

CIMENTACIÓN PROFUNDA DE PUENTES EN LA REGIÓN SAN MARTÍN – CASO: PUENTE MOTILONES

DEEP FOUNDATION OF BRIDGE IN SAN MARTIN REGION – CASE: MOTILONES BRIDGE

Jorge E. Alva Hurtado¹, Miriam Escalaya Advíncula²

¹Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú

²Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú

Recibido (Received): xx / 10 / 2023 Aceptado (Accepted): xx / 10 / 2023

RESUMEN

Este artículo presenta el Estudio de Caso correspondiente al Diseño de la Cimentación del Puente Motilones, de 163 m de longitud, ubicado en la ribera del río Mayo en el sector Motilones, en Moyobamba, departamento de San Martín. Se proporciona una descripción de los trabajos realizados y la metodología empleada en el diseño de la cimentación profunda, concordante con las condiciones estructurales del puente y condiciones geotécnicas de la zona. Para la evaluación de la capacidad de carga de los pilotes se utilizaron los programas de cómputo Shaft1 y Allpile vs 6.0. Estos programas siguieron la metodología de cálculo en concordancia con las Especificaciones AASHTO para el Diseño de Puentes por el Método LRFD (Load and Resistance Factor Design 2004), vigente en la época que se realizó el estudio. Se evaluó primero la carga nominal o última y luego la capacidad factorada o admisible. Adicionalmente, se ha realizado el análisis de la cimentación considerando el uso de los pilotes excavados de concreto armado de 1.20 m de diámetro y 25 m de profundidad (recomendados en el diseño) empleando el programa de cómputo SHAFT 2017. La evaluación se realizó con la metodología ASD (Allowable Stress Design) para un factor de seguridad de 2.5 y el método LRFD (2017). El promedio de los resultados obtenidos corrobora la capacidad de carga para la que fueron diseñados los pilotes individuales a ser usados en la cimentación del Puente Motilones.

Palabras Clave: cimentación profunda, puente, pilote perforado, LRFD

ABSTRACT

This article presents the Case Study corresponding to the foundation design of Motilones Bridge, of 163 m long, located on the banks of the Mayo River in the Motilones sector, in Moyobamba, department of San Martín. A description of the work carried out and the methodology used in the design of the deep foundation is provided, consistent with the structural conditions of the bridge and geotechnical conditions of the area. To evaluate the load capacity of the piles, the computer programs Shaft1 and Allpile vs 6.0 were used. These programs followed the calculation methodology in accordance with the AASHTO LRFD (Load and Resistance Factor Design 2004) Bridge Design Specifications, current at the time the study was carried out. The bearing nominal resistance or ultimate load was evaluated first and then the factored or admissible capacity. Additionally, the analysis of the foundation has been carried out considering the use of the drilled shaft of 1.20 m in diameter and 25 m in depth (recommended in the design) using the SHAFT 2017 computer program. The evaluation was carried out with the ASD (Allowable Stress Design) methodology for a safety factor of 2.5 and the LRFD method (2017). The average of the results obtained corroborates the bearing resistance for which the individual piles to be used in the foundation of the Motilones Bridge were designed.

Keywords: deep foundation, bridge, drilled shaft, LRFD

1. INTRODUCCIÓN

Debido a las condiciones particulares del suelo de cimentación de la Selva Peruana y a las cargas transmitidas por los puentes construidos en la zona, se han utilizado diversos tipos de cimentaciones profundas, para garantizar la adecuada estabilidad de las estructuras.

A manera de ejemplo, se muestra a continuación el tipo de cimentación profunda utilizada en el puente Motilones, construido en la región San Martín.

El puente Motilones tiene una longitud total de 163.0 m (29+105+29) entre ejes de apoyos de estribos. La superestructura está conformada por dos tramos laterales de sección mixta de 28.30 m y un arco reticulado con diagonales tubulares con arreglo tipo Warren; ambos de doble vía, los que se han diseñado para la sobrecarga vehicular HL93.

2. REPORTE DE CASO

2.1. Ubicación

El puente Motilonos se ubica en la ribera del río Mayo en el sector Motilonos, en Moyobamba, en el departamento de San Martín (Figura 1).

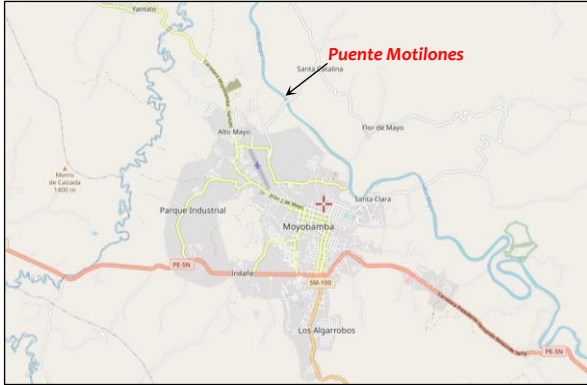


Figura 1. Ubicación del puente Motilonos

2.2. Investigación de Campo

Fue realizada por el Laboratorio Geotécnico del CISMID-UNI en el mes de julio del 2008 [1]. Se ejecutaron dos perforaciones de 25.45 m de profundidad, con ensayos de penetración estándar (SPT) a cada metro de profundidad. Así mismo, se realizaron ensayos de prospección geofísica: cuatro sondajes MASW (Multichannel Analysis Surface Waves) y cuatro ensayos de Refracción Sísmica [2]. En la Figura 2 se muestra la ubicación en planta de los trabajos realizados.

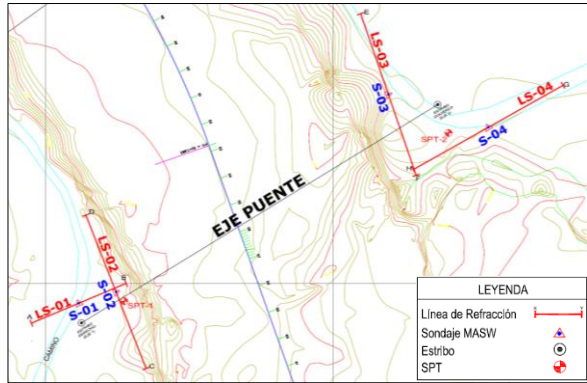


Figura 2. Ubicación de sondajes ejecutados en la zona del puente

Los trabajos de exploración geofísica permitieron determinar los perfiles sísmicos de la zona de los estribos y a lo largo del eje proyectado del puente, definiendo la potencia de los diferentes estratos, velocidad de propagación de las ondas P (V_p) y ondas S (V_s), y la estratigrafía por debajo del material de cobertura, como está mostrado en las Tablas 1 y 2.

TABLA 1. Perfil sísmico obtenido con las líneas de refracción sísmica [2]

Línea	Estrato	V_p (m/s)	Espesor (m)	Descripción
LS-01	1	170	1.6 - 4.6	Arcilla de consistencia muy blanda a blanda
	2	1200	--	Arcilla limosa de consistencia medio firme a dura
LS-02	1	150	2.2 - 2.6	Arcilla de consistencia muy blanda a blanda
	2	1200	10.2 - 11.2	Arcilla limosa de consistencia medio firme a firme
	3	1660	--	Arcilla limosa de consistencia muy firme a dura
LS-03	1	180	2.1 - 3.1	Arena limosa de compacidad suelta
	2	1360	5.1 - 8.1	Arena arcillo limosa y/o gravas aisladas en arena limosa
	3	1990	--	Arcilla limo arenosa de consistencia medio firme a dura
LS-04	1	300	1.7 - 3.2	Arena limosa de compacidad suelta
	2	1110	7.4 - 9.4	Arena arcillo limosa y/o gravas aisladas en arena limosa
	3	1800	--	Arcilla limo arenosa de consistencia medio firme a dura

TABLA 2. Perfil sísmico obtenido con los sondajes MASW [2]

Sondaje	Estrato	V_s (m/s)	Profundidad (m)	Descripción
Sondaje 01	1	120-155	0.0 - 7.0	Arcilla de consistencia muy blanda a blanda
	2	160-240	7.0 - 13.0	Arcilla limosa con arena de consistencia medio firme a firme
	3	270-320	13.0 - 20.0	Arcilla limosa con arena de consistencia firme a dura
Sondaje 02	1	120-130	0.0-7.0	Arcilla de consistencia muy blanda a blanda
	2	150-220	7.0-13.0	Arcilla limosa con arena de consistencia medio firme a firme
	3	240-270	13.0-20.0	Arcilla limosa con arena de consistencia muy firme
Sondaje 03	1	130-160	0.0-2.2	Arena limosa de compacidad suelta
	2	170-185	2.2-6.5	Arena arcillosa medio suelta
	3	165-175	6.5-11.0	Arena arcillo limosa y/o gravas aisladas en arena limosa
Sondaje 04	1	135-180	0.0-9.0	Arcilla limo arenosa de consistencia medio firme
	2	210-230	9.0-13.0	Arcillo limo arenosa de consistencia muy firme
	3	260-270	13.0-20.0	Arcilla limo arenosa de consistencia muy firme

2.3. Ensayos de Laboratorio

De cada una de las perforaciones realizadas se extrajeron muestras alteradas representativas y cinco tubos shelby, para ser enviados al laboratorio y poder identificar el tipo de suelo, además de establecer sus características de resistencia y deformación. Se realizaron ensayos de caracterización de suelos, peso volumétrico, compresión triaxial, consolidación, expansión libre, además de ensayos químicos para evaluar la posible agresividad del suelo y/o agua a los elementos estructurales.

Los resultados de las exploraciones geotécnicas y los ensayos de laboratorio permitieron determinar el perfil de cada uno de los sondajes. En el Apéndice A se muestran los perfiles obtenidos.

2.4. Análisis de la Cimentación

Teniendo en cuenta las características del perfil de suelo y las cargas transmitidas por la estructura proyectada, se consideró el análisis de la cimentación profunda en base a pilotes excavados de concreto armado de 1.20 m de diámetro. En primer lugar, se evaluó la carga nominal o última y posteriormente la capacidad factorada o admisible.

Capacidad de Carga Nominal o Última

$$Q_{ult} = Q_p + Q_f \quad \dots (1)$$

$$Q_p = q'_p \times A_p \quad \dots (2)$$

$$Q_f = \sum_{L=0}^{L=L} f_s A_s \quad \dots (3)$$

Donde:

Q_{ult} = Capacidad de carga última o nominal del pilote excavado

Q_p = Capacidad de carga en la base

Q_f = Capacidad de carga por la fricción lateral del pilote excavado

q'_p = Capacidad de carga unitaria del suelo a la profundidad de la base del pilote excavado

A_p = Área de la base del pilote excavado

f_s = Fricción lateral unitaria en la superficie de contacto pilote - suelo.

A_s = Área lateral del pilote

Al trabajar con las áreas de contacto, A_p y A_s , se debe tener presente que el diámetro en construcción del pilote puede ser mayor que el diámetro de diseño; esta diferencia depende del método de construcción y las condiciones del suelo y posición del nivel freático.

La Tabla 3 indica la relación entre los diámetros utilizados en construcción y el diámetro de diseño en función del tipo de suelo y el método de construcción.

TABLA 3. Relaciones típicas de diámetros utilizados en la construcción y diámetros de diseño en pilotes excavados (adaptado de [3])

Tipo de suelo o roca	Método de construcción	Relación típica de diámetro de construcción/diámetro de diseño
Arcilla blanda	Funda	1.10
Arcilla rígida	Funda	1.10
Arcilla blanda	Hueco abierto	1.00 – 1.05
Arcilla rígida	Hueco abierto	1.00 – 1.05
Arena	Lechada	1.00 – 1.15
Arena	Funda con vibrador	1.00
Suelo rígido con boleas	Hueco abierto	1.00 – 1.15
Loes	Hueco abierto	1.00 – 1.05
Flujo barro	Lechada	Overpour tanto como 100%
Suelo residual	Hueco abierto	Overpour tanto como 50%
Roca competente	Portatestigo	1.00
Roca con cavernas	Portatestigo	Overpour tanto como 100%

Overpour es el volumen de concreto en exceso con respecto al volumen de diseño. Se expresa como porcentaje del volumen de Diseño.

a) Capacidad de Carga de Pilotes Excavados sobre Suelos No Cohesivos

a-1) Capacidad de Carga Unitaria en la Base: Reese y O'Neill [4] sugiere:

$$q'_p = 0.60 \sigma_r N_{60} \leq 4500 \text{ kPa} \quad \dots (4)$$

Donde

q'_p = Capacidad de carga unitaria en la base

σ_r = Esfuerzo de referencia = 100 kPa

N_{60} = Valor de SPT al 60%, comprendido entre la base del pilote y una profundidad igual a dos veces el diámetro por debajo de la base. No se aplica la corrección de sobrecarga.

a-2) Fricción Lateral Unitaria: Para su cálculo se recomienda usar el método β :

$$f_s = \beta \sigma'_v \quad \dots (5)$$

$$\beta = K \text{ tg } \phi_s \quad \dots (6)$$

Donde:

f_s = Resistencia a la fricción lateral unitaria

σ'_v = Esfuerzo efectivo vertical en el punto medio de la capa de suelo

K = Coeficiente de presión lateral de tierra

ϕ_s = Angulo de fricción entre el suelo-pilote excavado

Se pueden utilizar las Tablas 4 y 5 para obtener ϕ_s y K .

TABLA 4. Valores típicos de ϕ_s/ϕ para diseño de pilotes excavados [5]

Método de construcción	ϕ_s/ϕ
Hueco abierto o funda temporal	1.00
Método de lechada - Mínimo terrón de lechada	1.00
Método de lechada - Considerable terrón de lechada	0.8
Funda permanente	0.1

TABLA 5. Valores típicos de K/Ko para el diseño de pilotes excavados [5][6]

Método de construcción	K/Ko
Construcción en seco con mínima alteración de los lados de la pared y concreto fresco	1
Construcción con lechada - buena mano de obra	1
Construcción con lechada - pobre mano de obra	2/3
Funda bajo el agua	5/6

Otra alternativa es calcular β directamente usando la fórmula empírica dada por Reese y O' Neill [4].

$$\beta = 1.5 - 0.135 \sqrt{\frac{z}{B_r}} \quad 0.25 \leq \beta \leq 1.20 \quad \dots (7)$$

Donde:

B_r = Ancho de referencia = 300 mm

z = Profundidad desde la superficie del terreno al punto medio del estrato

b) Capacidad de Carga de Pilotes Excavados sobre Suelos Cohesivos

b-1) Capacidad de Carga Unitaria en la Base: Reese y O'Neill [4] recomiendan:

$$q'_p = N^*c S_u \leq 4000 \text{ kPa} \quad \dots (8)$$

$$N^*c = 6 \left[1 + 0.2 \left(\frac{z}{D} \right) \right] \leq 9 \quad \dots (9)$$

Donde:

N^*c = Factor de capacidad de carga

z = Profundidad del pilote excavado

D = Diámetro del pilote excavado

S_u = Resistencia cortante no drenada del suelo comprendido entre la base del pilote excavado y una distancia 2 veces el diámetro por debajo de la base

b-2) Fricción Lateral Unitaria: Se realiza por el método “ α ” y está dado por:

$$f_s = \alpha S_u \quad \dots (10)$$

Donde:

α = Factor de capacidad de carga

S_u = Resistencia cortante no drenada del suelo a lo largo del pilote excavado

Basado en análisis de ensayos de carga, Reese y

O'Neill [4] recomendaron usar $\alpha = 0.55$ para suelos con una resistencia cortante no drenada S_u de no más que 190 kPa. Los autores recomiendan ignorar la resistencia a la fricción lateral a lo largo del pilote excavado en una longitud de 1.5 m en la parte superior y un diámetro en la parte inferior.

Kulhawy y Jackson [7] dieron una relación entre el factor “ α ” y la resistencia cortante no drenada “ S_u ”. Esta relación se muestra en la Figura 3, y está basada en el resultado de 106 ensayos de carga.

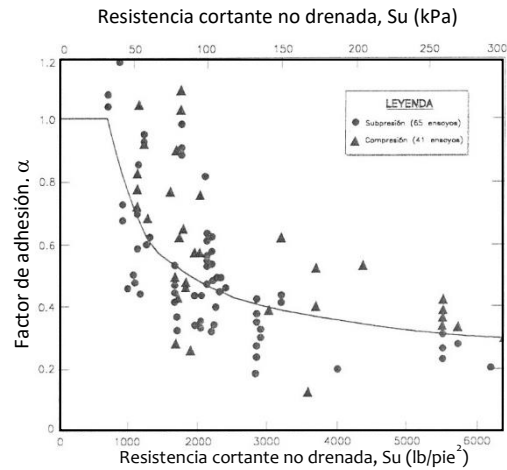


Figura 3. Función “ α ” para pilotes excavados (Adaptado de Kulhawy y Jackson [7])

Capacidad de Carga Factorada o Admisible

De acuerdo a las Especificaciones AASHTO para el Diseño de Puentes por el Método LRFD (Load and Resistance Factor Desig - 2004) [8], la capacidad de carga factorada de los pilotes excavados, Q_R , se puede tomar como:

$$Q_R = \Phi_p Q_p + \Phi_f Q_f \quad \dots (11)$$

Q_p = Capacidad de carga en la base

Q_f = Capacidad de carga por la fricción lateral del pilote excavado

Φ_p = factor de resistencia para la resistencia en la base: 0.55 para arcillas, 0.50 para arenas

Φ_f = factor de resistencia para la resistencia lateral: 0.65 para arcillas, 0.50 para arenas

Para la evaluación de la capacidad de carga de los pilotes perforados en el Puesto Motilones se utilizó los programas de cómputo Shaft1 y Allpile vs 6.0. Estos programas siguieron la metodología de cálculo en concordancia con las Especificaciones AASHTO para el Diseño de Puentes por el Método LRFD (2004) [8], vigente en la época que se realizó el estudio. Se evaluó primero la carga nominal o última y luego la capacidad factorada o admisible.

Resultados Obtenidos

Con las cargas nominales o últimas, obtenidas con cada uno de los programas de cómputo, se calculó la capacidad de carga factorada a distintas profundidades. El cálculo de la longitud de los pilotes se realizó teniendo en cuenta las cargas actuantes en el estado límite de Resistencia de 452.5 ton. En las Tablas 6 y 7 se resumen los resultados obtenidos.

TABLA 6. Longitud de pilote y carga factorada obtenida mediante el uso de resultados del programa Shaft1

Sondaje analizado	Longitud pilote (m)	Capacidad de carga factorada (ton)
S-1	17	453
S-2	21	465

TABLA 7. Longitud de pilote y carga factorada obtenida mediante el uso de resultados del programa Allpile

Sondaje analizado	Longitud pilote (m)	Capacidad de carga factorada (ton)
S-1	25	461
S-2	27	460

Considerando las características del suelo de fundación y que los resultados de los análisis efectuados son variados, se concluyó que la cimentación se debería realizar mediante pilotes excavados de concreto armado de 1.20 m de diámetro y 25 m de profundidad, soportando una capacidad de carga de 452.5 ton por pilote individual.

Asentamiento de Pilotes

Para el cálculo de asentamientos de pilotes se utilizó la metodología presentada por Prakash y Sharma [9].

Para pilotes individuales se utilizaron las fórmulas planteadas por Vesic [10]. Del análisis realizado, para pilotes individuales de 1.2 m de diámetro y 25 m de longitud, se obtuvo un asentamiento $S_e=32.68$ mm. Para el grupo de pilotes, el cálculo del asentamiento (S_g) se realizará en función del asentamiento del pilote individual (S_e), de acuerdo a la ecuación (12), donde B es el ancho del grupo de pilotes y d es el espaciamiento centro a centro de los pilotes [11].

$$S_g = \sqrt{\frac{B}{d}} * S_e \quad \dots(12)$$

2.5 Evaluación de la cimentación con el programa SHAFT 2017

Con propósitos ilustrativos se ha realizado el análisis de la cimentación del Puente Motilones considerando el uso de los pilotes excavados de concreto armado de 1.20 m de diámetro y 25 m de

profundidad, empleando el programa de cómputo SHAFT 2017. La evaluación se realizó con la metodología ASD (Allowable Stress Design) para un factor de seguridad de 2.5 y el método LRFD (2017) [12], donde el factor de resistencia para la base es 0.40 para arcillas y 0.50 para arenas, y el factor de resistencia lateral es de 0.45 para arcillas y 0.55 para arenas.

En las Figuras 4 a 7 se muestran los resultados obtenidos en la evaluación realizada con el sondaje 1. En la Tabla 8 se resumen los resultados con ambas metodologías.

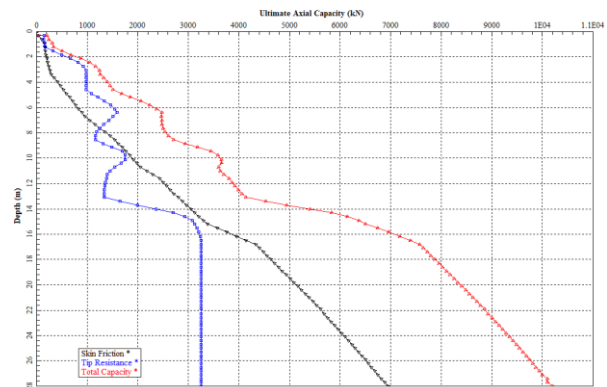


Figura 4. Resistencia total última vs. profundidad para pilotes de 1.2 m de diámetro (análisis con sondaje S-1)

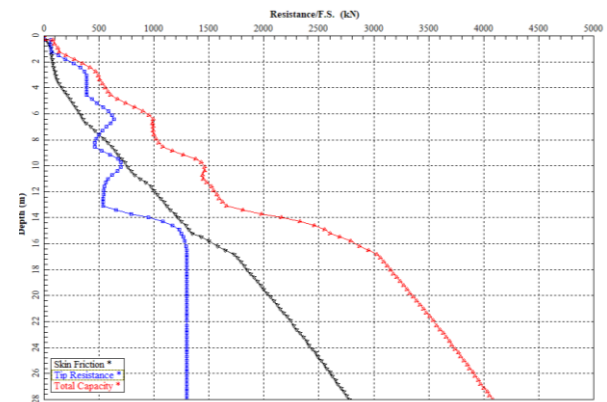


Figura 5. Carga admisible vs. profundidad para pilotes de 1.2 m de diámetro, obtenida mediante el método ASD (sondaje S-1)

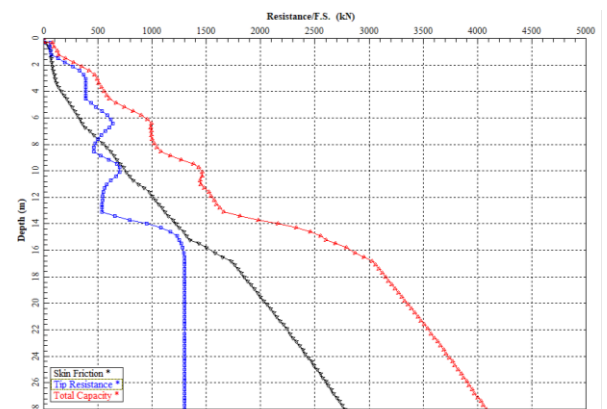


Figura 6. Resistencia factorada vs. profundidad para pilotes de 1.2 m de diámetro, obtenida mediante el método LRFD (sondaje S-1)

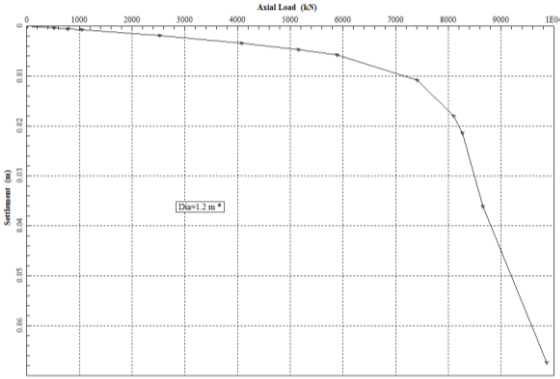


Figura 7. Carga axial vs asentamiento para pilotes de 1.2 m de diámetro (sondaje S-1)

TABLA 8. Resistencia para pilotes excavados de concreto armado de 1.20 m de diámetro y 25 m de profundidad


Sondaje	Resistencia última (kN)	Método ASD Carga total admisible (kN)	Método LRFD Resistencia factorada (kN)
S-1	9553	3821	4701
S-2	8819	3528	4380

El promedio de los resultados obtenidos (4540 kN=463 ton), mediante el método LRFD (2017) ratifica la carga para la que fueron diseñados los pilotes individuales a ser usados en la cimentación del Puente Motilones.

CONCLUSIONES

- En el presente artículo se ha descrito el Estudio de Caso correspondiente al Diseño de la Cimentación del puente Motilones, de 163 m de longitud, ubicado en la ribera del río Mayo en el sector Motilones, en Moyobamba, en el departamento de San Martín. Se realizó una descripción de los trabajos realizados y la metodología empleada en el diseño de la cimentación profunda, compuesta por pilotes excavados de concreto armado de 1.20 m de diámetro y 25 m de longitud.
- Para el diseño de los pilotes se requirió la ejecución de un adecuado estudio geotécnico de campo, que incluyó prospecciones geofísicas, principalmente mediante sondajes MASW, que permitieron la obtención de un perfil sísmico de acuerdo a la velocidad de propagación de las ondas S, e inferir estados de compacidad y/o consistencia del suelo.
- Mediante el uso del programa de cómputo SHAFT 2017, en concordancia de las normas LRFD 2017, se corroboraron los valores de la capacidad de carga de los pilotes individuales usados en la cimentación del Puente Motilones.

APENDICE A: REGISTRO DE SONDAJES



REGISTRO DE SONDAJE

Estudio : L000-404
Solicitado : MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE MOYOBAMBA
Proyecto : Estab. del Expediente Técnico del Proy. Construcción del Puente Vehicular Motilones
Ubicación : Moyobamba - Región San Martín
Fecha : Julio, 2008

Cota Relativa (m) : 803.00
Prof. Nivel Freat. (m) : 3.20
Prof. Total (m) : 25.45
Operador : V. J. P. L. C.
Revisado : Ing. Luis Chung

SONDAJE : S-1										
Profundidad (m)	Número de golpes (blows)	Muestra obtenida	Clasificación SPT	Método de Sondaje	Resultados de campo			Descripción	Ensayo de Resistencia Estándar	
					H. N. %	D. N. g/cm ³	N		Número de golpes / 30 cm	T
0.00										
0.3	1.00	M-1	ML		30.5		Limo inorgánico arenoso de color beige. Abundantes raíces. Suave. Plasticidad mediana. Húmeda. 85% finos. 12% arena.			
1.2	1.00	SPT-1	CL		25.1		Arcilla inorgánica poco arenosa de color beige a marrón. Plasticidad mediana. Raíces aisladas. Blanda. 89% finos. 11% arena. SPT-1 N=5.			
2.1	1.00	SPT-2	CL		33.0		Arcilla poco limosa. Ligeramente arenosa de color marrón. Plasticidad mediana a baja. Raíces aisladas. Húmeda. Muy Blanda. 91% finos. 9% arena. SPT-2 N=4.			
3.0	1.00	SPT-3	CL		29.8		Arcilla arenosa. Color marrón. Plasticidad baja. Blanda. 94% finos. 16% arena. SPT-3 N=4.			
4.2	0.55	SPT-4	CL-ML		27.6		Arcilla limosa arenosa de color marrón. Plasticidad baja. Medio Blanda. 75% finos. 25% arena. SPT-4 N=.			
4.8	0.60	SH-1A	CL		28.4		Arcilla de color marrón. Plasticidad baja. Medio blanda. 65% finos. 35% arena.			
5.1	0.20	SH-1B	SM		15.7		Arena limosa de color gris-15% grava-3/4"-60% arena-25% arena.			
5.4	0.65	SPT-5	SP-SM		18.1		Arena de grano medio con grava fina < 3/8" aislada. Poco finos de color gris. Poco limosa. Suave. 7% grava fina. 82% arena. 11% finos. SPT-5 N=6.			
5.7	0.40	SPT-6	SW-SM		15.4		Arena bien graduada limosa de color gris. Suave. Pocos finos. 1% grava < 3/8". 90% arena. 9% finos. SPT-6 N=7.			
6.8	0.90	SPT-7	CL		22.8		Arcilla de color marrón. Plasticidad mediana. Poco limosa. Medio suave. Húmeda. 87% finos. 13% arena. SPT-7 N=20.			
7.2	0.70	S/M	SM				Arena bien graduada limosa de color gris. Similar a SPT-6 N=20.			
8.1	0.30	SPT-8A	CL		24.6		Arcilla inorgánica de color marrón. Rígida. Plasticidad baja. Húmeda. 85% finos. 15% arena.			
8.3	0.30	SPT-8B	ML		40.5		Limo inorgánico de color gris verdoso. Plasticidad mediana. Rígido. 2% grava < 3/8". 2% arena. 96% de finos. SPT-8A-B N=12.			
8.9	0.60	SH-2A	ML		34.9		Limo inorgánico de color gris verdoso. Plasticidad mediana. 2% arena. 96% finos.			
9.0	0.10	SH-2B	SM		21.1		Arena arenosa de color gris-7% grava < 3/4". 55% arena-28% finos.			
9.7	0.50	SPT-9	SM		15.3		Arena limosa de grano medio. Poco limosa de color gris. Grava < 1" muy aislada. Medio densa. SPT-9 N=14.			
10.1	1.20	SPT-10	MH		34.7		Limo inorgánico de color gris verdoso. Plasticidad alta. Rígido. 7% arena. 93% finos. SPT-10 N=16.			
10.9	1.00	SPT-11	MH		46.7		Limo inorgánico de color gris verdoso. Plasticidad alta. Rígido. 0.2% arena fina y 95.7% finos. SPT-11 N=14.			
11.7	1.00	SPT-12	MH		44.4		Limo inorgánico de color gris verdoso oscuro. Plasticidad alta. Muy rígida. 100% finos. SPT-12 N=20.			
12.9	1.00	SPT-13	CL		25.3		Arcilla inorgánica de color gris claro. Poco limosa. Plasticidad baja. Muy rígida. 1% arena fina. 99% finos. SPT-13 N=22.			
14.4	0.40	SPT-14A	CL		27.2		Arcilla limosa de color gris verdoso. Plasticidad baja. 15% arena. 85% finos.			
14.8	0.60	SPT-14B	CL		26.3		Arcilla limosa de color marrón amarillento. Plasticidad baja. Muy rígida. 3% arena. 97% finos. SPT-14 N=30.			
15.1	1.00	SPT-15	MH		36.0		Limo inorgánico de color gris blanquecino, gris amarillento y marrón claro. Muy rígida. Plasticidad alta. Húmeda. 32% grava < 1 1/2". 2% arena. 66% finos. SPT-15 N=19.			
16.4	1.00	SPT-16	MH		42.2		Limo inorgánico de color gris verdoso y amarillento. Plasticidad alta. Húmeda. Rígida. 1% arena. 99% finos. SPT-16 N=20.			
17.3	1.00	SPT-17	CL		26.1		Arcilla inorgánica poco arenosa de color gris a plomiza. Plasticidad baja. Húmeda. Dura. 94% finos. 6% arena. SPT-17 N=31.			
18.0	0.20	SPT-18A	SM		24.9		Arena limosa de color gris verdoso claro. 67% arena. 23% finos.			
18.4	0.28	SPT-18B	CL		27.8		Arcilla limosa con grava de color beige verdoso. Plasticidad baja. Muy rígida. 18% grava < 3/4". SPT-18 N=23.			
18.6	0.55	S/M	SM				Arena limosa de color gris verdoso. Similar SPT-18A.			
18.95	0.30	SPT-19A	SM		23.3		Arena limosa de color gris verdoso claro. Medio suave. 70% arena. 30% finos.			
19.45	0.70	SPT-19B	MH		41.2		Limo inorgánico de color beige verdoso. Plasticidad alta. Muy rígida. Húmeda. 3% arena. 97% finos. SPT-19 N=21.			
19.95	1.00	SPT-20	MH		44.1		Limo inorgánico de color gris verdoso claro. Plasticidad alta. Grupos plomizos pequeños. Muy rígida. 100% finos. SPT-20 N=15.			
20.95	0.45	SPT-21	MH		44.9		Limo inorgánico de color gris verdoso. Plasticidad alta. Húmeda. 100% finos. SPT-21 N=26.			
21.45	0.55	M-2	CL		23.1		Arcilla de color gris. Plasticidad baja. Rígida. 100% finos.			
22.45	1.30	SPT-22	CL		28.7		Arcilla limosa de color gris. Plasticidad baja. Dura. Grupos marrones. Rayas horizontales marrones abundantes. 12% arena. 88% finos. SPT-22 N=21.			
23.45	0.70	SPT-23	SM		21.0		Arena limosa de color gris verdoso claro. Muy denso. Tinte de color marrón. Rayas horizontales marrón abundantes. 62% arena. 38% de finos. SPT-23 N=78.			
23.95	1.00	SPT-24	SM		22.5		Arena limosa de color gris verdoso claro. Rayas horizontales marrones abundantes. Muy denso. 52% arena. 48% finos. SPT-24 N=113.			
24.95	0.45	SPT-25	SM		20.2		Arena limosa de color gris verdoso con rayas horizontales marrones en menor cantidad que la anterior. Muy denso. 70% arena. 30% de finos. SPT-25 N=27.			
25.45										



REGISTRO DE SONDAJE

Estudio : L000-004
Solicitado : MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE MOYOBAMBA
Cota Relativa (m) : 1003.50
Prof. Nivel Final (m) : 6.20
Proyecto : Etab. del Expediente Técnico del Proy. Construcción del Puente Vehicular Motilones
Prof. Total (m) : 125.45
Ubicación : Moyobamba - Región San Martín
Operador : V.V.P.-L.Ch.
Fecha : Julio, 2008
Revisado : Ing.Luis Chang

SONDAJE : S-2

Profundidad (m)	Número del SPT	Muestra obtenida	Clasificación SPT	Simbología gráfica	Resultados de campo		Descripción	Ensayo de Penetración Estándar	
					H, N, D, N, g/cm ³	%		Nº de golpes / 30 cm	10 20 30 40 50
0.40	SPT-1	SM	MH		-	-	Limo arenoso de color marrón claro. No plástico. Raíces. Sueña.	14	17
0.40	SPT-2	SM	SM		-	-	Arena de color marrón. Abundantes raíces. Plasticidad mediana. Sueña.	14	17
0.20	M-1	SM			7.2	-	Arena limosa de color marrón ocre. Raíces abundantes, densidad media. 30% arena. 50% fines.	14	17
0.45	SPT-1	SM			8.4	-	Arena limosa de color marrón ocre. Plasticidad baja. Raíces abundantes. Medio suelta. 55% arena. 45% fines. SPT-1 N=14.	14	17
0.55	M-2	CL-ML			10.4	-	Arcilla limosa de color marrón a ocre. Medio suelta. Raíces abundantes. Plasticidad baja. 41% arena. 59% fines.	14	17
1.00	SPT-2	CL			17.5	-	Arcilla de color marrón. Plasticidad mediana. Rígida. 24% arena. 76% fines. SPT-2 N=17.	14	17
3.00	SPT-3	CL			22.8	-	Arcilla limosa de color marrón a marrón oscuro. Rígida. Grava aislada. Plasticidad mediana. 11% arena. 89% fines. SPT-3 N=11.	14	17
4.60	M-3	CL			20.1	-	Arcilla limosa de color ocre claro. Plasticidad baja. Blanda. 33% arena. 67% fines.	14	17
4.50	SPT-4	SM			19.6	-	Arena limosa de color ocre claro. No plástico. Sueña. 53% arena. 47% fines. SPT-4 N=8.	14	17
5.00	SPT-5	SM			20.5	-	Arena arcilla limosa de color ocre claro. Plasticidad baja. Sueña. 47% fines. 53% arena.	14	17
0.30	SPT-5A	SM			21.4	-	Arcilla limosa de color marrón con grumos plombeos. Plasticidad mediana. Sueña. 50% arena. 50% fines. SPT-5A N=11.	14	17
0.25	SPT-5B	CL			21.4	-	Arcilla limosa de color marrón. Plasticidad baja. Medio blanda. 33% arena. 67% fines.	14	17
0.75	SH-1	CL			21.2	-	Arcilla limosa de color marrón. Plasticidad baja. Medio blanda. 33% arena. 67% fines.	14	17
0.75	SPT-6	CL-ML			22.4	-	Arcilla limosa de color marrón a plomizo. Sueña. Plasticidad baja. 40% arena. 60% fines. SPT-6 N=8.	14	17
0.40	SPT-7A	SM			20.3	-	Arena limosa de color beige a marrón. No plástico. Muy suelta. 54% arena. 46% fines.	14	17
0.20	SPT-7B	CL			19.9	-	Arcilla limosa de color marrón. Blanda. Plasticidad baja. 70% arena. 30% fines. SPT-7B N=8.	14	17
0.55	M-4	ML			27.7	-	Limo inorgánico de color gris. No plástico. Humedad alta. 1 grava < 1/2". Medio suelta. 17% arena. 83% fines.	14	17
0.85	SPT-8	SM			9.2	-	Arena poco limosa gruesa de color gris verdosa. Densa. Humeda. No plástico. 42% grava < 1/2". 48% arena. 10% fines. SPT-8 N=77.	14	17
0.45	SPT-9	SM			9.3	-	Arena bien graduada gruesa de color gris verdosa. Medio suelta. Humeda. 43% grava < 1/2". 52% arena. 5% fines. SPT-9 N=16.	14	17
0.55	M-5	SM			15.8	-	Arena pobremente graduada con poco limo y grava. No plástico. 13% grava < 3/4". 70% arena. 11% fines.	14	17
1.00	SPT-10	SM			13.3	-	Grava pobremente graduada. poco limosa de color gris verdosa. Densidad media. 50% grava < 1/2". 36% arena. 8% fines. SPT-10 N=18.	14	17
1.00	SPT-11	CL-ML			24.6	-	Arcilla limosa de color gris verdosa. 1 grava aislada < 1/2". Plasticidad baja. 23% arena. 77% fines. SPT-11 N=23.	14	17
0.80	SPT-12	ML			42.0	-	Limo inorgánico de color gris verdoso. Plasticidad mediana. Rígida. 0.4% arena. 99.6% fines. SPT-12 N=13.	14	17
0.70	SH-2	CL			41.7	-	Arcilla de color gris verdoso. Plasticidad mediana. Medio rígida. 9% arena. 91% de fines.	14	17
0.50	SPT-13	MH			40.7	-	Limo inorgánico de color gris verdoso. Plasticidad alta. Rígida. 3% arena. 97% fines. SPT-13 N=15.	14	17
1.00	SPT-14	ML			11.7	-	Limo inorgánico de color gris verdoso. Plasticidad baja. Rígida. 34% arena. 66% fines. SPT-14 N=14.	14	17
0.65	SPT-15	MH			48	-	Limo inorgánico de color gris verdoso. Plasticidad alta. Rígida. 0.4% arena. 99.6% fines. SPT-15 N=15.	14	17
0.20	SH-3A	CH			37.1	-	Arcilla de color gris verdoso. Plasticidad alta. Rígida. 1% arena. 99% fines.	14	17
0.20	SH-3B	CH			16.8	-	Arcilla de color gris. Plasticidad baja. 33% arena. 33% fines.	14	17
1.00	SPT-16	CL			28.7	-	Arcilla de color gris verdoso. Plasticidad baja. Grava aislada < 1/2". Dura. 15% de arena. 85% fines. SPT-16 N=23.	14	17
1.00	SPT-17	SM			19.7	-	Arena arcillosa limosa de color gris verdosa. Grava < 1/2" muy aislada. Grumos de arcilla de plasticidad baja, muy densa. 60% arena. 32% fines. SPT-17 N=54.	14	17
0.25	SPT-18	SM			21.7	-	Arena arcillosa limosa de color gris verdoso con grumos arcillosos de color beige a marrón claro. 52% arena. 48% fines. Medio suelta.	14	17
0.75	SPT-19B	CL			27.2	-	Arena de color gris verdoso de plasticidad baja. Muy rígida. 18% arena. 82% fines. SPT-19 N=23.	14	17
1.00	SPT-19	CL			28.4	-	Arcilla de color gris verdoso intercalada con limos. Plasticidad baja. 4% arena. 96% fines. SPT-19 N=22.	14	17
0.30	SPT-20A	MH			53.1	-	Limo inorgánico de color marrón oscuro. Muy rígida. Plasticidad alta. 5% arena. 95% fines.	14	17
0.40	SPT-20B	ML			31.0	-	Limo inorgánico de color marrón claro. Plasticidad baja. 4% arena. 96% fines. SPT-20 N=30.	14	17
0.30	M-6	CL			31.6	-	Arcilla de color gris verdoso. Plasticidad baja. Rígida. 0.2% arena. 99.8% fines.	14	17
1.00	SPT-21	CH			31.8	-	Arcilla de color gris poco verdosa a marrón claro. Plasticidad alta. Muy rígida. 3% grava < 3/8". 2% arena. 95% fines. SPT-21 N=25.	14	17
1.00	SPT-22	CL			30.7	-	Arcilla de color gris. Plasticidad baja. Humeda. Muy rígida. 97% fines. 2.8% arena. 0.5% grava < 3/8". SPT-22 N=20.	14	17
0.46	SPT-23A	CL			28.8	-	Arcilla arenosa de color gris verdoso. Plasticidad baja. Muy rígida. 75% fines. 24% arena.	14	17
0.85	SPT-23B	CL			28.8	-	Arcilla limosa de color gris a marrón claro. Plasticidad baja. Muy rígida. 99% fines. 1% arena fina. SPT-23 N=23.	14	17
0.75	SPT-24	CL			33.6	-	Arcilla de color gris a marrón claro. Plasticidad baja. Densa. 95% fines. 5% arena.	14	17
0.15	SPT-24A	CL			33.6	-	Arcilla de color gris a marrón claro. Plasticidad baja. Densa. 95% fines. 5% arena.	14	17
0.85	SPT-24B	SM			55.8	-	Arena limosa de color gris verdoso. Densa. Plasticidad ligera. 53% arena. 45% fines. SPT-24 N=35.	14	17
0.35	SPT-25A	SM			20.5	-	Arena limosa de color gris verdoso. Densidad media. Intercalada con arcilla gris verdosa. 39% fines. 61% arena.	14	17
0.40	SPT-25B	SM			27.4	-	Arcilla de color gris verdoso a marrón claro. Plasticidad baja. Muy rígida. 94% fines. 6% arena. SPT-25 N=28.	14	17

REFERENCIAS

- [1] CISMID - UNI, «Exploración geotécnica - Construcción del puente vehicular Motilones,» Moyobamba, San Martín, 2008.
- [2] CISMID, UNI, «Estudio Geofísico para la construcción del puente vehicular Motilones,» Moyobamba, San Martín, 2008.
- [3] Stewart, J. P., y Kulhawy, F. H., «Experimental Investigation of the Uplift Capacity of Drilled Shaft Foundations in Cohesionless Soil,» Contract Report B-49 (6), Niagara Mohawk Power Corporation, Syracuse, NY, 1981.
- [4] Reese, L.C. y O'Neill, M.W., «New Design Method for Drilled Shafts from Common Soil and Rock Tests,» de *Foundation Engineering: Current Principles and Practices*, ASCE, 1989, pp. 1026-1039.
- [5] Kulhawy, F.H., «Drilled Shaft Foundations Chapter 14, 2nd ed,» de *Foundations Engineering Handbook*, New York, Van Nostrand Reinhold, 1991.
- [6] Stas, C.V. y Kulhawy, F.H., «Critical Evaluation of Design Methods for Foundations Under Axial Uplift and Compression Loading,» Electric Power Research Institute, 1984.
- [7] Kulhawy, F.H y Jackson, C.S., «Some Observations on Undrained Side Resistance of Drilled Shafts,» de *Foundation Engineering: Current Principles and Practices, Vol 2*, ASCE, 1989, pp. 1011-1025.
- [8] AASHTO, «LRFD Bridge Design Specifications,» American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC, 2004.
- [9] Prakash, S. y Sharma, H.D., *Pile Foundation in Engineering Practice*, New York: John Wiley, 1990.
- [10] Vesic, A., *Design of Pile Foundations*, Washington D.C.: National Cooperative Highway Research Program, Synthesis of Highway Practice, Transportation Research Board, 1977.
- [11] Vesic, A., «Experiments with Instrumental Pile Groups in Sand,» American Society for Testing and Materials, 1969.
- [12] AASHTO, «LRFD Bridge Design Specifications,» American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC, 2017.