**12no SIMPOSIO INT. ESTRUCTURAS, GEOTECNIA Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

**Título**

Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales en Arenas. Caso de Estudio Cayería Norte de Ciego de Ávila.

***Title***

**Nombre y Apellidos1**

1-Saimy Santiago Rodríguez. Universidad de Ciego de Ávila “Máximo Gómez Báez”. Cuba. [saimy@unica.cu](mailto:saimy@unica.cu)

**Resumen**: El país se encuentra en proceso de aprobación y publicación de la Norma de Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales por Estados Límites, con la inclusión de un sistema de coeficientes actualizado y otros aspectos para el cálculo de asentamiento anteriormente no contenidos, que permiten el aprovechamiento de las potencialidades tenso-deformacionales reales de las arenas e implican efectos de diseño más racionales, para todo lo cual resulta necesario un amplio proceso de validación que sirva de sustento a los fundamentos teóricos planteados.

Este trabajo se realiza con el objetivo de validar la metodología de diseño geotécnico de cimentaciones superficiales en arenas, y suelos en general, sugerida en la propuesta de norma, para lo cual se tomó como caso de estudio una parcela constructiva de la cayería norte de la provincia de Ciego de Ávila, donde se realiza una caracterización del suelo a partir del informe ingeniero – geológico y el procesamiento de pruebas realizadas “in situ”, se analizan diferentes variantes de diseño para la aplicación de la metodología y son comparadas con las soluciones dadas por proyecto.

Con la aplicación de la metodología se demuestra la factibilidad de la utilización del Método de Estados Límite para el diseño geotécnico de cimentaciones superficiales.

**Palabras Clave:** *Cimentaciones Superficiales, Diseño Geotécnico, Suelos Predominantemente Friccionales y Asentamiento No lineal.*

**Abstract:**

**Keywords:**

**1. Introducción**

La cimentación es el elemento estructural encargado de transmitir las cargas de la estructura al suelo que será base de la cimentación, de forma tal que no se produzca un fallo por estabilidad o capacidad de carga, que no se originen deformaciones en la base que sean perjudiciales a los elementos de la estructura soportados y que esté situada a una profundidad tal que no se vea afectada por fenómenos como la socavación o el levantamiento por supresión.

Para garantizar un correcto funcionamiento de la cimentación es importante 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. Desde los años 80 se ha promovido la introducción en el diseño geotécnico de las cimentaciones el Método de los Estados Límites, método conocido también como el de los coeficientes parciales.

Método de diseño geotécnico de cimentaciones que trata de dar explicación al comportamiento de los suelos a partir de modelos elásticos y lineales, demostrándose posteriormente que el uso de estos modelos en muchos casos traía consigo el aprovechamiento parcial de la capacidad resistente de algunos suelos.

En bibliografías consultadas se ha observado que diferentes autores introducen modelos no lineales para el comportamiento de suelos predominantemente friccionales, los cuales limitarlos a un comportamiento lineal sería desaprovechar sus propiedades físico – mecánicas.

En 1989 se realiza la primera propuesta de Norma Cubana que recoge el Método de los Estados Límites como metodología de diseño, con un respaldo estadístico y probabilístico basado en la Teoría de Seguridad. En ese entonces las regulaciones contenidas en la norma están basadas en el análisis de los suelos cohesivos, por lo que existían suelos para los cuales no se obtenían resultados de diseños tan racionales como los que se desearían.

Ya a mediados de esta década comienza a producirse un auge del turismo, que trajo aparejado un incremento acelerado de la construcción de diferentes instalaciones turísticas, la mayoría de las zonas con mayor afluencia de turismo y más necesitadas del desarrollo constructivo de instalaciones, estaban situadas en terrenos arenosos, zonas de playas, que es lo mismo que decir suelos predominantemente friccionales, generalmente.

En el caso de la cayería norte de la provincia de Ciego de Ávila, caso de estudio de esta investigación, el desarrollo de instalaciones con fines turísticos se realiza principalmente en zonas muy próxima a la franja costera por lo que en los estudios ingeniero – geológicos consultados evidencian la presencia de los suelos predominantemente friccionales, suelos que en la realidad presentan peculiaridades muy significativas que los diferencian de los cohesivos, como es su estructura, que implica en ellos un comportamiento lineal muy bajo, y en contraposición unas capacidades soportantes muy elevadas, pues tienen un ángulo de fricción interna alto, y este es el parámetro que determina en los mismos el fallo a cortante.

Debido a lo abordado anteriormente se plantea el siguiente Problema Científico de la Investigación: El país se encuentra en proceso de aprobación de la Norma Actual de Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales por Estados Limites, con la inclusión de un sistema de coeficientes actualizado y otros aspectos para el cálculo de asentamiento anteriormente no contenidos en la misma, que permiten el aprovechamiento de las potencialidades tenso deformacionales reales de las arenas e implicando ambos efectos de diseño más racionales. Para todo lo cual resulta necesario un amplio proceso de validación de la misma que sirva de sustento a los fundamentos teóricos planteados en la misma.

Luego de valorar estos elementos, se decide realizar este trabajo partiendo de la siguiente Hipótesis: Se comprueba que los procedimientos de cálculo, y la metodología de diseño establecida en la norma para el diseño geotécnico de las cimentaciones superficiales en suelos friccionales, permiten la obtención de diseños más racionales y seguros.

Proponiéndose como Objetivo General del Trabajo: Validar la metodología de diseño geotécnico para las cimentaciones superficiales en arenas, y suelos en general, propuesta en la Norma de Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales, en fase de aprobación y publicación.

**Caracterización de los suelos predominantemente friccionales**

Los suelos friccionales son aquellos que cuyos granos no están juntos firmemente, de modo que el suelo se desintegra en granos individuales al sumergirse en el agua. La propiedad índice más obvia de los suelos granulares estará relacionada al tamaño de los granos. Es generalmente cierto que los suelos de grano grueso son más permeables y menos compresibles que los suelos de grano fino, y los suelos “bien graduados” tienden a ser menos permeables, menos compresibles y más resistentes que los suelos “pobremente graduados”.

Los suelos friccionales, se caracterizan por ser altamente permeables, lo cual provoca que los tiempos de drenajes sean muy cortos, y por tanto las deformaciones que se producen en los mismos, generalmente van a ocurrir mucho más rápido que en las arcillas, [Maugeri (1995)]. Por esta razón la mayoría de los problemas que se presentan en ellos se solucionan a través de cálculos drenados usando el ángulo de fricción.

En las arenas, la resistencia a cortante del suelo se encuentra definida por el ángulo de fricción interna (φ); y este, se considera en estos suelos como una propiedad que depende directamente de la densidad relativa (Dr) del suelo [J. Salas (1981)], el cual puede ser evaluado, generalmente, utilizando correlaciones empíricas entre Ensayos de Penetración Dinámica (SPT) y/o Estático con los ensayos de corte directo o triaxiales, que se realizan en el laboratorio con muestras remoldeadas, con una densidad estimada igual a la “in situ”.

En los suelos fricciónales la capacidad de carga de los mismos tiende a ser elevada, ya que la misma se encuentra definida por la superficie de falla a cortante del suelo que dependerá directamente del ángulo de fricción interna (ϕ) que para estos suelos es elevado, sin embargo el comportamiento lineal de los mismos es relativamente bajo, por lo que las deformaciones que pueden ser consideradas como elásticas o lineales, son muy pequeñas y limitan en muchas ocasiones el aprovechamiento de la capacidad resistente de estos suelos, lo que provoca que la mayoría de los diseños sean por el criterio de deformación, siempre que los estados tensiónales actuantes en el 1er y 2do Estado Limite no tengan predominio de la excentricidad, cosa que no ocurre en los suelos cohesivos. Por estos motivos es de gran importancia el determinar los valores reales de deformación en una cimentación, y en el caso de los suelos fricciónales se hace necesario buscar métodos de cálculo de asentamientos más abarcadores, que no limiten al suelo a un comportamiento lineal, y que permita la utilización al máximo de las propiedades físico – mecánicas de los mismos.

Los métodos de cálculo de deformaciones no lineales, en la actualidad son poco conocidos y empleados en Cuba, pero a nivel internacional sí existe ya una experiencia acumulada de años, que servirá de base en este trabajo y permitirá realizar un estudio sobre dichos métodos y su aplicación a las condiciones y propiedades de los suelos cubanos, específicamente la cayería norte de Ciego de Ávila.

**2. Metodología**

Atendiendo a las particularidades de los procesos geológicos que dan lugar a la formación de los sedimentos marinos mayormente carbonatados existentes en el sub – archipiélago Sabana – Camagüey, resultante de la ejecución de la investigación ingeniero geológicas llevada a cabo en la parcela constructiva situada en Cayo Coco, se reconoce la existencia de distintos tipos de suelos arenosos (según los criterios establecidos en el SUCS) que se diferencian relativamente poco entre sí, en función esencialmente del % de finos que estos contiene (en su totalidad limos), del comportamiento de su coeficiente de curvatura y uniformidad (que determinan el grado de graduación granulométrica) y además del contenido de partículas de gravas que estos poseen.

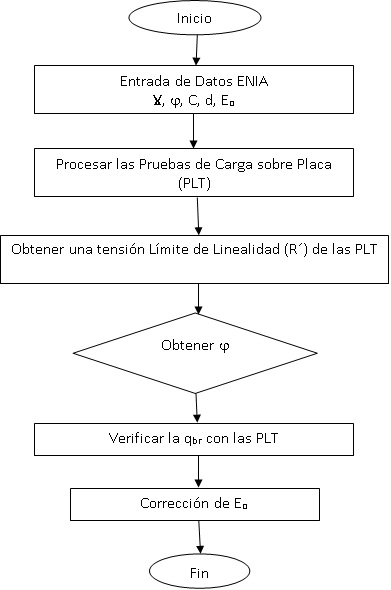


Fig. 1. Diagrama de Bloque para la obtención de las características físico – mecánica del suelo en estudio.

Para el proceso de caracterización de los suelos, a partir de las pruebas de carga con placa realizadas se siguió un proceso analítico – ingenieril, que permitió completar la caracterización físico – mecánica de estos suelos. Proceso que se fundamenta a partir de la entrada de datos obtenidos de los informes ingeniero – geológicos de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA) de Ciego de Ávila, el procesamiento de las pruebas de carga con placa para obtener la tensión límite de linealidad y determinar las características de los suelos, verificando la carga bruta de trabajo con la obtenida a partir de las pruebas de carga con placa realizadas ¨in situ¨ y corregir los módulos de deformación general del suelo. Este proceso se realizó a través del programa computacional MathCAD 14.0, donde se programó la metodología de diseño por estados límite siguiendo el diagrama de bloque para la obtención de las características físico – mecánica de los suelos en estudio que se observa en la figura 1.

**Hotel Coralia Club, Cayo Coco**

Cayo Coco se encuentra situado aproximadamente entre los 22 o 15’ y los 22 o 33’ de latitud Norte y 78 o 39’ de longitud Oeste, pertenece al sub – archipiélago Sabana – Camagüey, es el segundo cayo de mayor extensión en este sub – archipiélago, se extiende en toda la parte Norte y centro – septentrional de la Isla de Cuba, con una dirección sub – latitudinal, paralela a la Isla grande y a una distancia aproximada de 27 km de la misma, su extensión aproximada es de 370 Km2 y limita al Norte con el canal viejo de las Bahamas, al Este con el canal de Paredón Grande, al Sur con la Bahía de los Perros y al Oeste con el canalizo de Baleza Nueva.

La zona de estudio se encuentra situada al noreste de Laguna Las Coloradas, en la parte más septentrional de Cayo Coco, esta parcela limita al este con el Hotel “Meliá Cayo Coco”.

Condiciones Ingeniero Geológicas: El análisis integral de los resultados de las perforaciones, los ensayos de laboratorio, la interpretación geológica y las pruebas de carga con placa permitieron confeccionar el perfil Ing. geológicos que cubre la obra y se describe a continuación:

Estrato 1: Relleno compactado de color blanco crema, conformado por un material carbonatado de composición areno – limosa con abundantes gravas y fragmentos de roca. Aparece en la mayoría de las calas, su espesor varía entre 0.80 y 1.50m. Los valores medios del comportamiento granulométrico son; un contenido de grava 68.2 %, arenas 58.7 % y finos 39.2 %, los ensayos de plasticidad no procedieron y tiene un peso específico de 2.73. La clasificación de este material según la AASHO (ASTM 3282-88) es de un A–1. El comportamiento mecánico quedó definido por la realización de los ensayos individuales de proctor estándar presentando una humedad óptima de 17.15 %, una densidad seca máxima 17.81 kN/m3 y una densidad húmeda de 19.17 kN/m3. Este material posee una cohesión (C) de 5 kPa, un ángulo de fricción interna (Ф) de 45o y un módulo de deformación (Eo) de 84 508 kPa.

Estrato 2: Arena mal graduada con limo (SP – SM) de color blanco crema, generalmente de grano fino a medio, con intercalaciones de arena gruesa. Aparece en todas las calas, siempre bajo el relleno. Éstas arenas presentan compacidad variable, comportándose de media a alta (NSPT de 10–30 golpes/30 cm) inmediatamente debajo de la base del relleno (techo de la capa de arena), con un espesor promedio de 2.31 m y entre profundidades de 1.50 a 3.80 m. Los valores medios de los diferentes parámetros físicos que caracterizan a esta capa según los ensayos de laboratorio efectuados son: contenido de gravas 1.2 %, arenas 81.5 %, finos 9.4 % (limo + arcilla+ coloides), el Límite Liquido (LL), Límite Plástico (LP) e Índice de Plasticidad (IP) no procedieron (NP), su humedad natural (w) 5.3 %, peso específico natural húmedo (γf) 15.50 kN/m3, peso específico natural seco (γd) 14.5 kN/m3 y peso específico relativo (Gs) 2.74. Este material posee una cohesión (C) de 10 kPa, un ángulo de fricción interna (Ф) de 35o y un módulo de deformación (Eo) de 20 728 kPa.

Estrato 3: Arena mal graduada con limo (SP – SM) de color blanco crema, generalmente de grano fino a medio, con intercalaciones de arena gruesa, turba y cieno. Aparece en todas las calas, siempre bajo la capa 2. Estas arenas presentan compacidad variable, comportándose de compacidad baja a muy baja (NSPT de 4–6 golpes/30 cm), a veces penetra con el peso del martillo y tiene espesores de 3.80 a 6.50 m. Los valores medios de los diferentes parámetros físicos que caracterizan a esta capa según los ensayos de laboratorio efectuados son: contenido de gravas 0.9 %, arenas 80.1 %, finos 9.2 % (limo + arcilla+ coloides), el Límite Liquido (LL), Límite Plástico (LP) e Índice de Plasticidad (IP) no procedieron (NP), su humedad natural (w) 5.1 %, peso específico natural húmedo (γf) 15.6 kN/m3, peso específico natural seco (γd) 14.54 kN/m3 y peso específico (Gs) 2.73. Este material posee una cohesión (C) de 9 kPa, un ángulo de fricción interna (Ф) de 25o y un módulo de deformación (Eo) de 10 000 kPa.

Estrato 4: Calcarenitas de color blanco crema. Constituye la base rocosa del corte litológico, encontrándose a profundidades entre 4.15 y 8.40 m, a partir del nivel actual de las terrazas existentes. Es bastante heterogénea en cuanto a su estado de alteración y cementación, apareciendo fundamentalmente poco cementada y muy alterada. Se recupera como escasos testigos con longitud máxima de 15.0 cm, fragmentos de diámetro variable, gravas de todo el rango y abundante arena pues se destruye con facilidad durante el proceso de perforación, este comportamiento es típico de rocas débiles que coincide con la clasificación de muy baja resistencia referida en la propuesta de Norma para el Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales, y para los valores de resistencia a la compresión determinados en laboratorio entre 2.04 y 4.39 MPa.

En la zona de estudio el nivel freático se encontró a profundidades que varía entre 0.55 m – 2.95 m por debajo del relleno técnico, teniendo en cuenta una variación de ±30 cm, aproximadamente, en correspondencia con las oscilaciones normales de la marea y su vinculación directa con las aguas subterráneas, dada la cercanía del mar y de la laguna.

**Método de Diseño**

El método de los Estados Límites también es conocido como el Método de los Coeficientes Parciales [Orr (1999)], pues su [filosofía](http://www.monografias.com/trabajos910/en-torno-filosofia/en-torno-filosofia.shtml) se basa en la introducción de la seguridad no a través de un coeficiente global, como en el MFSG, sino con la utilización de varios coeficientes parciales, unos aplicados a las cargas actuantes, otros aplicados a las propiedades resistentes de los materiales y en algunos casos un tercer coeficiente que toma en cuenta aspectos que no pueden ser evaluados matemáticamente como la importancia de la obra y las condiciones de trabajo. Este método define que una estructura o una parte de ella se han vuelto impropia para el cumplimiento de la función para la que fue proyectada, cuando alcanza un estado en el cual se viola algunos de los criterios que rigen su correcto comportamiento.

En este método se establecen dos condiciones límites de diseño:

1er Estado Límite o Estado Límite Último: definido como el estado donde se garantiza el no fallo parcial o total de la estructura. En este estado se diseña para lograr la resistencia y estabilidad de la estructura, con los valores de cálculo. En el mismo se introducen coeficientes parciales de seguridad para las cargas y las propiedades de los suelos.

2do Estado Límite o Estado Límite de Servicio: en él se garantizan todas las condiciones que puedan afectar la funcionalidad de la estructura. Se chequean factores como las deformaciones totales y diferenciales, así como la fisuración de la misma para los valores reales de servicio.

El método de los estados límites aplicado al cálculo de la base de las cimentaciones se fundamenta en la obtención de un diseño donde existan definidos los límites permisibles para cuando la base de una cimentación está sometida a cargas y tensiones, así como a deformaciones y desplazamientos que en ella se originan, en el período constructivo, como durante su explotación y nunca sobrepasen ninguno de ellos.

Los métodos de cálculo de asentamiento basados en modelos no lineales se caracterizan por buscar valores de asentamientos menores a los limites reales permisibles sin llegar a la falla, permitiendo reducir el área de la base de la cimentación, al no estar condicionada por un comportamiento lineal y aprovechando en mayor medida las características tenso – deformacionales de las arenas.

En este método no lineal del suelo se propone tomar un comportamiento lineal de este hasta que se encuentre trabajando a la tensión límite de linealidad, y para esta tensión, calcular los asentamientos lineales que se producen en la base; considerando entonces que a partir de ese punto el suelo se va a comportar como un medio no lineal (como sucede en la realidad), donde los asentamientos se determinarán por la siguiente expresión:



Dónde: hm – profundidad media para la cual se considera se producirán los asentamientos determinados.

P – presión media real actuante en el suelo, para la cual se determinan los asentamientos No Lineales.

R´ – valor de la tensión límite de linealidad del suelo.

qbr – valor de la capacidad de carga del suelo.

q1, q2 – componentes de la tensión de confinamiento lateral del suelo, tensión mínima y tensión máxima respectivamente.

E – Módulo General de Deformación del suelo.

µ – coeficiente de Poisson del suelo.

La ecuación mostrada simula el comportamiento no lineal del suelo, a través de una ecuación que representa una trayectoria hiperbólica, partiendo del propio Módulo General de Deformación del Suelo (Eo), y teniendo en cuenta diferentes factores que influyen en el comportamiento del mismo.

Partiendo del Módulo General de Deformación (Eo) del suelo, se pueden calcular los asentamientos No Lineales, que se producen en una profundidad media de suelo (hm) para cualquier presión actuante (P) que se encuentre comprendida entre los límites establecidos por la tensión límite de linealidad (R´) y la capacidad de carga (qbr) del suelo. Además puede señalarse que en el cálculo de los asentamientos no lineales, se encuentran incluidos los asentamientos lineales que se producen en el suelo para el estado tensional actuante, y los cuales deben ser determinados por el método de Sumatoria de Capas, método sugerido en la propuesta de Norma de Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales.

En la actualidad, en nuestro país, la Propuesta de Norma de Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales, establece el método de Los Estados Límites como metodología de diseño para las cimentaciones superficiales; la misma, ha sido revisada y ajustada adecuadamente con la aplicación de la Teoría de Seguridad, para el diseño en suelos cohesivos [Quevedo (1994)] y para los suelos fricciónales [González – Cueto (1998)].

**Metodología para el Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales en Arenas**

A continuación se presenta la metodología de Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales en arenas por el Método de Estados Límite (MEL) que se sugiere en la Propuesta de Norma de Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales en fase de aprobación y publicación; basadas en el estado límite último y el estado límite de servicio, para un comportamiento lineal o no lineal del suelo, donde este último aprovecha en mayor grado las características tenso – deformacionales de este tipo de suelos.

1. Entrada de datos del perfil de suelo y cargas actuantes.
2. Diseño del área de la base por el 1er Estado Límite.
3. Diseño del área de la base por el 2do Estado Límite y comprobación de la Tensión Límite de Linealidad.
4. Comparar las áreas de la base y tomar la mayor de los dos criterios.
5. Si el área de la base resultante del 2do Estado Límite es mayor que la obtenida por el 1er Estado Límite, se calcula la deformación lineal para la base obtenida del 1er Estado Límite.

* Se calculan las deformaciones no lineales a partir de la tensión límite de linealidad para la base resultante del 1er Estado Límite.
* Se compara el asentamiento no lineal con el asentamiento límite establecido por la norma.
* Si esta condición es cierta el área de la base final es la obtenida del 1er Estado Límite.
* Si esta condición no se cumpliese, se aumenta el área de la base y se compara nuevamente con el área obtenida por el 2do Estado Límite y comienza el proceso reiterativo.

1. Si el área de la base resultante del 2do Estado Límite es menor que la obtenida del 1er Estado Límite, se calcula la deformación lineal para la base obtenida del 1er Estado Límite.

* Se compara el asentamiento lineal con el asentamiento límite establecido por la norma.
* Si esta condición es cierta el área de la base final es la obtenida del 1er Estado Límite.
* Si esta condición no se cumpliese, se aumenta el área de la base y se compara nuevamente con el área obtenida por el 2do Estado Límite y comienza el proceso reiterativo.

A continuación en la figura 2 se presenta en el organigrama de la metodología explicada que se debe seguir para lograr un correcto proceso de diseño del área de la base de una cimentación en arenas por el método de Estados Límite con un comportamiento lineal o no lineal del suelo que servirá de base de la cimentación.

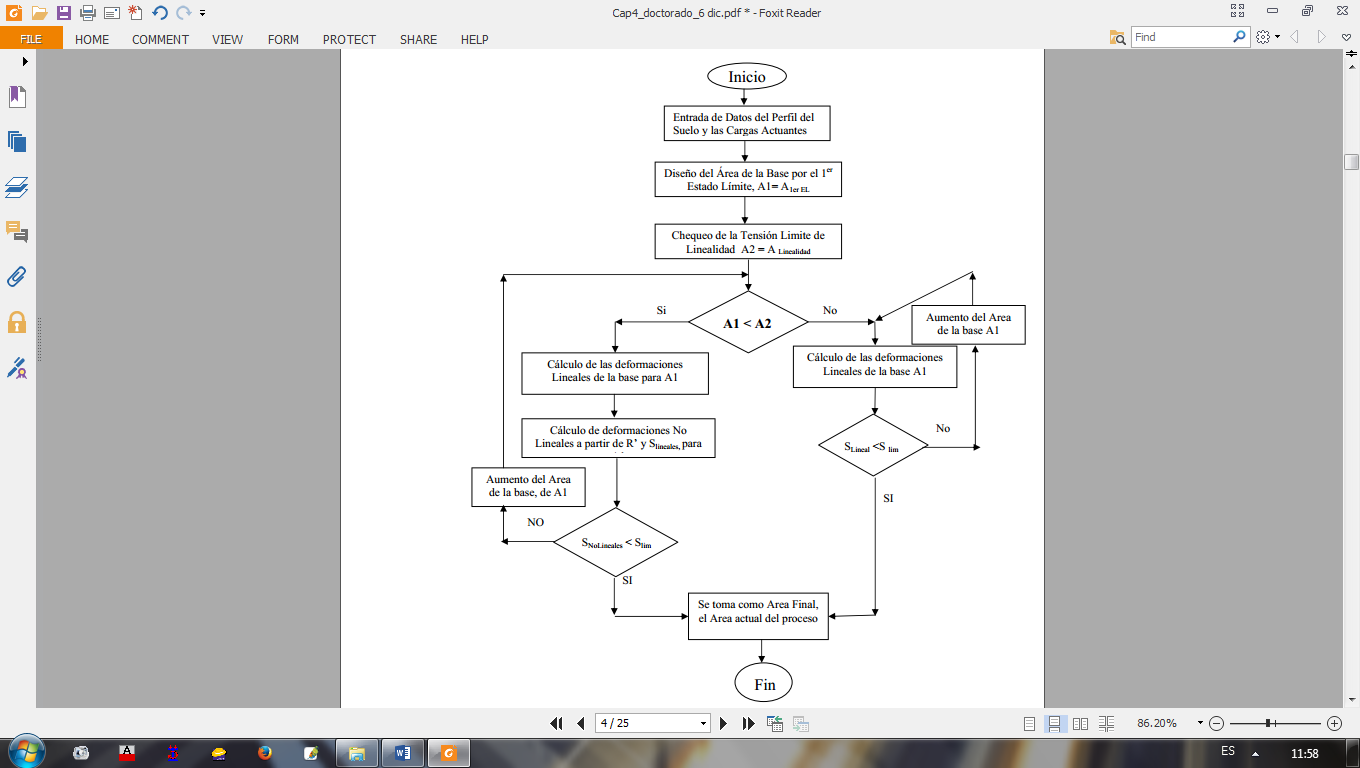


Fig. 2. Organigrama para el Diseño de Cimentaciones en arenas.

**3. Resultados y discusión**

En este epígrafe se realizará la aplicación de la metodología de Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales en Arenas (Fig. 2) para diferentes objetos de obra del Hotel “Coralia Club” en Cayo Coco. La aplicación de la metodología planteada se realizará analizando diferentes variantes que serán explicadas durante el desarrollo del tema. Además se expondrán las soluciones dadas por proyecto, las cuales serán comparadas con las variantes analizadas de la aplicación de la metodología para una validación de la misma.

Calcular los asentamientos absolutos en cada punto característico de la base de la cimentación por la expresión expuesta anteriormente.

**Hotel Coralia Club, Cayo Coco**

Para la aplicación de la metodología de Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales en Arenas planteada (fig. 2) se parte de los datos obtenidos de la Empresa de Proyectos de Ingeniería y Arquitectura # 11 (EPIA # 11) de Camagüey, la cual fue la encargada del proyecto técnico ejecutivo del hotel.

Los objetos de obra analizados se caracterizan por ser estructuras de una planta de esqueleto con columnas y vigas de hormigón armado, las luces de forma general son de 8.0 y 5.65 m con iguales intercolumnios, en el caso algunas zonas como el teatro de animación las luces serán de hasta 22.0 m.

Tabla 1. Cargas actuantes en el Edificio Principal Zona 2.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Tipo de Cimiento | Tipo de Carga | Cargas Actuantes | | |
| N (kN) | H (kN) | M (kN\*m) |
| C – 1 | Permanente | 45.369 | 6.905 | 0.338 |
| Viento | 2.051 | -0.517 | 5.496 |
| C – 2 | Permanente | 139.817 | 1.503 | 7.866 |
| Viento | 11.516 | 11.088 | 42.350 |
| C – 3 | Permanente | 186.771 | 0.579 | 2.048 |
| Viento | 27.854 | 13.951 | 48.347 |

Tabla 2. Cargas actuantes en el Edificio Principal Zona 3.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Tipo de Cimiento | Tipo de Carga | Cargas Actuantes | | |
| N (kN) | H (kN) | M (kN\*m) |
| C – 4 | Permanente | 60.443 | -0.274 | -2.387 |
| Temporal | 23.602 | -0.059 | -0.93 |
| Viento | 12.961 | 5.086 | 6.435 |
| C – 5 | Permanente | 111.284 | 0.017 | 0.084 |
| Temporal | 45.200 | 0.008 | 0.043 |
| Viento | 0 | 0.910 | 4.667 |
| C – 6 | Permanente | 178.456 | 0.005 | 0.028 |
| Temporal | 74.58 | 0.005 | 0.029 |
| Viento | 0 | 0.509 | 3.070 |
| C – 7 | Permanente | 221.58 | 0.005 | 0.035 |
| Temporal | 90.4 | 0.005 | 0.030 |
| Viento | 0 | 0.424 | 3.132 |

En las tablas 1 y 2 se realiza un análisis de las cargas pertenecientes a objetos de obra del Edificio Principal zona 2 y 3 respectivamente, agrupándose las cimentaciones en 7 tipos, atendiendo a las escalas de las cargas actuantes dadas por proyecto.

**Solución de cimentaciones propuesta por la EPIA # 11**

En correspondencia con las cargas analizadas se presentan las soluciones del diseño geotécnico dado por la empresa de proyecto EPIA #11 de Camagüey. En la tabla 3 se observan estas soluciones agrupadas por tipo de cimentaciones en correspondencia con los objetos de obra analizados y las cargas actuantes como fue explicado anteriormente.

Tabla 3. Soluciones del Diseño Geotécnico dado por Proyecto.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Tipo | Objeto Obra | Dimensiones  b = l (m) |
| C – 1 | Edificio Principal Zona 2 | 1.4 |
| C – 2 | Edificio Principal Zona 2 | 1.7 |
| C – 3 | Edificio Principal Zona 2 | 2.5 |
| C – 4 | Edificio Principal Zona 3 | 1.2 |
| C – 5 | Edificio Principal Zona 3 | 1.4 |
| C – 6 | Edificio Principal Zona 3 | 1.7 |
| C – 7 | Edificio Principal Zona 3 | 1.9 |

**Solución de cimentaciones mediante la aplicación de la Metodología de Diseño Geotécnico de Cimentaciones en Arenas**

A partir de las soluciones presentadas por la empresa de proyecto EPIA # 11 de Camagüey se realizara un análisis comparativo de estas con los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología de Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales en Arenas explicada con anterioridad. La cual será analizada a partir de diferentes variantes de diseño.

La primera variante analizada será el diseño geotécnico de las cimentaciones con el estrato arenoso como base de cimentación, considerando que el relleno técnico y la profundidad de cimentación serán de 80 cm y el nivel freático se encontró a una profundidad de 50 cm por debajo del nivel de cimentación, esta variante será analizadas para las cimentaciones correspondientes a los objetos de obra analizados del Edificio Principal zona 2 y 3 y el esquema de la estratigrafía correspondiente se observa en la figura 3.

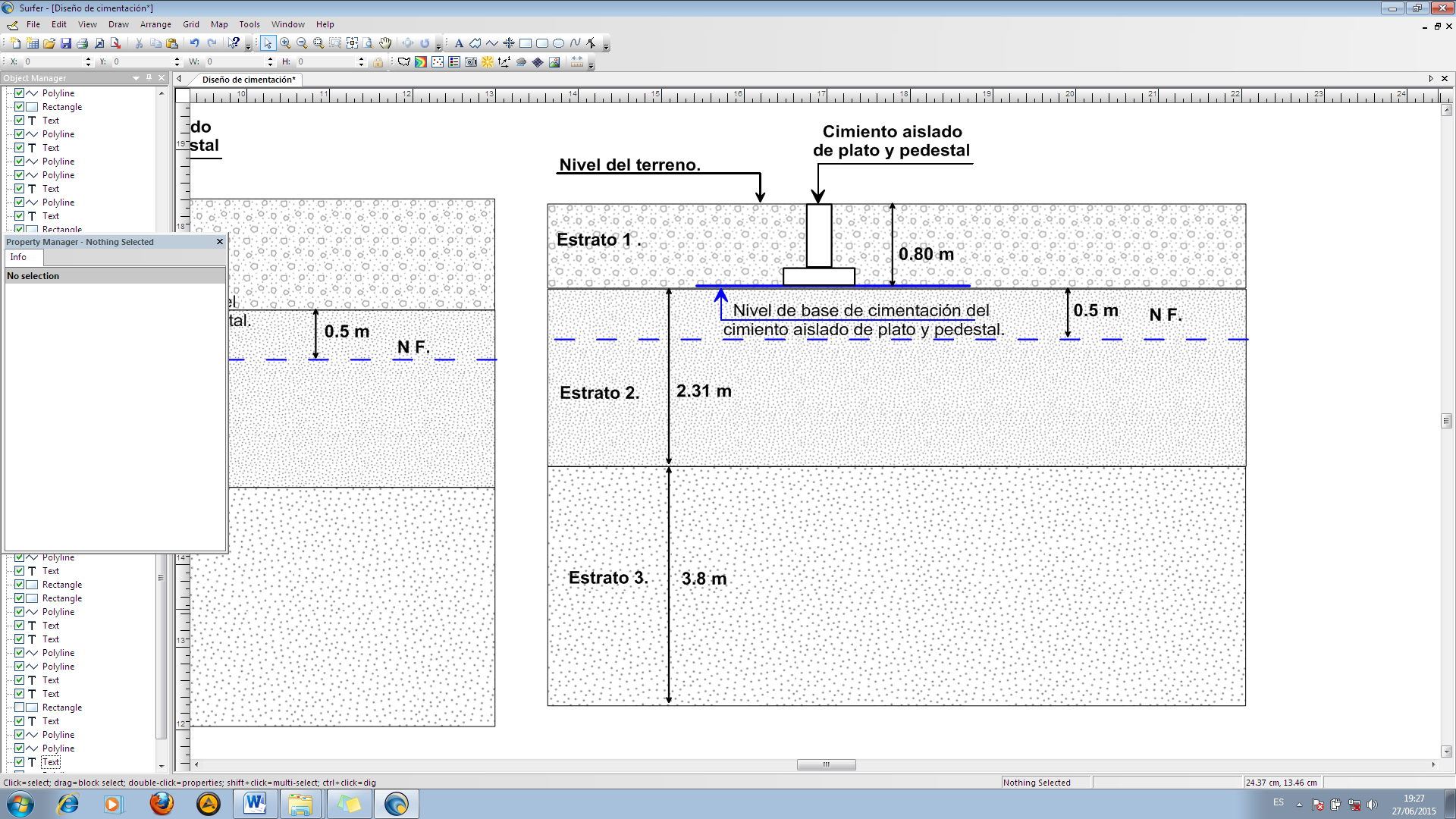


Fig. 3. Esquema de la estratigrafía considerada para la 1ra variante de Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales en Arenas.

La segunda variante considerada será el diseño geotécnico de las cimentaciones superficiales dentro del estrato arenoso, considerando la no existencia del relleno técnico, como se muestra en el esquema de análisis figura 4. Para esta variante la profundidad de cimentación será de 1 m y el nivel freático se encontró a 1.50 cm de profundidad. Esta variante será analizada para los objetos de obra considerados del Edificio Principal zona 2 y 3.

Y la tercera variante analizada será el diseño geotécnico de las cimentaciones superficiales considerando que el relleno técnico tendrá un espesor de 1 m, la profundidad de cimentación será de 80 cm y el nivel freático estará a 50 cm por debajo del relleno técnico, como se observa en el esquema de análisis en la figura 5. Esta variante se considerará para los objetos de obra analizados del Edificio Principal zona 2 y 3.

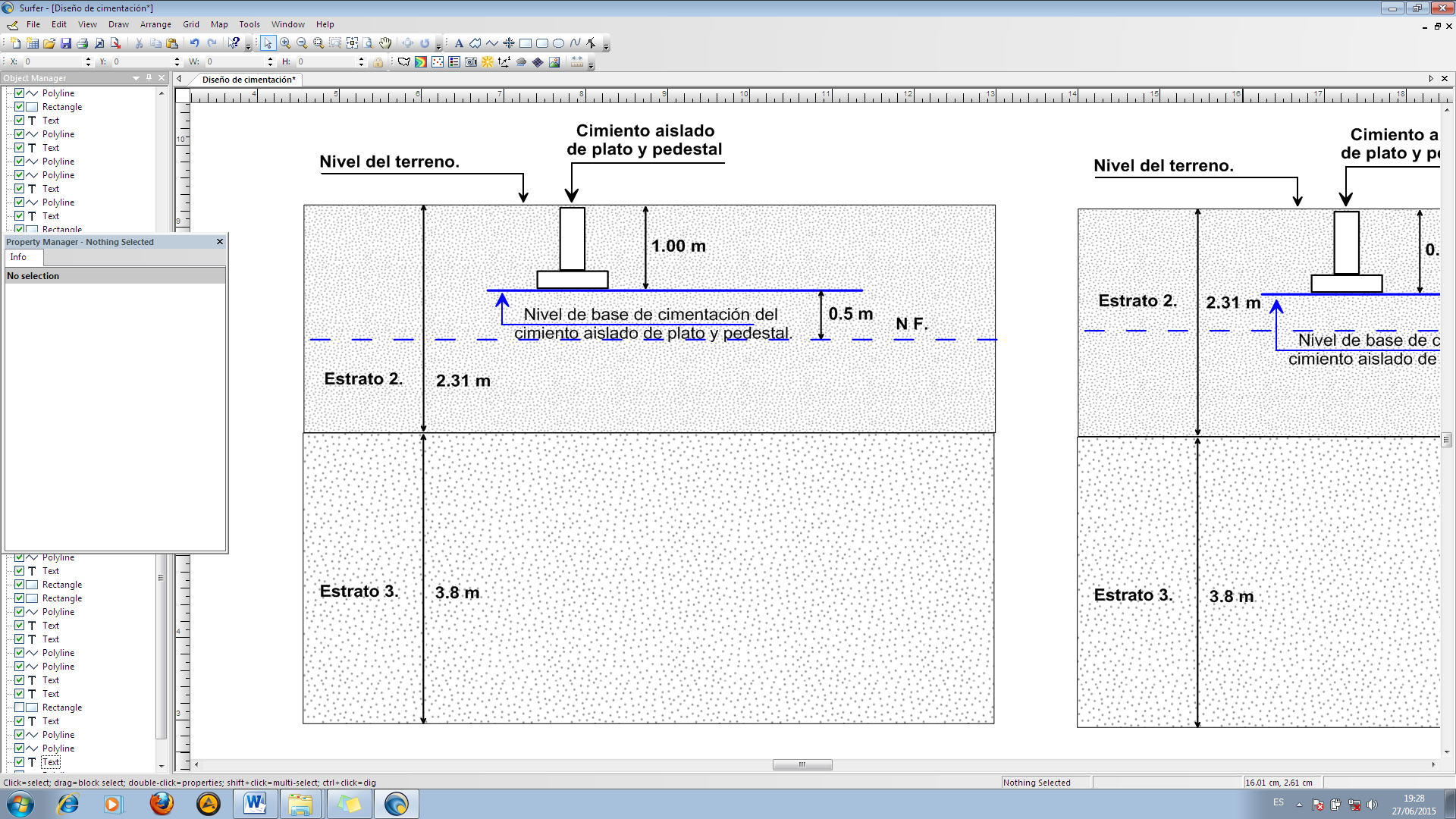


Fig. 4. Esquema de la estratigrafía considerada para la 2da variante de Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales en Arenas.

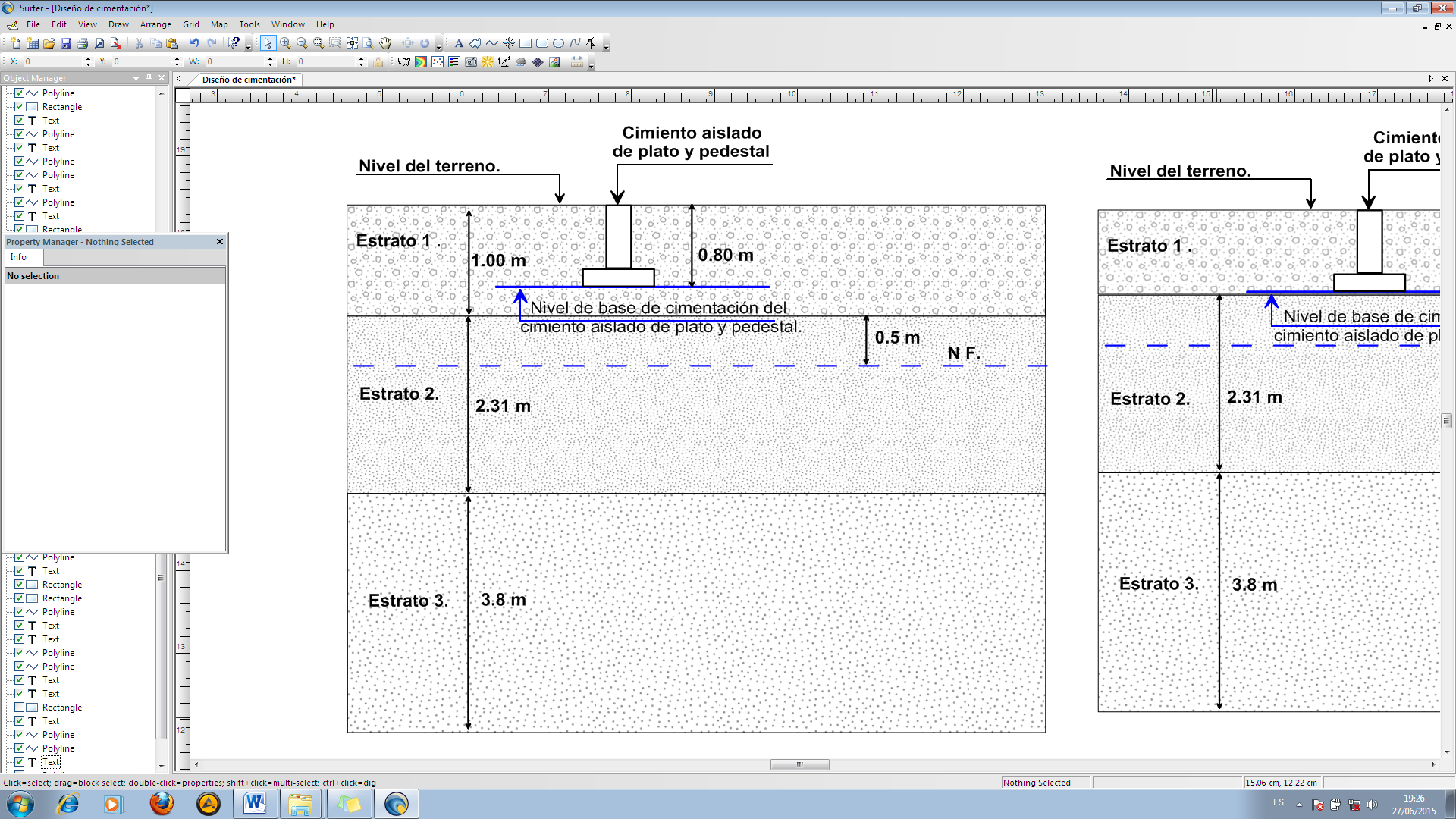


Fig. 5. Esquema de la estratigrafía considerada para la 3ra variante de Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales en Arenas.

En la tabla 4, 5 y 6 respectivamente se muestran las dimensiones resultantes de la aplicación del método de Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales por Estados Límite, el modelo de cálculo de los asentamientos predominante para cada variante y el asentamiento de cálculo para la cimentación de cada uno de los objetos de obra analizados.

Tabla 1.4. Soluciones de la Aplicación del Método de Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales, Variante 1.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Tipo de cimiento | Objeto de obra | Tipo de suelo | Dim. b = l (m) | | Dim.  b = l (m) final | Tipo de Asent. | Asent. (cm) |
| Est. | Def. |
| C – 1 | Edificio Principal Zona 2 | 2 | 0.70 | 0.70 | 0.70 | Lineal | 0.439 |
| C – 2 | 2 | 1.20 | 0.80 | 1.20 | Lineal | 0.497 |
| C – 3 | 2 | 1.10 | 0.85 | 1.10 | Lineal | 0.677 |
| C – 4 | Edificio Principal Zona 3 | 2 | 0.55 | 0.5 | 0.55 | Lineal | 0.351 |
| C – 5 | 2 | 0.55 | 0.75 | 0.55 | No Lineal | 1.226 |
| C – 6 | 2 | 0.65 | 0.90 | 0.65 | No Lineal | 1.676 |
| C – 7 | 2 | 0.7 | 1.0 | 0.70 | No Lineal | 1.937 |

Tabla 1.5. Soluciones de la Aplicación del Método de Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales, Variante 2.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Tipo de cimiento | Objeto de obra | Tipo de suelo | Dim. b = l (m) | | Dim. b = l (m) final | Tipo de Asent. | Asent. (cm) |
| Est. | Def. |
| C – 1 | Edificio Principal Zona 2 | 2 | 0.75 | 0.80 | 0.75 | No Lineal | 0.368 |
| C – 2 | 2 | 1.20 | 0.80 | 1.20 | Lineal | 0.570 |
| C – 3 | 2 | 1.10 | 0.85 | 1.10 | Lineal | 0.762 |
| C – 4 | Edificio Principal Zona 3 | 2 | 0.60 | 0.50 | 0.60 | Lineal | 0.364 |
| C – 5 | 2 | 0.55 | 0.75 | 0.55 | No Lineal | 1.163 |
| C – 6 | 2 | 0.65 | 0.90 | 0.65 | No Lineal | 1.643 |
| C – 7 | 2 | 0.70 | 1.00 | 0.70 | No Lineal | 1.938 |

Tabla 1.6. Soluciones de la Aplicación del Método de Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales, Variante 3.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Tipo de cimiento | Objeto de obra | Tipo de suelo | Dim. b = l (m) | | Dim. b = l (m) final | Tipo de Asent. | Asent. (cm) |
| Est. | Def. |
| C – 1 | Edificio Principal Zona 2 | 1 | 0.7 | 0.7 | 0.70 | Lineal | 0.276 |
| C – 2 | 1 | 1.1 | 0.65 | 1.10 | Lineal | 0.448 |
| C – 3 | 1 | 0.85 | 0.7 | 0.85 | Lineal | 0.725 |
| C – 4 | Edificio Principal Zona 3 | 1 | 0.5 | 0.5 | 0.50 | Lineal | 0.266 |
| C – 5 | 1 | 0.5 | 0.6 | 0.50 | No Lineal | 0.831 |
| C – 6 | 1 | 0.5 | 0.75 | 0.50 | No Lineal | 1.453 |
| C – 7 | 1 | 0.5 | 0.8 | 0.50 | No Lineal | 1.881 |

**Comparación de los resultados de la aplicación de la Metodología de Diseño Geotécnico de Cimentaciones en Arenas y las soluciones dadas por proyecto**

A partir del análisis y la comparación de cada una de las variantes analizadas con las soluciones dadas por proyecto se puede observar que:

Al comparar las variantes uno y dos se observa que las dimensiones del área de las cimentaciones cuando es considerado el diseño dentro del estrato arenoso sin tener en cuenta la presencia del relleno técnico, estas prácticamente no aumentan, lo que confirma que la aplicación del método de Estados Límite ofrece soluciones seguras con un menor costo y sin causar daños al medio ambiente con la realización de terrazas para cimentaciones.

Al comparar las variante uno y dos con la tres se puede observar que las dimensiones del área de las bases de cimentación no disminuyen en gran cantidad, por lo que no se lograrían grandes ahorros de material y construcción, pero la construcción de la terraza técnica si ocasiona daños al medio ambiente y significa grandes gastos en movimiento de tierra.

Al comparar las variantes de aplicación de la metodología planteada con las soluciones ofrecidas por proyecto, se observó que las dimensiones del área de la base de las cimentaciones se redujeron hasta casi un 50%, lo que implica que con la aplicación de la metodología por Estados Límite se logra un gran ahorro en los volúmenes de materiales y en los costos de construcción de las cimentaciones.

Con la aplicación de la metodología de Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales en Arenas se observó que para todas las variantes analizadas en el diseño, los asentamientos no sobrepasaban los 3 cm, por lo que cumple con el asentamiento máximo absoluto que para estructuras reticuladas de hormigón armado de varias plantas es de 8 cm.

**4. Conclusiones**

En esta investigación se ha abordado la metodología de Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales en Arenas sugerida en la propuesta de Norma de Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales en proceso de aprobación y publicación, realizándose una validación de la misma en una parcela constructiva perteneciente al Hotel Coralia Club de Cayo Coco. A lo largo del trabajo se han planteado conclusiones parciales con gran nivel de detalle, por lo que aquí se exponen los aspectos más generales y significativos de la realización de este trabajo.

* Debido a las posibilidades del disfrute del sol y playas en nuestro país, surgió la necesidad de construcciones de obras con fines turísticos, las cuales se realizan principalmente en zonas próximas a las franjas costeras, por lo que existe un predominio de la presencia de suelos predominantemente friccionales en los perfiles que se analizan, de ahí la importancia de la aplicación de la metodología de diseño geotécnico de cimentaciones superficiales tratada en la realización de este trabajo.
* Para un mejor aprovechamiento de las potencialidades de los suelos friccionales, es necesario valorar modelos de comportamiento tenso – deformacional no lineal. Modelos que resuelve la problemática de estos suelos, pues no los limita a un estado tensional inferior a sus posibilidades reales.
* La aplicación de modelos no lineales para determinar los asentamientos de los suelos predominantemente friccionales brinda resultados confiables que se encuentran verificados y respaldados por resultados obtenidos de ensayos de Carga con Placa realizados en diferentes zonas del país.
* Con la aplicación de la metodología sugerida en la propuesta de Norma de Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales en fase de aprobación y publicación se obtuvieron soluciones de diseño geotécnico para diferentes variantes de diseño de cimentaciones superficiales con un enfoque más integral, permitiendo el cálculo de los asentamientos a partir de modelos no lineales para el comportamiento de los suelo predominantemente friccionales.
* La aplicación del Método de Estados Límite para el diseño geotécnico de cimentaciones superficiales y el cálculo de los asentamientos en suelos predominantemente friccionales por modelos no lineales obtienen diseños seguros y con grandes ahorros económicos debido a la disminución del área de las bases de las cimentaciones.
* En las variante desarrolladas se observó que al analizar las soluciones considerando el relleno y sin considerar este, las dimensiones del área de la base no presentan grandes variaciones, pues en todos los casos el relleno no presentaba grandes espesores, por lo que el suelo que decidió el diseño fue el suelo predominantemente friccional, siendo este el estrato resistente en todos los casos estudiados.
* Con la aplicación de la metodología planteada se ha demostrado que se logran soluciones racionales y seguras, por lo que no es necesario la realización de terrazas técnicas para cimentación en las zonas de playa, lo que trae consigo que se lograría una disminución considerable en los costos de construcción, pues se ahorrarían costos de movimiento de tierra y los impactos que esto implica al medio ambiente.

**5. Referencias bibliográficas**

1. Alva Hurtado, J. E. Diseño de Cimentaciones. Instituto de la construcción y Gerencia. Fondo editorial ICG. PT – 35.
2. Braja, M. D. (1999). “Principios de Ingeniería de Cimentaciones”. México, Editorial Internacional Thompson Editores.
3. Braja, M. D. (2009) “Principios de Ingeniería de Cimentaciones”. Primera Parte, La Habana, Editorial Félix Varela.
4. Caso, K. (1998). “Diseño Geotécnico de Cimentaciones por Estados Límites”; MsC Ing. Ana Virginia González – Cueto; Dr. Ing. Gilberto Quevedo Sotolongo, tutor. –TD; UCLV. (Const), 120 pág.
5. Duncan, J.M. y Chang, C.Y. (1970) “Nonlinear analysis of stress and strain in soils”, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol.96, No.5, 1629-1653.
6. Fernández, O. (1994). Evaluación de las características geotécnicas de las arenas mediante ensayos “in situ” y su utilización en el diseño de las cimentaciones / Osvaldo Fernández, Miguel A. Maestre. – IFI; ENIA Nacional.
7. González – Cueto, A. V. (1997). “Diseño de cimentaciones superficiales en arenas. Aplicación de la Teoría de Seguridad.” Dr. Ing. Gilberto Quevedo Sotolongo, tutor--TM; UCLV--(Const). 70 pág.
8. González – Cueto, A. V., Quevedo, G. (2000). “Análisis de la seguridad en el diseño de cimentaciones en arenas. Criterio de estabilidad.” Rev. Ingeniería Civil, CEDEX, España, No. 119.
9. González - Cueto, A. V. (2001) “Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales en Arenas”. TD, Santa Clara, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Construcciones, UCLV. Cuba.
10. Hotel H 4 – H 5. Informe Ingeniero Geológico. Proyecto Ejecutivo. Ing. E. D. R. Saud.
11. Jiménez Salas, J.A. y Justo, A. (1981) “Geotecnia y cimientos I: Propiedades de los suelos y las rocas”. 2da Edición, Madrid, Editorial Rueda.
12. Jiménez Salas, J. A. y colectivo de autores (1981), “Geotecnia y cimientos III: Cimentaciones, excavaciones y aplicaciones de la Geotecnia”; 2da Edición. Madrid: Editorial Rueda, \_\_\_\_\_ pág. Primera Parte.
13. Juárez Badillo, E.; Rico Rodríguez, A. (1970) “Mecánica de Suelos: Teoría y Aplicaciones de la Mecánica de Suelos”. Tomo II, Edición Revolucionaria, Instituto del Libro – La Habana.
14. Malishev, M. V; Nikitina, N.S. (1982) “Cálculo de asentamientos de cimentaciones para condiciones no lineales entre las tensiones y las deformaciones del suelo”. Revista Trabajos N.I. Bases y Construcciones Subterráneas. (Moscú) N (2): 21 -25.
15. NC Propuesta XX: 2007. (Enero del 2007) Geotecnia. “Norma para el Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales”. Oficina Nacional de Normalización. Ciudad de la Habana, Cuba.
16. Quevedo Sotolongo, G. y colectivo (2002) “Propuesta de Norma Cubana para el Diseño Geotécnico de Cimentaciones superficiales” UCLV (Const.); 78 pág.
17. Quevedo Sotolongo, G. (1994). “Diseño de cimentaciones superficiales: Manual del proyectista.” UCLV. (Const). 56 pág.
18. Quevedo Sotolongo, G. (1989). “Determinación del área de la base de cimentaciones superficiales: Método de cálculo”. UCLV (Const.); 87 pág.
19. Quevedo Sotolongo, G. (2014). Conferencias de Cimentaciones y Obras de Contención. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.
20. Sowers, G.B.; Sowers, G.F (1979). “Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimentaciones”. – Segunda Reimpresión -- Ciudad de La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 677 pág.