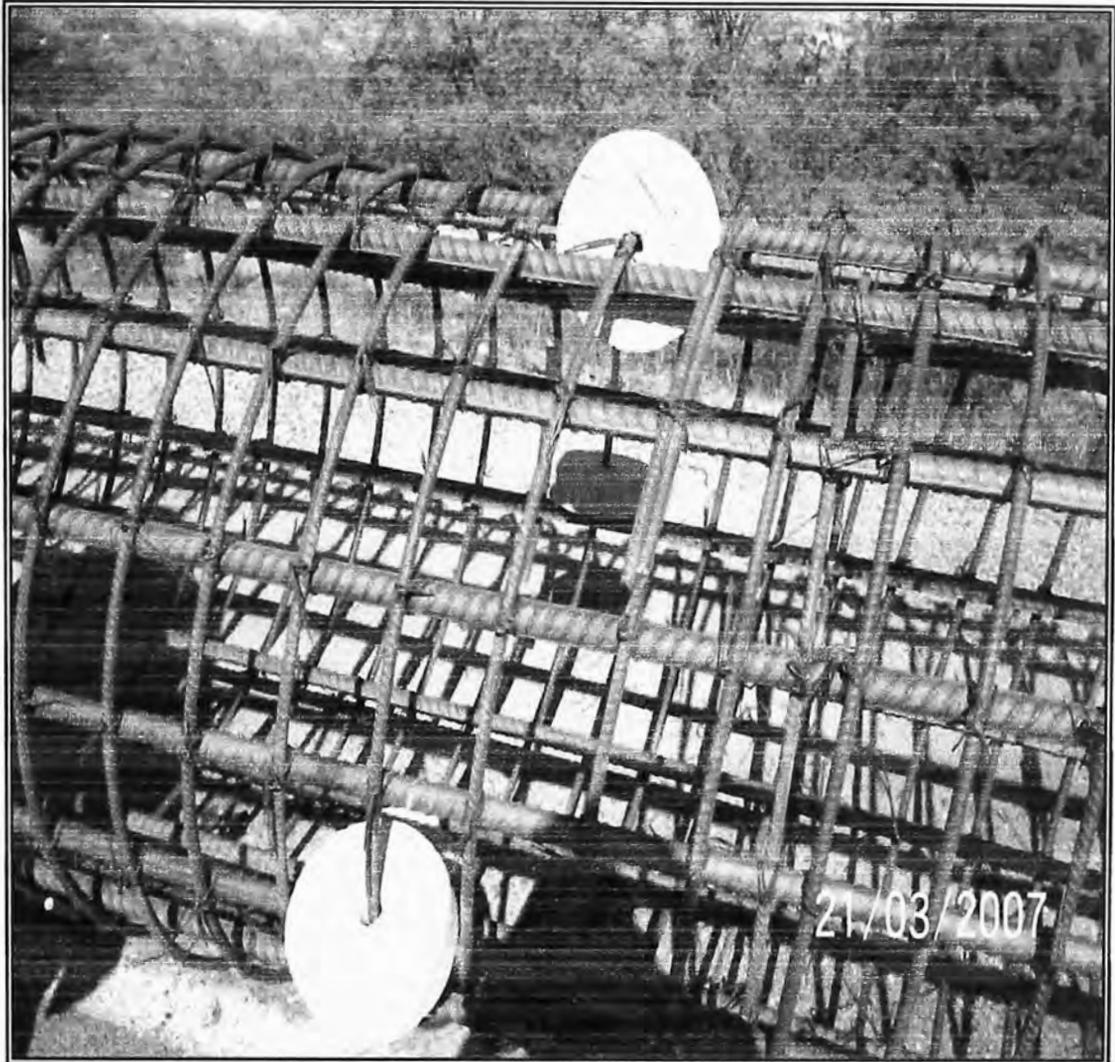


Figura 7. Armadura del pilote.

2.1.1 Excavación.

Se inicia la perforación del pozo en la posición y nivel replanteado y conforme se avanza se coloca la funda de $D = 0.60$ m y longitud de 7.5 m para contener el material del estrato superior. La funda debe quedar aproximadamente 0.30 m por encima del nivel de plataforma de trabajo. El accesorio recomendado para iniciar la excavación es el tipo tornillo, sobre todo para precisar en el punto replanteado.

Continuamos excavando utilizando el accesorio “balde extractor” hasta lograr el nivel de fondo especificado, una vez concluida la excavación se deja constancia con un protocolo de perforación. Se precisa que la plataforma mejorada y la funda ayudan con la orientación y verticalidad de la excavación.

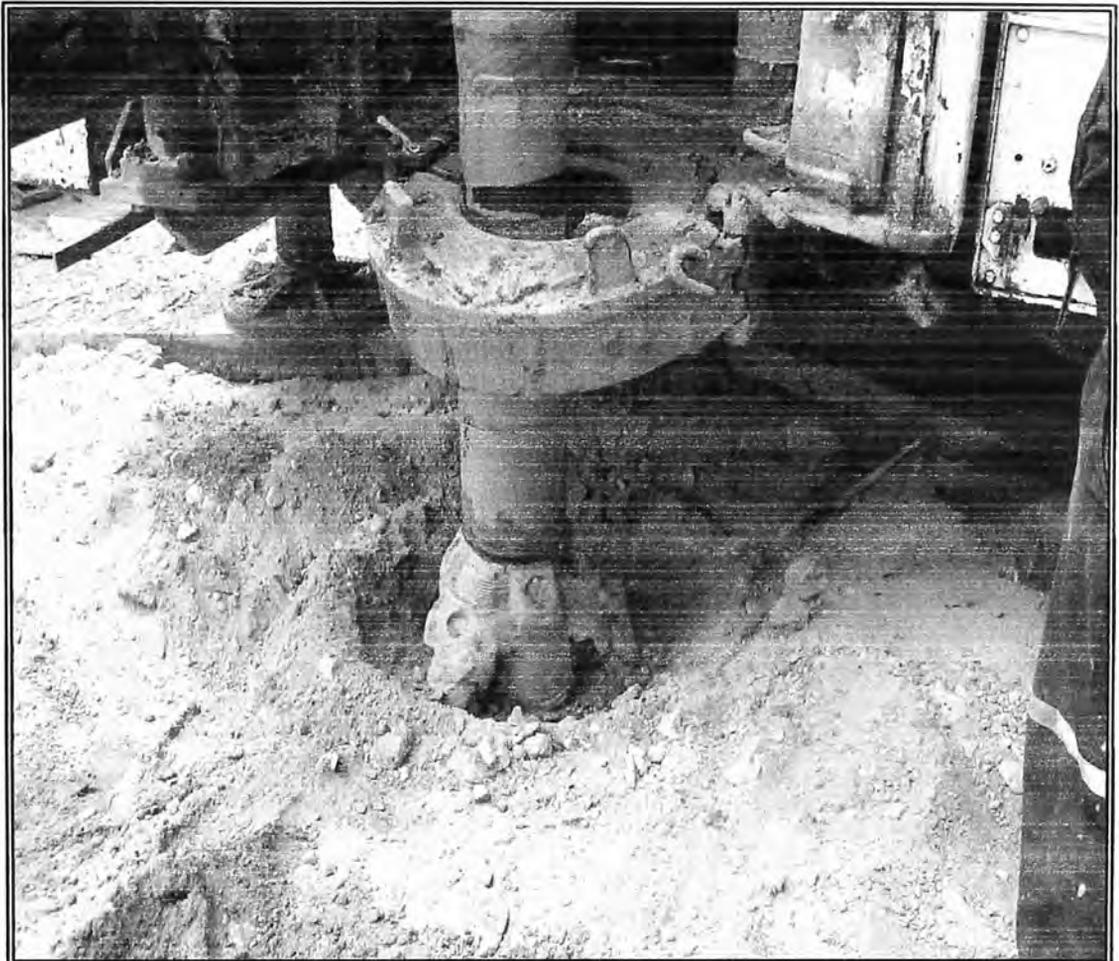


Figura 8. Inicio de la excavación.

La cota de fondo de la excavación podrá ser modificada si se determina que el material de fundación encontrado no es apto o difiere del perfil estratigráfico del estudio de suelos del proyecto.

2.1.2 Colocación de la armadura de acero.

La armadura de acero del pilote se conforma por unidades de acero longitudinales de $\varnothing=1"$ y una espiral a todo lo largo con unidades de acero de $\varnothing=3/8"$, el conjunto constituye el refuerzo de cada pilote.

Concluida la perforación se coloca la armadura de acero con la ayuda de una grúa teniendo mucho cuidado con la maniobra de izaje de no deformar la

canastilla. Una vez colocada la armadura hasta el nivel indicado se asegura con una manila y una barra adicional para que quede fija a la funda metálica durante todo el vaciado de concreto fresco.

La armadura lleva unos rodillos de concreto a espaciamientos no mayores de 1.50 m que garantizan el recubrimiento indicado en los planos. Estos rodillos se colocan cuando las armaduras se encuentren a pie de obra y poco antes de colocarse en la excavación.



Figura 9. Colocado de la armadura del pilote.

Se evita el manipuleo de la canastilla de acero y de ser necesario su transporte se realiza con una maniobra adecuada para no deformarla y mantener su sección inicial especificada.

2.1.3 Vaciado de concreto.

Se coloca la tubería tremie de $\varnothing=8"$, sección por sección hasta una longitud adecuada tal que pueda ser ligeramente mayor que la excavación para dejar que el concreto pueda ascender desplazando el agua y lodo resultante.

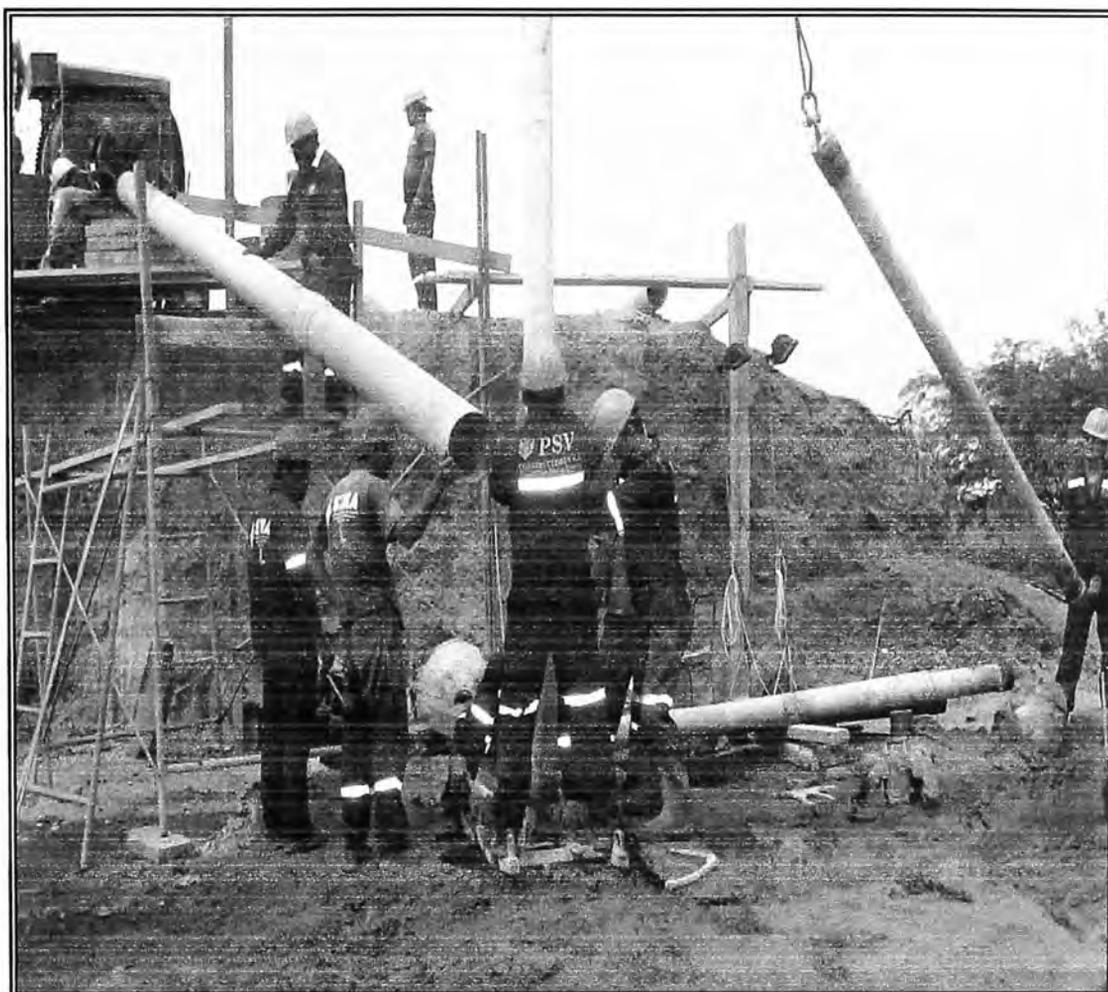


Figura 10. Tubería tremie.

Colocada la tubería tremie, se coloca el embudo verificando que tenga una rejilla o malla la cual evita el paso de elementos diferentes al concreto. Adicionalmente se coloca un tapón en la boca de salida de la tubería tremie que permite que exista una película que separe el concreto con el agua contaminada existente en la excavación.

A medida que el concreto esté ascendiendo se puede ir tomando medidas para determinar si se puede retirar tubería o no. Es necesario que al retirar algunos tubos se verifique que el resto de la tubería quede por lo menos 1.00 m dentro del concreto para asegurar la continuidad del pilote.

Terminado el proceso de vaciado y dejando el nivel de concreto fresco en la cota deseada, se retira la tubería restante y el embudo para su lavado.

Se emplea concreto plástico hasta una cota ligeramente mayor (aprox. + 1.00 m) para realizar el posterior descabezado y garantizar un empalme estructural con la zapata.

El concreto se suministra de una forma tal que se asegura que el vaciado del concreto en cada pilote se realice sin interrupción. Es necesario que la mezcla tenga una manejabilidad adecuada para que pueda fluir contra las paredes de la excavación y entrar en cada cavidad.



Figura 11. Vaciado de concreto.

Para evitar segregación y la formación de panales de abeja se usa un concreto con aditivo plastificante, manejabilidad de 3 horas, asentamiento de 6" a 8" y una grava de tamaño máximo 3/4".

2.1.4 Descabezado de pilotes.

Concluido con el vaciado de concreto del último pilote de cada estribo, se precede con el retiro del relleno provisional utilizado en la plataforma de trabajo, hasta la cota de fondo del solado de la zapata.

Una vez retirado el material se procede con el descabezado de los pilotes hasta la cota especificada (aprox. 1.00 m). Para la ejecución de esta partida se puede utilizar martillos rompepavimento hasta un nivel próximo a la cota indicada y se termina de manera manual con cincel y comba.

El descabezado se efectua con cuidado para no dañar la armadura que queda embebida en la zapata y el concreto de la parte superior de los pilotes.



Figura 12. Descabezado de pilotes.

2.2 Platea de protección a la socavación.

Se construyó una platea de protección contra la socavación en cada uno de los pilares existentes, conformada por cantos rodados del mismo lecho del río, protegidas por gaviones unidos. Para la ejecución del Rip Rap, se realizó el

desvío del cauce a fin de que el flujo del agua no afectara las excavaciones y la colocación del enrocado perimetral a la zapata de los pilares.



Figura 13. Obras de protección.

2.3 Gaviones tipo colchón plastificado y gaviones tipo caja.

Los gaviones se construyeron con alambre con recubrimiento triple galvanizado. Se colocaron dos tipos de gaviones: tipo caja y tipo colchón.

Los gaviones tipo colchón y los de tipo caja debieron cumplir con las especificaciones técnicas ASTM A975-97, principalmente en lo que se refiere a los requisitos de materiales, fabricación, propiedades mecánicas y físicas establecidas en la norma ASTM A-975. Esto se garantizó mediante la presentación de certificados de calidad emitidos y mediante la ejecución de los ensayos respectivos de acuerdo a lo indicado en el punto 13 de la referida norma ASTM, por entidades de reconocido prestigio aprobadas por la supervisión.

2.4 Geotextiles.

Los geotextiles se usaron como filtros y fueron empleados en los trabajos de ampliación del muro guía.

Antes de colocar los gaviones de protección, se colocó un geotextil el cual trabaja como filtro.

Se utilizó un geotextil no tejido de fibras continuas termoligado de polipropileno estabilizado (para garantizar su resistencia al reventamiento durante el colocado de gravas), tipo Typar 3401, imputrescible.

En los casos en que no se cubrió el ancho total con una sola pieza, se cortó el geotextil hasta cubrir el ancho total especificado. El traslape mínimo entre una y otra pieza fue de 0.30 m.

Después de colocar el geotextil se procedió a colocar las piedras, con el suficiente cuidado para no dañar el geotextil.



Figura 14. Colocado del geotextil.

CAPÍTULO III: ANÁLISIS CONSTRUCTIVO DE LOS SISTEMAS DE CIMENTACIÓN UTILIZADOS EN EL PUENTE INDEPENDENCIA.

Una vez determinada la necesidad de utilizar un sistema de cimentación por pilotaje, se han de tener en cuenta las características y el comportamiento del terreno, y de los distintos sistemas de pilotaje, para elegir adecuadamente el procedimiento idóneo.

Se hace un análisis de:

- El antiguo puente Independencia, de pilotes de concreto hechos in situ(entubación hincada).
- El nuevo puente, de pilotes excavados a rotación.
- La ampliación y reforzamiento del puente, con pilotes de concreto excavados .



Figura 15. Cimentación del pilar central del puente Independencia.

La elección de un sistema de pilotaje que no se adapte a las características del terreno nos puede acarrear una serie de fallos en el pilote, que podríamos clasificar en dos tipos:

- Defectos en el pilote detectados durante la ejecución. La consecuencia de este tipo de defectos es, en la mayoría de los casos, la repetición del pilote, y la adopción de las correspondientes medidas que corrijan los esfuerzos que se generen. La importancia económica de la reparación de estos defectos está determinada por el sistema de pilotaje utilizado y el número de unidades afectadas. En cualquier caso es siempre menor que si se detecta el defecto una vez oculta la cimentación.
- Defectos en pilotes ocasionados una vez oculta la cimentación. Tanto si se detectan en fase de obra, como si se detectan a posteriori durante la vida útil del puente, el fallo de un pilote suele provocar asientos en los pilares, produciendo daños de importancia tanto en estructura como en la superestructura. La reparación de estos defectos suele necesitar un estudio complejo de las patologías del puente, y pasa en la mayoría de los casos por un recalce mediante micropilotaje, con un elevado costo económico. Así pues, es importante conocer los posibles defectos que se pueden producir en los pilotes si se aplica un sistema de pilotaje inadecuado al terreno en el que vamos a cimentar.

Los fallos ocasionados en un pilote por la aplicación de un sistema inadecuado están relacionados con las características mecánicas del pilote, la forma de transmitir cargas al terreno y el sistema de ejecución. Por lo tanto, realizando un análisis de los aspectos mecánicos, funcionales y de los procedimientos de ejecución de cada uno de los sistemas más conocidos, se pueden ir delimitando los posibles defectos.

3.1 Pilotes de desplazamiento.

Denominamos así a aquellos sistemas de pilotaje en los que no se extrae el terreno, sino que en el proceso de hincar el pilote lo desplaza lateralmente. Este sistema produce una compresión lateral del pilote por el terreno, mejorando su comportamiento por fuste.

3.1.1 Pilotes prefabricados de concreto.

Los pilotes prefabricados de concreto funcionan muy bien como pilotes columna,

es decir, transmitiendo la carga en punta a un estrato lo suficientemente firme como para aguantar la carga sin peligro de rotura del estrato, y la posibilidad de empalmar tramos de este tipo de pilotes les permite alcanzar grandes profundidades. Existen dos subtipos, que son pilotes prefabricados de concreto para hincas y pilotes prefabricados de concreto a rotación.

Los pilotes prefabricados de concreto roscados funcionan transmitiendo las cargas tanto por punta como por fuste, siendo su empleo recomendable en terrenos fangosos, y comportándose peor en terrenos disgregados en los que se puede desprender el terreno, aprisionando el pilote e inmovilizándolo antes de llegar a la profundidad requerida. Su aplicación sería recomendable en el caso de tener que pilotar a gran profundidad en un terreno homogéneo, y por algún motivo estar desaconsejado el uso de un pilote hincado..

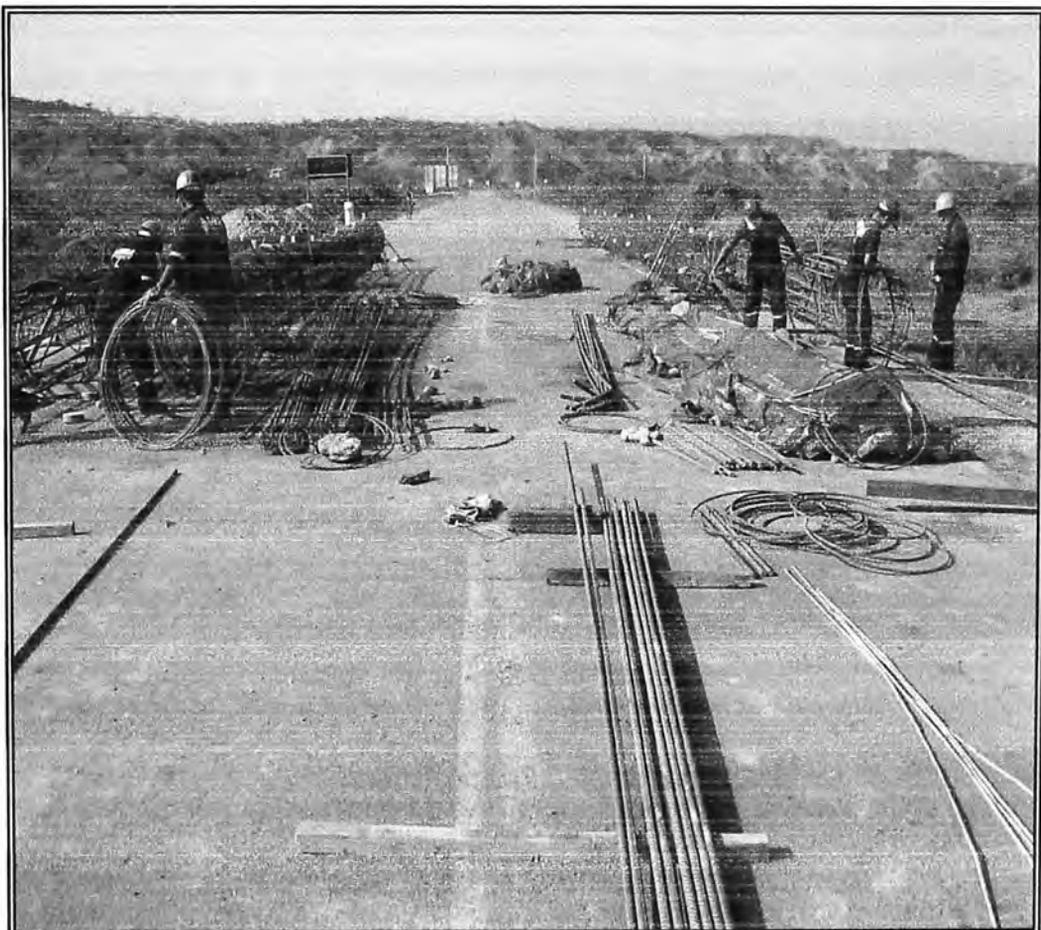


Figura 16. Pilotes prefabricados.

Los pilotes prefabricados hincados, cuyo uso está mucho más extendido, funcionan muy bien en terrenos homogéneos sueltos de naturaleza granular, como pueden ser las arenas de playa, o incluso las arcillas limosas de baja

resistencia, pero siempre con un firme en el que apoyarse, pues su resistencia por fuste es escasa, al tratarse de caras lisas.

Por el contrario, tienen un mal comportamiento en terrenos estratificados, heterogéneos o con presencia de bolos o bloques de roca, que podrían interponerse en el camino del pilote.

Dentro del grupo de pilotes de concreto prefabricados hincados, podríamos encontrar las siguientes patologías:

- Que el pilote encuentre en su camino, antes de llegar al firme, un estrato resistente o un bolo en medio de una capa blanda, con lo que podría ocurrir:

a. Que se produzca un falso rechazo que nos haga creer que se ha alcanzado el firme, dejando el pilote apoyado en una capa intermedia o en una roca, que al estar inmerso en un estrato de resistencia inferior produzca asentamientos del pilote al entrar en carga. Son particularmente peligrosos los estratos de grava dentro de una capa blanda, sobre todo si presenta cierta potencia.

b. Que sabiendo que el pilote no ha alcanzado el firme, y por tanto se podrían producir asentamientos, la maquinaria de hinca del pilote no tenga potencia suficiente para atravesar el estrato, o para romper la roca que hayamos encontrado en el camino. Este defecto es factible de detectar durante la ejecución, controlando las profundidades alcanzadas y comparándolas con la documentación que se posea sobre la profundidad del firme, y por lo tanto subsanable introduciendo nuevos pilotes, de forma que desplazándolos se salve el bolo encontrado, o bien repartiendo la carga entre un grupo de pilotes para que no produzcan asentamientos en el estrato intermedio.

- Que el pilote encuentre en su camino un bolo o roca, desviado respecto del eje del pilote. En este caso puede ocurrir que el bolo se desvíe lateralmente en el proceso de hinca, generando un empuje lateral sobre el pilote. Este caso puede ocasionar los siguientes defectos:

a. Si el bolo se encuentra en un estrato elevado, el empuje lateral sobre el pilote ocasionará una inclinación del mismo, que en la mayoría de los casos será apreciable y por lo tanto detectable en el control de la ejecución del pilote. Si no se ha introducido una longitud excesiva del pilote, es posible extraerlo e hincarlo en una posición desplazada, y si no es posible su extracción se podrán hincar

nuevos pilotes a su alrededor, corriendo en ambos casos la excentricidad respecto del eje del pilar mediante vigas centradoras.

b. Si el bolo se encuentra en un estrato profundo, es posible que el empuje lateral sobre el pilote se vea contrarrestado con la resistencia del terreno, generándose un esfuerzo de flexión que dañe el pilote, y que incluso podría llegar a partirlo. Por lo general, este defecto no es detectable durante la ejecución, y únicamente al entrar en carga el puente se detectarían los daños derivados de asientos en el pilote.

- Que el pilote atravesase un estrato con aguas agresivas con alto contenido en cloro o en ión sulfato, que puedan atacar a las armaduras del pilote o al concreto. Este problema es fácilmente previsible si se ha detectado con anterioridad en un estudio geotécnico la agresividad de esas aguas, utilizando en la confección de los pilotes prefabricados cementos adecuados.

3.1.2 Pilotes de concreto hechos in situ, de entubación hincada.

Dentro de este grupo, se pueden distinguir a la vez dos subgrupos, que son pilotes con entubación recuperable y pilotes con entubación perdida. En ambos casos, y a pesar de tener comportamientos mecánicos distintos, son sistemas que permiten unas elevadas solicitaciones mecánicas, y también son sistemas con un elevado costo económico.

En ambos casos, la potencia de la maquinaria de hincada de la entubación permite atravesar estratos de resistencia elevada o romper bolos interpuestos en el camino del pilote, a lo cual contribuyen notablemente los azuches o puntas reforzadas que se colocan para evitar que la entubación se llene de terreno.

- Pilotes de concreto hechos in situ, con entubación hincada perdida.

Presentan prácticamente como único inconveniente su importante costo económico, ya que no presentan problemas de falso rechazo debido a la potencia de la máquina de hincada. La protección que confiere al concreto la entubación perdida evita el ataque del concreto por aguas agresivas, y el posible lavado del mismo por corrientes de agua. Por último, el encamisado metálico refuerza el pilote ante esfuerzos laterales que puedan ocasionarse por deslizamientos en el terreno a media ladera.

- Pilotes de concreto hechos in situ, con entubación hincada recuperable. Este tipo de pilotes, en los que la entubación se extrae a posteriori del proceso

de vaciado del concreto, confiere al pilote un componente muy elevado de resistencia por fuste, por lo que los hace idóneos en terrenos con firme profundo. Además, como ya hemos explicado, la potencia de la maquinaria de hinca les permite atravesar estratos duros. Los inconvenientes de este sistema son pues los mismos inconvenientes comunes a todos los sistemas de pilotes de concreto hechos in situ (a excepción de los pilotes con entubación perdida), que son:

- Presencia de niveles freáticos con aguas agresivas o con corrientes de agua. Se pueden producir los siguientes ataques:

a. La presencia de aguas agresivas puede producir daños en el concreto si hay un alto contenido en cloro o en ión sulfato que puedan atacar a las armaduras del pilote o al concreto. Este problema es fácilmente previsible si se ha detectado con anterioridad en un estudio geotécnico la agresividad de esas aguas, utilizando en la confección del concreto cementos adecuados.

b. La presencia de corrientes subterráneas puede producir el lavado del concreto, e incluso la eliminación total del mismo en la zona de cruce del pilote con la corriente, ocasionando una discontinuidad en el concreto que puede afectar considerablemente a la capacidad portante del mismo. Al ser éste un defecto oculto, puede ocasionar graves defectos en la estructura por asiento del pilote.

c. Si se conoce la existencia de la corriente subterránea, este defecto puede ser evitado de dos formas:

- Utilizando un tramo de entubación perdida en la zona del pilote que se cruza con la corriente de agua.

- Durante la ejecución del vaciado del concreto se puede crear un bulbo de concreto en el nivel de la corriente de agua, de forma que la taponee al menos durante el fraguado del concreto.

- En el caso de que se esté realizando un pilote de concreto hecho in situ en un terreno blando sobre otro firme, en una disposición del estrato a media ladera, siempre existe el riesgo de un corrimiento del estrato blando sobre el firme, que genera un esfuerzo de cortante importante sobre el pilote. Si el concreto del pilote ha endurecido en ese momento y se ha calculado previendo esa circunstancia, no deberían existir daños, pero el problema surge si el

deslizamiento se produce durante el período de fraguado o endurecimiento del concreto, al no tener la capacidad mecánica necesaria para aguantar los esfuerzos de cortante que se generan, y producirse el colapso del pilote, con las consiguientes patologías que esto puede generar.

- Si se conoce esta circunstancia y se evita que este deslizamiento pueda existir, en este sistema de pilotaje se puede introducir un tramo de entubación perdida que refuerce la zona del pilote que debe aguantar los esfuerzos generados por el deslizamiento.

3.2 Pilotes de extracción.

Se denominan así todos aquellos sistemas de pilotaje en los que, en el proceso de ejecución, previamente se extrae el terreno del espacio que va a ocupar el pilote.



Figura 17. Pilotes excavados.

3.2.1 Pilotes excavados a rotación.

En este tipo de pilote, el terreno se excava mediante un útil helicoidal montado sobre un brazo telescópico y accionado hidráulicamente, lo que le confiere gran

potencia de excavación, por lo que puede atravesar sin dificultad estratos resistentes. Además, se puede ayudar de un trépano para romper ciertos estratos de mayor dureza. Su utilización está indicada en terrenos cohesivos y sin niveles freáticos, de forma que las paredes de excavación permanezcan estables durante el proceso de ejecución del pilote. Es un sistema económico y fiable en condiciones idóneas.

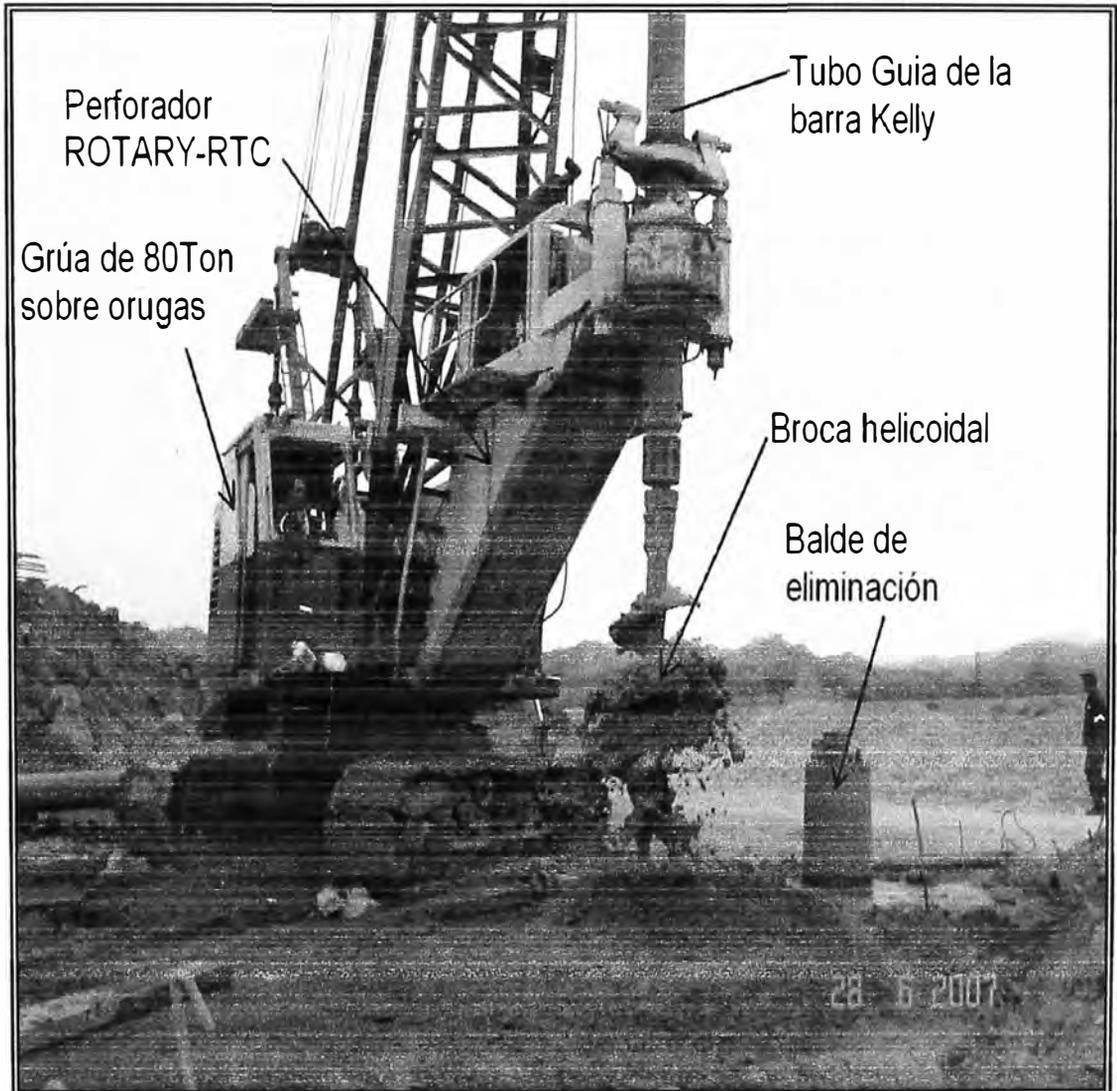


Figura 18. Operación de equipos de excavado.

Los problemas de este tipo de pilotaje son los ya expresados para todos los sistemas de pilotaje de concreto y sistemas de pilotes de concreto hechos in situ por lo que se enumerarán:

- Terrenos blandos a media ladera sobre terrenos firmes con peligro de deslizamientos inmediatos.

Presencia de niveles freáticos con aguas agresivas, en el caso de que el terreno se mantenga aún con la presencia del agua.

- Presencia de niveles freáticos con corrientes de aguas, en el caso de que el terreno se mantenga aún con la presencia del agua.

En los casos en que el terreno en presencia de agua no se mantenga, será necesario utilizar sistemas de entubación del terreno, o mantenimiento del mismo mediante lodos tixotrópicos, como pueden ser los basados en bentonita en dispersión acuosa, con una proporción entre un 6 y un 10% en peso.

- En el caso de utilización de este sistema en terreno suelto y poco cohesivo, se corre el riesgo durante la perforación de que se desprenda el terreno aprisionando el útil de excavación, y durante el vaciado del concreto se corre el riesgo de que se desprenda una porción importante de terreno de baja resistencia que quede intercalada entre el concreto, formando un colchón entre capas de concreto resistente, el cual al entrar en carga el pilote puede provocar asentamientos del mismo.

3.2.2 Pilotes barrenados a rotación.

Pasa por ser, con mucho, el sistema más utilizado, y posiblemente el de menor costo económico. El sistema consiste en una barrena hueca interiormente que gira a rotación accionada por un mecanismo hidráulico. La barrena se introduce en el terreno debido a su gran peso y al movimiento de rotación que se le imprime, pero no dispone de ningún mecanismo de presión vertical de la barrena contra el terreno. Una vez alcanzada la profundidad requerida, se extrae la barrena vaciando concreto en la perforación mediante bombeo del concreto a través del interior de la misma, y extrayendo el material excavado con las mismas hélices, invirtiendo el sentido del giro.

Existen muchos problemas en pilotes derivados propiamente del proceso de ejecución del pilote. Además les afectan los problemas que hemos llamado comunes a los sistemas de pilotes de concreto hechos in situ.

Pero en relación con el terreno son propios de este sistema los siguientes defectos:

La presencia de estratos intermedios o rocas de cierta potencia pueden generar patologías de importancia. Al no disponer la máquina de un mecanismo

de empuje vertical, únicamente dispone del peso de la barrena y del movimiento de giro horizontal para romper o atravesar el estrato intermedio, lo cual puede provocar un falso rechazo, apoyando el pilote en una capa intermedia. Puede darse el caso de que esa capa intermedia tenga resistencia suficiente para las sollicitaciones que transmite el pilote. El problema puede presentarse si se produce un descenso elevado del nivel freático: el terreno situado por debajo de ese estrato se deseca modificando sus características portantes, y produciéndose asentamientos en el estrato y por lo tanto en el pilote.

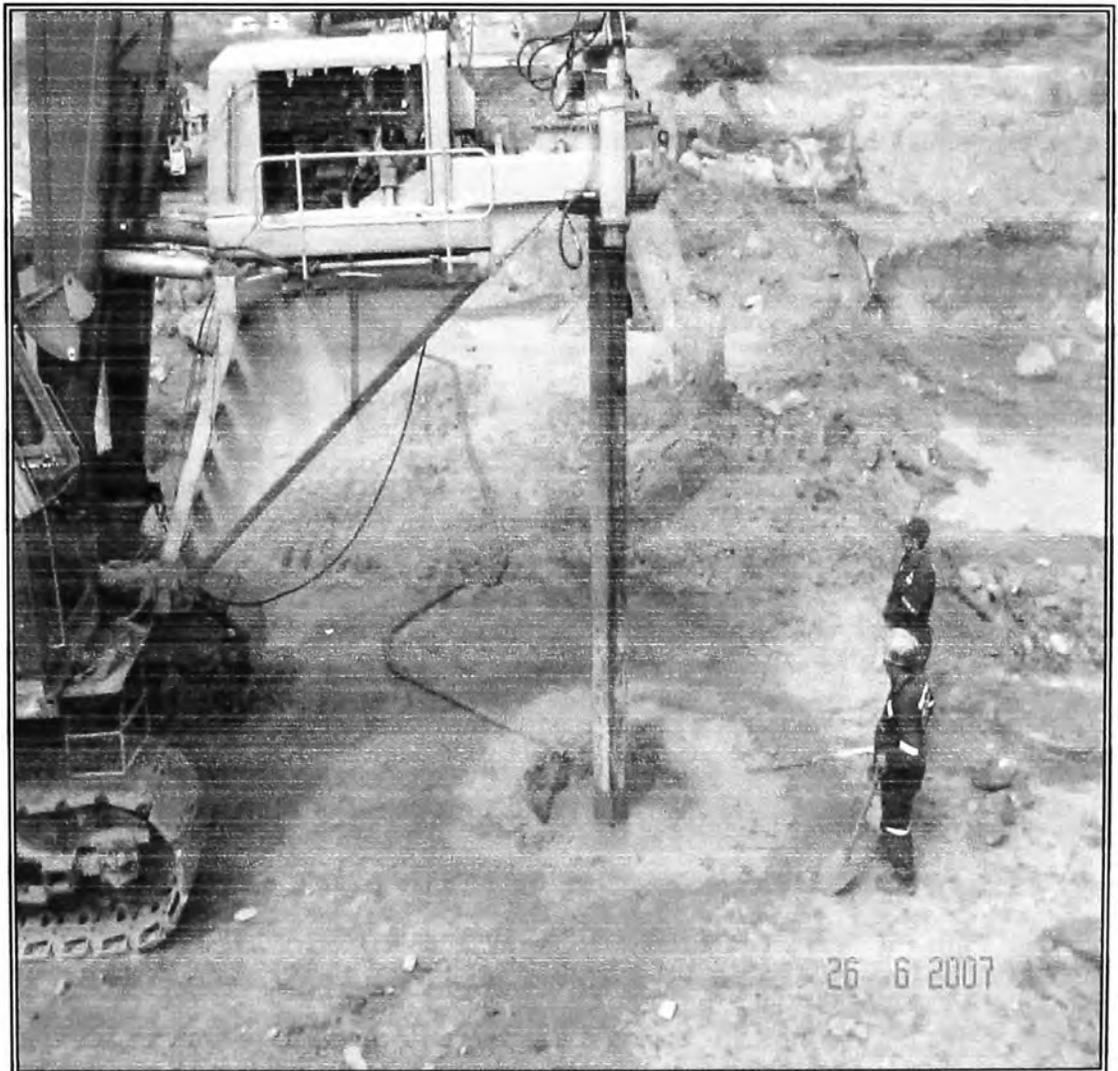


Figura 19. Uso de accesorio en excavación.

- En terrenos disgregados, tales como arenas, y en especial en gravas de cierto tamaño, si la velocidad de rotación es baja por estar atravesando un estrato de mayor capacidad portante, se pueden producir desprendimientos de las paredes del terreno, aprisionando la barrena contra el mismo, e imposibilitando el giro y

por tanto el avance de la perforación. En varias ocasiones no ha sido posible la extracción de la barrena aprisionada, teniéndola que dejar perdida.

- La única forma de comprobar que se ha alcanzado el estrato portante con este tipo de sistema es comprobar que las características del material de extracción que elevan las hélices de la barrena coinciden con las especificaciones previas del estudio geotécnico. Pero cuando sale a la superficie el material del estrato inferior, ya se ha vaciado concreto en el pilote, por lo que, en caso de que se detecte que se ha apoyado el pilote a una profundidad insuficiente, sería necesario volver a perforar el pilote sobre el concreto fresco, con la consiguiente pérdida económica.

- Suele ser práctica frecuente en este tipo de pilotes determinar al principio de la obra la profundidad a alcanzar en función del rechazo que dé el firme, y, a partir de ese momento, ejecutar los pilotes más o menos a la misma profundidad. Esta práctica puede generar muchos problemas en el caso de que el firme sea de profundidad variable, pues dejaremos los pilotes a profundidades distintas al firme. Este caso puede darse ante antiguos lechos fluviales o antiguos meandros.

3.2.3 Pilotes de concreto excavados.

Son aquellos tipos de pilotes de extracción de concreto vaciados in situ que necesitan una entibación para evitar desprendimientos de las paredes de la perforación. También se podrían englobar en esta familia las pantallas de cimentación.

El sistema de entibación variará en función del tipo de terreno a contener. Así, en terrenos que tengan una naturaleza poco cohesiva, inmersos o no en una capa freática, tales como pueden ser los terrenos arcillosos o limo-arcillosos en presencia de agua, podremos utilizar un relleno del volumen perforado mediante una dispersión acuosa de lodos de arcillas tixotrópicos, como la bentonita, en un porcentaje que variará en función de la cohesividad del terreno a soportar.

También se puede utilizar este sistema en terrenos granulares de pequeño a mediano tamaño, tales como arenas, gravillas o gravas, pues los lodos arcillosos penetran en el terreno granular formando una costra superficial que evita el desprendimiento del terreno.

En rellenos heterogéneos o terrenos granulares de alta permeabilidad puede, ser muy difícil evitar desprendimientos, aún recurriendo a procedimientos especiales como puede ser el espesamiento de los lodos o las adiciones. En los casos en los que, a pesar del empuje de los lodos sobre el terreno, éste se desprenda, es necesario disponer una entubación, lo cual encarece el procedimiento, a pesar de que se podrá recuperar una vez terminado el vaciado del concreto.

En el caso de entubación con lodos podremos encontrar los siguientes problemas:

- Si la concentración de bentonita es escasa, el lodo no será capaz de contener las tierras y se producirán desprendimientos. Si éstos ocurren después de terminar la excavación, y antes del vaciado del concreto, el firme estará cubierto por una capa de terreno desprendido, por lo que el pilote no estará apoyado correctamente, y pueden ocasionarse asentamientos una vez que entre en carga.



Figura 20. Lodos de arcillas tixotrópicas(bentonita).

- Si la concentración del lodo es excesiva, o el lodo está contaminado de partículas en suspensión, en terrenos granulares, no tendrá suficiente poder de penetración, por lo que no podrá consolidar la capa superficial del terreno y se producirán desprendimientos.
- En el caso de arenas muy finas, éstas quedan en suspensión en los lodos durante el proceso de excavación, pero una vez terminada la excavación precipitan rápidamente, formando un colchón blando sobre el firme, de difícil eliminación, y que puede provocar asentamientos posteriores del pilote.
- El proceso de vaciado de concreto de este tipo de pilotes, e incluso de las pantallas, se realiza mediante un tubo "Tremie" que se introduce hasta la base de excavación, vaciando concreto desde abajo de forma que todo el terreno depositado y los lodos suban conforme se va vaciando el concreto. En este proceso es necesario ir elevando sistemáticamente el tubo de vaciado. Si durante el proceso de vaciado del concreto se produce una elevación excesiva del tubo "Tremie" se podría verter el concreto sobre el material depositado sobre el frente de concreto, formando un colchón blando en medio del concreto que podría dar lugar a asentamientos.

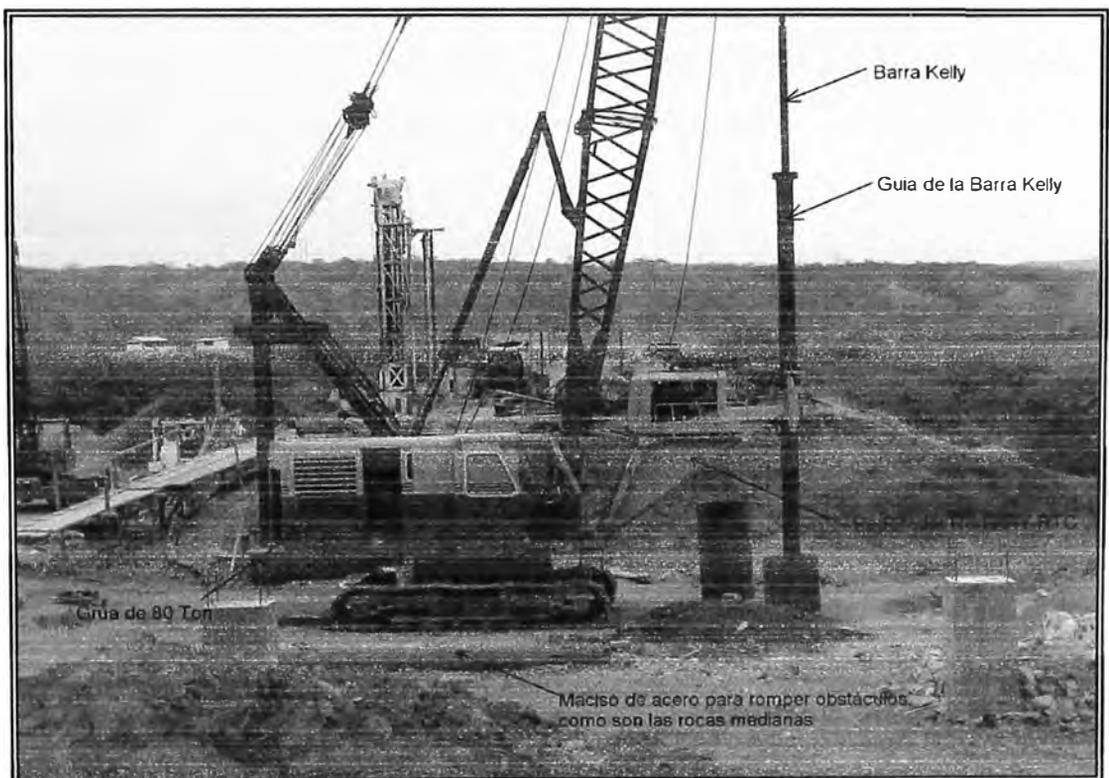


Figura 21. Sistema de la barra Kelly.

- Si durante la excavación encontramos estratos duros que haya que atravesar, puede ser necesario el empleo de un trépano para romper las capas duras, lo cual puede producir vibraciones en el terreno que ocasionen desprendimientos constantes. En estos casos puede ser necesaria la entubación de la perforación como único sistema de perforar el pilote.



Figura 22: Método para romper las capas duras.

CONCLUSIONES.

Al examinar el estado vigente de la teoría, los métodos y la aplicación de la geotecnia, y su probada utilidad para el análisis y diseño de las cimentaciones superficiales, particularmente en la predicción de la capacidad portante y los asentamientos, se comprende el interés de ingenieros e investigadores por aplicarlos igualmente para el análisis de las cimentaciones profundas. Sin embargo, al avanzar con estos trabajos desde la oficina y el laboratorio hasta el campo, particularmente en el estudio del comportamiento de pilotes a escala natural instrumentados, se han observado discrepancias fundamentales con las teorías clásicas de la mecánica de suelos, y se han detectado las consecuencias primordiales de los procedimientos de instalación en el comportamiento bajo carga de los pilotes.

Las operaciones constructivas permite comprender fácilmente cómo la instalación de los pilotes desarrolla condiciones altamente complejas en la interfaces pilote-suelo que, guardan escasa relación con el estado original no remoldeado del suelo y hasta con la condición de completa alteración. Las presiones del agua intersticial alrededor del pilote pueden variar ampliamente durante periodos de horas, días, meses o aún años, después de la instalación, en forma tal que no son realistas las relaciones simples entre la fricción lateral y la presión efectiva de sobrecarga. Similarmente, cuando se consideran las deformaciones de un pilote o grupo de pilotes bajo su carga de trabajo, resultan muy desprovistos de significado los cálculos de transferencia de carga basado en la teoría elástica que no tenga en cuenta la alteración del suelo en un espacio de varios diámetros alrededor del pilote.

Existe una clara diferencia entre cimentaciones superficiales y profundas respecto a los cambios en el suelo portante. En las primeras, dicho suelo queda esencialmente bajo la base de la fundación y no sufre cambios de trascendencia, excepto los generados por algunas alteraciones en el régimen de esfuerzos efectivos. Por el contrario, normalmente en las profundas, el suelo portante, tanto por debajo como por encima de la base de la fundación, resulta casi siempre significativamente alterado. Vesic señala las consecuencias de los procedimientos de instalación de pilotes.

En el caso de pilotes perforados (preexcavados sin desplazamiento), la mayor parte del cambio se presenta alrededor del fuste, en una zona relativamente

delgada del suelo que rodea al pilote y que sufre alteración como resultado de la extracción del suelo por barrenado u otros medios. Al mismo tiempo, dependiendo del procedimiento constructivo, tiene lugar algún alivio en el esfuerzo lateral antes de instalar la fundación. Si el suelo que rodea al pilote es arcilla, una zona que se extiende cerca de un diámetro alrededor del pilote puede experimentar cambios significativos en su estructura y según la sensibilidad de la arcilla, sufrir pérdidas considerables de la resistencia al corte, que son total o parcialmente recuperadas en el transcurso de un extenso tiempo.

En el caso de pilotes hincados en arcillas firmes saturadas, sobrevienen cambios determinantes en la estructura secundaria (cierre de fisuras), que se extiende en un espesor de varios diámetros alrededor del pilote, acompañados de alteración y pérdida completa de los efectos de la historia previa al esfuerzo en la inmediata vecindad del pilote. Si el suelo aledaño es limo sin cohesión, arena, arcilla parcialmente saturada, el hincado del pilote puede densificar el suelo, con decrecimiento de intensidad a través de una zona de uno a dos diámetros alrededor del pilote. Al proceso de hincado también los acompañan incrementos en los esfuerzos horizontales en el terreno y cambios en los esfuerzos verticales en el entorno del pilote, que parcial o totalmente pueden desaparecer por la relajación en suelos susceptibles a la fluencia. En suelos densos no cohesivos (tales como arena o grava), puede ocurrir aflojamiento en algunas zonas, junto con intensa trituración de los granos y densificación en la inmediata vecindad del pilote. En tales suelos suceden cambios permanentes en los esfuerzos residuales tanto en el pilote como en el suelo, cuya consideración es esencial para comprender el comportamiento del sistema suelo-pilote. Los pilotes se diseñan con frecuencia en grupos y esto complica aún más la situación por el efecto complejo y no siempre bien comprendido de colocar pilotes cercanos.

RECOMENDACIONES.

La aplicación de un sistema de pilotaje como el utilizado en el puente Independencia debe estudiarse en función del tipo de terreno, las cargas a soportar, el diámetro del pilote y los esfuerzos a los que se puede ver sometido.

Hay que priorizar,

la eficacia en el consumo de materiales;

la racionalización de los métodos de trabajo;

la eficiencia en los planteamientos;

la obtención del producto adecuado a los requerimientos del proyecto.

Todos estos parámetros deben ser analizados, medidos, cuantificados y controlados, para que se solucionen y resuelvan los conflictos que pueden darse entre las exigencias del proyecto y los sistemas de construcción, lógica relación entre la ingeniería y la técnica. El comienzo del nuevo milenio plantea nuevos requisitos y procedimientos que los niveles socioculturales y los avances tecnológicos incluyen ya en los grados de calidad que se demandan en la construcción de puentes y que deben ser factores a considerar, y por consiguiente, a incluir en la medida de lo posible, en los procesos constructivos.

Llamar la atención sobre las limitaciones que presenta cada sistema de pilotaje, determinando someramente su campo de aplicación.

Emplear un sistema de pilotaje no debe estar determinada únicamente por su bajo costo, lo que puede estar irremediablemente ligado a la aparición de defectos, con el sobre costo correspondiente.

Apreciada la trascendencia de los procedimientos de instalación en la predicción del comportamiento bajo carga de los pilotes, resulta evidente la ventaja de disponer de medios para sistematizar el proceso constructivo y tipificar los pilotes. Para este propósito es posible consultar en la literatura numerosas clasificaciones y descripciones de los sistemas y tipos de pilotes; no obstante, son de mayor ayuda las distintas normas y reglamentos existentes, que promueven la conveniente normalización de los procedimientos constructivos en el país o región donde rigen.

Se recomienda emplear el Document Technique Unifie sobre Trabajos de Cimentación profunda publicado en 1978 por el Centre Scientifique en Technique de Batiment de Francia, con referencia al cual se han propuesto métodos de análisis y diseño coherentes con los resultados de numerosas pruebas de carga.

BIBLIOGRAFÍA.

- 1.- Alva Hurtado, J. E., Cimentaciones Profundas. Seminario Cimentaciones de Estructuras. Comité Peruano de Mecánica de Suelos, Lima, 1993.
- 2.- Jimenez Salas, J. A., Curso sobre pilotajes y cimentaciones especiales. CEDES, Madrid, 1994.
- 3.- Juarez Badillo, Eulalio, Mecánica de suelos. Edición revolucionaria, La Habana, 1969.
- 4.- L' Herminier, R., Mecánica de suelos y dimensionamiento de firmes. Versión al Español de Jose Luis Ortiz, Editorial Blume, Madrid, 1968.
- 5.- Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de Diseño de Puentes. Lima, 2003.
- 6.- Oteo, C., Cimentaciones por pilotajes. Capítulo 3 en Geotecnia y Cimientos. Editora Rueda, Madrid, 1980.
- 7.- Sowers, George B., Introducción a la mecánica de suelos y cimentaciones. Editorial Pueblo y Educación, La Habana, 1977.
- 8.- Tomlinson, M. J., Cimentaciones: Diseño y Construcción. México, 1996

ANEXOS

PSV CONSTRUCTORES S.A. Construcción Civil y Montaje		Propietario: MTC - PROVIAS NACIONAL								Proyecto: Puentes barrenados Pte. Independencia	
REGISTRO DE HINCA: Funda Pilote N° 01										Lugar: La Arena - Piura	
										Fecha: 13/10/2006	
Penet. (cm)	Golpes x 10 (cm)	Penet. (cm)	Golpes x 10 (cm)	Penet. (cm)	Golpes x 10 (cm)	Penet. (cm)	Golpes x 10 (cm)	Penet. (cm)	Golpes x 10 (cm)	PILOTE N° 01	
		10	5	60		10		60		Sección: Ø 60 cm	
		20	5	70		20		70		Long. Inicial: 7.50 mts	
		30	4	80		30		80		Espesor: 3/8"	
		40	5	90		40		90		Peso: 1,057 Kg	
00		50	4	9.00		50		18.00		Long. Inicial:	
10		60	5	10		60		10		7.50 m.	
20		70	8	20		70		20		Hora de Inicio:	
30		80	7	30		80		30		13:30	
40		90	13	40		90		40		Hora de Terminó:	
50		5.00	17	50		14.00		50		15:00	
60		10	15	60		10		60		Martillo:	
70		20	10	70		20		70		D-15	
80		30	11	80		30		80		Energía:	
90		40	11	90		40		90		3750 k-m	
1.00	PP	50	12	10.00		50		19.00		Carga Servicio:	
10		60	13	10		60		10		80 ton	
20	P+M	70	15	20		70		20		Cotas :	
30		80	14	30		80		30		Superior Funda = 35.18	
40	1	90	14	40		90		40		Fondo Funda = 27.68	
50	1	6.00	17	50		15.00		50			
60	1	10	15	60		10		60			
70	1	20	15	70		20		70			
80	1	30	15	80		30		80			
90	1	40	15	90		40		90			
2.00	2	50	18	11.00		50		20.00			
10	1	60	15	10		60		10			
20	1	70	13	20		70		20			
30	1	80	14	30		80		30			
40	2	90	14	40		90		40			
50	1	7.00	15	50		16.00		50			
60	2	10	16	60		10		60			
70	3	20	14	70		20		70			
80	3	30	15	80		30		80			
90	3	40	15	90		40		90			
3.00	3	50	16	12.00		50		21.00			
10	2	60		10		60		10			
20	3	70		20		70		20			
30	3	80		30		80		30			
40	3	90		40		90		40			
50	3	8.00		50		17.00		50			
60	3	10		60		10		60			
70	3	20		70		20		70			
80	3	30		80		30		80			
90	4	40		90		40		90			
4.00	5	50		13.00		50		22.00			
EXC: Excavación, PP: Peso Propio, P+M: Pilote + Martillo, NT: Nivel de terreno											
OBSERVACIONES: 1.- La funda de sacrificio hincada protege al pilote fundido en sitio del estrato permeable											
										Empotramiento: 6.50 m	

CONSORCIO I, T, S, & C. - IRECO S.
Ing. Ruben A. Gutierrez Pulido
RESIDENTE DE OBRA

Superintendente
PTE INDEPENDENCIA
13-10-06

Superintendente

PSV CONSTRUCTORES S.A. Construcción Civil y Montaje		Propietario: MTC - PROVIAS NACIONAL.							Proyecto: Pilotes Barrerados Pte Independencia	
		REGISTRO DE HINCA: Funda Pilote N° 02							Lugar: La Arena - Piura	
									Fecha: 13/10/2006	
Penet. (cm)	Golpes x 10 (cm)	Penet. (cm)	Golpes x 10 (cm)	Penet. (cm)	Golpes x 10 (cm)	Penet. (cm)	Golpes x 10 (cm)	Penet. (cm)	Golpes x 10 (cm)	PILOTE N° 02
		10	5	60		10		60		Sección: Ø 60 cm
		20	4	70		20		70		Long. Inicial: 7.50 mts
		30	3	80		30		80		Espesor: 3/8"
		40	4	90		40		90		Peso: 1,057 Kg
00		50	3	9.00		50		18.00		Long. Inicial:
10		60	3	10		60		10		7.50 m.
20		70	4	20		70		20		Hora de Inicio:
30		80	3	30		80		30		15:00
40		90	4	40		90		40		Hora de Terminó:
50		5.00	5	50		14.00		50		16:30
60		10	4	60		10		60		Martillo:
70		20	4	70		20		70		D-15
80		30	5	80		30		80		Energía:
90		40	6	90		40		90		
1.00	PP	50	8	10.00		50		19.00		Carga Servicio:
10	P+M	60	8	10		60		10		
20	1	70	9	20		70		20		Cotas :
30		80	10	30		80		30		Superior Funda = 35.34
40	1	90	10	40		90		40		Fondo Funda = 27.84
50		6.00	11	50		15.00		50		
60	1	10	18	60		10		60		
70		20	17	70		20		70		
80	1	30	18	80		30		80		
90		40	15	90		40		90		
2.00	1	50	17	11.00		50		20.00		
10	1	60	17	10		60		10		
20	1	70	17	20		70		20		
30	1	80	18	30		80		30		
40	1	90	18	40		90		40		
50	1	7.00	20	50		16.00		50		
60	1	10	19	60		10		60		
70	2	20	19	70		20		70		
80	1	30	17	80		30		80		
90	2	40	18	90		40		90		
3.00	2	50	19	12.00		50		21.00		
10	3	60		10		60		10		
20	3	70		20		70		20		
30	3	80		30		80		30		
40	2	90		40		90		40		
50	2	8.00		50		17.00		50		
60	3	10		60		10		60		
70	4	20		70		20		70		
80	3	30		80		30		80		
90	3	40		90		40		90		
4.00	3	50		13.00		50		22.00		

CONSORCIO T y T S.A.C. - IBECO 6

Ruben A. Gutierrez

Ing. Ruben A. Gutierrez Mora

RESIDENTE DE OBRA

[Signature]

SUPERVISOR
PTE INDEP INGENIERIA

Letra de Supermen

[Signature]

EXC: Excavación, **PP:** Peso Propio, **P+M:** Pilote + Martillo, **NT:** Nivel de terreno

OBSERVACIONES:
1 - La funda de sacrificio hincada protege al pilote fundido en sitio del estrato permeable

Empotramiento:
6.50 m

Penet (cm)		Golpes x 10 (cm)		Penet. (cm)		Golpes x 10 (cm)		f'enet. (cm)		Golpes x 10 (cm)		Penet. (cm)		Golpes x 10 (cm)		Penet. (cm)		Golpes x 10 (cm)		PILOTE N° 03	
PSV CONSTRUCTORES S.A. <i>Construcción Civil y Montaje</i>																					
Propietario: MTC - PROVIAS NACIONAL										Proyecto: Pilotes barrenados Pte Independencia		Lugar: La Arena - Putra									
REGISTRO DE HINCA: Funda Pilote N° 03										Fecha: 19/10/2006											
Sección: Ø 60 cm Espesor: 3/8" Peso: 1.057 Kg Long. Inicial: 7.50 m. Hora de inicio: 09:30 Hora de Termina: 11:00 Martillo: D-15 Energía: 3750 k-m Carga Servicio: 80 ton Cotas : Superior Funda = 34.95 Fondo Funda = 27.45																					
1.00	1	50	15	10.00	50	19.00															
10	1	60	14	10	60	10															
20	1	70	15	20	70	20															
30	1	80	17	30	80	30															
40	1	90	16	40	90	40															
50	1	6.00	18	50	50	15.00															
60	1	10	17	60	60	10															
70	1	20	14	70	70	20															
80	1	30	13	80	80	30															
90	1	40	13	90	90	40															
2.00	1	50	16	11.00	50	20.00															
10	1	60	17	10	60	10															
20	1	70	16	20	70	20															
30	1	80	18	30	80	30															
40	1	90	18	40	90	40															
50	1	7.00	18	50	50	16.00															
60	1	10	20	60	60	10															
70	1	20	20	70	70	20															
80	2	30	22	80	80	30															
90	2	40		90	90	40															
3.00	2	50		12.00	50	21.00															
10	2	60		10	60	10															
20	3	70		20	70	20															
30	4	80		30	80	30															
40	4	90		40	90	40															
50	4	8.00		50	50	17.00															
60	4	10		60	60	10															
70	5	20		70	70	20															
80	5	30		80	80	30															
90	5	40		90	90	40															
4.00	4	50		13.00	50	22.00															

CONSORCIO T Y S.A.C. - IBECO S.A.
Ruben A. Gutierrez Moran
 Ing. Ruben A. Gutierrez Moran
 RESIDENTE DE OBRA

Dec.
 SUPERVISOR
 PTE INDEPENDENCIA
 19/10/2006



EXC: Excavación, PP: Peso Propio, P+M: Pilote + Martillo, NT: Nivel de terreno

OBSERVACIONES:
 1.- La funda de sacrificio hincada protege al pilote fundido en sitio del estrato permeable

Empotramiento:
 6.50 m

PSV CONSTRUCTORES S.A. Construcción Civil y Montaje		Propietario: MTC - PROVIAS NACIONAL								Proyecto: Pílotes Bartenados Pte. Independencia	
		REGISTRO DE HINCA: Funda Pilote N° 04								Lugar: La Arena - Piura	
										Fecha: 19/10/2006	
Penet. (cm)	Golpes x 10 (cm)	Penet. (cm)	Golpes x 10 (cm)	Penet. (cm)	Golpes x 10 (cm)	Penet. (cm)	Golpes x 10 (cm)	Penet. (cm)	Golpes x 10 (cm)	PILOTE N° 04	
		10	4	50		10		60		Sección: Ø 60 cm	
		20	3	70		20		70			
		30	3	80		30		80		Espesor: 3/8"	
		40	3	90		40		90		Peso: 1,057 Kg	
00		50	3	9.00		50		18.00		Long. Inicial:	
10		60	3	10		60		10		7.50 m.	
20		70	4	20		70		20		Hora de Inicio:	
30		80	4	30		80		30		11:00	
40		90	5	40		90		40		Hora de Terminó:	
50		5.00	5	50		14.00		50		12:30	
60		10	6	60		10		60		Martillo:	
70		20	6	70		20		70		D-15	
80	PP	30	7	80		30		80		Energía:	
90		40	10	90		40		90		Carga Servicio:	
1.00	P+M	50	6	10.00		50		19.00			
10		60	7	10		60		10		Cotas :	
20	1	70	7	20		70		20		Superior Funda = 34.85	
30	1	80	16	30		80		30		Fondo Funda = 27.35	
40	1	90	16	40		90		40			
50	1	6.00	22	50		15.00		50			
60	1	10	25	60		10		60			
70	1	20	24	70		20		70			
80	1	30	27	80		30		80			
90	1	40	24	90		40		90			
2.00	1	50	20	11.00		50		20.00			
10	1	60	22	10		60		10			
20	1	70	22	20		70		20			
30	1	80	22	30		80		30			
40	1	90	22	40		90		40			
50	1	7.00	25	50		16.00		50			
60	2	10	24	60		10		60			
70	2	20	24	70		20		70			
80	2	30	26	80		30		80			
90	2	40		90		40		90			
3.00	3	50		12.00		50		21.00			
10	2	60		10		60		10			
20	2	70		20		70		20			
30	3	80		30		80		30			
40	3	90		40		90		40			
50	4	8.00		50		17.00		50			
60	3	10		60		10		60			
70	3	20		70		20		70			
80	3	30		80		30		80			
90	4	40		90		40		90			
4.00	4	50		13.00		50		22.00			

CONSORCIO T y T S.A.C. - IBECO

Ruben A. Gutierrez

Ing. Ruben A. Gutierrez Ma
RESIDENTE DE OBRA

[Firma]

SECRETARIA DE INDEPENDENCIA
V-8°
Jefe de Supervisión



EXC: Excavación, PP: Peso Propio, P+M: Pilote + Martillo, NT: Nivel de terreno

OBSERVACIONES:
1.- La funda de sacrificio hincada protege al pilote fundido en sitio del estrato permeable

Empotramiento:
6.50 m

PSV CONSTRUCTORES S.A. Construcción Civil y Montaje		Propietario: MTC - PROVIAS NACIONAL								Proyecto: Puentes Bimodales Pte Independencia	
		REGISTRO DE HINCA: Funda Pilote N° 05								Lugar: La Arena - Piura	
										Fecha: 21/10/2006	
Penet. (cm)	Golpes x 10 (cm)	Penet. (cm)	Golpes x 10 (cm)	Penet. (cm)	Golpes x 10 (cm)	Penet. (cm)	Golpes x 10 (cm)	Penet. (cm)	Golpes x 10 (cm)	PILOTE N° 05	
		10	3	60		10		60		Sección: Ø 60 cm	
		20	3	70		20		70			
		30	3	80		30		80		Espesor: 3/8"	
		40	4	90		40		90		Peso: 1.057 Kg	
00		50	4	9.00		50		18.00		Long. Inicial: 7.50 m.	
10		60	3	10		60		10		Hora de Inicio: 09:30	
20		70	4	20		70		20		Hora de Término: 11:00	
30		80	3	30		80		30		Martillo: D-15	
40		90	5	40		90		40		Energía: 3750 k-m	
50		5.00	5	50		14.00		50		Carga Servicio: 3750 k -m	
60		10	5	60		10		60		Cotas :	
70		20	5	70		20		70		Superior Funda = 35.23	
80		30	5	80		30		80		Fondo Funda = 27.73	
90	PP	40	5	90		40		90			
1.00		50	5	10.00		50		19.00			
10	P+M	60	6	10		60		10			
20		70	6	20		70		20			
30		80	7	30		80		30			
40	1	90	7	40		90		40			
50		6.00	13	50		15.00		50			
60		10	14	60		10		60			
70	1	20	17	70		20		70			
80		30	18	80		30		80			
90		40	19	90		40		90			
2.00	1	50	19	11.00		50		20.00			
10		60	21	10		60		10			
20	1	70	22	20		70		20			
30		80	19	30		80		30			
40	1	90	19	40		90		40			
50	1	7.00	18	50		16.00		50			
60	1	10	18	60		10		60			
70	1	20	20	70		20		70			
80	1	30	20	80		30		80			
90	1	40	20	90		40		90			
3.00	1	50		12.00		50		21.00			
10	1	60		10		60		10			
20	1	70		20		70		20			
30	2	80		30		80		30			
40	2	90		40		90		40			
50	1	3.00		50		17.00		50			
60	1	10		60		10		60			
70	1	20		70		20		70			
80	2	30		80		30		80			
90	2	40		90		40		90			
4.00	3	50		13.00		50		22.00			

EXC: Excavación, PP: Peso Propio, P+M: Pilote + Martillo, NT: Nivel de terreno

OBSERVACIONES:
1 - La funda de sacrificio hincada protege al pilote unido en glic del estrato permeable

Empotramiento: 6.50 m

CONSORCIO T Y T S.A.C. - IBECO S.

Ruben A. Gutierrez Mora

Ing. Ruben A. Gutierrez Mora
RESIDENTE DE OBRA

Supervisor
PTE INDEPENDENCIA
Vº 01
Jefe de Supervisión

 PSV CONSTRUCTORES S.A. Construcción Civil y Montaje		Propietario: MTC - PROVIAS NACIONAL							Proyecto: Pilotes Barrerados Pte Independencia Lugar: La Arena - Piura	
REGISTRO DE HINCA: Funda Pilote N° 06										Fecha: 21/10/2006
Penet. (cm)	Golpes x 10 (cm)	Penet. (cm)	Golpes x 10 (cm)	Penet. (cm)	Golpes x 10 (cm)	Penet. (cm)	Golpes x 10 (cm)	Penet. (cm)	Golpes x 10 (cm)	PILOTE N° 06
		10	2	60		10		60		Sección: Ø 60 cm
		20	2	70		20		70		
		30	2	80		30		80		Espesor: 3/8"
		40	3	90		40		90		Peso: 1,057 Kg
00		50	2	9.00		50		18.00		Long. Inicial:
10		60	3	10		60		10		7.50 m.
20		70	3	20		70		20		Hora de Inicio:
30		80	4	30		80		30		11:00
40		90	2	40		90		40		Hora de Terminó:
50		5.00	4	50		14.00		50		12:30
60		10	3	60		10		60		Martillo:
70		20	4	70		20		70		D-15
80		30	4	80		30		80		Energía:
90	PP	40	4	90		40		90		3750 k-m
1.00	P+M	50	4	10.00		50		19.00		Carga Servicio:
10		60	5	10		60		10		80 ton
20	1	70	6	20		70		20		Cotas :
30	1	80	15	30		80		30		Superior: Funda = 35.20
40	1	90	16	40		90		40		Fondo Funda = 27.70
50	1	6.00	16	50		15.00		50		
60		10	16	60		10		60		
70	1	20	16	70		20		70		
80	1	30	17	80		30		80		
90	1	40	16	90		40		90		
2.00	1	50	17	11.00		50		20.00		
10	1	60	17	10		60		10		
20	1	70	18	20		70		20		
30	1	80	16	30		80		30		
40	2	90	15	40		90		40		
50	2	7.00	12	50		16.00		50		
60	3	10	13	60		10		60		
70	3	20	14	70		20		70		
80	2	30	17	80		30		80		
90	2	40	18	90		40		90		
3.00	3	50		12.00		50		21.00		
10	2	60		10		60		10		
20	2	70		20		70		20		
30	3	80		30		80		30		
40	3	90		40		90		40		
50	3	8.00		50		17.00		50		
60	4	10		60		10		60		
70	3	20		70		20		70		
80	2	30		80		30		80		
90	2	40		90		40		90		
4.00	2	50		13.00		50		22.00		

CONSORCIO T+T S.A.C. / IBEC

Ruben A. Gutarb

Ing. Ruben A. Gutarb N.

RESIDENTE DE OBRA

[Signature]

SE PERMISIÓN
PTE INDEPENDENCIA
VISTO
Inge de Supervisión

Empotramiento:
6.50 m

EXC: Excavación, **PP:** Peso Propio, **P+M:** Pilote + Martillo, **NT:** Nivel de terreno

OBSERVACIONES:
1 - La funda de sacrificio hincada protege al pilote fundido en sitio del estrato permeable



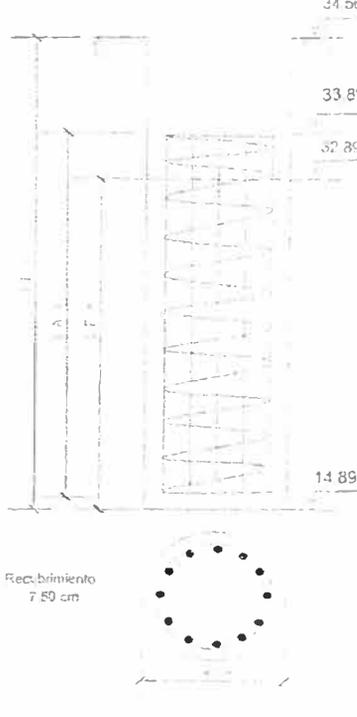
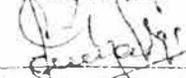
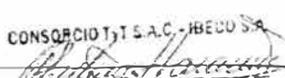
OBRA: PILOTES BARRENADOS PUENTE INDEPENDENCIA										
PARTIDA:	PILOTES BARRENADOS		No	ESTRUCTURA:		Cimentación Profunda				
			1			Pilar INTERMEDIO 0.5		Pilote N° 1		
EQUIPOS:	GRUA	35 Ton		PERFORADOR:		ROTARY:				
	MARCA	JONES				DRILL: D 49 K Drill Tech Serie 6705/1-PA				
BARRENADO	INICIO			DIAMETRO	0.50 m	LONG. BARRENADO LP = 19.67				
	TERMINO					LONG. ACERO LA = 19.30				
	TIEMPO ACUMULADO					LONG. BARRIDO LF = 18.00 A nivel de fondo de zapata				
ARMADURA DE ACERO	LONGIT. (m)	14.0		1"	PES. (kg/m)	3.970	CANT. ACERO PILOTE	34 VAR	1.178 K.G.	
	ESTRIBOS	Ø		3/8"	PESO (kg/m)	0.550	CANT. ACERO P.H. CTE	17 VAR	86 K.G.	
FUNDIDO DE CONCRETO	INICIO			f'c (kg/cm²)	280	VOLUMEN TEORICO (m³)		5.30		
	TERMINACION					VOLUMEN REAL (m³)		5.80		
	TIEMPO UTILIZADO			SLUMP	6" - 2"	VOLUMEN ADICIONAL (m³)		0.50		
PROF. (m)	ESTRATIGRAFIA REAL					DETALLE ESTRUCTURAL PILOTE				
0.00	Arena fina a media, de granulometría uniforme, algo limosa de color beige, saturada, de estado suelto a semiconpacto. Presencia de gravillas									
1.00										
2.00										
3.00										
4.00										
5.00										
6.00	Arcilla de color verduzca, saturada, de consistencia media a dura. Suelo residual									
7.00										
8.00										
9.00										
10.00										
11.00										
12.00										
13.00										
14.00										
15.00										
16.00										
17.00										
18.00										
19.00										
20.00										
21.00										
OBSERVACIONES: La cota de fundido de concreto plástico en el pilote fue 1.50 m por encima del fondo de zapata, esto por un tema de progreso constructivo y nivel de napa freática. El descabezado debe garantizar un empalme estructural entre el pilote y la zapata.										
Amado Cárdena Ch. ING. INSPECTOR DE OBRA		CONSORCIO I.T.S.A.C. - IBECSA Ing. Rubén A. Gutierrez Marzari RESIDENTE DE OBRA				Luis Alberto Portaino Segunda ING. RESIDENTE BARRENADO				



OBRA:		PILOTES BARRENADOS PUENTE INDEPENDENCIA		ESTRUCTURA:		Cimentación Profunda		
PARTIDA:	PILOTES BARRENADOS	No 2				Pilar: INTERMEDIO 0.5		
EQUIPOS:	GRUA	35 Ton	PERFORADOR:			ROTARY:		
	MAFCA	JONES				DRILL:	D 40 K Dnti Tech Serie 87000000	
BARRENADO	INICIO		DIAMETRO	0.60 m	LONG. BARRENADO	LP = 19.00		
	TERMINO				LONG. ACERO	LA = 19.00		
	TIEMPO ACUMULADO				LONG. FUNDIDO	LF = 18.00	A nivel de fondo de zapata	
ARMADURA DE ACERO	LONGIT. (m)	14.0	1"	PESO (kg/m)	3.976	CANT. ACERO x PILOTE	53 VAR 1.119 KG	
	ESTRIBOS	Ø	3/8"	PESO (kg/m)	0.559	CANT. ACERO x PILOTE	17 VAR 0.95 KG	
FUNDIDO DE CONCRETO	INICIO		f'c (kg/cm ²)	280	VOLUMEN TEORICO (m ³)		5.30	
	TERMINACION				VOLUMEN REAL (m ³)		5.82	
	TIEMPO UTILIZADO		SLUMP	6" x 9"	VOLUMEN ADICIONAL (m ³)		0.52	
PROF. (m)	ESTRATIGRAFIA REAL				DETALLE ESTRUCTURAL PILOTE			
0.00	Arena fina a media, de granulometria uniforme, algo limosa de color beige, saturada, de estado suelto a semicompacto. Presencia de gravillas							
1.00								
2.00								
3.00								
4.00								
5.00								
6.00								
7.00	Arcilla de color verduzca, saturada, de consistencia media a dura. Suelo residual							
8.00								
9.00								
10.00								
11.00								
12.00								
13.00								
14.00								
15.00								
16.00								
17.00								
18.00								
19.00								
20.00								
21.00								
OBSERVACIONES: La cota de fundido de concreto plástico en el pilote fue 1.50 m por encima del fondo de zapata, esto por un tema de proceso constructivo y nivel de napa freatica. El descabezado debe garantizar un empalme estructural entre el pilote y la zapata								
Amador Latorre		CONSORCIO IYT S.A.C. - IBECC S.A.		Ing. Rubén A. Cordero Marín		Luis Alberto Portuño Segundo		
ING. INSPECTOR DE OBRA				RESIDENTE DE OBRA		ING. RESIDENTE BARRENADO		

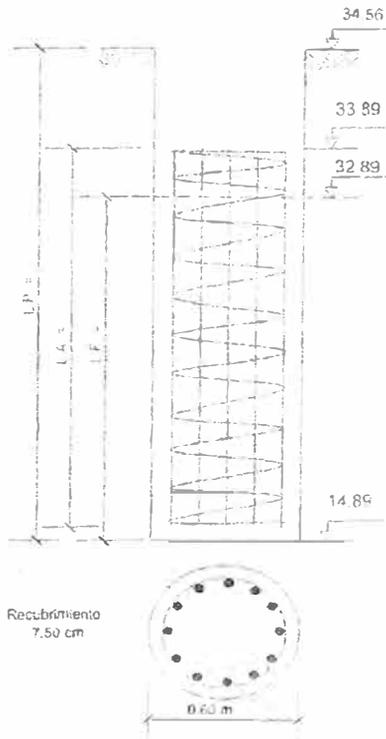
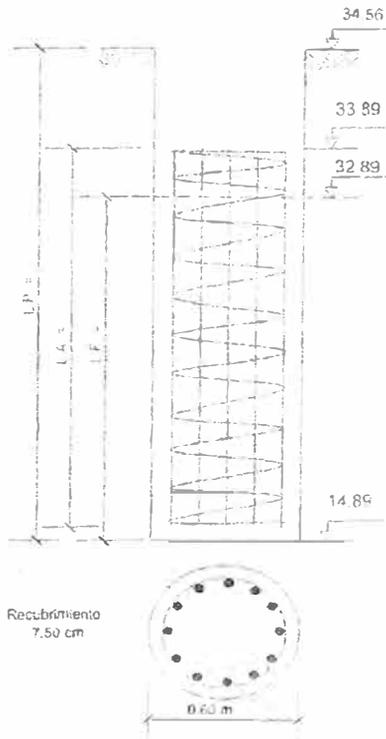
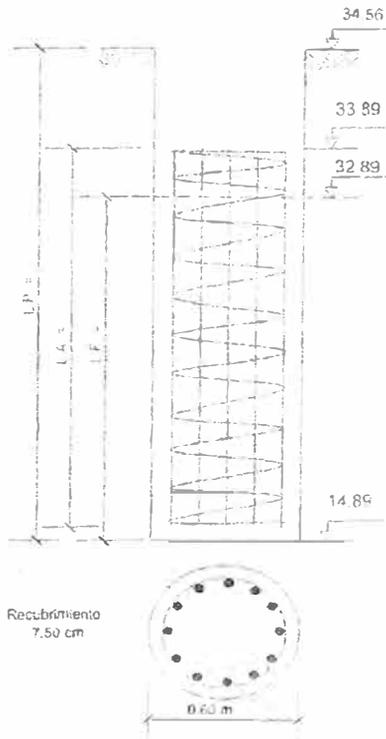
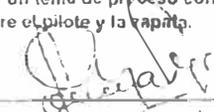
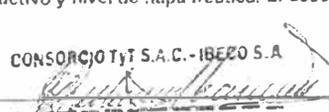


PSV
CONSTRUCTORES S.A.
Construcción Civil y Montaje

OBRA: PILOTES BARRENADOS PUENTE INDEPENDENCIA																																																											
PARTIDA:	PILOTES BARRENADOS	No 3	ESTRUCTURA:		Cimentación Profunda Pilar: INTERMEDIO 0.5 Pilote N° 3																																																						
EQUIPOS:	GRUA	55 Ton	PERFORADOR:		ROTARY:																																																						
	MARCA	Jones			DRILL:	D 40 K Drill Tech Serie 970674-PA																																																					
BARRENADO	INICIO		DIAMETRO	0.50 m	LONG. BARRENADO	L.P = 19.67																																																					
	TERMINO				LONG. ACERO	L.A = 19.09																																																					
	TIEMPO ACUMULADO				LONG. FUNDIDO	L.F = 18.00 A nivel de fondo de zapata																																																					
ARMADURA DE ACERO	LONGIT. (m)	14.0	1"	PESO (kg/m)	3.470	CANT. ACERO PILOTE	33 VAR	1.179 KG																																																			
	ESTRIBOS	Ø	2/8"	PESO (kg/m)	0.555	CANT. ACERO PILOTE	17 VAR	8.94 KG																																																			
FUNDIDO DE CONCRETO	INICIO		f'c (kg/cm ²)	230	VOLUMEN TEORICO (m ³)		5.30																																																				
	TERMINACION				VOLUMEN REAL (m ³)		5.77																																																				
	TIEMPO UTILIZADO		SLUMP	8" - 8"	VOLUMEN ADICIONAL (m ³)		0.47																																																				
PROF. (m)	ESTRATIGRAFIA REAL				DETALLE ESTRUCTURAL PILOTE																																																						
0.00	Arena fina a media, de granulometria uniforme, algo limosa de color beige, saturada, de estado suelto a semicompacto. Presencia de gravillas				34.56																																																						
1.00										33.89																																																	
2.00										32.89																																																	
3.00										32.89																																																	
4.00										32.89																																																	
5.00										32.89																																																	
6.00										32.89																																																	
7.00										32.89																																																	
8.00	Arcilla de color verdusca, saturada, de consistencia media a dura. Suelo residual				14.89																																																						
9.00																																																											
10.00																																																											
11.00																																																											
12.00																																																											
13.00																																																											
14.00																																																											
15.00																																																											
16.00																																																											
17.00																																																											
18.00																																																											
19.00																																																											
20.00																																																											
21.00																																																											
OBSERVACIONES: La cota de fundido de concreto plástico en el pilote fue 1.50 m por encima del fondo de zapata, esto por un tema de proceso constructivo y nivel de napa freática. El descabezado debe garantizar un empalme estructural entre el pilote y la zapata.																																																											
 Amador Lantae Ch. ING INSPECTOR DE OBRA						 CONSORCIO T y T S.A.C. - IBECU S.A. Ing. Rubén A. Gutierrez Marañón RESIDENTE DE OBRA			 Luis Alberto Portalcino Segundo ING RESIDENTE BARRENADO																																																		



PSV
CONSTRUCTORES S.A.
Construcción Civil y Montaje

OBRA: PILOTES BARRENADOS PUENTE INDEPENDENCIA																																						
PARTIDA:	PILOTES PRE EXCAVADOS	No 4	ESTRUCTURA:		Cimentación Profunda																																	
					Pilar: INTERMEDIO 0.5			Pilote N° 4																														
EQUIPOS:		GRUA 35 Ton		PERFORADOR:		ROTARY:																																
		MARG. Jones				DRILL: D 40 K Drill Tech Serie 570674-PA																																
BARRENADO		INICIO		DIAMETRO 0.60 m		LONG. BARRENADO Lp = 19.87																																
		TERMINO				LONG. ACERO LA = 19.00																																
		TIEMPO ACUMULADO				LONG. FUNDIDO LF = 18.00 A nivel de fondo de zapata																																
ARMADURA DE ACERO		LONGIT. (mt) 14 Ø		1"		PESO (kg/m) 3.970		CANT ACERO x PILOTE 33 VAR 1,178 KG																														
		ESTRIBOS Ø		3/8"		PESO (kg/m) 0.559		CANT ACERO x PILOTE 17 VAR 86 KG																														
FUNDIDO DE CONCRETO		INICIO		1 c (kg/cm2) 280		VOLUMEN TEORICO (m3) 5.30																																
		TERMINACION				VOLUMEN REAL (m3) 5.76																																
		TIEMPO UTILIZADO		SLUMP 6" - 8"		VOLUMEN ADICIONAL (m3) 0.46																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">PROF. (m)</th> <th style="width: 50%;">ESTRATIGRAFIA REAL</th> <th style="width: 40%;">DETALLE ESTRUCTURAL PILOTE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.00</td> <td rowspan="7">Arena fina a media, de granulometría uniforme, algo limosa de color beige, saturada, de estado suelto a semicompacto. Presencia de gravillas</td> <td rowspan="7">  </td> </tr> <tr><td>1.00</td></tr> <tr><td>2.00</td></tr> <tr><td>3.00</td></tr> <tr><td>4.00</td></tr> <tr><td>5.00</td></tr> <tr><td>6.00</td></tr> <tr> <td>7.00</td> <td rowspan="14">Arcilla de color verdusca, saturada, de consistencia media a dura. Suelo residual</td> <td rowspan="14"></td> </tr> <tr><td>8.00</td></tr> <tr><td>9.00</td></tr> <tr><td>10.00</td></tr> <tr><td>11.00</td></tr> <tr><td>12.00</td></tr> <tr><td>13.00</td></tr> <tr><td>14.00</td></tr> <tr><td>15.00</td></tr> <tr><td>16.00</td></tr> <tr><td>17.00</td></tr> <tr><td>18.00</td></tr> <tr><td>19.00</td></tr> <tr><td>20.00</td></tr> <tr><td>21.00</td></tr> </tbody> </table>										PROF. (m)	ESTRATIGRAFIA REAL	DETALLE ESTRUCTURAL PILOTE	0.00	Arena fina a media, de granulometría uniforme, algo limosa de color beige, saturada, de estado suelto a semicompacto. Presencia de gravillas		1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	Arcilla de color verdusca, saturada, de consistencia media a dura. Suelo residual		8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00
PROF. (m)	ESTRATIGRAFIA REAL	DETALLE ESTRUCTURAL PILOTE																																				
0.00	Arena fina a media, de granulometría uniforme, algo limosa de color beige, saturada, de estado suelto a semicompacto. Presencia de gravillas																																					
1.00																																						
2.00																																						
3.00																																						
4.00																																						
5.00																																						
6.00																																						
7.00	Arcilla de color verdusca, saturada, de consistencia media a dura. Suelo residual																																					
8.00																																						
9.00																																						
10.00																																						
11.00																																						
12.00																																						
13.00																																						
14.00																																						
15.00																																						
16.00																																						
17.00																																						
18.00																																						
19.00																																						
20.00																																						
21.00																																						
<p>OBSERVACIONES: La cota de fundido de concreto plástico en el pilote fue 1.50 m por encima del fondo de zapata, esto por un tema de proceso constructivo y nivel de napa freática. El descabezado debe garantizar un empalme estructural entre el pilote y la zapata.</p>																																						
 Amaury Larrea Ch. ING. INSPECTOR DE OBRA		CONSORCIO T Y T S.A.C. - IBEZO S.A.  Inge. Ruben A. Gutierrez RESIDENTE DE OBRA				 Luis Alberto Fontalino Segundo ING. RESIDENTE BARRENADO																																



OBRA: PILOTES BARRENADOS PUENTE INDEPENDENCIA									
PARTIDA:	PILOTES BARRENADOS	No 5	ESTRUCTURA:		Cimentación Profunda				
					Pilar: INTERMEDIO 0.5	Pilote N° 5			
EQUIPOS:	GRUA	35 Ton	PERFORADOR:		ROTARY:				
	MANCA	JOMAS			DRILL: D 40 K Drill Tech Serie 970673-PA				
BARRENADO	INICIO		DIAMETRO	0.80 m	LONG. BARRENADO L.F = 10.57				
	TERMINO				LONG. ACERO L.A = 19.00				
	TIEMPO ACUMULADO				LONG. FUNDIDO L.F = 15.00 A nivel de fondo de zapata				
ARMADURA DE ACERO	LONGIT. (m)	14.0	1"	PESO (kg/m)	3.970	CANT. ACERO x PILOTE	33 VAR	1,179 KG	
	ESTRIBOS	Ø	3/8"	PESO (kg/m)	0.556	CANT. ACERO x PILOTE	17 VAR	9.5 KG	
FUNDIDO DE CONCRETO	INICIO		f'c (kg/cm ²)	280	VOLUMEN TEORICO (m ³)				
	TERMINACION				VOLUMEN REAL (m ³)				
	TIEMPO UTILIZADO		SLUMP	6" - 8"	VOLUMEN ADICIONAL (m ³)				
PROF. (m)	ESTRATIGRAFIA REAL				DETALLE ESTRUCTURAL PILOTE				
0.00	Arena fina a media, de granulometria uniforme, algo limosa de color beige, saturada, de estado suelto a semicompacto. Presencia de gravillas								
1.00									
2.00									
3.00									
4.00									
5.00									
6.00									
7.00									
8.00	Arcilla de color verduzca, saturada, de consistencia media a dura. Suelo residual								
9.00									
10.00									
11.00									
12.00									
13.00									
14.00									
15.00									
16.00									
17.00									
18.00									
19.00									
20.00									
21.00									
OBSERVACIONES: La cota de fundido de concreto plástico en el pilote fue 1.50 m por encima del fondo de zapata, esto por un tema de proceso constructivo y nivel de napa freática. El descabezado debe garantizar un máximo estructural entre el pilote y la zapata.									
Amago:		CONSORCIO T S A C - BECO S.A.							
ING. INSPECTOR DE OBRA		Ing. Ruben A. Gutierrez Moran RESIDENTE DE OBRA			ING. RESIDENTE BARRENADO				



OBRA: PILOTES BARRENADOS PUENTE INDEPENDENCIA

PARTIDA:	PILOTES BARRENADOS	No 6	ESTRUCTURA:		Cimentación Profunda			
					Pilar: INTERMEDIO 0.5		Pilot eN° 6	
EQUIPOS:	GRUA	25 Ton	PERFORADOR:		ROTARY:			
	MARCA	Jones			DRILL:	D 40 K Drill Tech Serie 970674-PA		
BARRENADO	INICIO		DIAMETRO	Ø 60 m	LONG. BARRENADO	LP = 19.57		
	TERMINO				LONG. ACERO	LA = 19.00		
	TIEMPO ACUMULADO				LONG. FUNDIDO	LF = 18.00	A nivel de fondo de zapata	
ARMADURA DE ACERO	LONGIT (m)	14 Ø	1"	PESO (kg/m)	3.970	CANT ACERO A PILETE	33 VAR	1.178 KG
	ESTRIBOS	Ø	3/8"	PESO (kg/m)	0.555	CANT ACERO A PILETE	17 VAR	85 KG
FUNDIDO DE CONCRETO	INICIO		f'c (kg/cm2)	260	VOLUMEN TEORICO (m3)		5.20	
	TERMINACION		f'c (kg/cm2)	260	VOLUMEN REAL (m3)		5.82	
	TIEMPO UTILIZADO		SLUMP	6" - 8"	VOLUMEN ADICIONAL (m3)		0.53	
PROF. (m)	ESTRATIGRAFIA REAL				DETALLE ESTRUCTURAL PILETE			
0.00	Arena fina a media, de granulometría uniforme, algo limosa de color beige, saturada, de estado suelto a semicompacto. Presencia de gravillas							
1.00								
2.00								
3.00								
4.00								
5.00								
6.00								
7.00	Arcilla de color verdusca, saturada, de consistencia media a dura. Suelo residual							
8.00								
9.00								
10.00								
11.00								
12.00								
13.00								
14.00								
15.00								
16.00								
17.00								
18.00								
19.00								
20.00								
21.00								

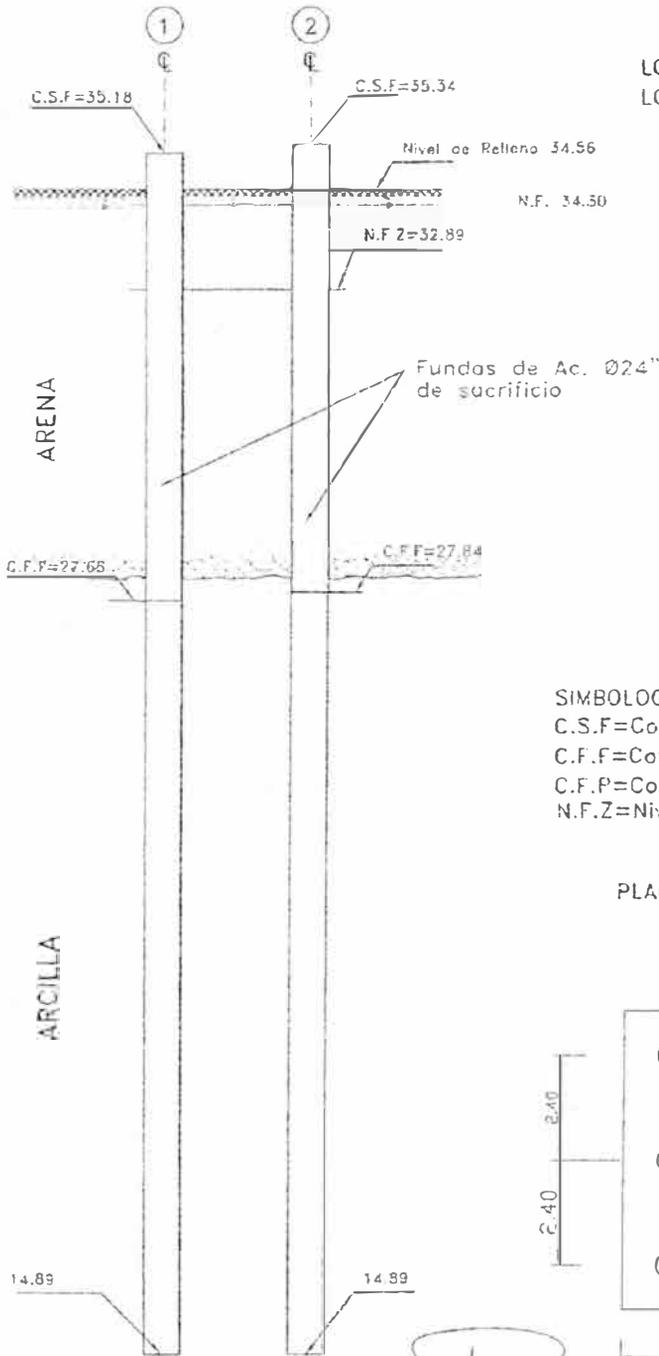
OBSERVACIONES: La cota de fundido de concreto plástico en el pilote fue 1.50 m por encima del fondo de zapata, esto por un tema de proceso constructivo y nivel de napa freática. El descabezado debe garantizar un empuje estructural entre el pilote y la zapata.

Añado: Carlos Ch.
 ING. INSPECTOR DE OBRA

CONSORCIO T.Y.T. S.A.C. - IBECO S.P.
 Ing. Ruben A. Gómez Arias
 RESIDENTE DE OBRA

Luis Alberto Portelino Segundo
 ING. RESIDENTE BARRENADO

ELEVACION DE PILOTES 1 Y 2

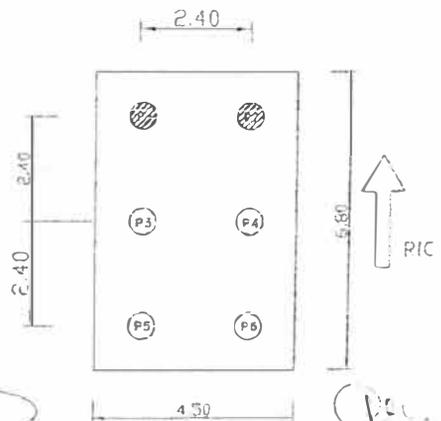


FUNDA = 7.50m.
 LONG. PIL 1 = 20.29m.
 LONG. PIL 2 = 20.45m.

SIMBOLOGIA

- C.S.F=Cota Superior de Funda
- C.F.F=Cota Fondo de Funda
- C.F.P=Cota de Fondo de Pilote
- N.F.Z=Nivel Fondo Zapata

PLANTA DE PILAR

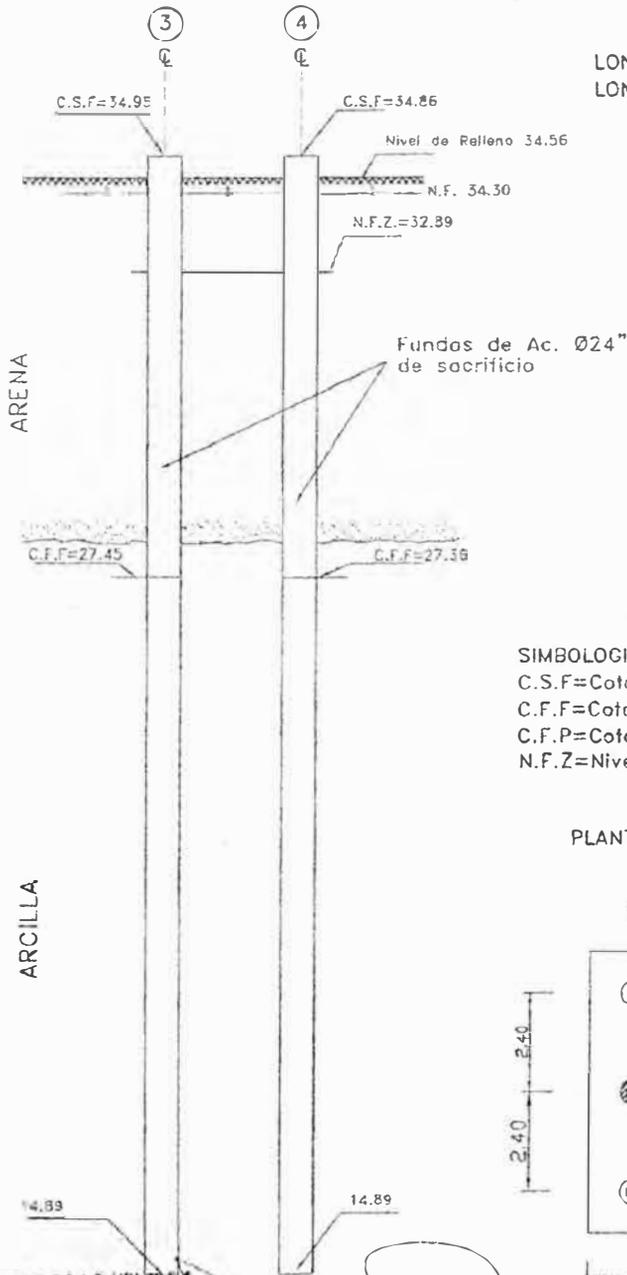


CONSORCIO TIT S.A.C. - IBECO S.A.

Ing. Ruben A. Gutierrez Murua
 RESIDENTE DE OBRA

SUPERVISOR
 PTE INDEPENDENCIA
 V.B.
 Jefe de Supervisión

ELEVACION DE PILOTES 3 Y 4

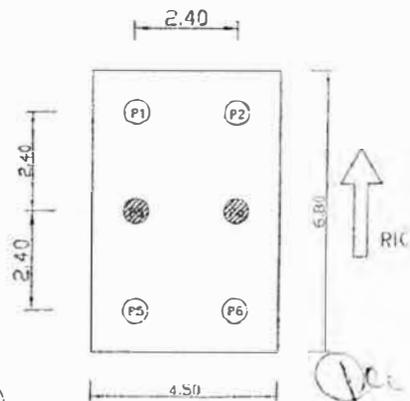


FUNDA = 7.50m.
 LONG. PIL 3 = 20.06m.
 LONG. PIL 4 = 19.97m.

SIMBOLOGIA

C.S.F=Cota Superior de Funda
 C.F.F=Cota Fondo de Funda
 C.F.P=Cota de Fondo de Pilote
 N.F.Z=Nivel Fondo Zapata

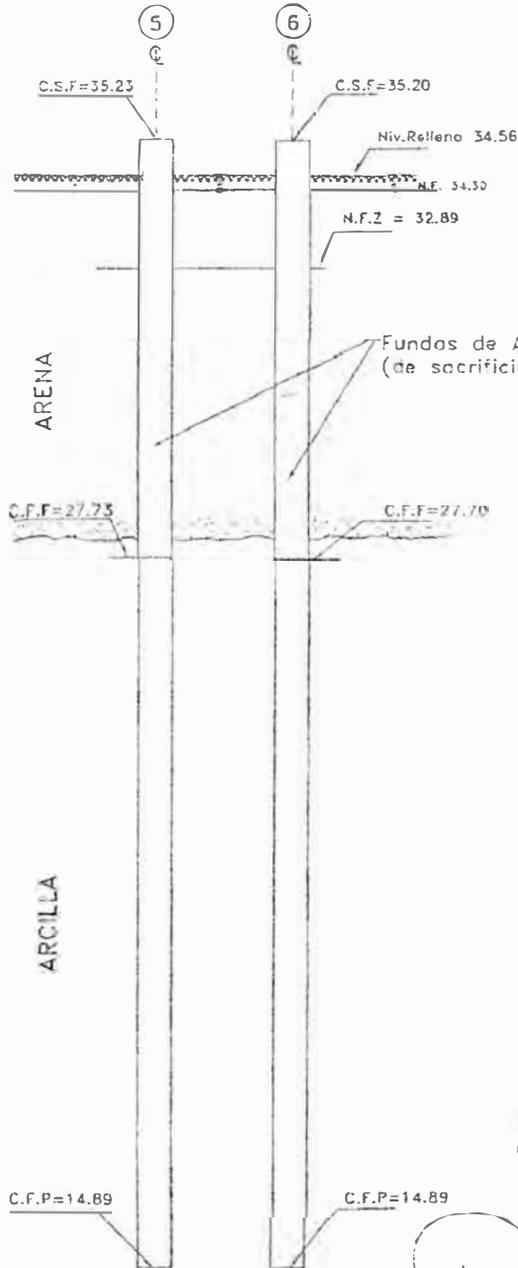
PLANTA DE PILAR



CONSORCIO IYT S.A.C./IBECO S.A.
[Signature]
 Ing. Ruben A. Gutierrez Maray
 RESIDENTE DE OBRAS

[Signature]
 SUPERINTENDENTE
 PTE INDEPENDENCIA
 V-81
 IYT de Superintendencia

ELEVACION DE PILOTES 5 Y 6

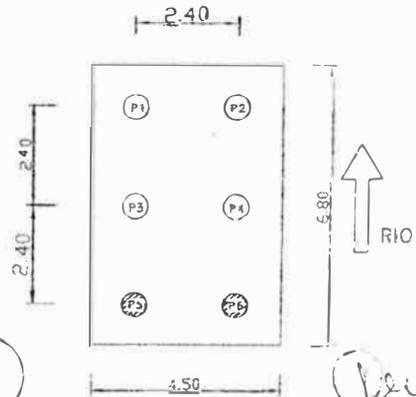


FUNDA = 7.50m.
 LONG. PIL 5 = 20.34m.
 LONG. PIL 6 = 20.31m.

SIMBOLOGIA

C.S.F=Cota Superior de Funda
 C.F.F=Cota Fondo de Funda
 C.F.P=Cota de Fondo de Pilote
 N.F.Z=Nivel Fondo Zapata

PLANTA DE PILAR



CONSORCIO T Y T S.A.C. - IBECO S.A.

Ruben A. Gutarra Murua
 Ing. Ruben A. Gutarra Murua
 RESIDENTE DE OBRA

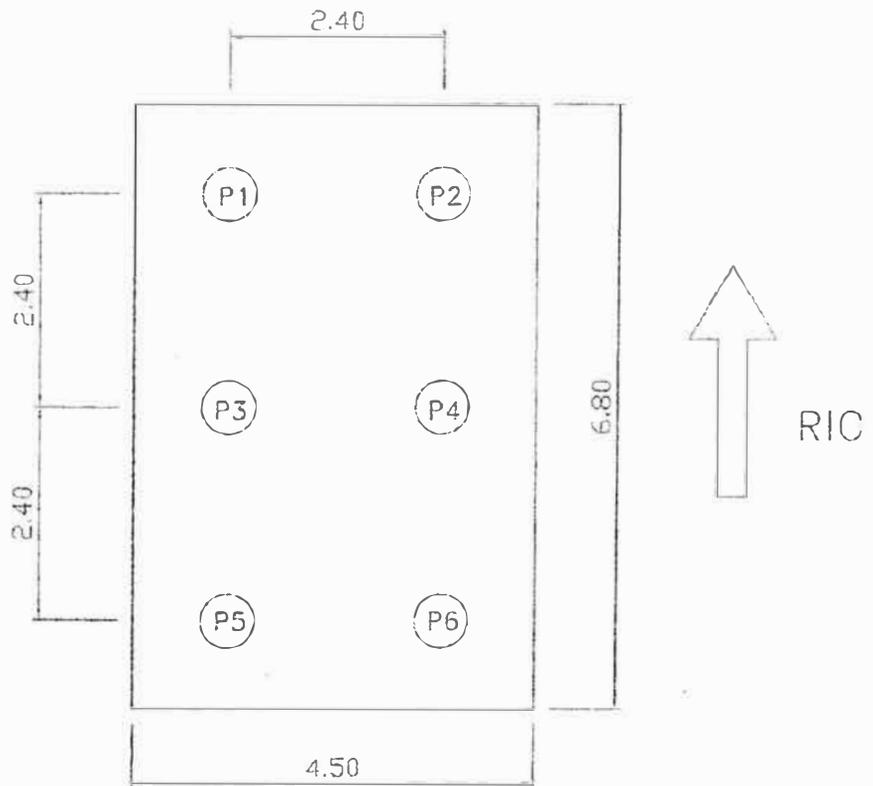
[Signature]
 RUBEN GUTARRA MURUA
 PTE INDEPENDENCIA
 N° 18
 HFE de Superación

PIURA

SECHURA

PLANTA CIMENTACION

DISTRIBUCION DE PILOTES

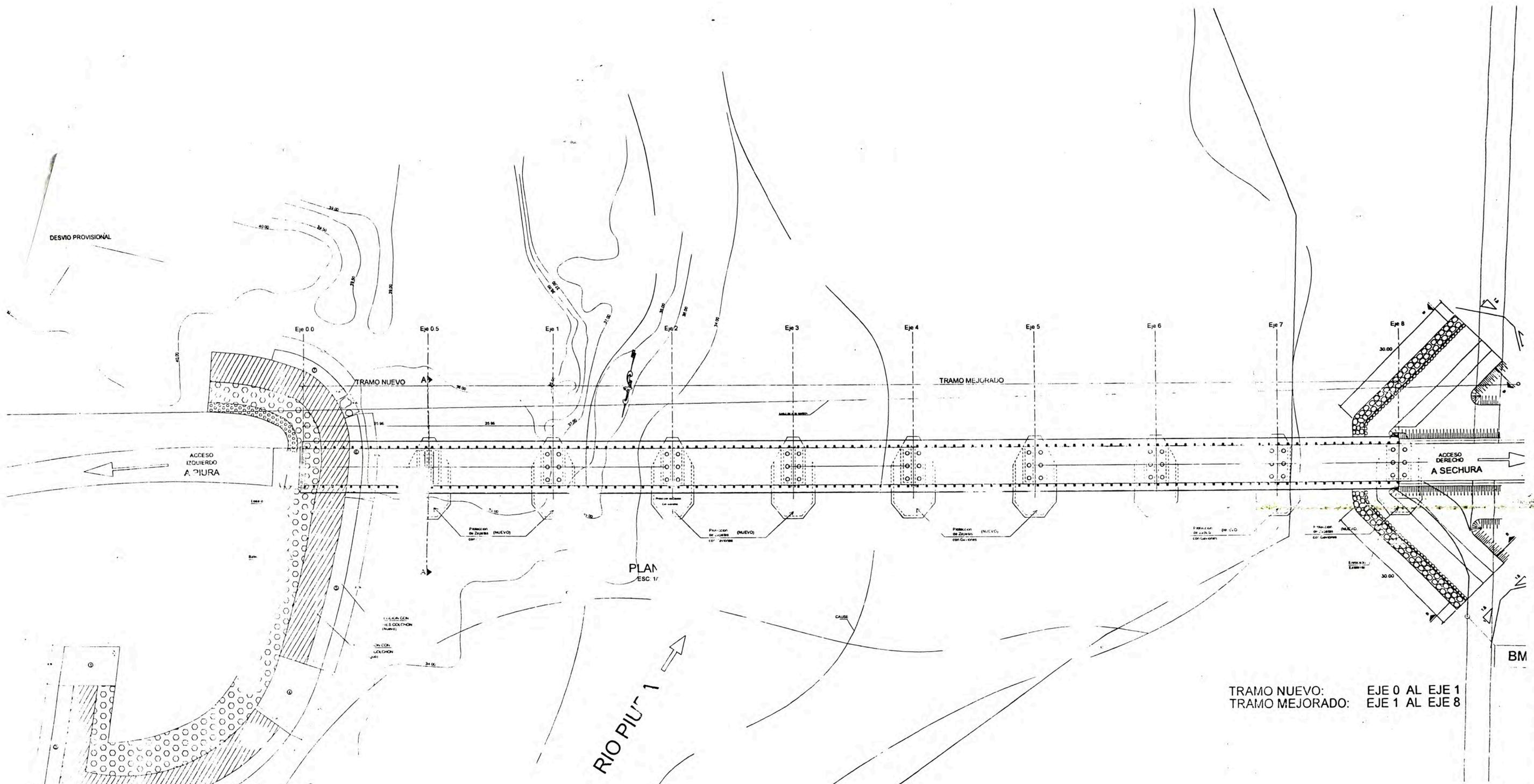


ZAPATA PILAR INTERMEDIO 0.5 PUENTE INDEPENDENCIA

CONSORCIO Iyt S.A.C. - JBECO S.A.

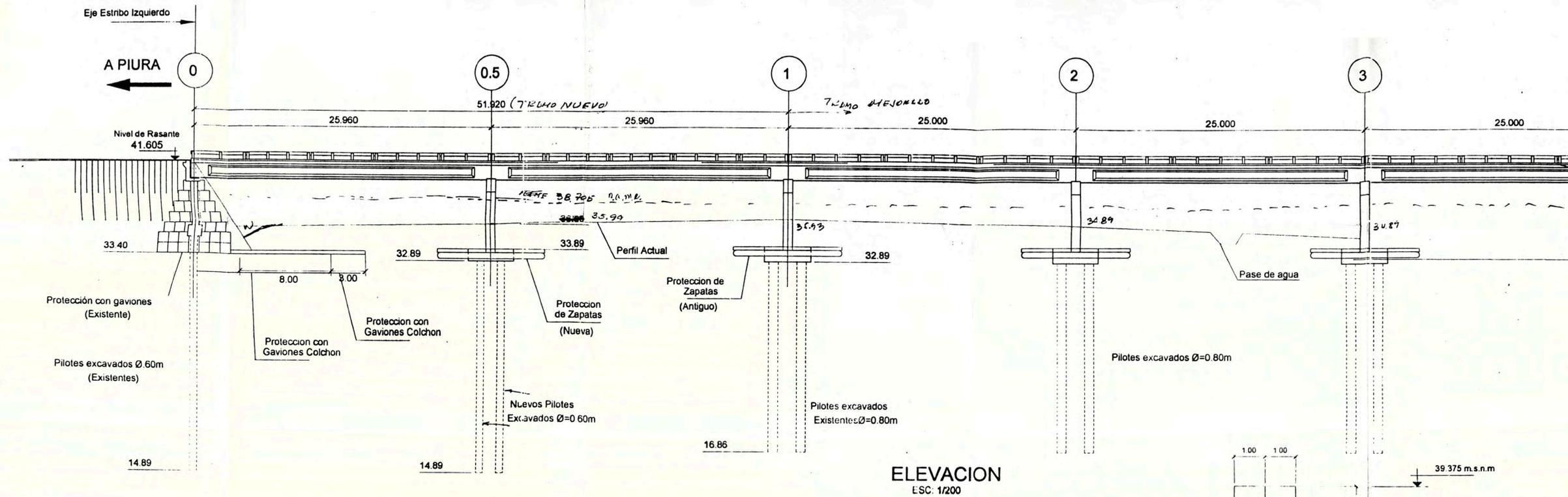
Ruben A. Guerra Marasi
Ing. Ruben A. Guerra Marasi
RESIDENTE DE OBRA

[Signature]
SUPERVISOR
PTE INDEPENDENCIA
V. 18°

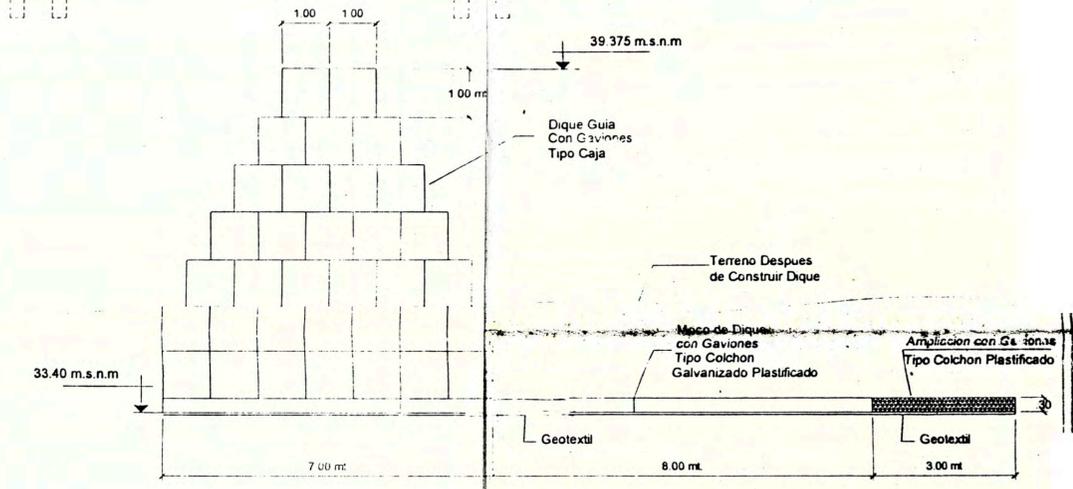


TRAMO NUEVO: EJE 0 AL EJE 1
 TRAMO MEJORADO: EJE 1 AL EJE 8

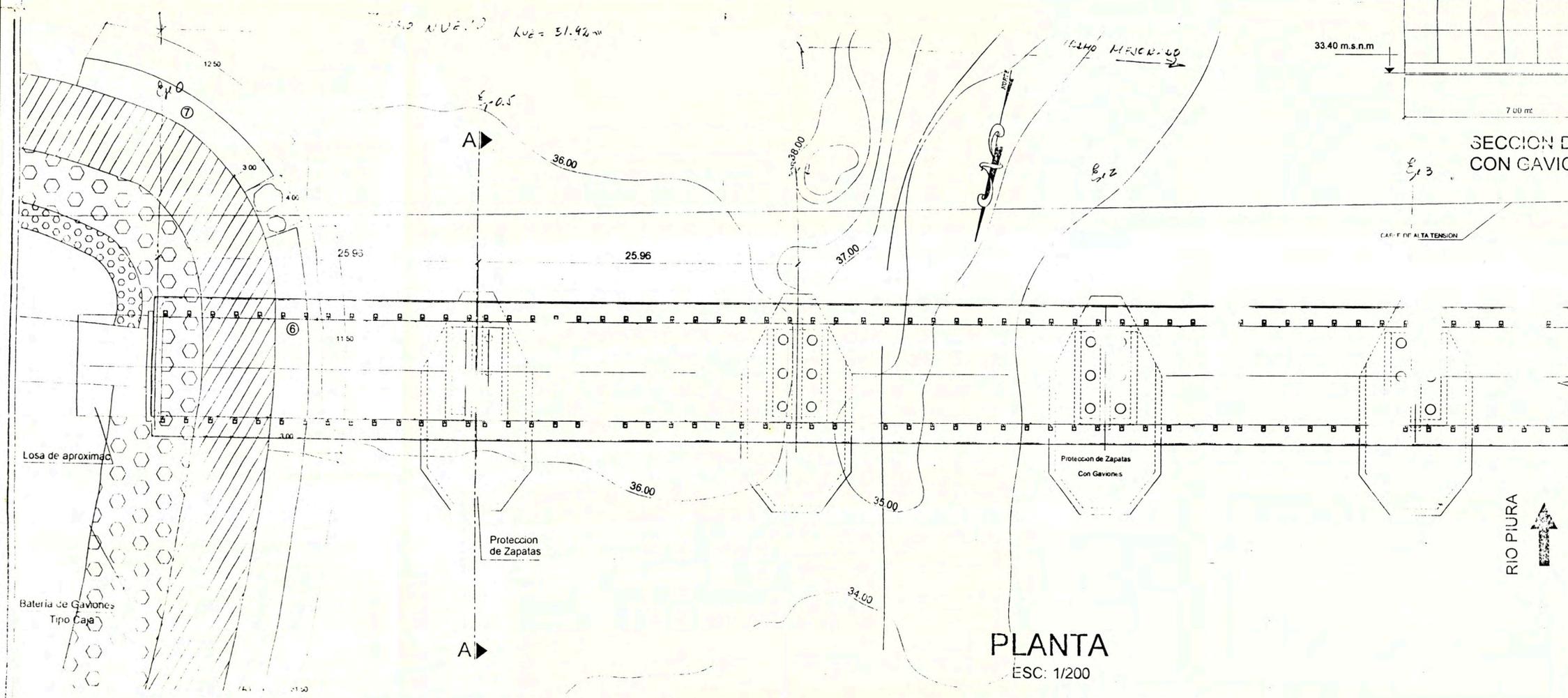
MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL PROVIAS NACIONAL			
PLANO POST-CONSTRUCCION "RECONSTRUCCION DEL TRAMO FALTANTE Y MEJORAMIENTO DEL ACTUAL PUENTE INDEPENDENCIA"			
UBICACION Departamento: Piura Provincia: Piura	LUZ = 227.00 m SAC = HL-83		
PLANO VISTA GENERAL PUENTE CON NUEVO TRAMO	ESC INDICADO		
ELABORADO: CONSORCIO T y SAC I.E.E. CO.S.A.	REVISADO: HOB Consultores S.A.	FECHA Enero 2007	IND-1A



ELEVACION
ESC: 1/200

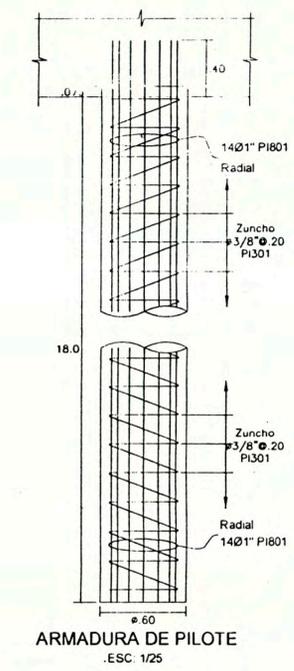
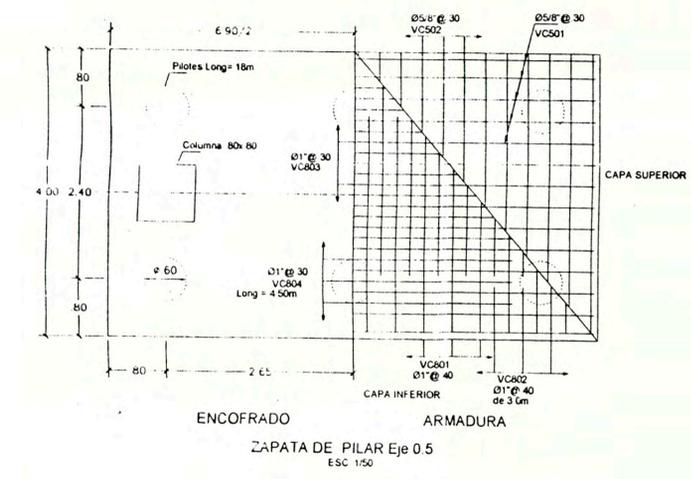
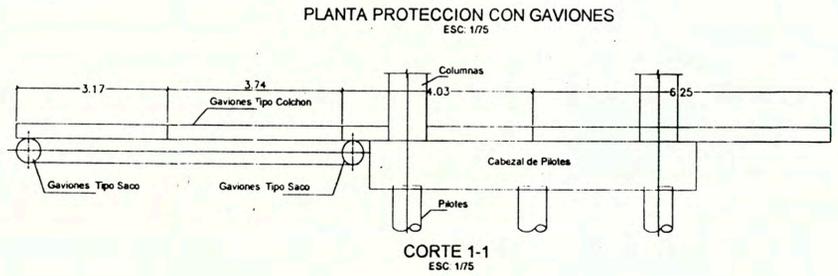
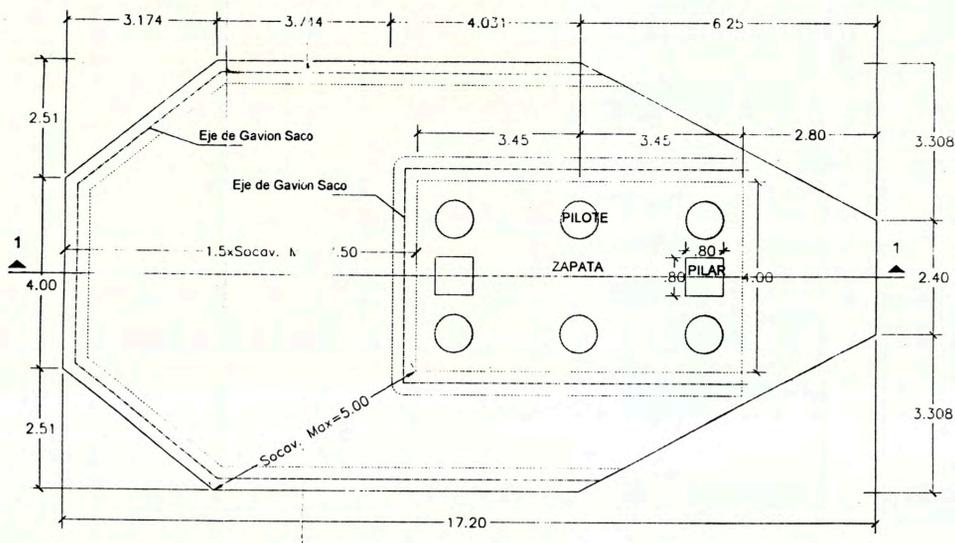
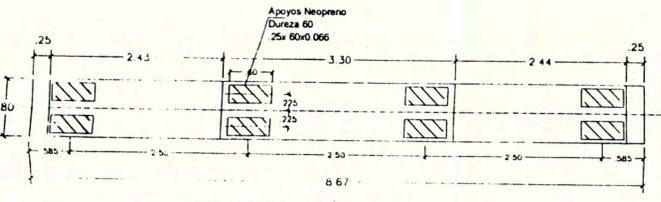
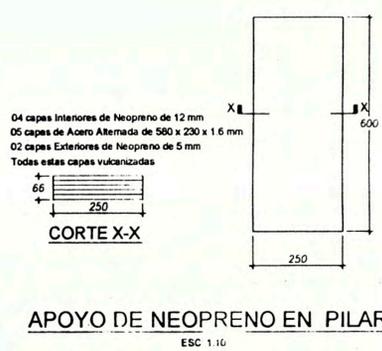
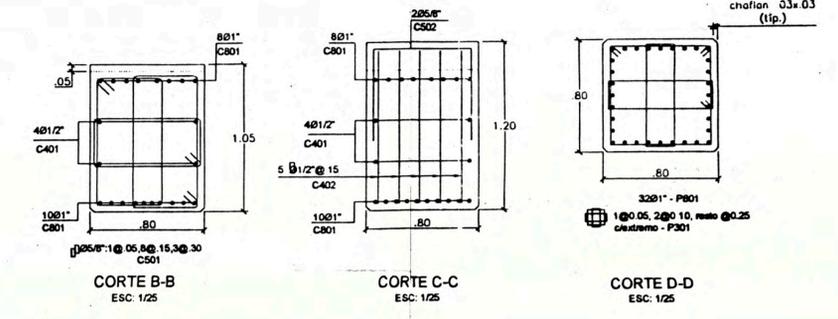
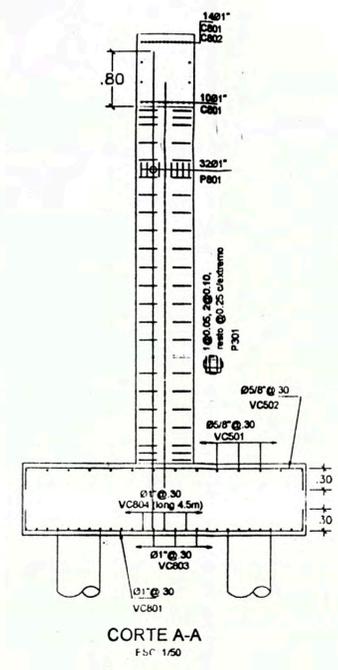
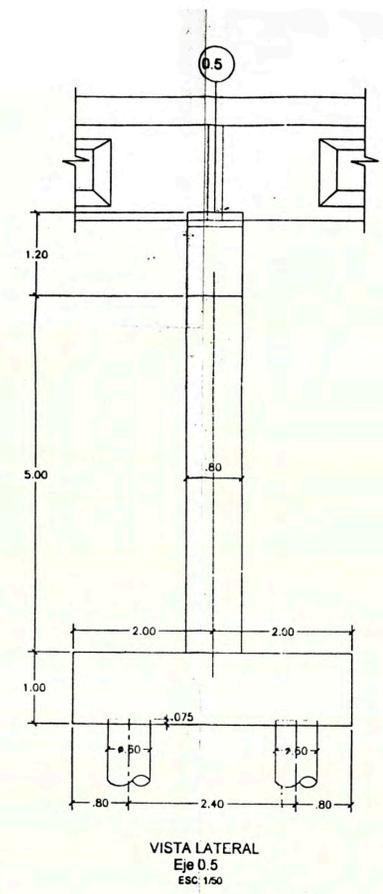
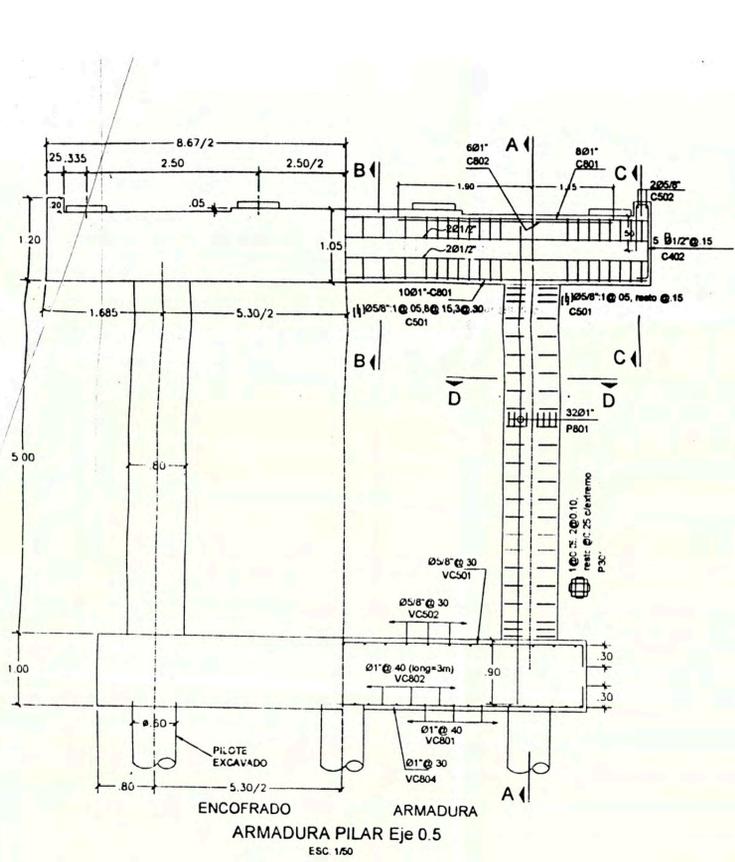


SECCION DE MURO GUIA DE ENCAUZAMIENTO
CON GAVIONES - PUENTE INDEPENDENCIA -
MARGEN IZQUIERDA



PLANTA
ESC: 1/200

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL PROVIAS NACIONAL PLANO POST-CONSTRUCCION "RECONSTRUCCION DEL TRAMO FALTANTE Y MEJORAMIENTO DEL ACTUAL PUENTE INDEPENDENCIA"		
UBICACION Departamento: Piura Provincia: Piura	ELABORADO T y T SAC IBECO S.A.	REVISADO HOB Consultores
PLANO VISTA GENERAL PUENTE CON NUEVO TRAMO	FECHA Enero 2007	227.00 m LUZ = 50.00 m SC = HL-83 ESC INDICADO IND-1



METRADO ARMADURA VIGA CAPITEL						
TIPO	Ø	LONG. POR PIEZA	N. DE BARRAS DE PIEZA	N. DE BARRAS DE PIEZA	CANT.	FORMA
C801	1"	8.56	18	1	18	—
C802	1"	3.05	12	1/2	6	—
C501	5/8"	2.90	16	1/3	26	—
C501	5/8"	2.50	36	1/3	13	—
C502	5/8"	2.20	4	1/4	1	—
C401	1/2"	6.30	4	1	4	—
C402	1/2"	2.00	10	2/3	3	—
METRADO ARMADURA PILAR						
P801	1"	6.75	64	6/8	56	—
P301	3/8"	3.00	46	1/3	16	—
P301	3/8"	2.00	92	1/4	23	—
ZAPATA O VIGA DE CIMENTACION						
VC801	1"	4.45	18	1/2	9	—
VC802	1"	3.00	18	1/3	6	—
VC803	1"	7.35	14	1	14	—
VC804	1"	4.50	14	1/2	7	—
VC501	5/8"	7.35	14	1	14	—
VC502	5/8"	4.45	24	1/2	12	—

METRADO ARMADURA PILOTES						
TIPO	Ø	LONG. POR PIEZA	N. DE BARRAS DE PIEZA	N. DE BARRAS DE PIEZA	CANT.	FORMA
P1601	1"	18.35	84	2+1/3	196	—
P1301	3/8"	132.00	6	15+9/16	84	—

RESUMEN ARMAD. PILAR INTERMEDIO				
TIPO	Ø	KG/PIEZA	CANT.	CANT.
800	1"	35.8	116	4,152.80
500	5/8"	14	66	824.00
400	1/2"	9.0	7	83.00
300	3/8"	5.1	39	198.90
TOTAL				5,338.70

RESUMEN ARMAD. PILOTE			
TIPO	Ø	KG/PIEZA	CANT.
800	1"	35.80	196
300	3/8"	5.10	84
TOTAL			7,486.20

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
 PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL
 PROVIAS NACIONAL
 PLANO POST-CONSTRUCCION
 "RECONSTRUCCION DEL TRAMO FALTANTE Y MEJORAMIENTO DEL ACTUAL PUENTE INDEPENDENCIA"

UBICACION: Departamento: Piura
 Provincia: Piura

PLANO: PILAR INTERMEDIO EJE 0.5 TRAMO NUEVO

ELABORADO: CONSORCIO T y T SAC IBECO S.A.
 REVISADO: HOB Consultores S.A.
 FECHA: Enero 2007

227.c.d
 LUZ = 62841 m
 S/C = HL-60
 ESC. INDICADO

IND-3