

DISEÑO GEOTÉCNICO DE CIMENTACIONES DEL PUENTE 8, PEDRAPLÉN TURIGUANÓ-CAYO COCO EN CIEGO DE ÁVILA

GEOTECHNICAL DESIGN OF FOUNDATIONS OF THE BRIDGE 8, STONE EMBANKMENT TURIGUANO-CAYO COCO IN CIEGO DE AVILA

Autores: Saimy Santiago Rodríguez
Saily Santiago Rodríguez

Institución: Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez, Cuba

Correo electrónico: saimy@unica.cu
saily@unica.cu

RESUMEN

El pedraplén Turiguanó-Cayo Coco es uno de los más importantes proyectos vial de la ingeniería naval en Cuba en los años noventa, en sus inicios por la falta de experiencia no se tuvieron en cuenta factores medio ambientales y estructurales en su construcción, eso trajo consigo que al pasar de los años y la explotación del vial, comenzaran a producirse problemas de asentamiento y fallos estructurales en las obras de fábrica, por lo que surge la necesidad de realizar intervenciones constructivas a los puentes, que son las obras de fábrica de mayor importancia en el vial, en algunos casos construyendo nuevos puentes y en otros reparando los existentes. Como parte de las intervenciones constructivas está el puente 8, el cual fue sustituido por uno nuevo con dimensiones y características constructivas diferentes al anteriormente existe, por ello la importancia de realizar el diseño geotécnico de las cimentaciones del puente, lo cual es el objetivo de la presente investigación, diseño que se realiza con la utilización del Método de Estados Límite, método introducido en la norma cubana en el 2008. Para realizar el diseño geotécnico de las cimentaciones se realiza una caracterización del perfil litológico del suelo y del nuevo puente 8, obteniéndose como resultado la utilización de pilotes flotantes como solución de cimentación del puente.

Palabras clave: Cimentaciones profundas, Método de Estados Límite.

ABSTRACT

The Stone embankment Turiguanó-Cayo Coco is one of the most important naval engineering road projects in Cuba in the nineties. In its beginnings, due to lack of experience, environmental and structural factors were not taken into account in its construction, which brought with it that over the years and the exploitation of the road, settlement problems and structural failures began to occur in the road hydraulic structures, for which the need arose to carry out constructive interventions on the bridges, which are

the masonry works of greatest importance on the road, in some cases building new bridges and in others repairing existing ones. As part of the construction interventions is the bridge 8, which was replaced by a new one with dimensions and construction characteristics different from the one previously existing, therefore the importance of carrying out the geotechnical design of the bridge foundations, which is the objective of the present investigation, design that is carried out with the use of the Limit States Method, a method introduced in the Cuban standard in 2008. To carry out the geotechnical design of the foundations, a characterization of the lithological profile of the soil and of the new bridge 8 is carried out, obtaining as a result the use of floating piles as a foundation solution for the bridge.

Keywords: Deep foundations, Limit States Method.

INTRODUCCIÓN

La cimentación es el elemento estructural encargado de transmitir las cargas de la estructura al suelo que servirá de base de cimentación, de forma tal que no se produzca un fallo por estabilidad o capacidad de carga y que no se originen deformaciones en la base que sean perjudiciales a los elementos de la estructura soportada (Santiago, 2015, p. 17)

Existen diversos tipos de cimentaciones entre los cuales se pueden mencionar las cimentaciones profundas, que no son más que elementos estructurales que se introducen profundamente en el terreno para transmitir las cargas de la cimentación a los estratos más resistentes. Estos se emplean generalmente cuando el terreno superficial tiene baja capacidad de carga, cuando se tiene requisitos muy estrictos de asentamientos admisibles y cuando se quieren evitar cimentaciones muy voluminosas apoyadas en estratos de suelos poco favorables para la construcción.

Un pilote desarrolla resistencia por apoyo directo en su punta y por fricción en la superficie de contacto con el suelo. Los pilotes que se apoyan en un estrato de suelo muy firme, y que desarrollan la mayor parte de su resistencia por dicho apoyo directo, se denominan pilotes de punta. Los pilotes que quedan totalmente embebidos en estratos de baja capacidad de carga y por tanto desarrollan su resistencia casi exclusiva por adherencia y por rozamiento entre su superficie y el suelo adyacente, se llaman pilotes de fricción (Fuentes, 2008, p. 24)

En muchos casos ambos componentes de la resistencia son significativos y deben tomarse en cuenta, de manera que la profundidad a que se apoyará un pilote será tal

que su resistencia total, debido al efecto combinado de los dos componentes de la resistencia, sea la necesaria para las cargas que deba soportar. Además de la capacidad de carga, existen otros aspectos que pueden influir en la selección del tipo de pilote, como son la posibilidad de asentamientos generales de los estratos del subsuelo y las variaciones del nivel freático.

Para garantizar un correcto funcionamiento de los pilotes resulta necesario que se realice un buen diseño geotécnico, para el cual hay que tener en cuenta los resultados de las investigaciones ingeniero – geológicas, hidrológicas y condiciones climatológicas de la zona que se utilizará para la construcción.

Para el diseño geotécnico de las cimentaciones, se han desarrollado múltiples trabajos encaminados a la racionalización y seguridad en los métodos de diseño, siendo el Método de los Estados Límites el más utilizado, conocido también como el de los coeficientes parciales. Según (Quevedo, 1988, p. 5. Sánchez, 2002, p. 22) la introducción de este método en el diseño geotécnico de las cimentaciones arroja mejores resultados que los métodos anteriormente utilizados, pues en este método se tienen en cuenta una serie de coeficientes parciales que minoran las características o parámetros del suelo y mejoran las cargas o solicitaciones que llegan a la cimentación producto de la estructura a la que servirá de base, llevando a la cimentación a un estado tensional cercano a las solicitaciones reales de la estructura sin que se produzca un fallo producto del vuelco, deslizamiento o la capacidad de carga del elemento y teniendo en cuenta que cumpla con los requisitos de asentamiento establecidos para cualquier tipo de estructura.

El diseño geotécnico de las cimentaciones con pilotes se ve complicado por las condiciones ingeniero – geológicas para los cuales son empleados, tal es el caso que los pilotes adquieren diferentes formas de trabajo, dependiendo del perfil de suelo. En esta investigación se trabaja la solución de cimentación para el puente 8 del pedraplén Turiguanó-Cayo Coco, el cual enlaza la isla de Turiguanó con la cayería norte de la provincia Ciego de Ávila Jardines de Rey.

Obra que fue concebida ha mediado de los años 90 y con limitada experiencia constructiva, por lo que los criterios adoptados no fueron los más acertados para las condiciones ingeniero-geológicas presentes en el área de estudio.

De esta forma con el desarrollo del trabajo se propone el diseño geotécnico de las cimentaciones con pilotes en el puente 8 del pedraplén Turiguanó-Cayo Coco, mediante el empleo de normativas actualizadas, las cuales incluyen como metodología de diseño

el Método de Estados Límites, siendo este el objetivo de la investigación.

El diseño geotécnico por el método de los estados límites ha sido tema de investigación de diversos autores desde la década de los 50 y los 60, destacándose la introducción de este método en las normativas de; Rusia en 1984, Estados Unidos en 1980, Canadá en 1984 y Europa en 1999 como los principales exponentes.

En Cuba se comenzaron las primeras investigaciones relacionadas con la introducción de los estados límites en el diseño geotécnico en 1984, llegándose a la propuesta de una Norma de Diseño Geotécnico de Cimentaciones Sobre Pilotes en su última versión en el 2008 (Ibañez, 2008).

Las cimentaciones profundas o también llamados pilotes son elementos estructurales hechos de acero, hormigón, hormigón armado y madera, y se emplean cuando el estrato de suelo o estratos superiores del suelo son altamente compresibles y demasiado débiles para soportar la carga de la superestructura, con la adecuada seguridad o con un asentamiento permisible (Fuentes, 2008, p. 11). El llevar la cimentación hasta el primer estrato resistente que se encuentre no es suficiente, aunque esta sea la decisión que a menudo se toma, la cimentación profunda debe analizarse de la misma manera que las cimentaciones superficiales, garantizando que no se produzca un fallo por estabilidad o capacidad de carga.

Las cimentaciones profundas se pueden agrupar en dos grupos fundamentales; los pilotes y los pilares. Donde los pilotes son elementos estructurales (fustes) relativamente largos y esbeltos que se introducen en el terreno con diversas técnicas constructivas y por lo general sus diámetros son inferiores a los 60 cm. Mientras que los pilares son elementos de mayor diámetro y se construyen excavando el terreno, permitiendo una inspección ocular del suelo o roca que servirán de base de apoyo del elemento. Los pilares son utilizados generalmente como cimentaciones por superficie o sobre placas a grandes profundidades.

Existen disímiles formas de clasificación de un pilote, entre las que podemos encontrar; según el tipo de material que pueden ser: pilotes de madera, metal, hormigón simple o armado y pilotes combinados o mixtos, según su sección transversal como son: los cuadrados, circulares, prismáticos, T y doble T, según la forma de construcción: prefabricados o "in situ", según su instalación: aislados o en grupos, según la forma de embebimiento dentro del estrato resistente que pueden ser: apoyados, empotrados y flotantes, según la interacción suelo – pilote: trabando en punta, en fuste y en punta y fuste, y según el tipo de carga que actúa sobre el pilote como son: a compresión,

tracción, flexión y flexión – compresión.

En esta investigación se particularizará en la clasificación según la forma de embebimiento dentro del estrato resistente:

Los pilotes apoyados son elementos estructurales encargados de soportar una carga en su cabezal producto de la solución estructural a la que el servirá de solución de cimentación y además transmitir su carga al espesor de suelo relativamente blando mediante el rozamiento o fricción desarrollada sobre la superficie lateral del pilote a lo largo de la longitud del mismo y la punta apoyada en cierto espesor de suelo con características más resistentes, estos espesores de suelo son casi siempre considerados suelos formados por rocas. (Braja, 1999, p. 574).

Estos son empleados cuando, dentro de profundidades alcanzables, se encuentran estratos que proporcionan soporte significativo en la punta por ser terrenos con un nivel claramente resistente.

También están los pilotes empotrados, los cuales son elementos estructurales que soportan la carga de la estructura a la que servirán de base de cimentación a través de su cabezal y transmiten esa carga al suelo a través del fuste del pilote por fricción a espesores de suelos relativamente blandos y por su punta empotrada en suelos con características superiores, pero no clasificados como rocas. (Braja, 1999, p. 575)

Estos se emplean cuando, dentro de profundidades alcanzables, se encuentran estratos que proporcionan soporte significativo en la punta como en aquellos terrenos donde existe un nivel más resistente.

Además se pueden clasificar en pilotes flotantes, que son elementos estructurales encargados de soportar una carga en su cabezal producto de la solución estructural a la que el servirá de solución de cimentación y además transmitir su carga a cierto espesor de suelo relativamente blando mediante el rozamiento o fricción desarrollada sobre la superficie lateral del pilote a lo largo de la longitud del mismo, estos desarrollan su resistencia por el rozamiento que se genera a lo largo de este y el suelo que lo rodea, por ello son llamados también pilotes de rozamiento. (Braja, 1999, p. 575).

Estos son empleados cuando, dentro de profundidades razonables debajo de la superficie del terreno no se encuentra un lecho rocoso, es decir estratos que proporcionen soporte significativo en la punta como en aquellos terrenos donde existe un nivel claramente más resistente.

La capacidad de una cimentación con pilotes para soportar cargas sin falla o asentamiento excesivo, depende de varios factores: el cabezal sobre los pilotes, el fuste

del pilote, la transmisión de la carga que soporta el pilote al suelo, y el suelo y los estratos subyacentes de suelo o roca que finalmente soportan la carga. El cálculo y proyecto del cabezal sobre los pilotes es esencialmente un problema estructural que se encuentra en los libros de textos para proyectos de hormigón armado; es raramente un problema crítico o una causa de dificultades. En el análisis y proyecto del fuste del pilote intervienen tanto el suelo como el pilote. La capacidad del fuste del pilote obedece a necesidades constructivas y es mucho mayor que la necesaria para la carga máxima; pero puede ser crítica en el caso de pilotes esbeltos con cargas pesadas o cuando se encuentran dificultades en la construcción. (Quevedo, 1988, p. 7)

La transferencia de la carga del pilote al suelo es lo que se llama capacidad de carga del pilote y es frecuentemente causa de dificultades en las cimentaciones con pilotes. La capacidad de los estratos inferiores para soportar la carga depende del efecto combinado de todos los pilotes actuando conjuntamente. Aunque la capacidad de los estratos inferiores rara vez recibe atención, es frecuentemente fuente de dificultades en las cimentaciones con pilotes (Braja, 1999).

La capacidad de carga de un pilote no es más que la transferencia de la carga del pilote al suelo, que puede ser de dos formas distintas, primero por la punta, en compresión, que se llama resistencia en punta, y segundo por esfuerzo cortante a lo largo de su superficie lateral llamado comúnmente fricción lateral.

Tanto la transferencia de carga en punta del pilote como la fricción lateral, provoca que el campo de esfuerzos alrededor del pilote, varíe existiendo una presión efectiva vertical en la masa de suelo producto a las cargas impuestas alrededor del pilote y por debajo de su punta, ésta presión efectiva vertical del suelo es soportada por el pilote por fricción lateral o por su resistencia en punta.

El fuste del pilote es una columna estructural que esta fija en la punta y generalmente empotrada en la cabeza. La estabilidad elástica del pilote y su resistencia al pandeo ha sido investigada teóricamente y por ensayos de carga (Braja, 1999).

El pandeo de un pilote depende de su alineamiento, longitud, momento de inercia, módulo de elasticidad y de la resistencia elástica del suelo que lo circunda.

Tanto la teoría como la práctica demuestran que el soporte lateral del suelo es tan efectivo, que únicamente en pilotes extremadamente esbeltos hincados en arcillas muy blandas o en pilotes que se extiendan fuera del suelo, en el aire o en el agua, puede producirse pandeo. Por lo tanto, los pilotes en arena o en arcilla blanda se proyectan, corrientemente, como si estuvieran arriostrados o fueran columnas cortas.

Lo más importante a considerar como limitación de la capacidad del fuste de un pilote es la construcción defectuosa, especialmente la de las uniones de dos secciones del pilote; esto puede conducir a desviaciones de la parte inferior del pilote ya que se produce un ángulo de la alineación del mismo (como la pata de un perro) y a una reducción de la sección transversal del pilote y pérdida de resistencias como columna corta. El estudio que se ha hecho de los pilotes en forma de "pata de perro" demuestra que su capacidad no se reduce materialmente, siempre que el suelo circundante sea firme. La reducción de resistencias del pilote como columna se puede evitar con un cuidadoso control de los procedimientos constructivos.

La forma de distribución del esfuerzo, el asentamiento y capacidad máxima de una cimentación con pilotes, depende del efecto del pilote en el suelo. El pilote, representado por un cilindro de longitud L y diámetro D , es una discontinuidad en la masa de suelo, que reemplaza el suelo, según sea instalado por excavación, como un pilar, o por hinca (Braja, 1999).

MATERIALES Y MÉTODOS

A mediados de los años 90 se construye el Pedraplén Turiguanó-Cayo Coco, el cual atraviesa 17 km por mar para permitir el tránsito desde Turiguanó hasta el Archipiélago Jardines de Rey, cayería norte de la provincia Ciego de Ávila. En sus inicios fue el primero y más importante proyecto vial de la ingeniería naval de la época en Cuba, en ese entonces la experiencia constructiva de este tipo de obras era escasa, nunca antes en la isla se había construido una carretera por mar con estas características, por lo que no se tuvieron en cuenta una serie de factores influyentes en el diseño y se emplearon elementos no aptos para este tipo de obra emplazada en ambiente altamente agresivo, lo que trajo consigo que comenzaran a producirse problemas de asentamiento y fallos estructurales en las obras de fábrica, específicamente los puentes que son los más representativos en el vial.

Características del Perfil de Suelo del Área de Estudio en el pedraplén Turiguanó-Cayo Coco

El área de estudio es correspondiente a una pequeña sección del vial que enlaza al poblado de Turiguanó con el polo turístico de Jardines del Rey. Este vial atraviesa la Bahía de los Perros en dirección Norte – Sur, conectando el borde meridional de Cayo Coco con la porción septentrional del territorio insular del municipio Morón, perteneciente a la provincia de Ciego de Ávila. El área de estudio se extiende por las inmediaciones

del tramo de pedraplén donde se encuentre el actual puente 8, que ocupa un área aproximada de 30 m de largo por 15 m de ancho, cartográficamente este sector se observa en la Hoja 4583-III-b (Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía, 1985).

Según el informe ingeniero geológico analizado, el área de estudios se encuentra compuesta por los elementos constituyentes del pedraplén y los horizontes litológicos que se extienden bajo tales elementos. Teniendo en cuenta lo anterior, se establece que a partir del nivel de la rasante del vial Turiguanó-Cayo Coco en los sectores examinados, hasta las cotas de -29.572 m con respecto al Nivel Medio del Mar (NMM) en el puente 8 (niveles correspondientes a las máximas profundidades perforadas en cada parcela), se presentan los elementos constituyentes del pedraplén y los estratos ingenieros geológicos que se mostrarán seguidamente a los elementos constituyentes del Pedraplén. Tales materiales se describen a continuación, según su orden de aparición con respecto al nivel mencionado:

Elemento constituyente A del Pedraplén: Capa de hormigón asfáltico de color gris negruzco. Posee un espesor de 0.10 m y se halla cubriendo en la franja central de las secciones viales tratadas, al elemento constituyente B del pedraplén.

Elemento constituyente B del Pedraplén: Material de relleno técnico del pedraplén. De forma general está compuesto por una masa de bloques de roca, a modo de cantos, guijarros y gravas de composición polimíctica (principalmente fragmentos de rocas carbonatadas e ígneas) que se encuentran rodeados de una matriz areno limosa de composición carbonatada. Este material se dispone a modo de diferentes capas, en las cuales predominan indistintamente algunas de las fracciones granulométricas citadas. El perfil litológico del área de estudio se encuentra conformado como se muestra a continuación:

Estrato 1: Arena limosa (SM) de color gris cremoso. Posee estructura homogénea, compacidad muy floja y se halla en estado saturado. Posee olor fétido ligero y contiene varios restos fósiles de moluscos, principalmente bivalvos. Su presencia se registra en todas las calas efectuadas en la parcela de trabajo. Las partículas de arena que la constituyen son de composición calcárea y de granulometría diversa, aunque predomina la fracción media. Contiene algunos granos de grava de granulometría diversa y composición calcárea, con forma sub-redondeada, aspecto de liso a rugoso y dureza de media a alta. Desde el punto de vista geológico, se considera que se corresponde con las secuencias de sedimentos pertenecientes a los Depósitos Marinos (Q_4 m) del Holoceno.

Estrato 2: Grava Arcillo Limosa con Arena (GC-GM) de color gris claro que presenta de modo general estructura homogénea, compacidad alta y se halla en estado saturado. En este sedimento la plasticidad de los finos es baja. Posee olor fétido que oscila de ligero a moderado y contiene varios restos fósiles de moluscos, principalmente bivalvos. Los granos de grava que la componen son de granulometría diversa, duros, de composición polimíctica (principalmente de composición carbonatada e ígnea) y tienen forma de subangulosa a redondeada. Esta Grava Arcillo Limosa con Arena (GC-GM) posee un número de golpes del ensayo Standard Penetration Test (Nspt) medio de 26 golpes por cada 30 cm de penetración de la Cuchara Cubana (SS), aunque en ocasiones se produjo el rechazo de este aditamento debido al alto contenido de gravas presente. De igual manera se determinó que este sedimento tiene un Ángulo de Fricción Interna (Φ) de 38° , una Cohesión (C) de 10 kPa y un Módulo de Deformación (E_o) de 25 000 kPa, un Peso Específico Natural (γ) de 22.42 kN/m^3 y una Densidad Relativa de los Sólidos (G_s) de 27.3 kN/m^3 . En el sector de estudio correspondiente se le observa con un espesor explorado total que osciló entre los 14.55 m y los 21 .30 m, para una media de 17.61 m.

Estrato 3: Aglomerado de cantos o fragmentos gruesos de roca caliza que presenta color blanco crema con tonalidades grisáceas. Se halla en estado saturado. Está formado por la acumulación de numerosos fragmentos de roca caliza masiva a modo de cantos y guijarros (desde el punto de visto granulométrico), los cuales no se encuentran cementados entre sí, pero si se hallan rodeados de una matriz gravo-areno limosa, de características semejantes a los sedimentos descritos en el estrato 2.

Los fragmentos de roca caliza se recuperan en forma de discos, fragmentos y testigos, estos últimos con una longitud que varió entre los 10 cm y los 18 cm, presentando así un índice de calidad de esta roca (RQD) que varía entre el 35 % y el 50 %, teniendo un valor medio del 40 %, lo cual la categoriza como una roca de calidad mala. Este aglomerado de cantos y bloques de caliza presentó un espesor que osciló entre los 0.15 m (C-89.9) y 4.45 m (C-89.8), para una media de 1.59 m. Desde el punto de vista geológico se considera que este aglomerado de roca a diferentes niveles, constituye el resultado de los intensos procesos de erosión y ulterior transporte que sufrieron durante el proceso de constitución de la Formación Camacho ($Q_3 \text{ cmc}$), varios de los conjuntos litológicos mayormente carbonatados que constituían la cobertura de la estructura cupular formada alrededor del domo salino de Turiguanó, según la acción de un régimen tectónico imperante en ese tiempo geológico que favoreció la ocurrencia de

tales procesos.

Método de diseño de cimentaciones con pilotes

Para el diseño geotécnico de cimentaciones con pilotes se han utilizado diversos métodos de diseño, que van desde simple fórmulas empíricas hasta la aplicación del Método de Estados Límites o también llamado el Método de los Coeficientes Parciales, este método busca a partir de un diseño racional y seguro llevar la estructuras hasta el límite de resistencia, garantizando que esta no falle por estabilidad, capacidad de carga o asentamiento (Santiago, 2015, p. 20).

Para el diseño por estabilidad mediante Estados Límites para un pilote en grupo de pilotes tiene que cumplirse la siguiente condición (ecuación 1):

$$N_p^* \leq Q_{VCG}^* \quad (1)$$

Donde: N_p^* es la carga vertical de cálculo transmitida de la superestructura a la cimentación sobre pilotes y Q_{VCG}^* es la carga vertical resistente por estabilidad de cálculo del pilote en grupo.

La carga resistente por estabilidad de cálculo del pilote se calcula a partir de determinar el aporte a fricción y/o en punta del pilote en el grupo de pilotes y aplicar una serie de coeficientes parciales que van desde la minoración de los parametros del suelo hasta el coeficiente de de seguridad en el diseño, coeficiente que tiene en cuenta las condiciones de trabajo y el tipo de fallo de la obra, todos garantizando la seguridad y estabilidad del pilote en el grupo de pilotes (NC, 2007).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características del nuevo puente 8 del Pedraplén Turiguanó-Cayo Coco

El puente 8 del pedraplén Turiguanó-Cayo Coco es una obra catalogada como obra tipo nueva de 20 m de longitud y 15 m de ancho, constituye una sección del vial que enlaza al poblado de Turiguanó con el polo turístico Jardines del Rey. Para la construcción del nuevo puente se mantendrá el valor de la rasante de la vía existente de 2.8 m, los elementos constituyentes del puente se dotarán de su correspondiente protección primaria y al final se aplicará pintura epóxica a toda la superficie visible.

El nuevo puente estará compuesto por un tablero de 10 vigas de hormigón armado postensado en forma de T de 20 m de longitud, 0.80 m del ancho del ala, 0.50 m de ancho del alma y 0.98 m de peralto total, las cuales se unirán entre sí por medio de sus alas, colocadas desde un extremo del ala hasta el otro extremo del ala de la viga continua. Los aparatos de apoyo de estas vigas, consistirán en 20 planchas de

neopreno zunchado de 0.30 m de largo, por 0.18 m de ancho y 0.025 m de espesor. Las vigas tienen un peso unitario de 230 kN, el peso del acero por cada viga es de 13.63-kN, un volumen unitario del hormigón de 9.20 m³ el cual alcanzará una resistencia característica ($f'c$) de 35-MPa. Entre las vigas prefabricadas serán fundidas 9 losas in situ las cuales serán de hormigón armado de 20 m de longitud y 0.70 m de ancho, para un volumen total de hormigón de 34.40 m³ y 14.7 kN de peso total de acero.

La estructura del puente también estará conformada por 16 pretilas prefabricados en tableros de tipo A de 5.3 kN de peso, apoyados en las vigas extremas y 8 pretilas prefabricados en aproche de tipo B de 11.25 kN de peso ubicados en las cuatro esquinas extremas del puente. Sobre las vigas extremas se fundirán in situ muretes de hormigón armado de 2.34 m³ de hormigón. El puente constará además de 17 perfiles de acero con un peso total de 5.78 kN para el soporte prefabricado de la conductora del agua que será de tubos de poliamida de alta de 0.60 m de diámetro, el cual será colocado por el lado derecho en el sentido Turiguanó-Cayo Coco.

En la parte superior del tablero se colocará un mortero de hormigón de nivelación con pendientes del 1.5 % proyectada desde el centro hacia los extremos y con hormigón en la zona de los paseos, que a su vez delimita la zona de la calzada o caja de asfalto. Al puente se le dotará de impermeabilización al tablero mediante membrana hidrófuga, luego la colocación del pavimento asfáltico y juntas térmicas elastoméricas de 2 m de longitud cada una para un total de 12 juntas.

En todos los casos los elementos de hormigón armado de la estructura del puente alcanzarán una resistencia característica del hormigón de 35 MPa y el acero será G – 40 para una resistencia a fluencia (f_y) de 300 MPa, debido a las características de la obra y la alta agresividad del medio donde será construida.

Los estribos estarán compuestos por un cabezal construido in situ de hormigón armado de 20.11 m³ de hormigón y 24.9 kN de peso del acero, el cual unirá y repartirá las cargas sobre las filas de pilotes, sobre este cabezal se apoyarán las diez vigas prefabricadas y tras los extremos de estas vigas estará la cortina o pantalla de contención, que consiste en un muro de 0.35 m de espesor. Cumpliendo los requerimientos de la defensa se ubicarán 5 cajuelas, cada una de 0.60 x 0.40 x 0.20 m espaciadas entre sí a 3 m (CPVCA, 2016).

Solución de cimentación

Teniendo en cuenta el esclarecimiento de las características geológicas generales e ingeniero-geológicas particulares del área, así como también la evaluación de las propiedades físico-mecánicas esenciales de los estratos detectados, se escoge como estrato para uso como base de la cimentación del nuevo puente 8 del pedraplén Turiguanó-Cayo Coco el estrato 2, pues presenta las propiedades más idóneas del perfil analizado y yace a una profundidad asequible.

El aglomerado de cantos o fragmentos gruesos de roca caliza (estrato 3), aunque se presenta a niveles relativamente regulares, no posee un espesor regular y considerable que permita disipar las cargas del puente a pilotes, si estos se emplazarán sobre este estrato para que trabajaran apoyados o en punta, con un nivel de empotramiento determinado. No obstante, cabe recordar que este aglomerado de cantos o fragmentos gruesos de roca caliza (estrato 3), no es en sí un horizonte de rocas consolidadas o cementadas, el mismo constituye una acumulación de cantos y bloques de roca caliza envueltos en un matriz gravo-areno-limosa, cuyo comportamiento ingenieril precisamente, difiere considerablemente de los fragmentos de roca que ella rodea.

A partir de las condiciones ingeniero-geológicas y las características de la obra se escoge como solución de cimentación del puente “pilotes flotantes”, los cuales trabajan a fricción o en fuste y serán fundidos “in situ” dentro de los sedimentos del estrato 2 como se muestra en el esquema estratigráfico de la figura 1.

Para el diseño geotécnico de los pilotes flotantes se considera que los pilotes serán de 16 m de longitud, el diámetro será de 0.6 m por la disponibilidad de camisas en las máquinas de perforación.

En cada extremo del puente la solución de cimentación estará compuesta por una fila de pilotes flotantes formada por 6 pilotes cada una trabajando en grupo, para un total de 12 pilotes conformado en dos grupos de pilotes, las condiciones de trabajo de la obra se consideran desfavorables y el tipo de fallo muy grave para lo cual se determinó un coeficiente de seguridad de 1.30 y se utilizó la Teoría de la Plasticidad como método para determinar la capacidad resistente de los pilotes.

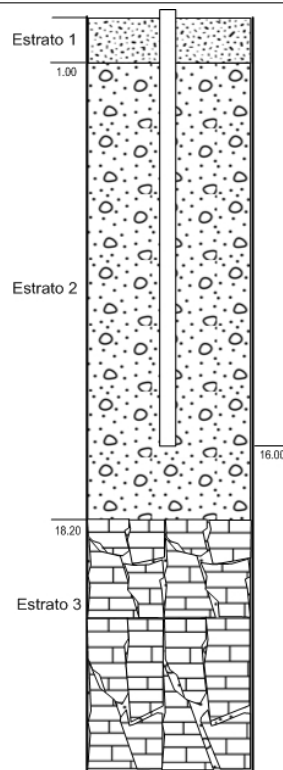


Figura 1. Esquema de la estratigrafía considerada para la solución de pilotes flotantes.

A continuación, se muestran los resultados de la aplicación de la metodología de diseño geotécnico por el método de Estados Límite.

L (m)	D (m)	Pilotes/Fila
16	0.6	6

ϕ^*	γ^* (kN/m ³)	Sp/D	ξ	Zc (m)
33.06	21.35	5	0.85	9.6

Qf*(kN)	Qv*(kN)	Qvc*(kN)
2517.21	2517.21	2097.67

Qvcg* (kN)	Np* (kN)
1783.02	1500

Para garantizar el cumplimiento del segundo estado límite hay que partir de analizar una

base equivalente que simularía el apoyo de los pilotes en el suelo donde se produciría el asentamiento, determinado por la Norma de Diseño Geotécnico de Cimentaciones, como resultado se empleó una base de 5.95 x 5.95 m, la cual tiene como asentamiento en el punto característico del cimiento 6.34 cm, valor inferior al límite permisible por norma que para este tipo de estructuras es de 8 cm (NC-1321:2019).

Análisis de los Resultados

Con la aplicación del Método de Estados Límites en el diseño de los pilotes del puente 8 pedraplén Turigunó – Cayo Coco se corrobora los fundamentos planteados en la propuesta de Norma de Diseño Geotécnico de Cimentaciones Sobre Pilotes, lográndose contribuir al proceso de validación de la propuesta norma para su aprobación y publicación.

Similares estudios se han realizado con el objetivo de validar los fundamentos teóricos planteados en las normas de diseño geotécnico de cimentaciones con la inclusión del Método de Estados Límites, como son: Ibañez (2008), Santiago (2015), Fumero (2016), entre otras.

CONCLUSIONES

A partir del análisis de los resultados alcanzados mediante la realización de esta investigación, se arriba a las conclusiones siguientes:

El Método de Estados Límites permite a partir de la introducción de un sistema de coeficientes parciales para la minoración de los parámetros físico-mecánicos del suelo y mayoración de las cargas llevar al límite la estructura, garantizando que no ocurra un fallo por estabilidad o asentamiento y así lograr mayor aprovechamiento de las características físico-mecánicas de los suelos.

El empleo de las cimentaciones con pilotes va a depender de diversos factores, entre los que se puede mencionar las características ingeniero – geológicas del perfil de suelo donde se desea emplazar la construcción y estas van a limitar el tipo y las características de trabajo del pilote o grupo de pilotes a emplear.

Debido a las características ingeniero-geológicas presentes en el puente 8 del pedraplén Turiguanó-Cayo Coco, se utilizará como base de cimentación el estrato 2 y la solución será pilotes flotantes, los cuales tendrán 0.6 m de diámetro y 16 m de longitud, para un total de 6 pilotes por fila en los extremos del puente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRAJA, M. D. (1999). Principios de Ingeniería de Cimentaciones. México: Ed. Interna-

cional Thompson Editores.

CPVCA (2016). Centro Provincial de Vialidad Ciego de Ávila. Informe Técnico Puente 8 Pedraplén Turiguanó-Cayo Coco. Ciego de Ávila.

FUENTES ALEMÁN, Ahmed (2008). Confección de la Propuesta de Norma de Diseño Geotécnico de Cimentaciones sobre Pilotes. Santa Clara, Cuba. Tesis en opción al Título de Ingeniero Civil. Universidad Central Martha Abreu de Las Villas.

FUMERO NÉNEZ, Saray (2016). Normativa para el diseño geotécnico de cimentaciones superficiales. Herramientas para su implementación. Santa Clara, Cuba. Tesis en opción al Título de Ingeniero Civil. Universidad Central Martha Abreu de Las Villas.

IBAÑEZ MORA, Luis Orlando (2008). Propuesta de Norma de Diseño Geotécnico de Cimentaciones sobre Pilotes. Santa Clara, Cuba.

INSTITUTO CUBANO DE GEODESIA Y CARTOGRAFÍA, (1985). Mapa de la República de Cuba. Escala 1:25 000. La Habana: Ed. I.C.G.C.

NORMA CUBANA, Propuesta (2007). Geotecnia. Norma para el Diseño Geotécnico de Cimentaciones sobre Pilotes. La Habana: Oficina Nacional de Normalización.

NORMA CUBANA 1321 (2019). Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales. Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba.

SANTIAGO RODRÍGUEZ, Saimy (2015). Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales en Arenas. Caso de Estudio Cayería Norte de Ciego de Ávila. Santa Clara, Cuba. Tesis en opción al título de Máster en Estructuras. Universidad Central Martha Abreu de Las Villas.

SÁNCHEZ, S. (2002). Diseño Geotécnico de Cimentaciones por Estados Límites en el Perú Santa Clara, Cuba. Tesis en opción al Título de Ingeniero Civil. Universidad Central Martha Abreu de Las Villas.

QUEVEDO SOTOLONGO, Gilberto (1988). Aplicación de la Teoría de la Seguridad al diseño de las cimentaciones por deformación. *Revista Ingeniería Estructural*. Vol. 1, No. IX, pp. 77-88.