UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
SECCIÓN DE POST GRADO

ANÁLISIS GEOTÉCNICO DE POZOS PERFORADOS Y CAJONES DE CIMENTACIÓN

Dr. Jorge E. Alva Hurtado

POZOS PERFORADOS Y CAJONES DE CIMENTACIÓN

INTRODUCCIÓN

POZOS PERFORADOS

- Tipos de Pozos Perforados
- Procedimientos Constructivos
- Capacidad de Carga
  En arena
  En arcilla
- Asentamiento de Pozos Perforados

CAJONES DE CIMENTACIÓN

- Tipos de Cajones de Cimentación
- Capacidad de Carga
- Espesor del Sello de Concreto en Cajones Abiertos

INTRODUCCIÓN

- Se denominan cajones de cimentación, pilas, pozos perforados o pilas perforadas.

- Cimentación vaciada in-situ con diámetro mayor a 0.75 m, con o sin acero de refuerzo y con o sin campana.

- El término pozo o pila perforada se refiere a un agujero perforado o excavado al fondo de la cimentación y luego vaciado con concreto.

- En base al tipo de suelo, se puede usar entubado o listones de madera para prevenir la entrada de suelo a la excavación.

- El diámetro es grande, de modo que pueda entrar personal de inspección.

VENTAJAS DE POZOS PERFORADOS

- Un solo pozo en lugar de grupo de pilotes y cepa.
- Más fácil construcción en arena y grava densa que hincar pilotes.
- Se pueden construir antes de la nivelación del terreno.
- Se evita el empleo de martillos de hincado, que ocasionan ruido y y dañan las estructuras vecinas.
- El hincado de pilotes en arcilla produce levantamiento del terreno y movimiento lateral en pilotes ya hincados.
- La campana proporciona gran resistencia a la tracción.
- Se puede inspeccionar la base del pozo.
- Se emplea equipo ligero en la construcción.
- Tienen mayor resistencia a cargas laterales.

DESVENTAJAS DE POZOS PERFORADOS

- El concretado puede demorarse por mal tiempo.

- Se necesita buena supervisión.

- Puede producirse deformaciones en el terreno y daño a las estructuras vecinas.

CAJÓN DE CIMENTACIÓN (CAISSON)

Es una subestructura utilizada en ríos, lagos y muelles. Se hunde la estructura hasta alcanzar terreno firme. En el fondo existe un borde cortante, el material del interior se elimina por la parte superior y luego se vacía concreto.

POZOS PERFORADOS

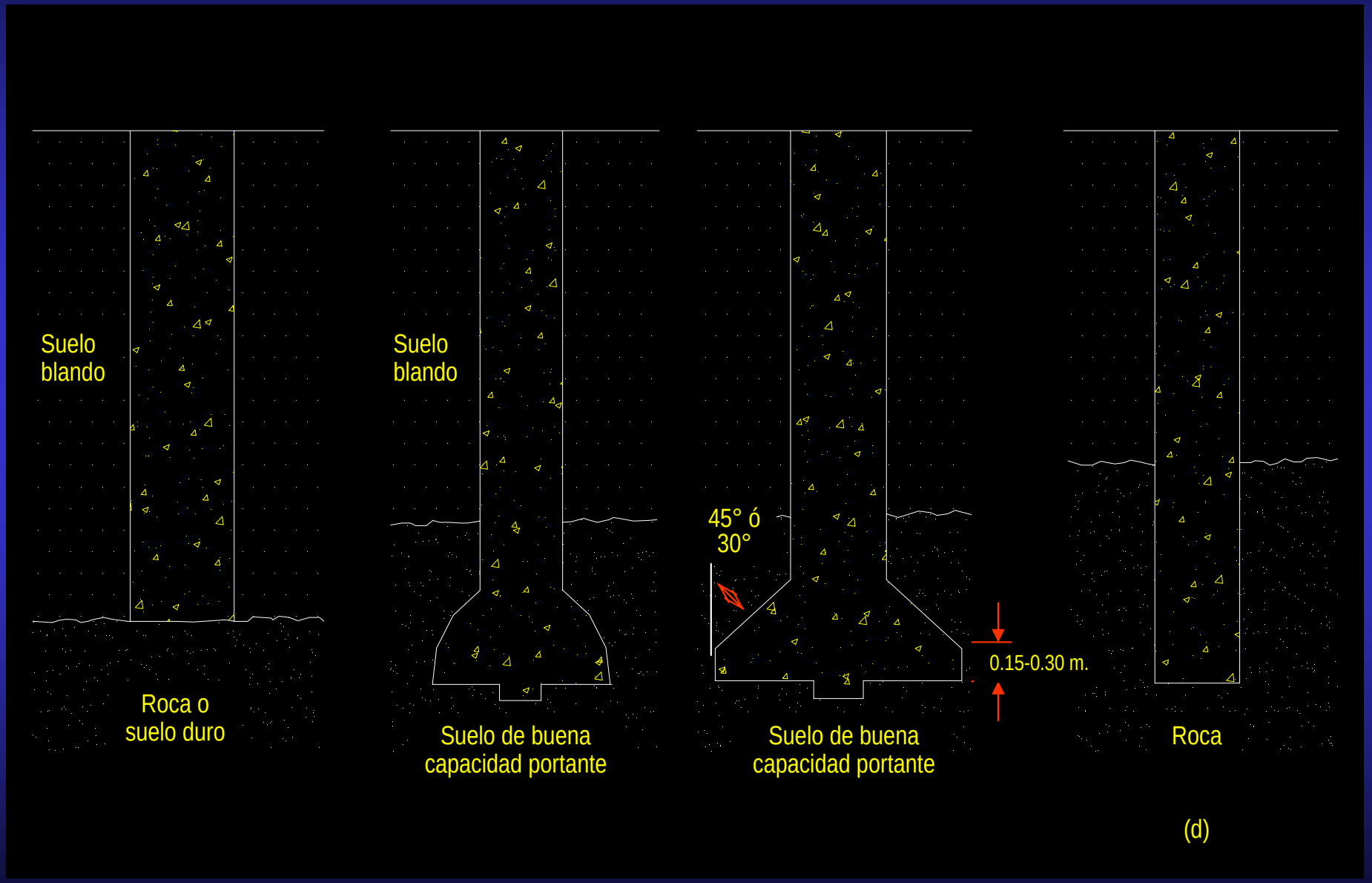
Tipos de Pozos Perforados

a) Pozo Recto: Pasa por debajo del suelo blando al suelo firme o roca. Puede utilizar entubado. La resistencia se desarrolla por punta y por fricción.

b) Pozo Acampanado: Consiste de parte recta y campana en la parte inferior. La capacidad portante es solamente por punta en el diseño.

c) Pozo Empotrado: El pozo recto puede empotrarse en roca. La capacidad portante se toma por punta y por fricción en roca.

TIPOS DE POZOS PERFORADOS



a) recto

b) y c) acampanado

d) empotrado en roca

POZOS PERFORADOS

Procedimientos Constructivos

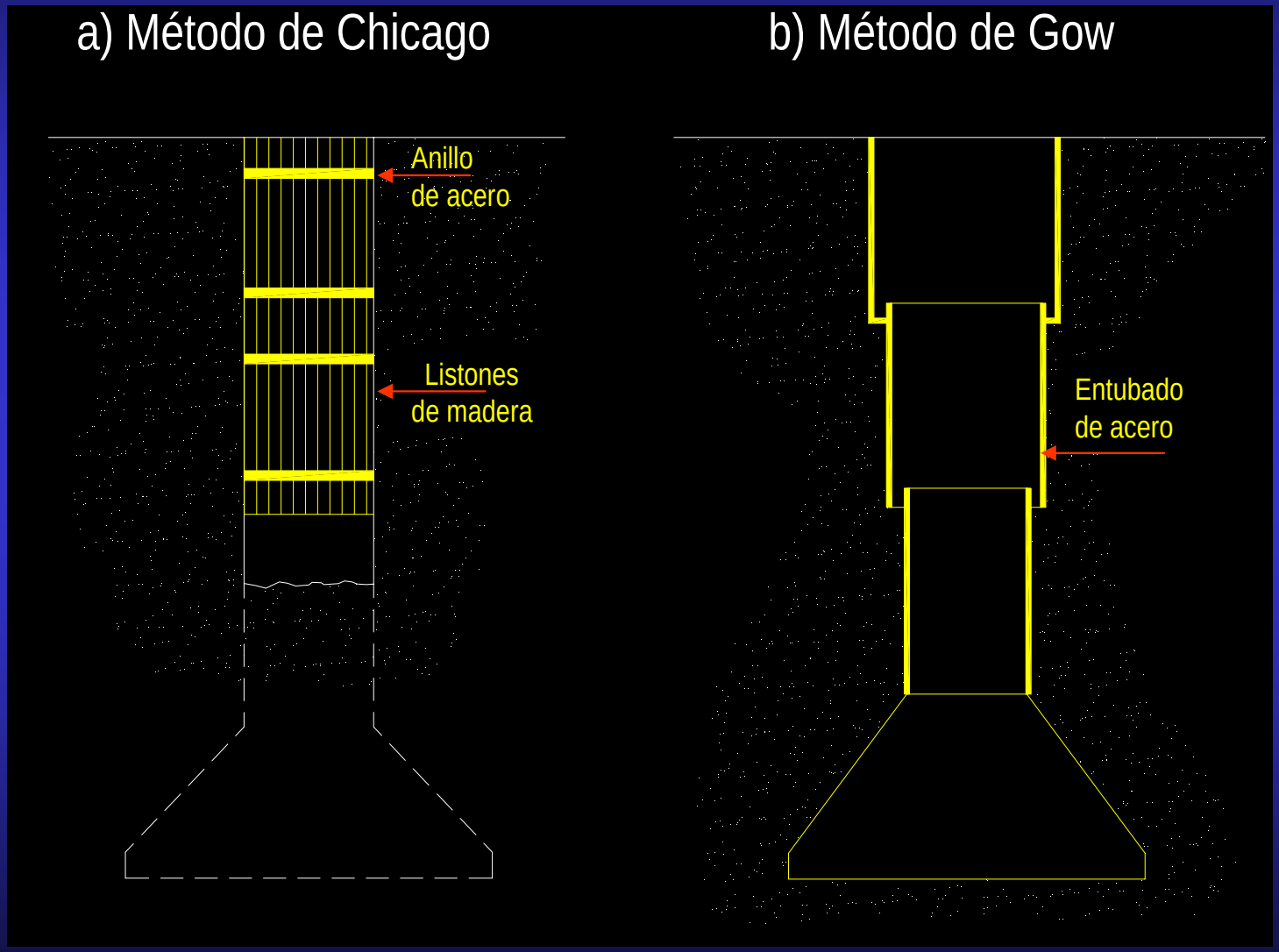
a) MÉTODO DE CHICAGO:

Se excavan a mano pozos circulares de 1.1 m o más de diámetro y en profundidades de 0.6 - 1.8 m. Se utilizan listones de madera con anillos de acero en las paredes. Al llegar a terreno firme se excava la campana. Se rellena de concreto.

b) MÉTODO DE GOW:

Se excava a mano el pozo. Se utiliza tubería metálica telescópica para proteger la excavación. Con el vaciado del concreto se retira la tubería. El diámetro mínimo es 1.22 m. Se han alcanzado profundidades de hasta 30 m.

PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS



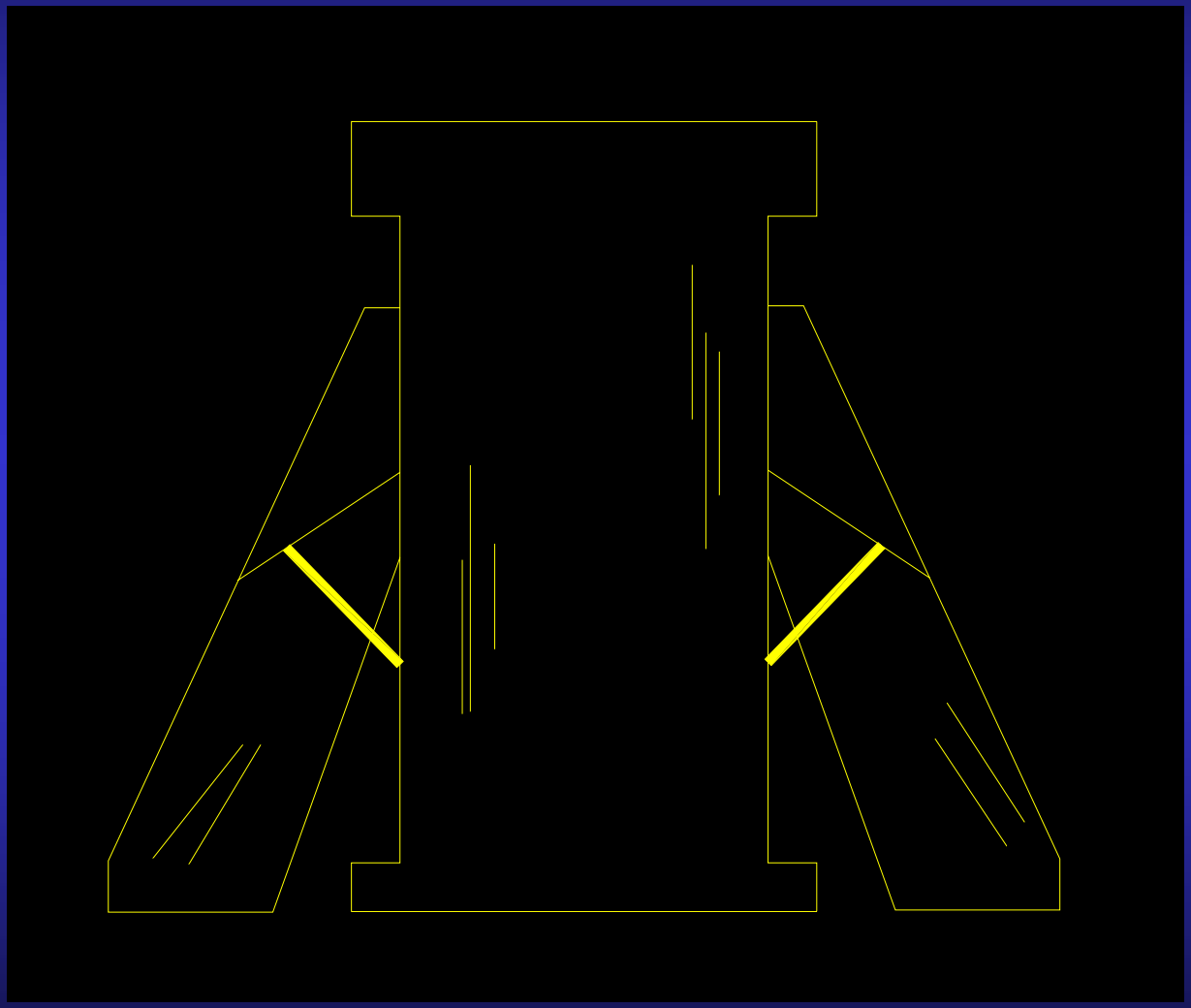
POZOS PERFORADOS

Procedimientos Constructivos

c) PERFORACIÓN MECANICA:

Se utilizan ahora equipos de perforación que tienen bordes o dientes cortantes, dependiendo del tipo de suelo. Por rotación y presión se extrae suelo del muestreador. Se tienen diámetros de hasta 3 m. Al llegar al estrato portante se utiliza el ensanchador para excavar la campana. En roca se utiliza brocas de carbono de tungsteno. En suelos arcillosos blandos o granulares sueltos se utiliza entubado o lodo bentonítico.

PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS



ENSANCHADOR

PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS

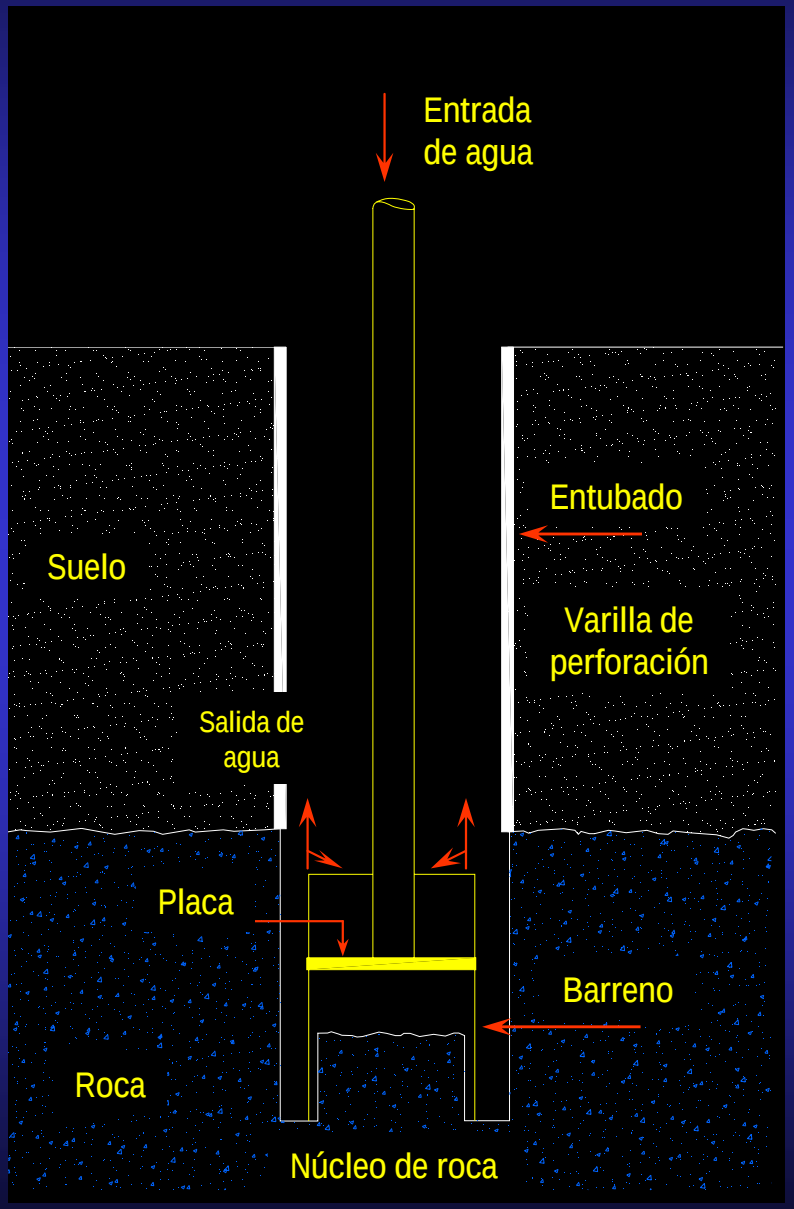
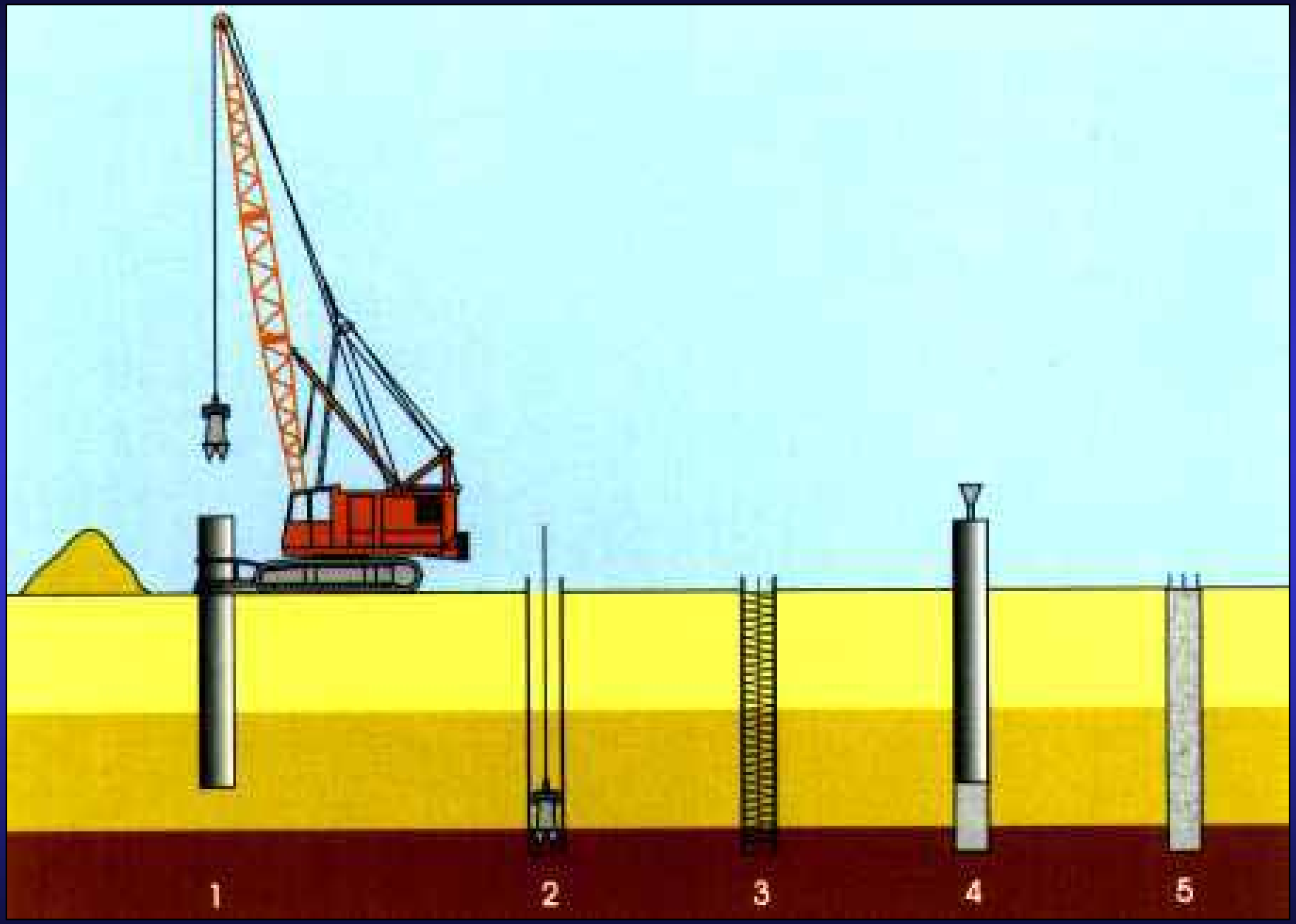


DIAGRAMA ESQUEMATICO DE PERFORACION



PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE UN PILOTE EXCAVADO

Colocación del equipo en la perforación. Puede apreciarse el lodo de bentonita utilizado para dar estabilidad a la excavación.
COSAPI

EXCAVACIÓN

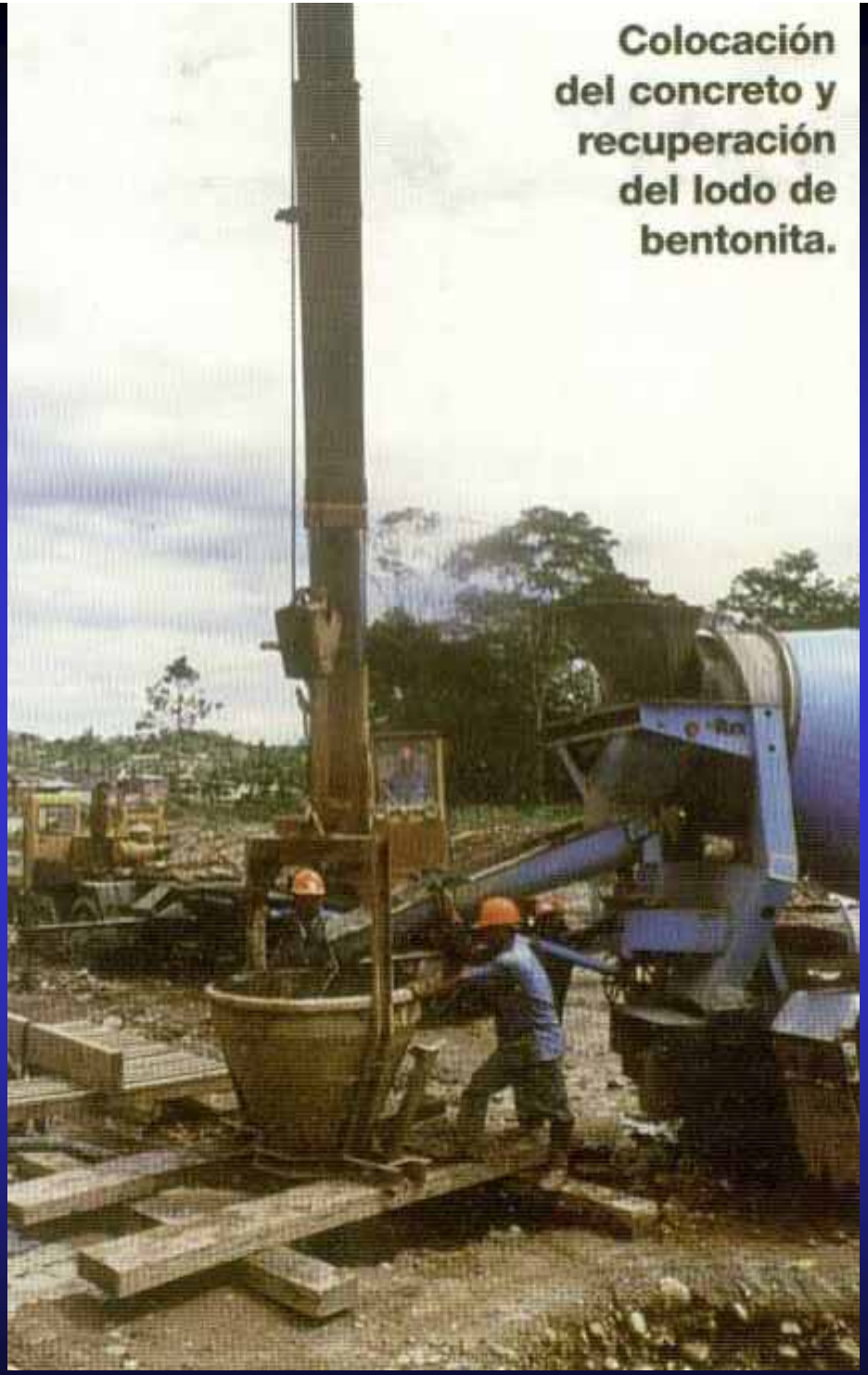
EXCAVACIÓN CON CUCHARA DE ALMEJA

COLOCACIÓN DE ACERO DE REFUERZO

ACOMODANDO EL ENCOFRADO DEL PILOTE EXCAVADO

VACEADO DEL CONCRETO MEDIANTE EL USO DEL TUBO TREMI.

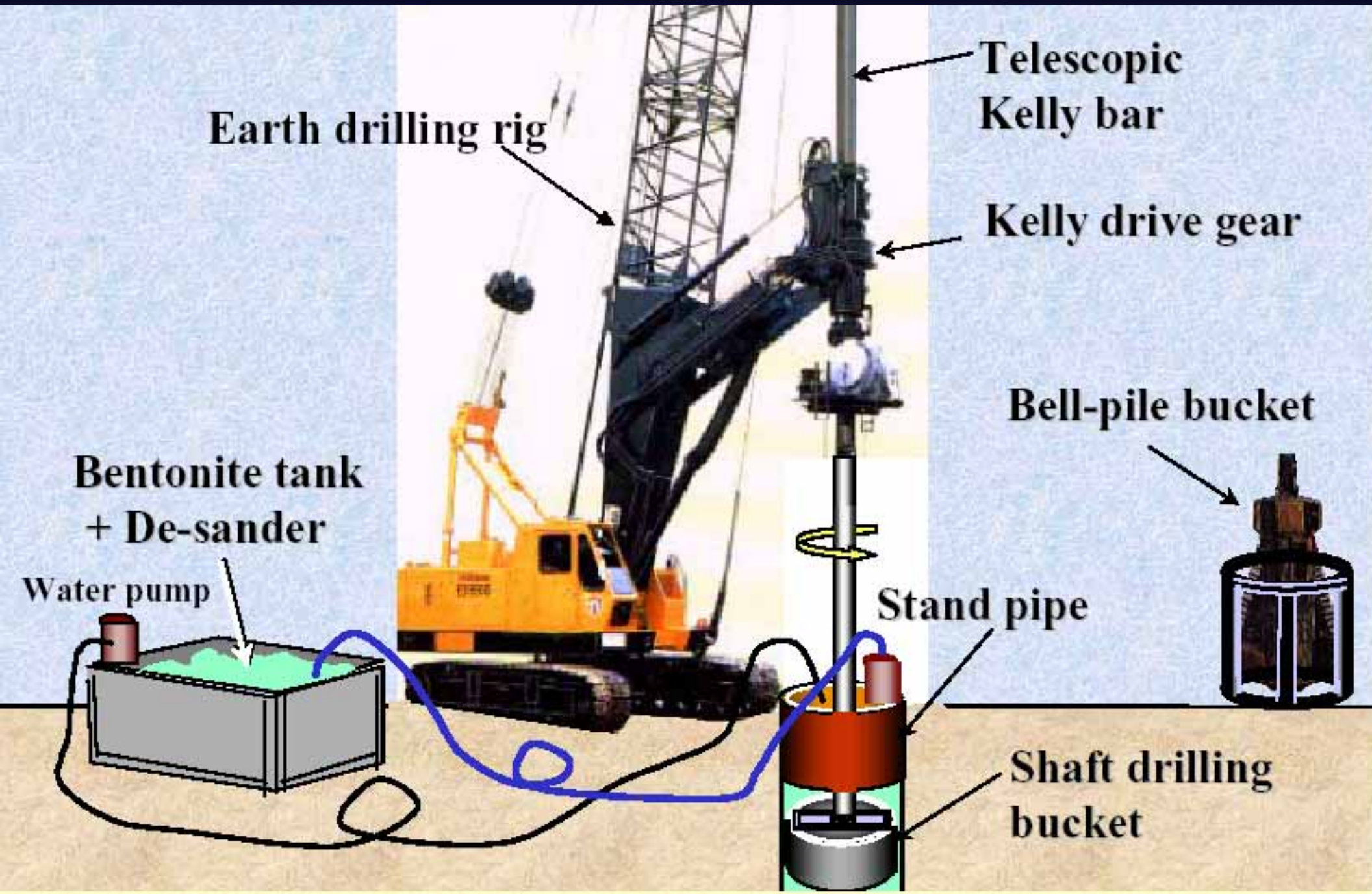
Ensamble del tubo "tremie" para colocar el concreto, de abajo hacia arriba, bajo el lodo de bentonita.



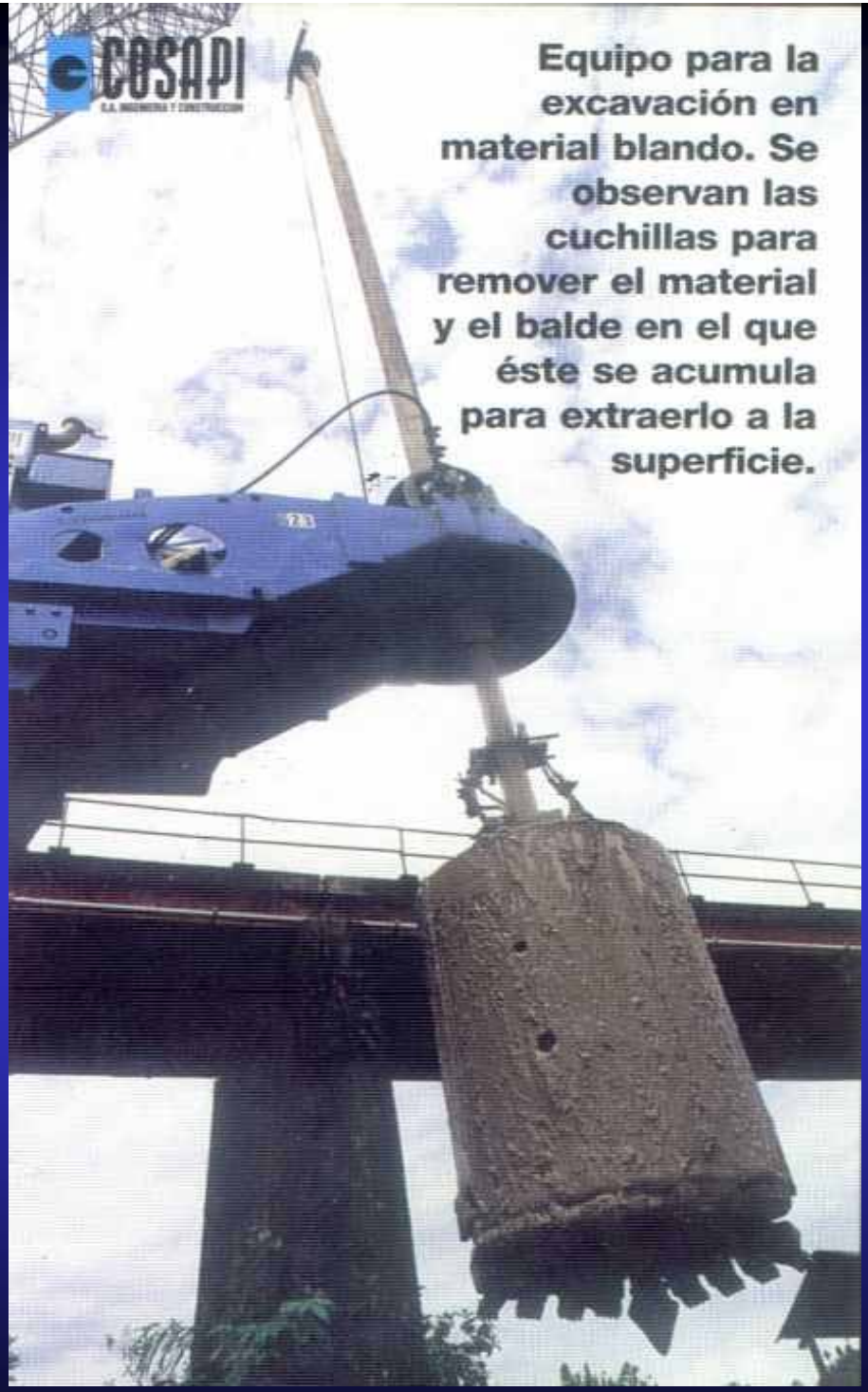
Colocación del concreto y recuperación del lodo de bentonita.

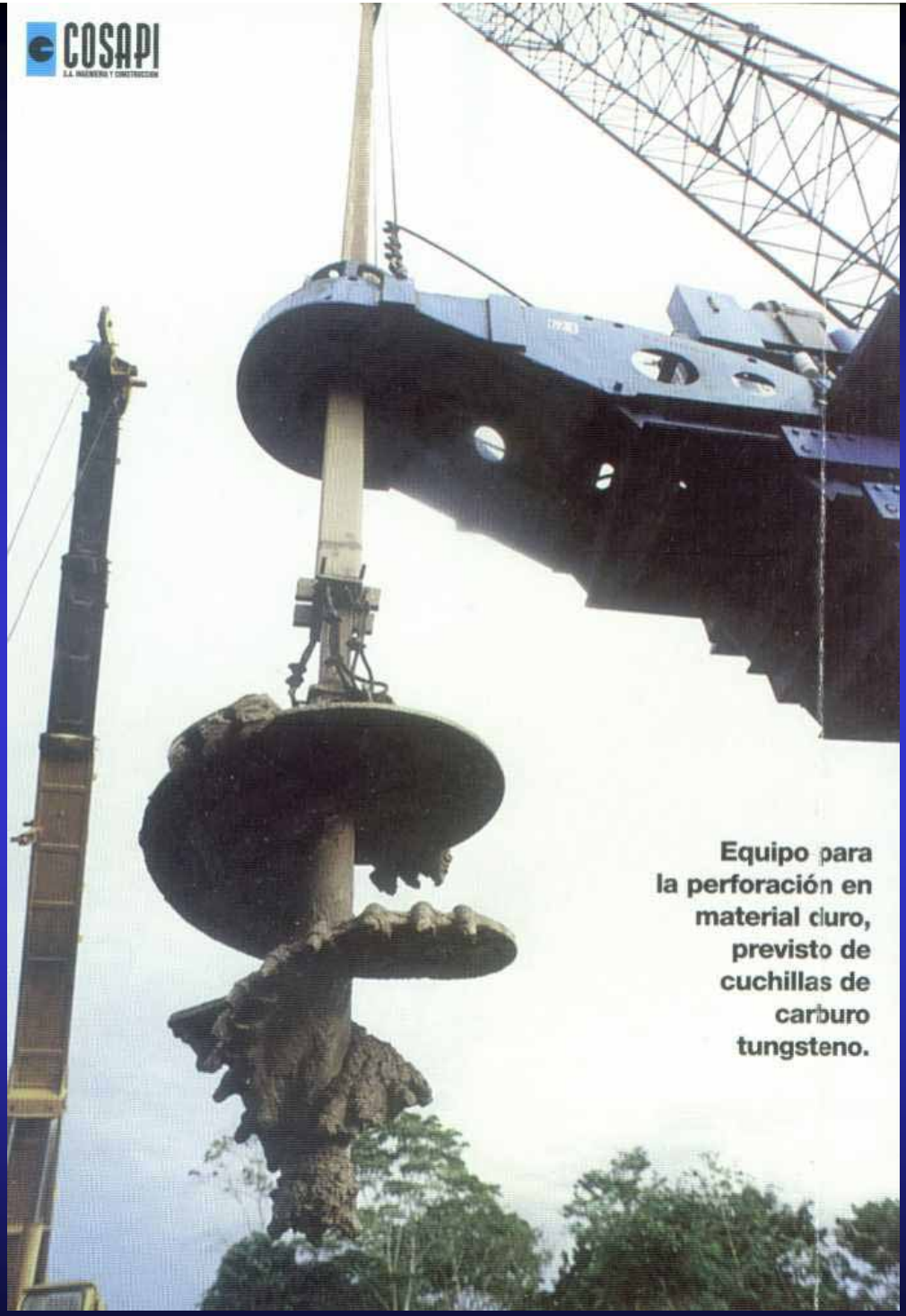
VACIADO DE CONCRETO

COLUMNAS DE CIMENTACIÓN TERMINADAS



EQUIPO NECESARIO (exc. con lodo)





EQUIPO NECESARIO (herramientas)

POZOS PERFORADOS

Capacidad de Carga

$Q_u = Q_p + Q_s$

Donde: Q_u = carga última
Q_p = capacidad de carga última en la base
Q_s = resistencia lateral a la fricción

La capacidad de carga última en la base es:

$$Q_p = A_p (c\, N_c^* + q'\, N_q^* + 0.3\, \gamma\, D_b\, N_\gamma^*)$$

Donde: $N_c^*\ N_q^*\ N_\gamma^*$ = factores de capacidad de carga
q' = esfuerzo efectivo vertical en la base
D_b = diámetro de la base
A_p = área de la base = $\pi/4\ Db^2$

POZOS PERFORADOS

Capacidad de Carga

Generalmente se omite el último término, excepto en pozos perforados cortos, luego

$$Q_p = A_p (cN_c^* + q' N_q^*)$$

La capacidad de carga neta en la base es:

$$Q_p(net) = A_p \left[cN_c^* + q'(Nq^* - 1) \right]$$

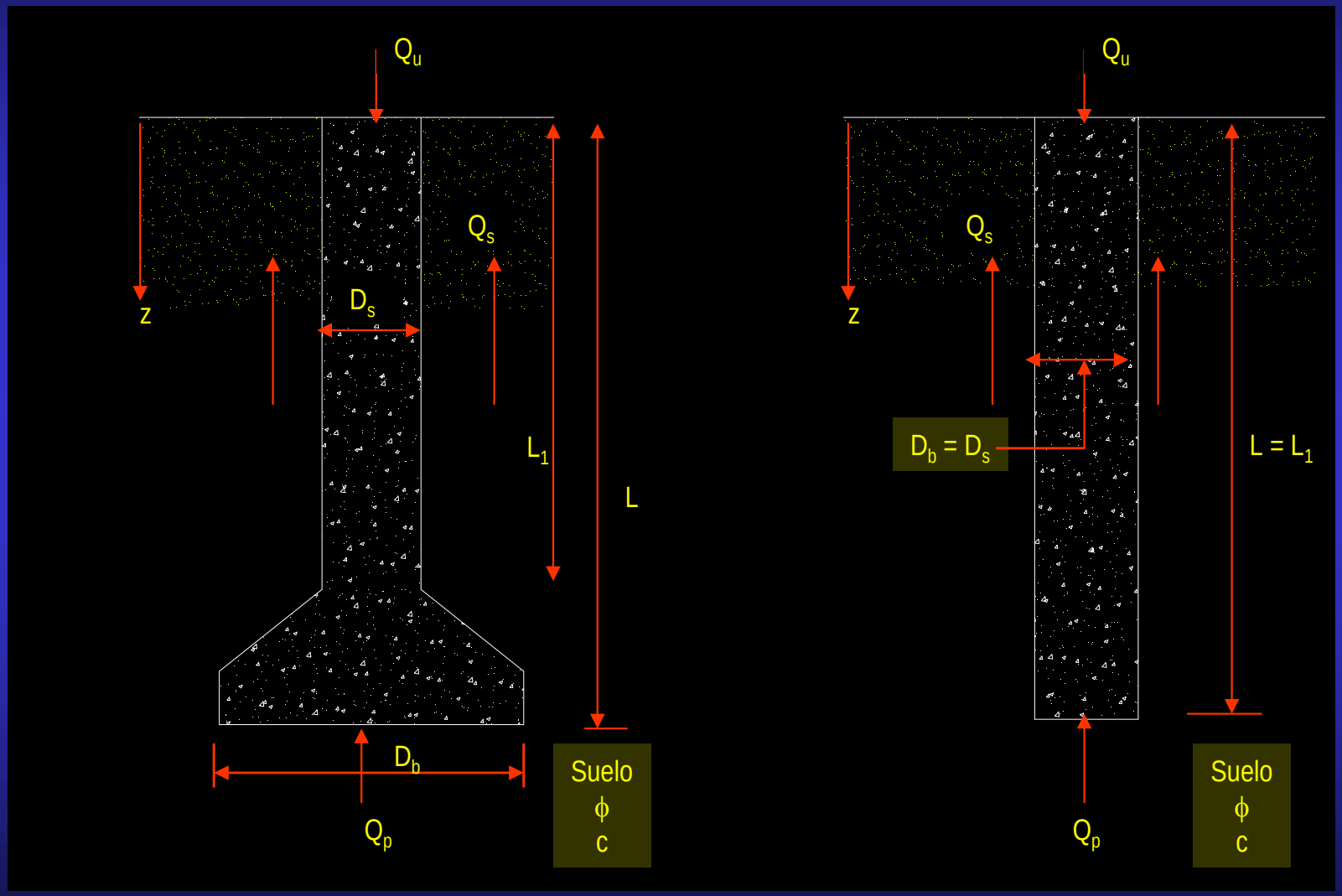
La resistencia lateral a la fricción es

$$Q_s = \int_0^{L_1} pf \, dz$$

Donde: p= perímetro del pozo = πD_s

f= fricción lateral unitaria

CAPACIDAD DE CARGA ÚLTIMA DE POZOS PERFORADOS



a) acampanado

b) recto

POZOS PERFORADOS

Capacidad de Carga en Arena

Primera Metodología

$$Q_{p(net)} = A_p \, q' \, (N_q^* - 1)$$

Los valores de Nq* son los propuestos por Vesic, que son un límite inferior a los de otros investigadores

Segunda Metodología

$$Q_p(net) = A_p \left[\frac{(1 + 2k_o)}{3} N_\sigma^* - 1 \right] q'$$

Donde: k_o = coeficiente lateral de reposo = 1 - senϕ

ϕ = ángulo de fricción

N_σ^* = se calcula de ϕ y de I_{rr}

POZOS PERFORADOS

Capacidad de Carga en Arena

$$I_{rr} = \frac{E_S}{2(1+\mu)q' tg\ \phi}$$

Donde:

I_{rr} = índice de rigidez reducido del suelo

E_s = módulo de elasticidad

μ = relación de Poisson

De las dos alternativas se escoge el menor valor.

POZOS PERFORADOS

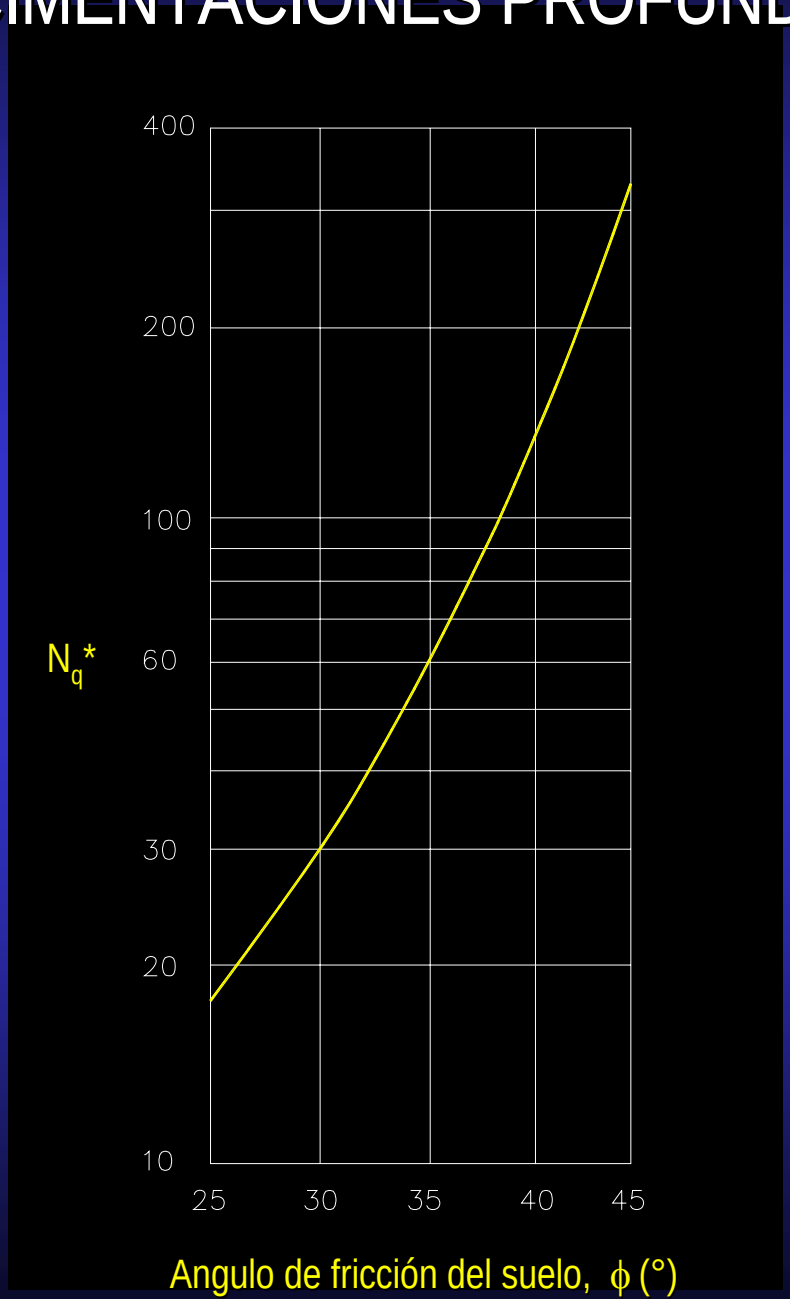
Capacidad de Carga en Arena

$$Q_s = \int_0^{L_1} p\, f\, dz = \pi D_s (1 - \operatorname{sen}\phi) \int_0^{L_1} \sigma'_v \operatorname{tg}\delta\, dz$$

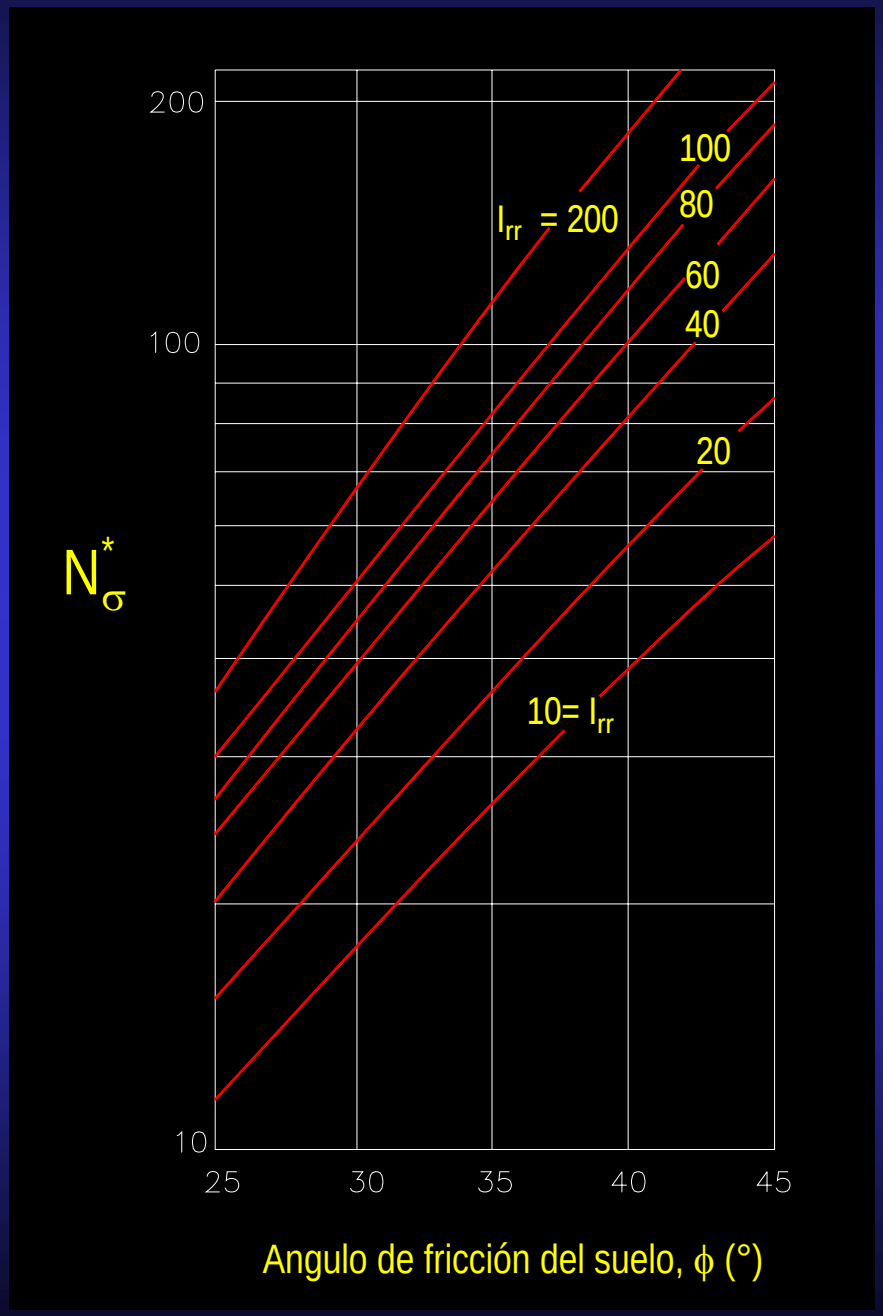
El valor de f aumenta hasta 15 D_s y permanece constante
$\delta = 2/3\phi$; σ'_v esfuerzo efectivo a la profundidad z.

$$Q_{ad(net)} = \frac{Q_{p(net)} + Q_s}{Fs}$$

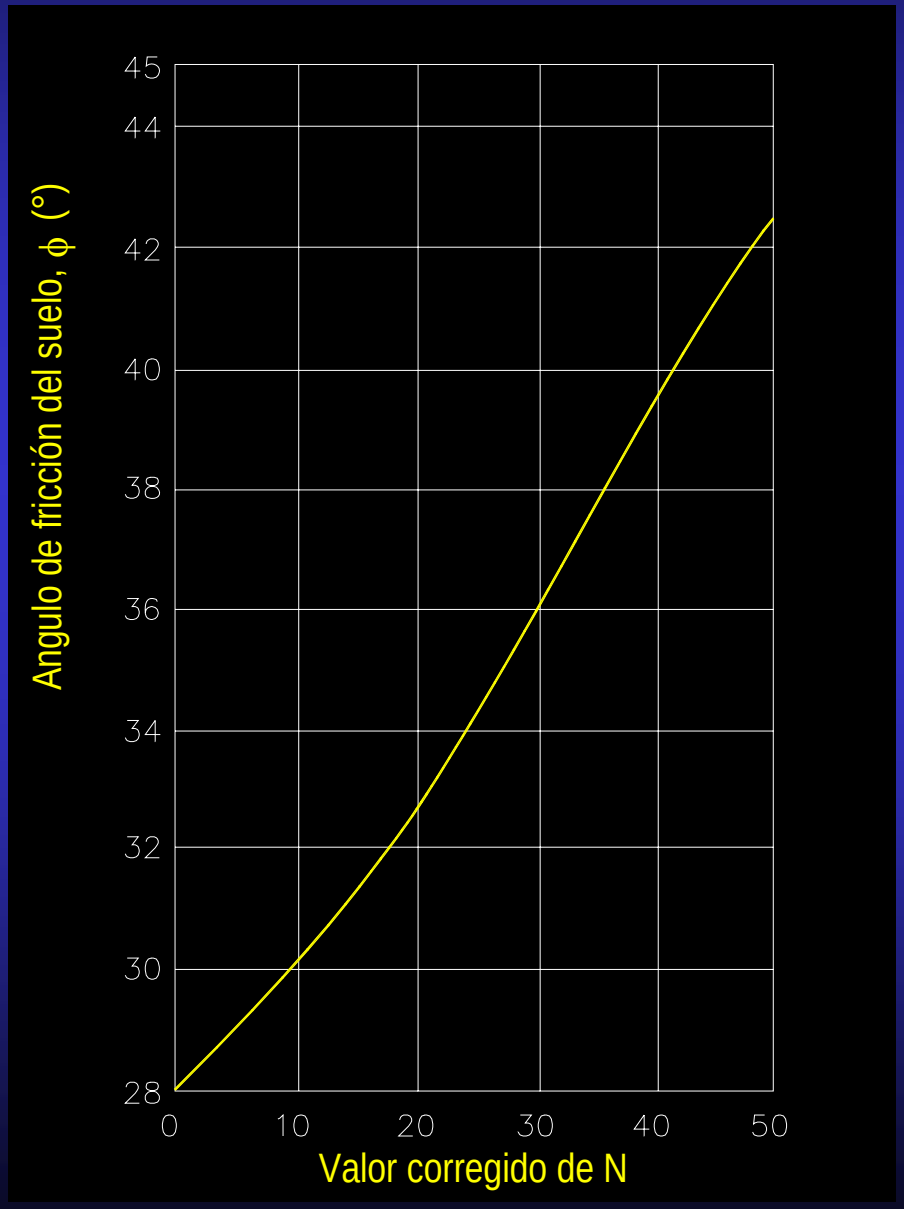
FACTOR DE CAPACIDAD PORTANTE N^*_q DE VESIC PARA CIMENTACIONES PROFUNDAS



FACTOR DE CAPACIDAD DE CARGA DE VESIC, N_σ^*



CORRELACIÓN ENTRE EL VALOR CORREGIDO DE N y ϕ



POZOS PERFORADOS

Capacidad de Carga en Arcilla

Para arcillas saturadas

$$Q_{p(net)} = A_p \, C_u \, N_c^*$$

Donde: C_u = cohesión no - drenada

N_c^* = 9

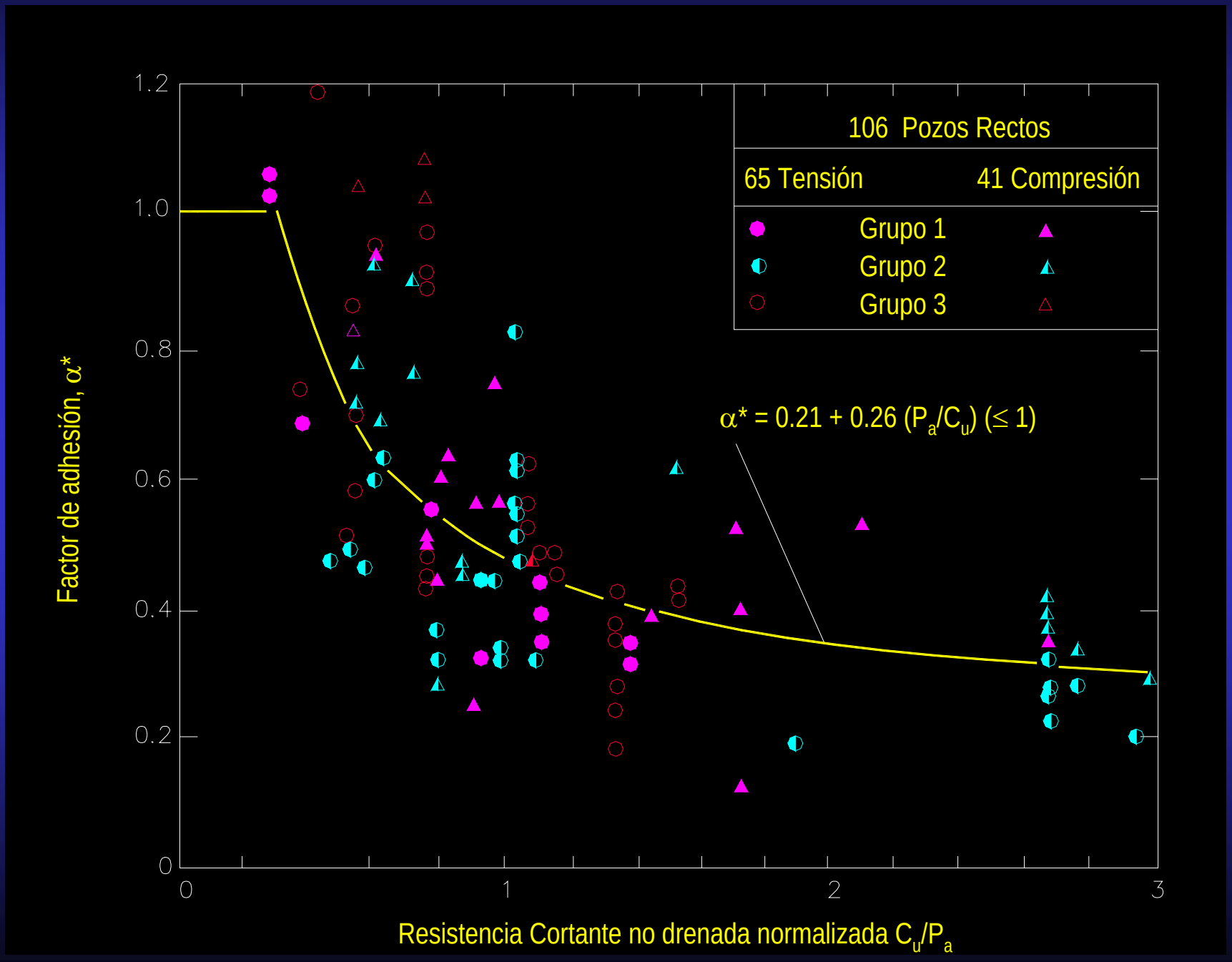
$$Q_s = \sum_{L=0}^{L=L1} \alpha^* \, C_u \, p \, \Delta L$$

Donde: p = perímetro del pozo perforado

α^* = varía de 0.3 a 1.0, conservadoramente 0.4

$$= 0.21 + 0.25 \left(\frac{P_a}{C_u} \right) \leq 1$$

VARIACIÓN DE α^* CON C_u/P_a Kulhawy y Jackson, 1989)



POZOS PERFORADOS

Asentamiento de Pozos Perforados

El asentamiento de un pozo perforado bajo una carga axial de trabajo es:

$$S = S_1 + S_2 + S_3$$

Donde:

- S = asentamiento total del pozo perforado
- S_1 = asentamiento por deformación axial
- S_2 = asentamiento por la carga en la base
- S_3 = asentamiento por la carga de fricción

POZOS PERFORADOS

Asentamiento de Pozos Perforados

Cálculo de S_1

$$S_1 = \frac{(Q_{wp} + \varepsilon Q_{ws})L}{A_p E_p}$$

Donde:

Q_{wp} = carga transmitida en la base
Q_{ws} = carga transmitida por fricción
A_p = área de la base del pozo perforado
L = longitud del pozo perforado
E_p = módulo de elasticidad del material
ε = coeficiente de distribución de fricción lateral
0.5 uniforme y parabólica
0.67 triangular

POZOS PERFORADOS

Asentamiento de Pozos Perforados

Cálculo de S_2

$$S_2 = \frac{q_{wp}\ D_s}{E_s}(1-\mu_s^2)I_{wp}$$

Donde:

q_{wp} = carga unitaria en la base = Q_{wp}/A_p

D_s = diámetro del pozo perforado

E_s = módulo de elasticidad del suelo en la base

μ_s = relación de Poisson del suelo

I_{wp} = factor de influencia, varía entre 1 y 2

POZOS PERFORADOS

Asentamiento de Pozos Perforados

Cálculo de S_3

$$S_3 = \left(\frac{Q_{ws}}{pL} \right) \frac{D_s}{E_s} (1 - \mu_s^2) \, I_{ws}$$

Donde:

p = perímetro del pozo perforado

L = longitud empotrada del pozo perforado

I_{wp} = factor de influencia = $2 + 0.35 \sqrt{\frac{L}{D_s}}$

CIMENTACIÓN DEL NUEVO PUENTE AGUAYTIA

Exploración Geotécnica

1) CISMID-UNI (1994) Informe a Lainez Lozada S.A. Ingenieros Consultores.

   Líneas de refracción sísmica

   Calicatas

   Cono Peck

   Perforaciones diamantinas

   Recomienda cimentar a 10 metros por presencia de grava suelta.

2) GEOTECNICA S.A. (1998) Informe a COSAPI S.A.

   Perforaciones diamantinas

   Cono Peck

3) Hidroenergía Consultores (1998) Informe a COSAPI S.A.

Líneas de refracción sísmica, margen derecha.

Informe de parámetros geotécnicos para posible modificación de cimentación.

Diseño de la cimentación

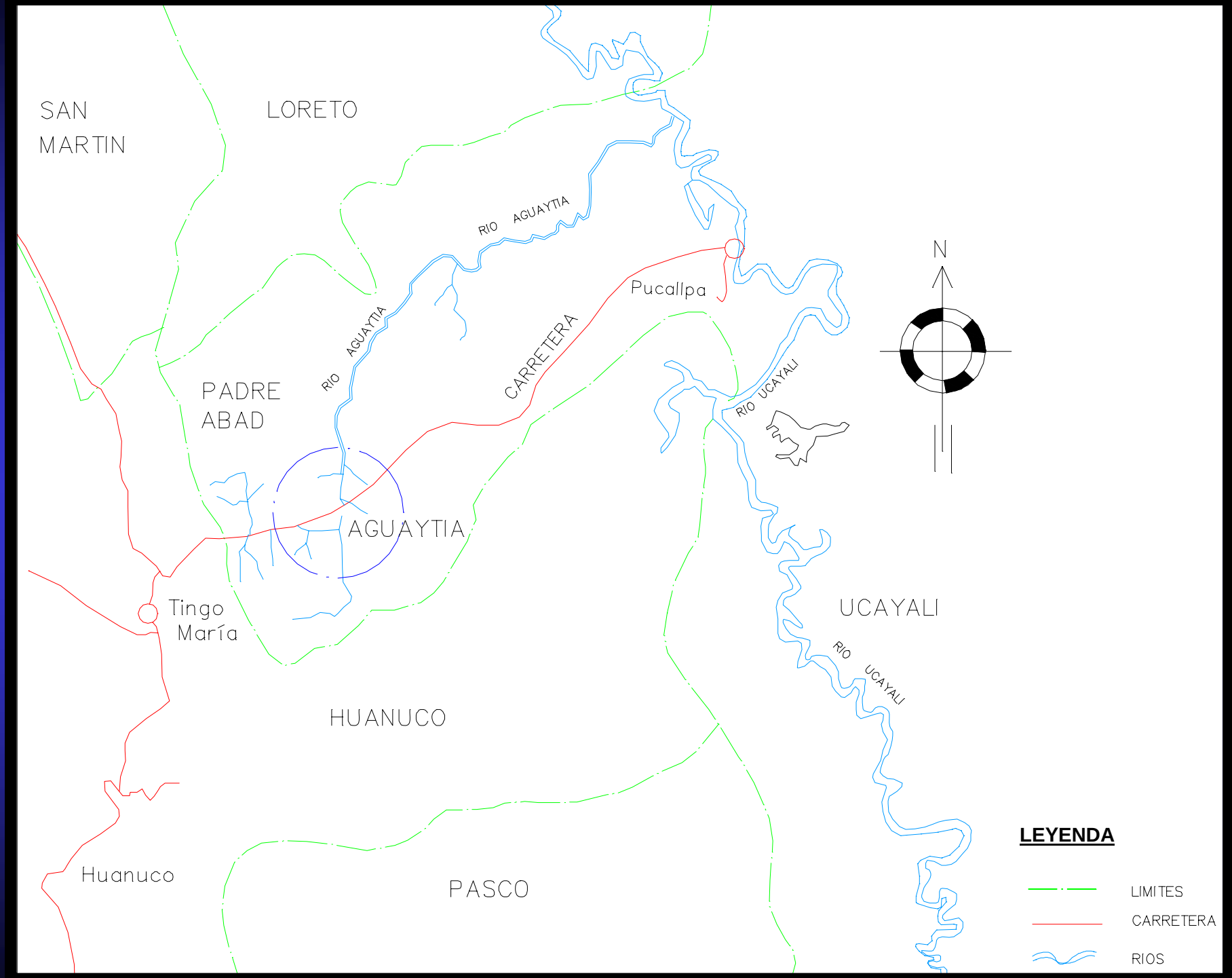
Margen derecha : Grupo de 8 pilotes de 11 m de longitud y 1 m de ϕ

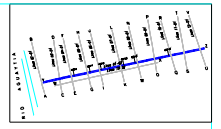
Cámara de anclaje : Grupo de 48 pilotes de 15 m de longitud y 1.2 m de ϕ

Base de la torre : Grupo de 21 pilotes de 10 m de longitud y 1.2 de ϕ.

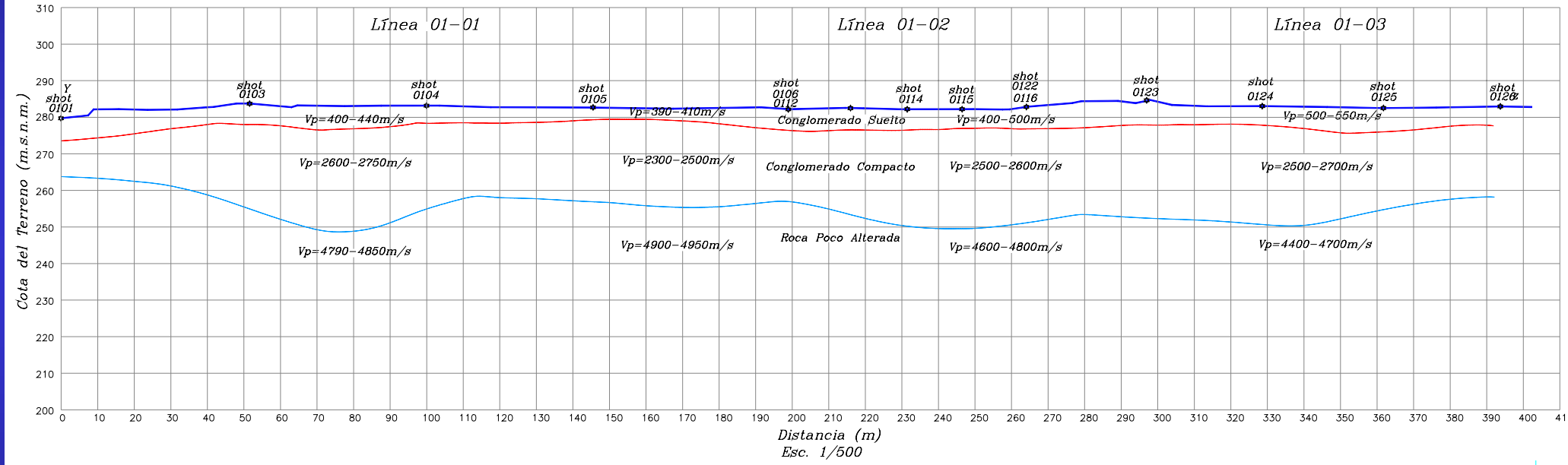
Estribo derecho : Grupo de 4 pilotes de 10 m de longitud y 1.0 m ϕ .

Cargas por pilote : 100 a 240 toneladas


SAN
MARTIN
LORETO
RIO AGUAYTIA
RIO AGUAYTIA
Pucallpa
CARRETERA
PADRE
ABAD
RIO UCAYALI
N
AGUAYTIA
Tingo
María
UCAYALI
RIO UCAYALI
HUANUCO
Huanuco
PASCO
LEYENDA
LIMITES
CARRETERA
RIOS



Esquema de Ubicación



LEYENDA

- SUPERFICIE DEL TERRENO
- LIMITE INFERIOR ESTRATO 1
- LIMITE INFERIOR ESTRATO 2
- SHOT
- INTERSECCION DE LINEAS SISMICAS

HIDROENERGIA
CONSULTORES EN INGENIERIA S.C.R.L.
CALLE ATAHUALPA 352 - MIRAFLORES - LIMA 18 - TELFS. 4465032 - 4465161 TELEFAX: 2412048

PLANO: PERFIL ESTRATIGRAFICO Línea 01

DIBUJO: A.G.S.

FECHA: AGOSTO 1998

ESCALA: 1/500

UBICACION: PUENTE AGUAYTIA

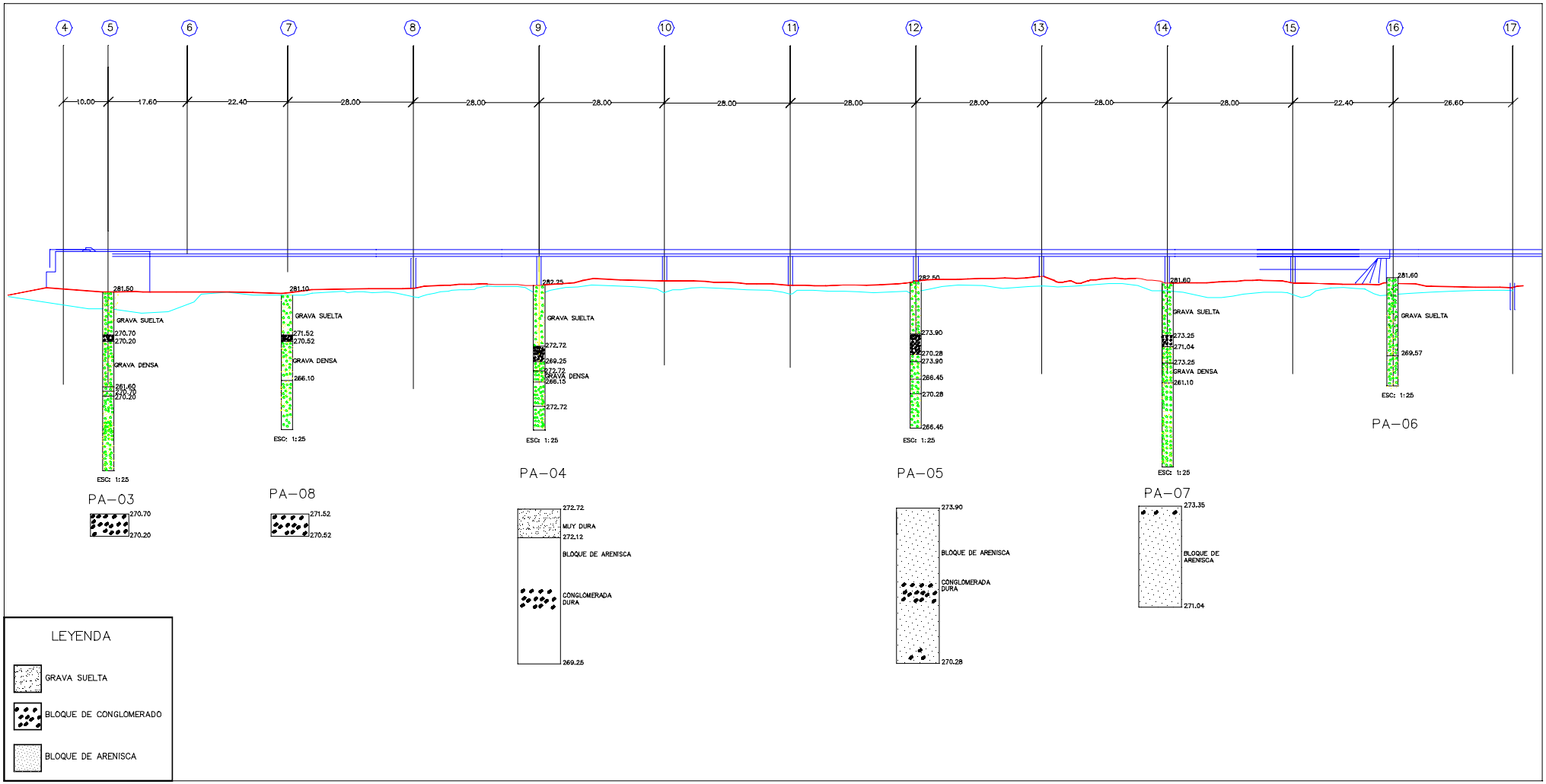
PLANO Nº: LAM. 01

HECHO POR: H.S.A.

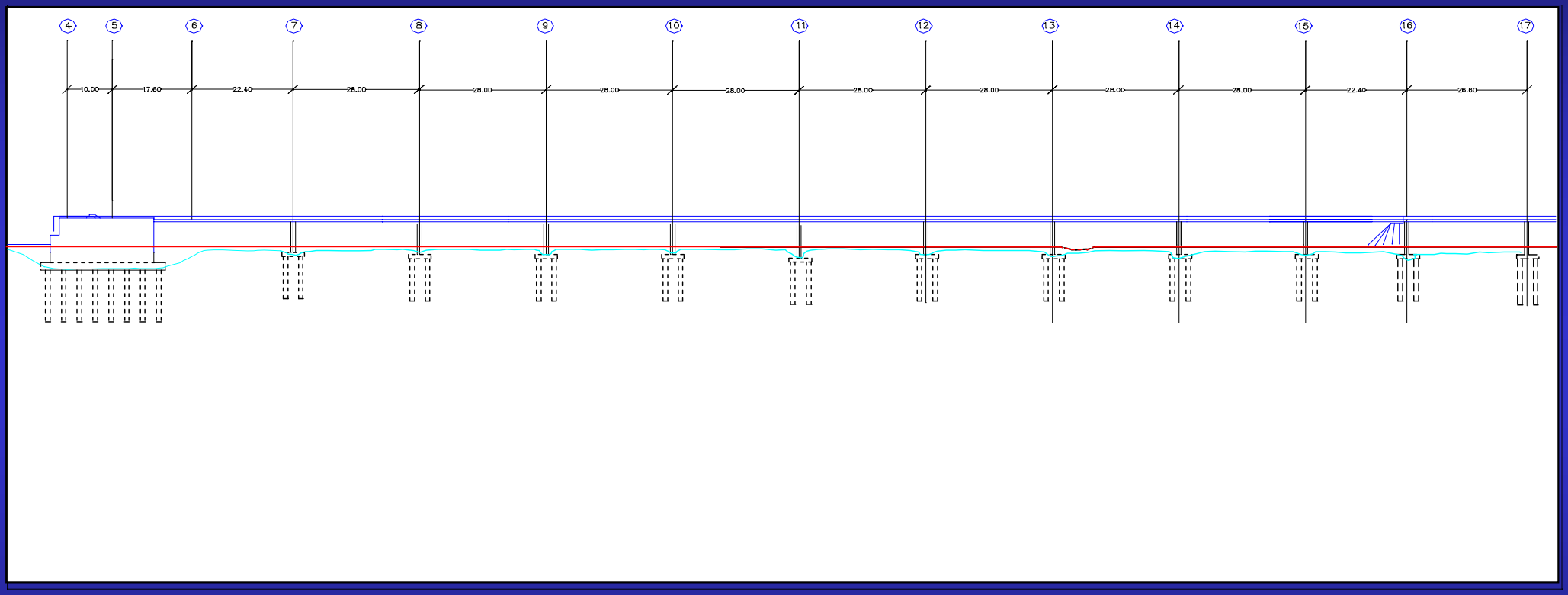
REVISADO: Dr. J.A.H.

APROBADO: Dr. J.A.H.

PUENTE AGUAYTÍA MARGEN DERECHA



PUENTE AGUAYTÍA MARGEN DERECHA



VISTA GENERAL DEL ANTIGUO PUENTE AGUAYTÍA. EN LA MARGEN DERECHA SE HA CONSTRUIDO LA CIMENTACIÓN POR POZOS PERFORADOS DEL PUENTE NUEVO.

VISTA DEL ESTRIBO DERECHO DESDE LA MARGEN IZQUIERDA. NUEVO PUENTE AGUAYTÍA

PUENTE DE CONCRETO EN LA MARGEN DERECHA DEL RÍO AGUAYTÍA. CIMENTACIÓN POR POZOS PERFORADOS.

EJECUCIÓN DE POZOS PERFORADOS EN LA MARGEN IZQUIERDA DEL NUEVO PUENTE AGUAYTÍA.

PROCESO CONSTRUCTIVO DE PILOTES PERFORADOS EN LA MARGEN IZQUIERDA DEL RÍO AGUAYTÍA.

ACERO DE REFUERZO QUE SE INTRODUCE EN LOS POZOS PERFORADOS EN EL NUEVO PUENTE AGUAYTÍA.

PROCESO DE EJECUCIÓN DE POZOS PERFORADOS CON LODO BENTONÍTICO.

NUEVO PUENTE AGUAYTIA. MARGEN DERECHA, TORRE Y ANCLAJE

NUEVO PUENTE AGUAYTÍA. DESDE MARGEN DERECHA AL COSTADO SE APRECIA EL ANTIGUO PUENTE

CAJONES DE CIMENTACIÓN (CAISSONS)

Tipos de Cajones de Cimentación

- Cajón Abierto
- Cajón Cerrado
- Cajón Neumático

CAJÓN ABIERTO

* DUCTOS DE CONCRETO QUE PERMANECEN ABIERTOS EN LAS PARTES SUPERIOR E INFERIOR DURANTE LA CONSTRUCCIÓN.

* EN LA PARTE INFERIOR EXISTE UN BORDE CORTANTE.

* EL CAJÓN SE HUNDE HASTA EL ESTRATO PORTANTE. EL SUELO DEL INTERIOR SE EXTRAE MEDIANTE BALDES.

* LOS CAJONES PUEDEN SER CIRCULARES, CUADRADOS, RECTANGULARES U OVALADOS.

* UNA VEZ ALCANZADO EL ESTRATO PORTANTE, SE VACIA CONCRETO BAJO AGUA PARA FORMAR UN SELLO EN EL FONDO.

CAJÓN ABIERTO

* CON EL SELLO ENDURECIDO SE BOMBEA EL AGUA EN EL INTERIOR. LUEGO SE LLENA EL INTERIOR CON CONCRETO.

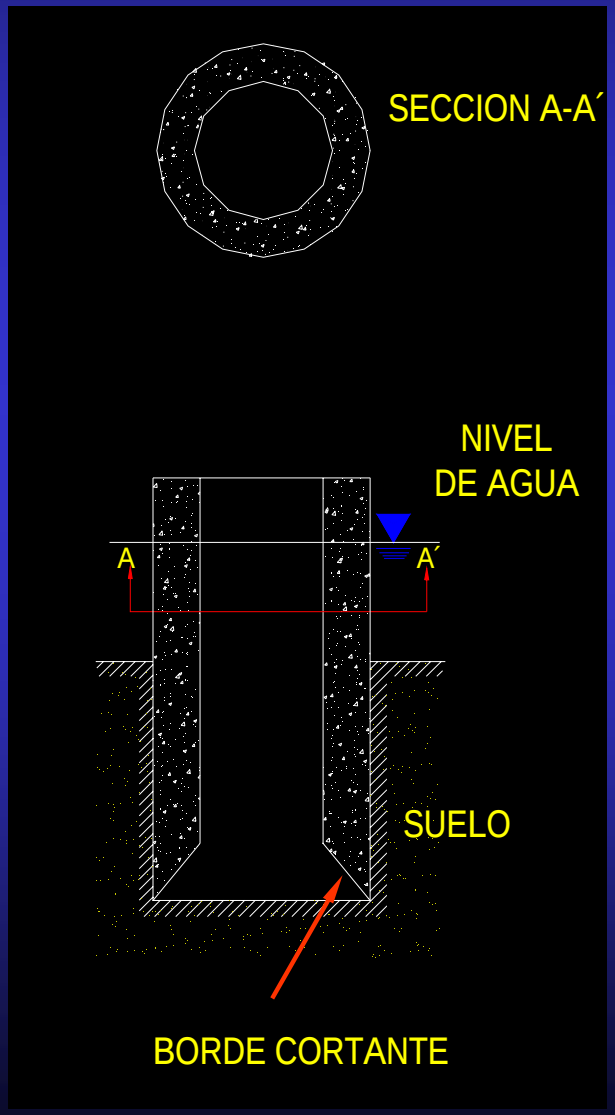
* SE PUEDE LOGRAR GRANDES PROFUNDIDADES A BAJO COSTO.

* UNA DESVENTAJA ES LA FALTA DE CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO DEL SELLADO.

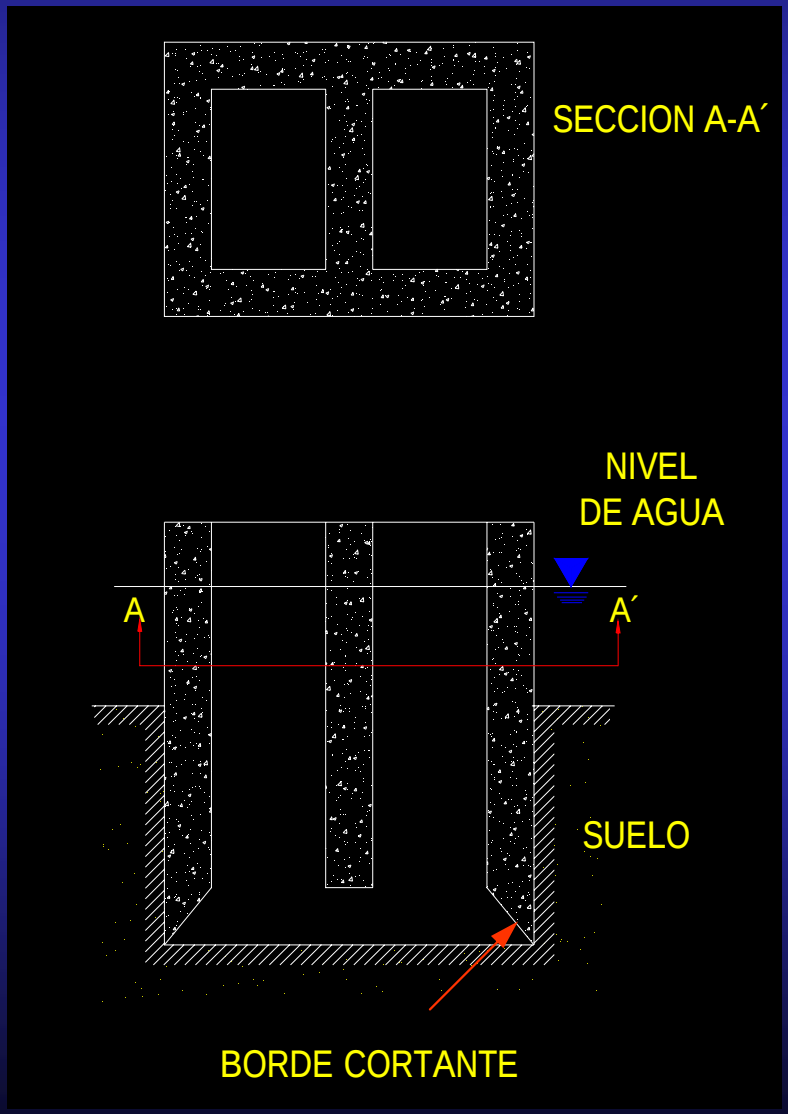
* UN MÉTODO ALTERNATIVO ES USAR TABLESTACAS PARA FORMAR UNA ISLA DE ARENA.

CAJÓN ABIERTO

CAJÓN CIRCULAR



CAJÓN RECTANGULAR



CAJÓN CERRADO

* ESTE CAJÓN TIENE EL FONDO CERRADO.

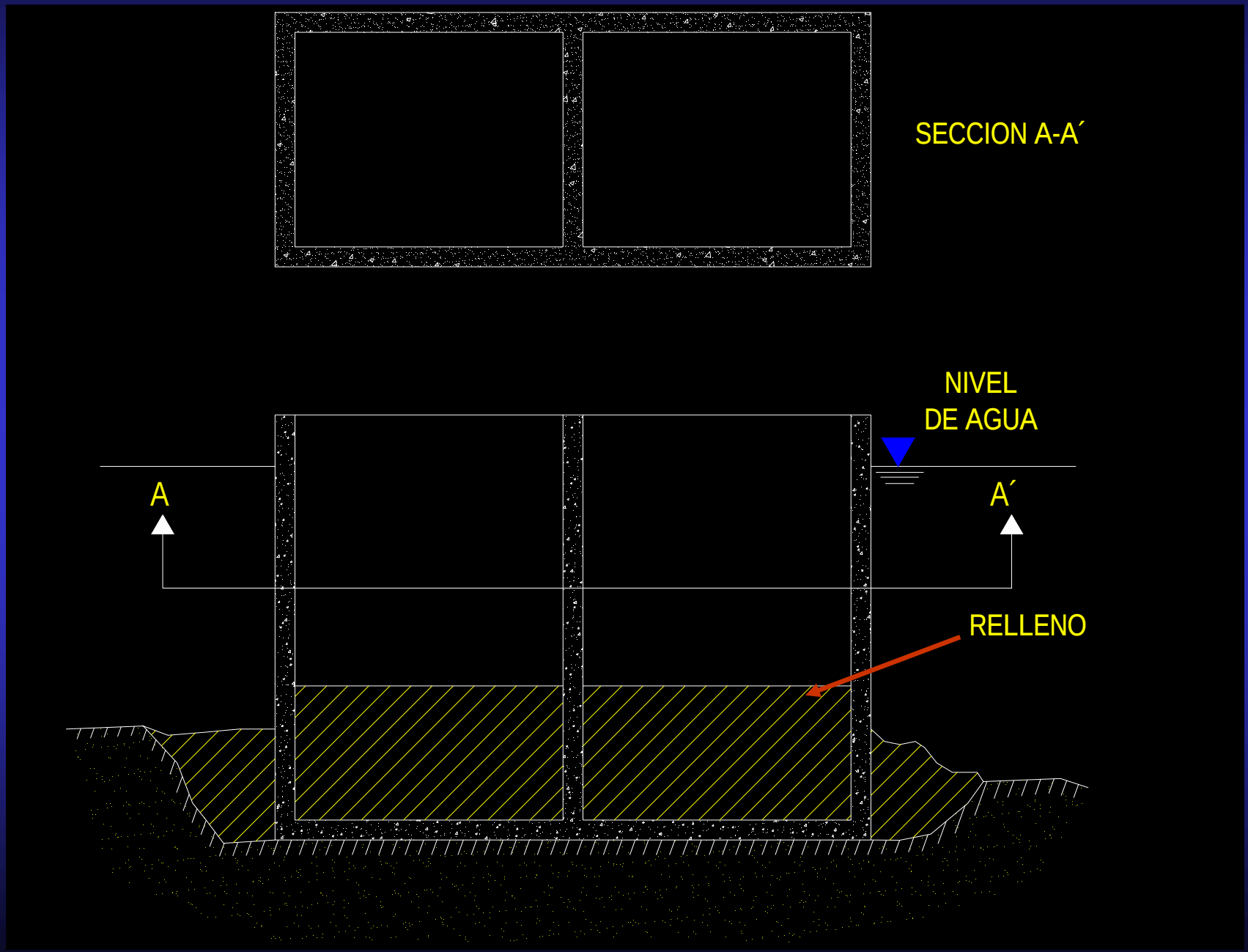
* SE CONSTRUYEN EN TIERRA Y LUEGO SE TRANSPORTAN AL SITIO.

* SE HUNDEN GRADUALMENTE LLENANDO EL INTERIOR CON ARENA, BALASTO O CONCRETO.

* SU COSTO ES BAJO.

* EL ESTRATO PORTANTE DEBE SER HORIZONTAL O NIVELADO POR EXCAVACIÓN.

CAJÓN CERRADO



CAJÓN NEUMÁTICO

* SE UTILIZAN PARA PROFUNDIDADES DE 15-40 M. CUANDO LA EXCAVACIÓN NO PUEDE MANTENERSE POR EL FLUJO DE SUELO.

* LA CAMARA DE TRABAJO TIENE ALTURA DE 3 m. Y ESTA BAJO PRESION DE AIRE PARA PREVENIR LA ENTRADA DE SUELO Y AGUA.

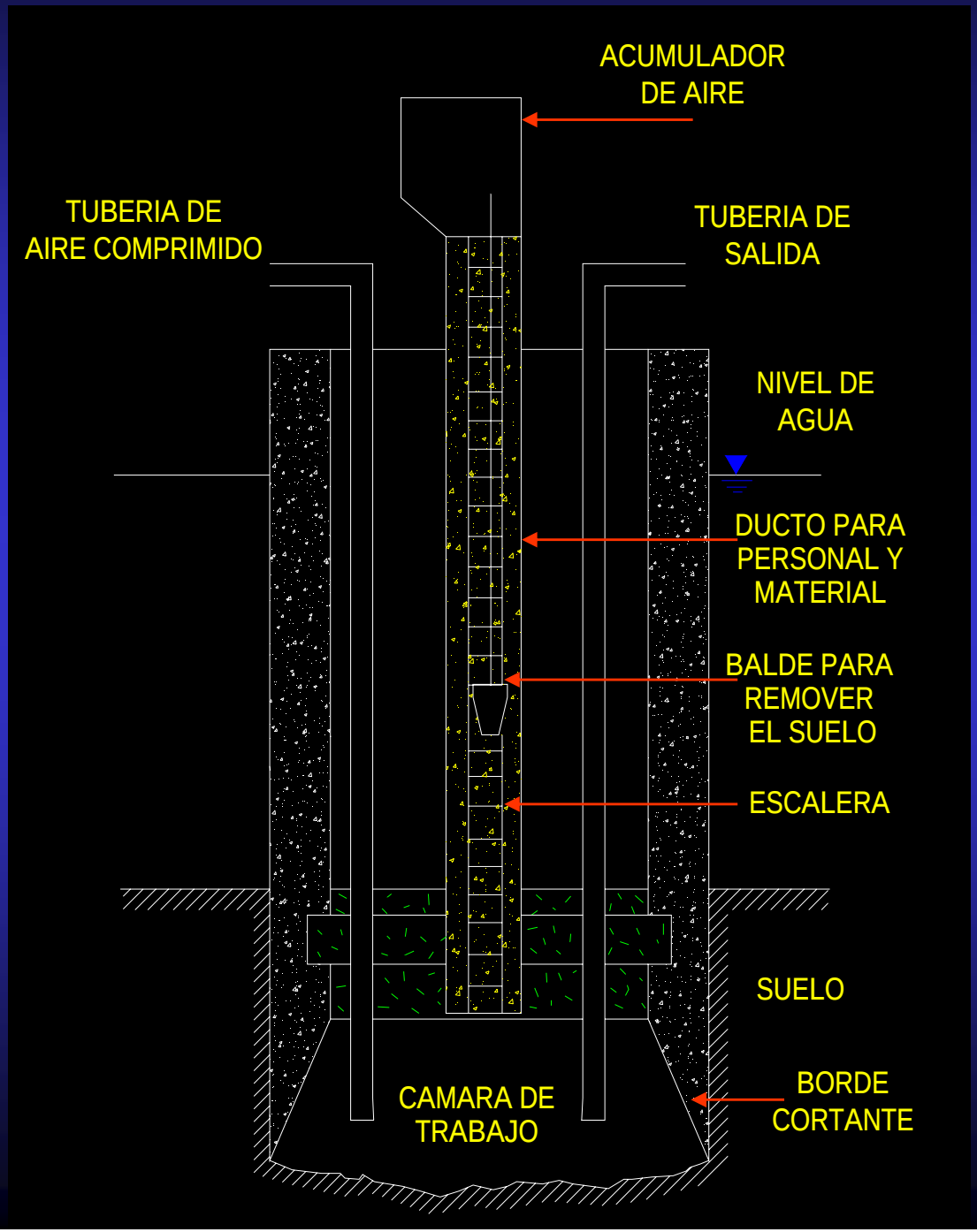
* HASTA 15 PSI (100 KN/m^2) NO SE REQUIERE DESCOMPRESION DE TRABAJADORES.

* HASTA 44 PSI (300 KN/m^2) LOS TRABAJADORES NO PUEDEN ESTAR MÁS DE 2 HORAS, REQUIRIENDOSE ETAPAS DE DESCOMPRESIÓN.

* POR EL DUCTO BAJAN LOS TRABAJADORES Y SUBE EL MATERIAL DE EXCAVACIÓN.

* PUEDEN REQUERIRSE VARIOS DUCTOS CON SUS ACUMULADO-RES DE AIRE.

CAJÓN NEUMÁTICO



CAJONES DE CIMENTACIÓN

Capacidad de Carga

Se aplica los mismos conceptos que para pozos perforados.

CAJONES DE CIMENTACIÓN

Espesor del Sello de Concreto en Cajones Abiertos

$$t = 1.18\, Ri \sqrt{\frac{q}{fc}}$$ (cajón circular)

$$t = 0.866\, Bi \sqrt{\frac{q}{fc\left[1+1.61\left(\frac{Li}{Bi}\right)\right]}}$$ (cajón rectangular)

Donde:

Ri = radio interior del cajón circular

q = presión unitaria en la base del cajón

fc = esfuerzo permisible del concreto a la flexión (0.1 - 0.2 f´c)

Bi = ancho interior del cajón rectangular

Li = largo interior del cajón rectangular

CAJONES DE CIMENTACIÓN

Espesor del Sello de Concreto en Cajones Abiertos

El valor de q puede aproximarse a:

$$q \approx H\gamma_w - t\gamma_c$$

Donde:

γ_w = densidad del agua

γ_c = densidad del concreto

H = altura del nivel freático

t = espesor del sello

CAJONES DE CIMENTACIÓN

Espesor del Sello de Concreto en Cajones Abiertos

1. Verificación por corte perimetral en el contacto

$$v = \frac{A_i H \gamma_w - A_i t \gamma_c}{p_i \; t}$$

Donde:

p_i = perímetro interior del cajón

2π Ri (cajón circular)

$2 (L_i + B_i)$ (cajón rectangular)

A_i = área interior del cajón

$\pi \; Ri^2$ (cajón circular)

$L_i \; B_i$ (cajón rectangular)

CAJONES DE CIMENTACIÓN

Espesor del Sello de Concreto en Cajones Abiertos

El corte perimetral en el contacto debe ser menor que el corte permisible.

$$v_u\ (MN/m^2) = 0.17\phi\sqrt{f'c\,(MN/m^2)}$$

Donde:

ϕ = 0.85

CAJONES DE CIMENTACIÓN

Espesor del Sello de Concreto en Cajones Abiertos

2. Verificación por subpresión

Si el cajón se desagua completamente, la fuerza de subpresión hacia arriba Fu es:

$Fu = (\pi R^2_o)\ H\ \gamma_w$ (cajón circular)

$Fu = (B_o\ L_o)\ H\ \gamma_w$ (cajón rectangular)

CAJONES DE CIMENTACIÓN

Espesor del Sello de Concreto en Cajones Abiertos

La fuerza hacia abajo Fd es causada por el peso del cajón, el sello y la fricción lateral en la interface cajón suelo

$$Fd = W_c + W_s + Q_s$$

Donde:

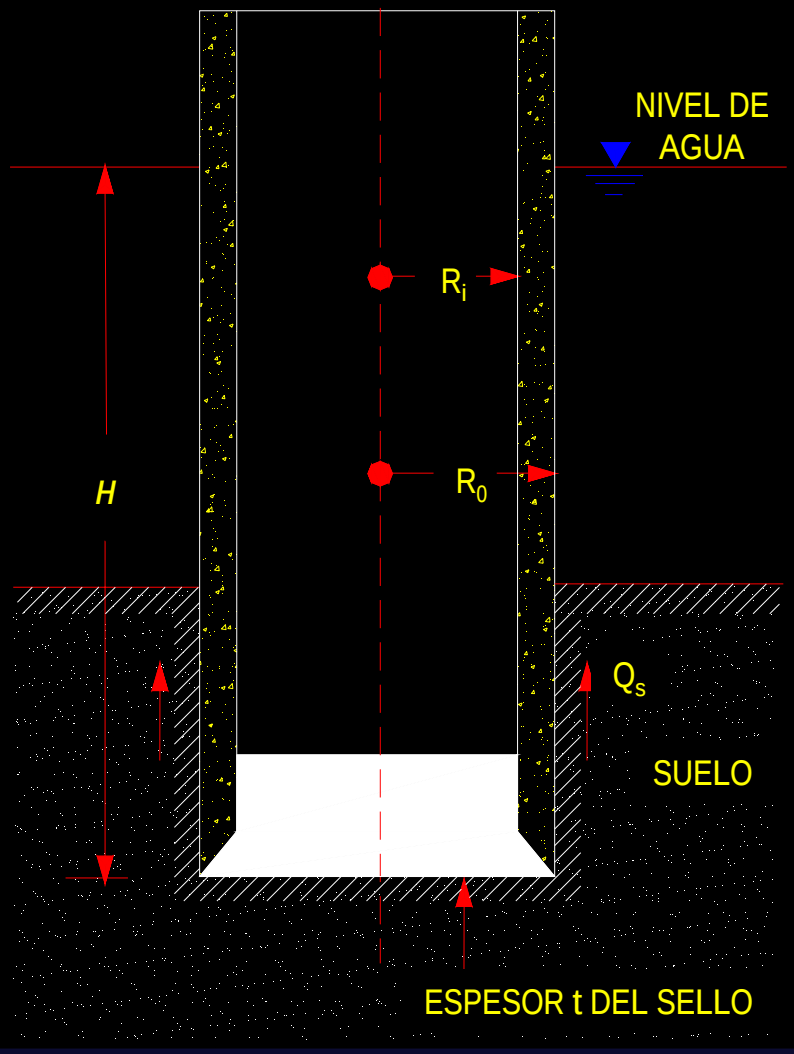
W_c = peso del cajón
W_s = peso del sello
Q_s = fricción lateral

Fd debe ser mayor que Fu, en caso contrario, aumentar el espesor del sello

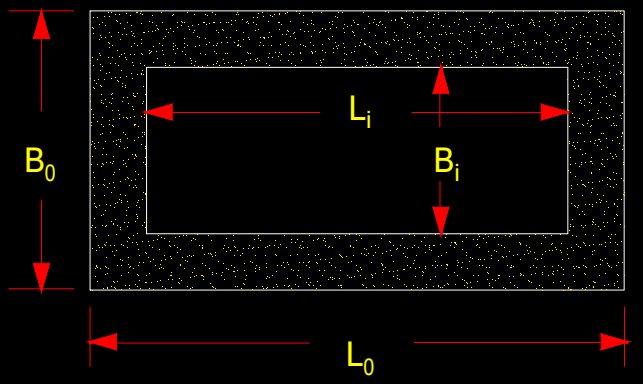
$$\Delta t = \frac{Fu - Fd}{A_i \ \gamma_c}$$

ESPESOR DEL SELLO DE CONCRETO EN CAJONES ABIERTOS

(a) Cajón circular



(b) Planta de cajón rectangular



CIMENTACIÓN DEL NUEVO PUENTE YURACYACU

Exploración Geotécnica

1) CISMID-UNI (1996) Informe al PEAM-INADE

Líneas de refracción sísmica y down hole

Ensayos de penetración estándar

Alternativas de cimentación por pozos perforados y cajones de cimentación

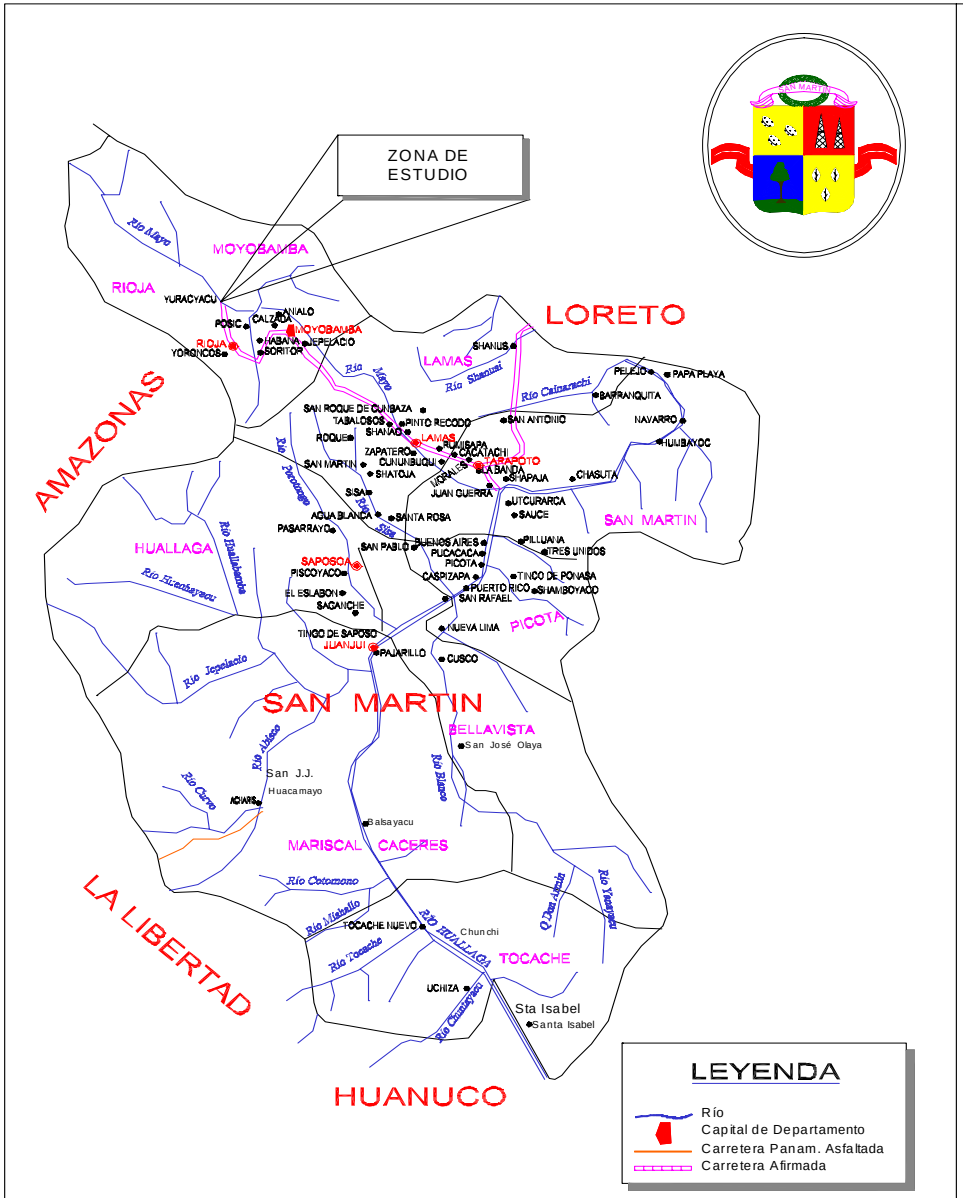
Recomienda cimentar a cota 785

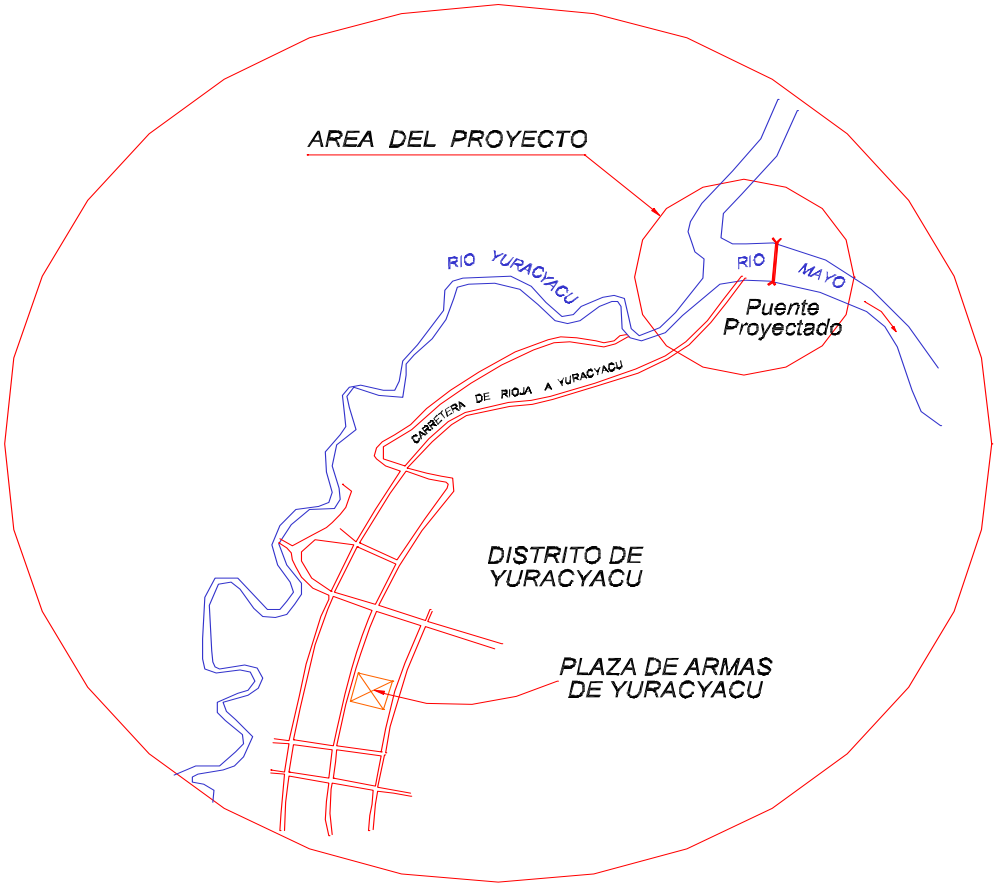
Diseño de la Cimentación (Ing. Eduardo Gallo Deza)

Cajones de cimentación circulares de 5 y 7 m para estribos y pilares

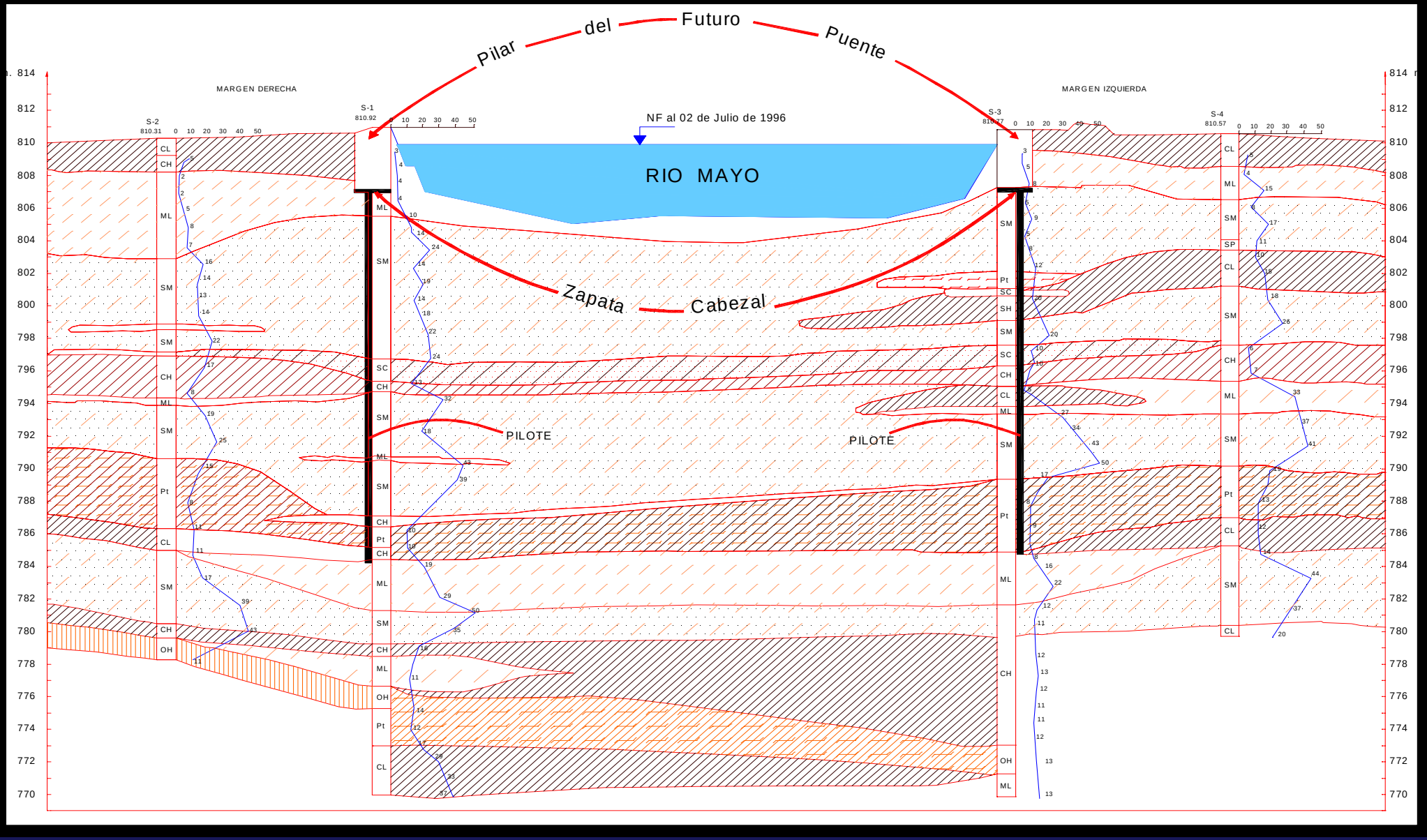
Cota a alcanzar 785

Cajones abiertos hincados y eventualmente neumáticos.





UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO DEL PUENTE YURACYACU



ESQUEMA DE DISPOSICIÓN DE LOS PILARES DEL FUTURO PUENTE Y PROFUNDIDAD A PARTIR DE LA CUAL SE CONTABILIZA LA LONGITUD DEL PILOTE

PILAR Y ESTRIBO DEL PUENTE YURACYACU EN LA MARGEN DERECHA. CIMENTACIÓN POR CAJONES DE CIMENTACIÓN QUE SE ENCUENTRAN CERCA DE SU COTA FINAL.

PROFUNDIDAD ALCANZADA POR EL CAJÓN DE 5 m. DE DIÁMETRO EN EL ESTRIBO DERECHO.
NÓTESE LA INCLINACIÓN DEL CAJÓN Y LA PERTURBACIÓN DEL SUELO CIRCUNDANTE.

DISTINTAS PROFUNDIDADES ALCANZADAS POR LA CIMENTACIÓN DE LOS PILARES DE 7 m. DE DIÁMETRO EN LAS MÁRGENES DEL RÍO MAYO. PUENTE YURACYACU.

CAJONES DE CIMENTACIÓN DE PILAR Y ESTRIBO EN LA MARGEN IZQUIERDA DEL RÍO MAYO.
PUENTE YURACYACU.

DETALLE DE LA CAMPANA NEUMÁTICA EN EL ESTRIBO DE LA MARGEN IZQUIERDA DEL PUENTE YURACYACU. NÓTESE LA PLATAFORMA DE LASTRADO.

EQUIPO “AIR LIFT” UTILIZADO EN LA EXCAVACIÓN DEL MATERIAL AL INTERIOR DEL CAJÓN DE CIMENTACIÓN.

DETALLE DE EXTREMO DE TUBERÍA UTILIZADA CON EL “AIR LIFT” EN PUENTE YURACYACU.