

PROBLEMA GEOTÉCNICO EN LA HINCA DE CAISSONES.

PUENTE YURACYACU RIO MAYO- RIOJA

Alberto Martínez Vargas

Profesor Emérito .F.I.C-U.N.I. Consultor Geotécnico. C.I.P-582

SUMARIO.

Se presenta y analiza los problemas geotécnicos en la hinca de Caissones o Cajones del Puente Yuracyacu en el río Mayo-Rioja, San Martín; a pesar que éste tipo de cimentación es muy antiguo ha sido poco empleado en el Perú, con reducida experiencia en el hincado y proceso constructivo, principalmente a profundidades mayores de 15 m, más aun en el uso de caissons neumáticos que requieren de prevenciones ante las problemas comunes en este tipo de cimentación.

Los requerimientos técnicos como las especificaciones de los estudios geotécnicos básicos llevados a cabo fueron muy conservadores, frente a condiciones geotécnicas especiales que requieren, más que factores de seguridad estructural, no disturbar las regular a pobres condiciones de estabilidad natural del suelo, que se incrementó con las omisiones, deficiencia y falta de dirección técnica adecuada y oportuna.

La enseñanza que nos deja éste caso, constituirá un ejemplo en el futuro; para que ningún estudio básico sea considerado suficiente, menos que el diseño estructural sea definitivo e intocable, pues cuanto se trata de una cimentación, la prudencia como la humildad de los profesionales responsables, debe estar presente; antes de tomar decisiones, es preferible consultar con los especialistas en geotecnia, ensayar como experimentar con pruebas in-situ,

observando el comportamiento de los probables problemas que se presenten durante la construcción para prevenir y evitarlos.

INTRODUCCIÓN

La cimentación de los Puentes en el Perú después del Fenómeno del Niño ha dejado al descubierto las deficiencias de los estudios geotécnicos básicos de la cimentación y en los diseños estructurales de los puentes; pues existen una subestimación de la importancia del primero y una superestimación del segundo.

En el caso del Puente Yuracyacu ubicado en el Alto Mayo (Fig-1) se diseño los cimiento con Pilotes hincados, Pilotes excavados, Cajones cuadrados, y finalmente cilíndricos el usado (Fig-2)

Más de 60 Puentes han sufrido daños significativos en 1997-98, y muchos su destrucción, por no responder a las condiciones geotécnicas locales, insuficiencia y deficiencias en los estudios básicos, principalmente de geomorfología fluvial, donde el efecto erosivo de socavación es mayor a la calculada por los hidráulicos e hidrólogos.

La falta de criterio frente a las amenaza y vulnerabilidad en su ubicación y condiciones locales de suelos, así como la incertidumbre y dudas en la definición de la profundidad de exploración y el nivel de cimentación, aumentaron los problemas por los fenómenos naturales, como el Niño y paradójicamente fu los antrópicos los que aumentan su vulnerabilidad, al ordenar la limpieza del los cauces sin el conocimiento técnico mínimo de las modificaciones que se introducen en la evolución de las riberas y pendientes de fondo, donde se destruye la coraza protección natural del fondo del río, que afectó la cimentación de la mayoría de los puentes en el Perú,, que no es el caso de Puente Yuracyacu, por encontrarse dentro de un valle encerrado y deprimido tectónicamente, su pendiente no es erosiva y la socavación, no ha

sobrepasado los 6 m en toda su cauce, por lo que era importante y necesario no disturbar los suelos no expuesto a la socavación existente de los sedimentos y rocas sedimentarias alteradas de fácil perturbación durante la construcción de cualquier tipo de excavación de la cimentación.

A pesar de los tipos de diseños efectuados (Ref-1 y 2), se omite en la alternativa seleccionada el uso oportuno del caisson neumático, y se inician los trabajos con cajones abierto sin la prevención y protección de los problemas durante el hincado.

EL uso inadecuado de metodología y equipos, sin asesoramiento geotécnico para actuar en el momento que se presentan los problemas de hundimiento del terreno colindante al cajón, levantamiento del fondo de la excavación, tubificación con inundación al interior e inclinación de caissones del pilar margen derecha etc. No lograron una solución que garantice la continuidad de la excavación sin alterar las condiciones naturales de los suelos colindantes.

Después del Niño de 1987-98, la reconstrucción y construcción de numerosos puentes dañados y colapsado en el Perú se inicia con una inversión significativa para los estudios básicos geotécnicos y estructurales, no efectuado en anteriores oportunidades para la reconstrucción y reparación, que al parecer no se ha cumplido con el objetivo, por ser deficientes, incompletos, sin rescatar la experiencia pasada, demostrando que no se ha aprendido la lección dejada en los últimos 15 años por dos Niños y que aún no estamos preparados para el próximo.

Es por eso que el analizar casos donde existen problemas técnicos, económicos y sociales, aumentan la desconfianza de la comunidad que tenía puesta sus esperanzas en esta obra; en consecuencia, hacer ingeniería seria y educativa, es no soslayar, callar, ni ocultar las fuentes de origen y causas que permitan corregir y mejorar el conocimiento con las evidencias. No debe olvidarse que la ingeniería surgió de los fracasos, mejor si estos son nuestros, únicos y singulares como decía el Sabio peruano C. Lisson, "fracasar; pero con dignidad"; y agregaría rescatar de los fracasos las enseñanzas que mejoren ingeniería nacional.

PUENTE YURACYACU

El problema geotécnico del Puente Yuracyacu sobre el río Mayo en Rioja-San Martín-Perú (Fig-1), merecen un análisis del nivel de la amenaza y su Vulnerabilidad para comprender por qué no se concluyó contractualmente la construcción del Puente.

- Los estudios geotécnicos finalmente fueron de mayor alcance con diferentes propuestas de cimentaciones diseñadas (Fig-2), en base a una extensa exploración de campo al haberse efectuado pruebas de S.P.T. hasta 40 m de profundidad en los pilares y 30 m en los estribos, cuyos resultados, se muestran en el perfil estratigráfico (fig-3), donde existen tres alternativas según el nivel de cimentación y como consecuencia diferentes tipos cimientos uno ya advertido en estudios preliminares y de menor profundidad (Ref-1).*
- Del perfil estratigráfico los suelos a estos niveles son del tipo SM y ML, éste último se escogió, finalmente como el nivel de cimentación a 22.50 m, el más profundo y de menor número de golpes de S.P.T, que los otros niveles existentes entre 9 y 12 m y 15 y 20 m sobre los cuales se pudieron apoyar pilotes por punta, como se estableció en el primer estudio (Ref-1).*
- Los problemas en la hincada de los pilares y estribos se producen desde el inicio (Fotos - 1,2,3 y 4) con hundimientos del terreno lateral, tubificación al interior del caisson, la sub presión del fondo. Inclínación de los caissones en el pilar y estribo derecho (Fotos 5, 6, 7 y 8) y finalmente la imposibilidad de continuar el hincado del pilar izquierdo como en los dos estribos cuando se penetra en un suelo (carbón) que generalmente no es estudiado por los ingenieros (Fotos-9 y 10) y (Tabla-1), pues sólo se le recuerda, por su color negro y olor para clasificar visualmente, y que la norma de suelos y cimentación E.050, no dice nada para la cimentación de Puentes, menos para suelos altamente orgánicos (Pt) o turba, en el caso del Puente Yuracyacu por identificación de campo, verificado con análisis de laboratorio y la experiencia*

documentada del autor (Refs-4, 5 y 6) sobre la zona del alto Mayo, confirmamos que se trata de un carbón de origen metamórfico y pertenece a formación Terciaria, es decir sobre consolidado por el tiempo geológico de 70 Millones de años, como los "especialistas" no se preocuparon por el análisis de sus propiedades, ignorando este horizonte, nada menos que de 4 m de espesor; la falta de información sobre este suelo mal clasificado y desconocimiento de sus parámetros de resistencia y deformación como se muestra en la (Tabla-2), recordando que la cimentación es la parte más vulnerable de un puente por lo que debió darse todo el cuidado al estudio, con análisis y ensayos en la determinación de las propiedades físicas y mecánica de los suelos y rocas existentes del perfil estratigráfico.

ANÁLISIS DEL NIVEL DEL PELIGRO Y PROBLEMAS GEOTÉCNICOS.

El perfil estratigráfico y los resultados de las pruebas S.P.T, eran más que suficiente para definir los nivel, tipos de cimentación y determinar los parámetros requeridos, para seleccionar la mejor que prevea menos dificultades en la construcción; la falta de un análisis crítico sobre los criterios existentes que determinan los límites permisibles, según las condiciones locales del perfil del suelo y el tipo de cimentación, no fue considerado adecuadamente en el diseño, frente a los problemas probables a presentarse, durante y después de la hinca de los caissones o cajones como es la dinámica de suelos en el problema de licuación de arenas, tubificación, etc que disturben el suelo lateral al cimiento.

LICUACIÓN

- La licuación de arenas finas o limos esta ligada a las áreas sísmicas, como es el caso de toda la zona del Alto Mayo, por sus antecedentes históricos (Ref-4), sin embargo

debe recordarse que este efecto se produce en arenas sueltas, saturadas y de continuidad uniforme que según el perfil de los suelos (Fig.-2y 3), no sobrepasa los 6m de profundidad, encontramos que no se diferenció el cambio del nivel del suelo a la roca por desconocimiento, falta de control idóneo de geología y geomorfología local y regional, que ahora confirmamos que la zona del alto Mayo esta hundida en unos 20 m tectónicamente (Refs- 4 y 5), según la evidencia encontrada (Refs-7 y 8) del estrato de 4 m de espesor de carbón bituminoso en el pilar de la margen izquierda que es el mismo que afloran en la Formación Terciaria en un corte de la carretera Marginal cerca a la ciudad de Moyobamba, actual cantera de carbón para la fabrica de cementos de Rioja (Fotos -9 y 10).

- Es más la socavación del río en estos sedimentos cuaternarios, no es mayor que 6 m (Ref-3) y (Figs-3 y 4) la historia de efectos de licuación indican, según Seed y Idrin (1971), que la profundidad efectiva de licuación es ≤ 15 m, para Ishihara y Ogawa (1978), es de 10m; Para algunos puede llegar a 20m, caso muy raro y sin referencia concreta de consulta seria. Lo normal es considera 10m, en forma muy conservadora 15 m, y donde se manifiesta los mayores daños es de 5 m. Si consideramos estos extremos y aplicamos la Norma de cimentaciones E-050 tenemos.
- El diseño del caisson considera una longitud $L = D_f = 22.50$ m, y un diámetro de $B = 7$ m, la relación $(D_f / B) = 22.50/7 = 3.20 < 5$, es decir se trataría de una cimentación superficial, contrario a los que consideran como una cimentación profunda para el caisson.
- Verificando la profundidad de exploración (p), que debe ser mayor que la profundidad de cimentación (D_f), con los limites por licuación , para $D_f = 10$ y 15m, según la

formula de las Norma E-050, sería $p = Df + z$ y donde $z = 1.5 B = 1.5 \times 7 = 10.50$ m y la profundidad de exploración sería $p = 20.50$ m y 25.50 m, que sería la profundidad de exploración y no los 30 y 40 m alcanzados, ni menos el nivel de cimentación de 22.50 m, también resultan mayores en 9.50 y 14.50 m respectivamente, por lo que son muy conservadoras y por consiguiente de mayor inversión, la misma que ha disturbado al incrementar la profundidad licuable hasta 18 m, al suelo colindante a los caissons disturbado en un radio de 30 m.

LIMITACIÓN POR EL USO DEL CAISSON NEUMÁTICO.

Como es del conocimiento existe una limitación, dada por las condiciones de trabajo en el uso del caisson neumático y define el nivel de cimentación y la longitud del cimiento; Se establece como limite un orden de 3.5 a 3.0 kg/cm², por seguridad de los obreros se recomienda trabajar a 2.5 kg/cm².

- Por éste criterio se requiere un nivel de cimentación mínima de 25 m > 22.50 m, recomendada, que sería concordante y adecuado, sí se hubiera implementado desde el inicio trabajar con caisson neumático, siguiendo las instrucciones y pasos recomendados en su uso y no cuando se agotan incorrectamente los pasos de la alternativa conocidas para continuar el hincado; al no responder los métodos inadecuados realizados como el "Air Lift" han disturbado el 80% de la profundidad del nivel de cimentación, quedaría empotrado el caisson en sólo en 4.50 m.
- Es más el pilar izquierdo (Fig-3), se encontraba dentro de la masa de un tipo de carbón bituminoso algo aceitosa, y no se podía avanzar con el uso del caisson neumático después de haber penetrando unos 0.60 m, su continuación requería de un tratamiento especial en la excavación por seguridad, para lo cual era necesario conocer y disponer de sus propiedades

y parámetros no determinados, que recién se efectuó, al parecer solo parcialmente, estos resultados deberán compararse con los efectuados de la (Tabla-1), y de este modo con el análisis y selección de los parámetros es posible considerar la alternativa planteada, al mantener la continuidad estructural de la cimentación del caisson y a través de una falsa cimentación de concreto, que sustituya el espacio dejado por el carbón, y se apoye y transmita la carga al fondo del nivel del suelo (ML) establecido en el diseño, pues ninguna alternativa que se plantee dejara de ser con la determinación de los parámetros, experiencia y pruebas locales.

CAPACIDAD DE CARGAS

Según la carga transmitida, la capacidad de carga puede también considerarse para otros niveles de cimentación referencial; así con los datos del diseño:

- *La capacidad de carga de un caisson está dada por:*

$$Q = Q_p + Q_s = q_p A_p + C f_s D_f$$

Donde :

- Q_p = Capacidad de carga en la punta.
- Q_s = Capacidad de carga lateral.
- q_p = 6 N60 (ton /m²) según Reese y O'Neill (1988) para arenas, con un límite superior de 4.3 MPa =430 ton /m². como la cimentación estaría en carbón, aún sin datos, es recomendable llevar la cimentación hasta los 25m y cimentar sobre SM con N promedio =20 golpes /pie luego con N60 golpes /pie (Terzaghi-Peck-Mesri.1996).
- A_p = Área en la base =38.50 m²
- C = Circulo =22m
- f_s = Fricción lateral, que adopta un valor medio de 35 k Pa =3.5 ton /m²
- D_f = 25m , pero considerando que el límite inferior de la socavación podría estar dado por el estrato arcilloso CL a 7m, se considera =18m.

Luego:

$$Q = 6 \times 20 \times 38.50 + 22 \times 3.5 \times 18 = 6000 \text{ ton} < 7000 \text{ ton.}$$

- *Para la carga transmitida de 7000 ton y el área de $A = 38.50 \text{ m}^2$ el esfuerzo al nivel de 22.50 m, se transmite un esfuerzo de $\sigma_t = 0.18 \text{ Kg/cm}^2$. según Boussinesq para $r = 0$ y $z = 22.50 \text{ m}$, da, $\sigma_v = 0.70 \text{ kg/cm}^2$ que es cinco veces mayor, y para el nivel no considerado de $Z = 15.50 \text{ m}$ se tiene $\sigma_t = 0.14 \text{ kg/cm}^2$ de menor carga transmitida y mejor condición de cimentación. Finalmente*

si calculamos la capacidad de carga admisible en función de los parámetros de N del S.P.T y un mínimo $\phi = 20^0$ y los factores de corrección por capacidad de carga, forma y profundidad, aplicando Vésic da 0.72 kg/cm^2 . Ligeramente superior a la transmitida considerando Boussinesq estamos en el orden de una capacidad de carga menor de 1 kg/cm^2 .

- En Ingeniería de cimentación la capacidad de carga admisible es un parámetro indicador de la resistencia del suelo, pero no una limitación para otras alternativas de diseños por lo que no hay soluciones únicas y depende del buen juicio del ingeniero geotécnico y del diseñador estructural con más humildad, que soberbia de su equivocado concepto de que la estructura es la que manda en la definición y condiciones de estabilidad de la cimentación, grave error y fatal si esto sucede después de construido el puente, por lo que es mejor que el problema suceda durante el proceso constructivo de la cimentación que le permita mejorar las condiciones del suelo o reforzar el cimiento en lo que tenga de deficiencia y finalmente proponer un rediseño antes que ser intransigente de mantener el diseño inicial frente a condiciones totalmente diferentes.*

OTROS ASPECTOS QUE CONTRIBUYERON EN EL PROBLEMA.

- Los estudios de Mecánica de suelos resultaron muy conservador como, limitado, incompleto y sin criterio para definir el nivel de prospección, profundidad de las pruebas S.P.T como la longitud de la cimentación, lo que condujo a cambiar varios tipos de pilotes hincados y excavados, pilares excavados y caissones cuadrado, rectangular finalmente cilíndrico.*
- Durante la hinca no existió el asesoramiento y control de un ingeniero geotécnico para evitar y corregir los problemas presentados como los asentamientos exteriores, las filtraciones dentro del caisson y la inclinación del Pilar (Fotos-5 y 6) de la margen derecha.*
- El constructor y el supervisor comprobaron desde el inicio y en diferentes oportunidades las manifestaciones precursoras de hundimientos, filtraciones, levantamiento en el fondo de pilares y estribos. Un aumento superior al volumen esperado de la excavación al efectuarse prácticas de bombeo no controlado y sin la experiencia en el uso del "Air Lift" se disturbó el suelo colindante, alterándolo totalmente por la tubificación originada, que finalmente impide continuar el hincado, aún con el caisson neumático que extemporáneamente se decide usar.*
- El presente Problema no debe considerarse como un Vicio Oculto, pues estaban previstos los métodos y secuencia para usar caissones neumáticos, justamente para prevenir y controlar estos*

problemas que son comunes, en este tipo de cimentación de caissones abierto.

- *En el Perú no hay experiencia en la hinca de caissones a profundidad ≥ 22.50 m, la mayor efectuada llega a 15 m y en suelos de mejor calidad, como se indica en el listado siguiente:*

Puentes cimentados con caissones.

- *Corral Quemado dentro de gravas en el río Marañón, Bagua a 15 m de profundidad. Dato del constructor (1953), y 20 m por Lainez (1992), (Ref-9).*
- *Carrasquillo (antiguo) cruce del río Morropón. de sección 4 m x 6 m y 10 m de profundidad-1983.*
- *Vichayto sobre el río Piura de 6.50 m x 6.50 m y 10 m de profundidad-1984.*
- *Moronococha en Iquitos de sección 4 m x 4 m y 12 m de profundidad.*
- *Piojo (antiguo) en limos y arenas finas en el lecho del río Tumbes de 4 m x 4 m y 12 m de profundidad.*

El problema geotécnico presentado en esta oportunidad, es de suma importancia para la Ingeniería Peruana por lo que merece su análisis y discusión formal entre los diferentes especialistas comprometidos en la seguridad de la estabilidad del puente. Las conclusiones y recomendaciones que alcanzamos no son las únicas ni la propuestas de alternativa en la búsqueda de alternativas de solución, por lo que esta abierto el debate y los aportes que se hagan y demuestre que merece un análisis de verificación aceptable.

CONCLUSIONES

1. - *Los problemas en la cimentación de los caissones en el hincado, tiene su origen en los estudios básicos incompletos y especificaciones no realista.*
2. - *Las causas geotécnicas son:*
 - 2.1.- *Falta justificación técnica en la definición de :*
 - a).-*Profundidad de exploración y pruebas S.P.T.*
 - b).-*Nivel de cimentación.*
 - c).-*Tipo de cimentación.*
 - d).-*Alternativa de rediseño para la cimentación.*

2.2.- *Falta de asesoramiento geotécnico en el diseño y un ingeniero geotécnico en la obra durante la construcción de la cimentación con caissons, para :*

- a).-*Resolver los problemas ligados al hincado, como hundimientos, levantamientos del terreno colindante, filtraciones e inclinación .*
- b).-*Uso adecuado y control en la secuencia en los métodos usados de excavación y extracción material.*
- c).-*Avance adecuado del tipo abierto y el uso oportuno del neumático.*

RECOMENDACIONES :

- 1.*Detener la hinca al nivel donde se agotaron todas las posibilidades del uso del Caisson neumático, para llegar al nivel de diseño de 22.50 m, principalmente en el pilar de la margen derecha que esta inclinado.*
- 2.*Aceptar la continuidad estructural del caisson hasta el nivel establecido; para continuar el hincado retenido aún con el caisson neumático es necesario un rediseño de un falso cimientado de concreto, para que el caisson pueda transmitir su carga sin problema.*
- 3.*Determinar las propiedades del carbón de 4m de espesor y su capacidad de carga admisible, antes de atravesarlo analizar si es necesario el refuerzo de la pared cilíndrica que garantice la seguridad de los trabajadores dentro del caisson y finalmente evaluar y conocer si es suficiente y aceptable cimentar encima o dentro del estrato de carbón.*

REFERENCIAS.

- 1-*"Estudio geotécnico del Puente Yurayacu y Avizado Alto Mayo". INAIT- PEAN. A. Martínez Vargas -1996.*
- 2-*"Cimentación de los Caissones Puente Yurayacu Río Mayo" CISMID-INADE-PEAM -1999.*
- 3.-*"Asesoramiento geotécnico de la cimentación de Caissones Puente Yurayacu-Río Mayo". PEAM-INADE- A. Martínez Vargas-1999.*
- 4.-*"Geología y Geotecnia de Moyobamba y alrededores a raíz del terremoto del 19/06/68". A. Martínez V . L.g.g.a-31. F.I.C-U.N.I-1968.*
- 5.-*"Análisis crítico sobre las condiciones geológicas en el problema de la Marginal de la selva" A. Martínez V. L.g.g.a-35. F.I.C-U.N.I-1969.*
- 6.-*"Movimiento del terreno Carretera Marginal de la Selva Tarapoto Río Nieva". A. Martínez V y A. Ocampo L.g.g.a-56.*

F.I.C-U.N.I-1971.

- 7.-"Problemas Geotécnicos Recientes en el Perú" Conferencias. Profesor, A. Martínez Vargas en la F.I.C-Universidad Nacional de Hermilio Valdizán de Huanuco- 1999.
- 8.-"Análisis de los Problemas Geotécnicos Recientes", Grupo del A.C.I.FIC-UNI, Semana de Ingeniería Civil, 1999.
- 9.-"Puentes, Análisis, Diseño y Construcción Varios autores. ACI-CE. UNI-C.P ,1993. Lima -Perú.
- 10.-"Ingeniería de Suelos en vías Terrestres, Carreteras, Ferrocarriles y Aeropistas. Alfonso Rico y Hermilio Del Castillo- Tomo-2 Cap-8, Limusa-1982. México.
- 11.-"Bridge substructure and Foundation Design" Petros P. Xanthkos, p-33,1995.Prentice Hall PTR.

INCLINACIÓN DE CAJONES O CAISSONES

TOLERANCIAS

Los caissones sufren frecuentes desviaciones de la vertical o de su posición en planta durante la hinca.

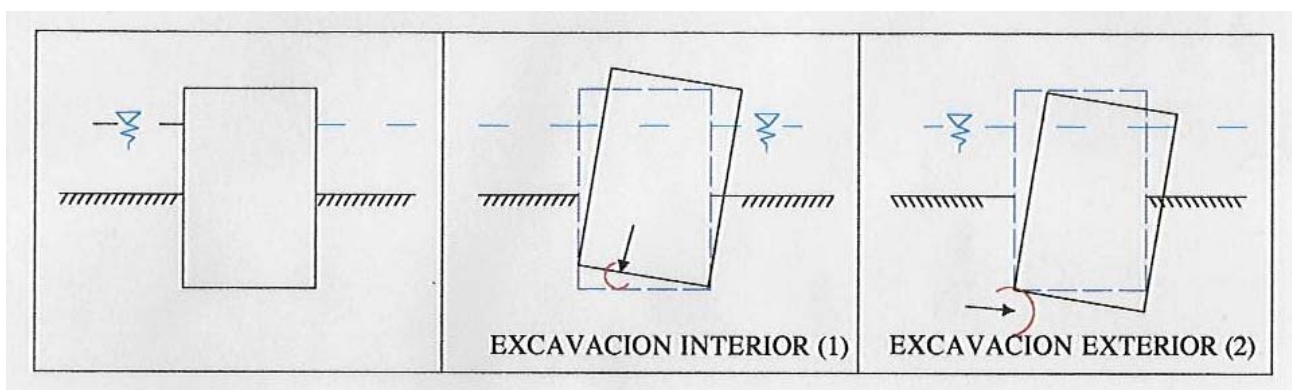
- ***Cuando estas exceden un valor estructural permisible.***

1.- ***A veces se dice: Que el centro geométrico de la sección del fondo puede desplazarse hasta 20 y 30 cm, sin causar problemas en funcionamiento estructural de un cimiento profundo. (Ref-10).***

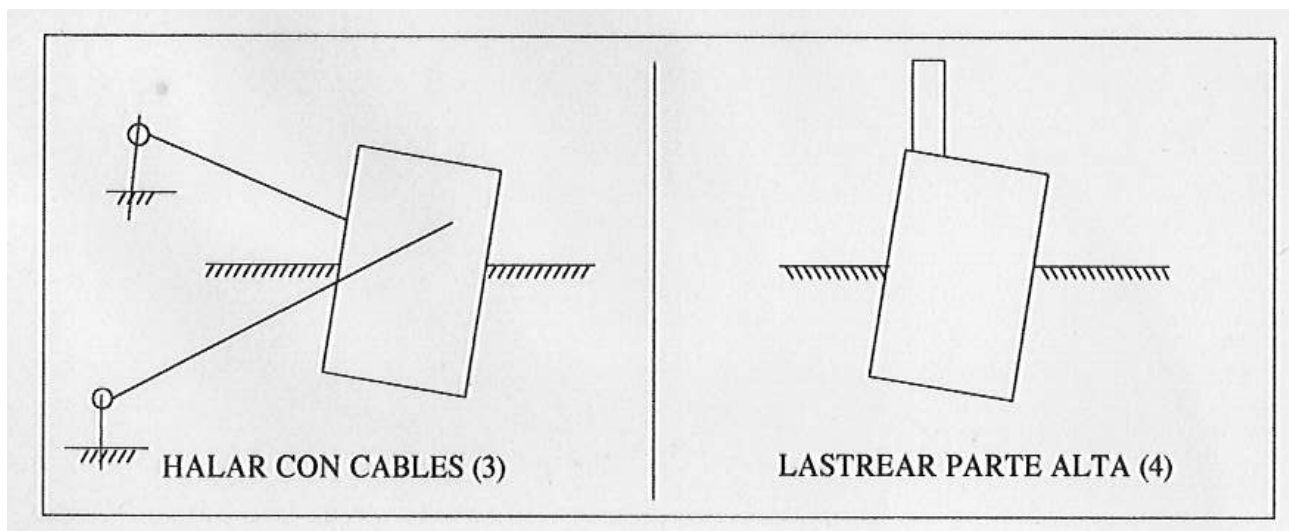
2.- ***Otros asumen: Una tolerancia en el ángulo de inclinación de 1° a 2° Como máximo y aceptable entre 0.5° a 1° .En la obra del Puente Yuracyacu - Río Mayo.***

MÉTODOS CORRECTIVOS PARA EVITAR INCLINACIONES

- *Excavar en el interior(1), del lado más alto yendo ligeramente más adelante que en el lado que haya quedado más bajo, pero sin interrumpir la excavación.*
- *Excavar en el exterior (2), del lado que haya quedado más alto.*



- *Halar el Cilindro por medio de cables(3), y muertos en la dirección apropiada.*
- *Lastrear en el sentido del lado más alto(4), añadiendo el peso suficiente de concreto .*



PROCEDIMIENTOS PARA MANTENER VERTICAL EL CAISSON

- *Se construye una estructura de apoyo piloteada.*
- *Se construye una serie de postes de amarre con pilares o se forma verdaderas cámaras con tablestacas.*
- *Se realiza una isla artificial.*
- *Se fija el cimientto en posición con un conjunto de cables de acero anclados.*

ANÁLISIS EN EL CASO DEL PUENTE YURACYACU

- **No se realizaron ninguno de estos métodos y procedimientos en el momento oportuno.**
- **Los intentos no normalizados y sin experiencia fracasaron y aumentaron la inestabilidad , (pilotes de madera).**
- **El hundimiento superficial del suelo, el levantamiento del fondo del caisson durante la excavación, la sub presión y filtraciones con exceso de volumen del que debería excavarse eran suficientes indicadores que la excavación con cajón abierto no era lo conveniente y debería cambiarse al neumático.**
- **No se considero el perfil del suelo para tomar precauciones antes de sobre pasar los limites del nivel de socavación del río y el comportamiento y características de los suelos que se atravesarían.**
- **Falta de supervisión y asesoramiento geotécnico oportuno para continuar la excavación.**

LAMINA-3

CUESTONAMIENTOS EN PUENTE YURACYACU

1.- DEFINICIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE EXPLORACIÓN (p).

- Antes del Niño de 1997-98, es variable y sin justificación.

INAIT	p=15 m
INAIT(Supervisión)	p= 20 a 25 m
Supervisor a CISMID	p= 30 m (Estribos)
CISMID al Diseñador	p= 40 m (Pilares)

- Después del Niño 1997-98, reconstrucción y diseño de Puentes.

M.T.V.C-SIMAT Especifica en los estudios hasta alcanzar $p=25$ m.

No hay normas ni criterio que sustenten estas variaciones menos lo establecido por SIMAT que (p), sea hasta 25 m de profundidad para puentes.

- En la (Ref-11) según Garzón en la Fig-1.16. Se presentan la experiencia en hinca para todo tipo de pilote, según la máxima longitud y la carga que soporta, variando de 18 m a 36 m para cargas de 30 t a 100 t.

Longitud L (metros)	Carga en Toneladas
---------------------	--------------------

20	30
27	80
34	100
40	100

- Si se considera la mínima, $L = 20$ m que corresponde a pilotes de maderas .
- Según las Normas E.050 de Mecánica de suelos.
 $p = D_f + 1.5 B$, donde $D_f = L/20$ m $B = 1$ m (pilote)
 $p = 20 + 1.5 \times 1 = 21.50$ m

Por costumbre y especificaciones se recomienda profundizar 2m, $p=23.5$ m. para el caso del cajón con diámetro $D = B = 7$ m se tiene.

$$p = 20 + 1.5 \times 7 = 30.5 \text{ m} > 30 \text{ y } 40 \text{ m.}$$

El promedio de $21.5 + 30.5$ es $p_p = 26$ m, que redondeando se tiene $p = 25$ m, ésta sería una forma para justificar, pero no realista, ni se da en las especificaciones ni normas.

LAMINA-4

LAMINA-5**OTROS ASPECTOS GEOTÉCNICOS****1.- EL ESPESOR DEL CAISSON.**

Según Juniks, Foundation Engineering (p-488), el espesor δ y el diámetro exterior, $D_o = 7m$. Donde:

$$\delta = 0.10 + (0.10) D_o = 0.80m$$

Como el diseño tiene un espesor de 1m hay un exceso de 0.20m, que aumenta el peso y su costo.

Cuando es de paredes delgada de concreto armado como es el caso en análisis el espesor es:

$$\delta = 0.10 + (1/12) D_o = 0.70$$

es decir 30% más pesado que el diseñado y su costo también, supongamos que se pueda atribuir, para asegurar la hinca del caisson cosa que no justificable por los resultados a la vista.

2.- PROFUNDIDAD DE SOCAVACIÓN.

El río Mayo por su pendiente baja, al estar dentro de una cuneta encerrada (antigua laguna) formada por un hundimiento tectónico de 20m, por la evidencia del estrato de carbón encontrado, su velocidad es baja y el proceso de sedimentación es alto, entonces se tiene:

- Socavación total histórica del río Mayo, es de unos 6m de profundidad, actual sección útil del cauce.
- Su fondo de suelo SM, puede socavar hasta 2m, parte de los 7m.
- Actualmente cuando desborda en época de avenidas sube 1m a 2m sobre la terraza inferior, si esto es socavada quedan 5m en SM sin efecto, no así en Margen derecha disturbada por la hinca hasta 14m.

LAMINA-6**3.- NIVEL DE CIMENTACIÓN Y ALTERNATIVAS**

Por el perfil y resultados de las pruebas SPT. Se puede tener tres niveles de cimentación:

1.- $11 = D_f \leq 15$ m, en suelo SM

2.- $16 \leq D_f \leq 20$ m, en suelo SM.

3.- $D_f \geq 25$ m, en suelo SM.

4.- CARGA TRANSMITIDA, ESFUERZOS TRANSMITIDOS Y CAPACIDAD DE CARGAS

- La carga de diseño de 7000 toneladas debería justificarse para aliviar el peso del puente, por estar el suelo disturbado.
- La longitud de 22.50m, bien puede acortarse, a fin de efectuar la alternativa que consideren detenerse al nivel que impide la excavación, para permitir el recalce como un falso cimientado que mantenga la continuidad y transmita la carga sin problemas en el área $A = 38.50 \text{ m}^2$ disminuyendo el área de fricción lateral.
- El esfuerzo transmitido al nivel de cimentación (22.50m) diseñado al suelo es de $\sigma_t = 0.18 \text{ kg/cm}^2$.
- Según Boussinesq, si $r = 0$ y $z = 22.50$ m el esfuerzo vertical es de $\sigma_v = 0.70 \text{ kg/cm}^2$, es 4 veces mayor que el anterior y cinco veces que al nivel $D_f = 15.50$ m de mejores condiciones de cimentación.
- Aplicando Vesic, al nivel del diseño en un suelo tipo ML con $\phi = 20^\circ$ corregido del N del SPTy con los datos de laboratorio de $C = 1.0 \text{ kg/cm}^2$, $\gamma_m = 20.50 \text{ t/m}^3$ y $q = D_f \gamma_m = 71.75 \text{ t/m}^2$, $F_s = 3$, su $q_{ad} = 2.20 \text{ kg/cm}^2$ y para $F_s = 2.5$ una capacidad admisible de 2.64 kg/cm^2 , es recomendable 2.50 kg/cm^2 .

LAMINA-7