**SIMPOSIO INTERNACIONAL DE CONSTRUCCIONES**

**Diseño geotécnico de cimentaciones superficiales en bases no homogéneas con presencia de estratos débiles.**

***Geotechnical design of shallow foundations in non-homogeneous bases with the presence of weak strata.***

**Dra. Ana Virginia Gonz1, Dr. Cs. Gilberto Quevedo Sotolongo2**

**Ing. Daidé López Valdivia3**

1. Universidad Central ¨Marta Abreu¨ de Las Villas. ana@uclv.edu.cu

2. Universidad Central ¨Marta Abreu¨ de Las Villas. quevedo@uclv.edu.cu

3. Empresa de Proyecto, Habana.

**RESUMEN**

Debido al avance existente en la rama de la construcción en Cuba y al desarrollo progresivo del turismo en el país actualmente, se comenzaron a realizar construcciones con fines turísticos, principalmente en zonas de costa, las que se caracterizan por la presencia de suelos predominantemente friccionales. Estos suelos pueden estar compuestos por varios estratos con diferentes propiedades, entre ellas por estratos débiles, de donde surge la problemática de cómo influirá la presencia de un estrato débil en el diseño geotécnico de cimentaciones superficiales, tanto aisladas como corridas.

Se realizan varios análisis para diferentes casos de estudio a partir de la hoja de cálculo MathCAD 14.0, teniendo como estratos débiles la turba o el cieno, para ver el comportamiento del suelo por capacidad de carga y por deformación en suelos no homogéneos. Además, se plantean casos de estudio donde existe un estrato de roca que limita la potencia activa, que permiten observar los cambios deformacionales del suelo.

***ABSTRACT***

Due to the progress made in the construction branch in Cuba and the progressive development of tourism in the country at present, construction was begun for tourism purposes, mainly in coastal areas, which are characterized by the presence of predominantly frictional soils. These soils may be composed of several strata with different properties, including weak strata, from which the problem of how the presence of a weak stratum will influence the geotechnical design of surface foundations, both isolated and run. Several analyzes are carried out for different study cases from the MathCAD 14.0 spreadsheet, with peat or silt as weak strata, to see the behavior of the soil by loading capacity and deformation in inhomogeneous soils. In addition, case studies are presented where there is a stratum of rock that limits the active power, which allows to observe the deformational changes of the soil.

**Clave:** Cimentaciones superficiales; Suelos No homogéneos; Estados Límites; Diseño geotécnico.

***Keywords:*** *Shallow foundation; Non homogenous soil; Limit State; geotechnical design;*

**Introducción**

Debido al desarrollo progresivo del turismo en el país, se comenzaron a construir edificaciones con fines turísticos, principalmente en zonas de playas, donde predominan los suelos arenosos, o sea, suelos predominantemente friccionales. Dichos suelos pueden ser no homogéneos, lo cual significa que estarán compuestos por varios estratos con diferentes propiedades. Se pueden apreciar dos casos: que el estrato superior sea más débil que el inferior y que el estrato superior sea más fuerte que el inferior, razón por la cual se ha hecho de vital importancia el estudio e investigación más exhaustivo del diseño de este tipo de suelo, con el propósito de obtener resultados más racionales que permitan al proyectista estar del lado de la seguridad.

***Problema Científico de la Investigación***:

¿Cómo influirá, la presencia de un estrato de suelo débil en la base de cimentación, en el diseño geotécnico del área de la base de una cimentación superficial?

***Objeto de investigación***: Cimentaciones en suelos no homogéneos.

Teniendo en cuenta estos elementos, se decide realizar este trabajo partiendo de la siguiente ***Hipótesis***:

El estudio por expresiones de cálculo analíticas de la capacidad de carga de bases no homogéneas, con estratos débiles intermedios, permitirá realizar una estimación de la influencia de estas capas en los valores de capacidad de carga y deformaciones en la base, para el diseño de las cimentaciones superficiales.

Proponiéndose como ***Objetivo General*** del Trabajo:

Diseñar cimentaciones superficiales aisladas y corridas con bases de cimentaciones no homogéneas, presencia de suelos débiles, en suelos predominantemente friccionales.

***Objetivos específicos***:

- Valorar la influencia de la presencia de estratos más débiles en la capacidad de carga de bases de cimentaciones no homogéneas y en las deformaciones correspondientes.

- Dar solución al diseño de cimentaciones superficiales en bases no homogéneas, con la presencia de rocas limitando la potencia del suelo de la base de cimentación.

- Diseñar cimentaciones aplicando las normativas propuestas para el diseño geotécnico de cimentaciones superficiales, en casos de estudio reales.

El caso de los suelos no homogéneos, con estratos débiles, se está presentando con mucha frecuencia actualmente en el diseño de las cimentaciones de las estructuras en zonas de costa, donde se desarrollan los polos turísticos y es de vital importancia dar solución a esta problemática para llegar a obtener soluciones seguras y racionales.

1. **Metodología**

Para la realización de este trabajo se tomaron como punto de partida los siguientes aspectos:

 Determinación de la capacidad portante última para medios estratificados, donde a una profundidad de 1,5 B’ existan dos estratos de suelos diferentes, la propuesta de norma cubana presenta tres posibles casos, donde el primer estrato sea más débil que el segundo, los dos estratos tengan capacidades resistentes similares y el segundo estrato sea más débil que el primero.

 El trabajo se centrará en el trabajo con la Norma de Diseño Geotécnico Cubana.

 Existen varios tipos de suelos, que, debido a su poca capacidad de carga, alto contenido de humedad y falta de drenaje, no son recomendables para llevar a cabo ningún tipo de cimentaciones tales como: la turba, el cieno, los limos y las arcillas húmedas. La presencia de ellos en bases de cimentaciones implica un análisis más complejo del problema real al realizar la modelación ingenieril del mismo.

 En el cálculo de las deformaciones, la presencia de un estrato muy débil debajo de uno más resistente, dentro de una profundidad menor que la potencia activa, sí tiene una influencia significativa.

 Cuando hay presencia de estratos débiles bajo suelos más resistentes, que comprometen la respuesta de la base de cimentación en cuanto a resistencia y deformación, se pueden valorar las siguientes opciones para el diseño:

o El espesor del estrato débil es pequeño y a una distancia relativamente cercana a la superficie, excavar el mismo y diseñar las cimentaciones en el suelo de relleno.

o El estrato débil tiene un espesor de importancia, pero está a una profundidad que permite la construcción de cimentaciones superficiales, sin que el estado tenso deformacional que se produce en dicha capa de suelo tenga un significado importante en las deformaciones de la base de la cimentación.

o El estrato débil tiene un espesor considerable, e influye de manera determinante en el diseño de la base de cimentación, se puede proceder al uso de métodos de precarga para mejorar y estabilizar las propiedades del suelo.

o Si el estrato débil es de gran potencia e irremediablemente no extraíble, ni mejorable por métodos de precarga, entonces ya hay que ir a soluciones de cimentaciones que no son las cimentaciones superficiales.

 La presencia de un estrato de rocas, o con características tenso deformacionales similares a estas, influyen en los valores de deformaciones finales si está presente dentro de la profundidad de la potencia activa del cimiento.

1. **Resultados y Discusión**

Para dar cumplimiento al objetivo central de este trabajo se analizarán varios posibles casos que pueden presentarse en el diseño de una cimentación en suelos no homogéneos. Se evaluará como invariante principal dos estratos por debajo del nivel de cimentación, considerando siempre la presencia de uno de los estratos clasificado como débil (turba o cieno). También se estudiará el caso de presencia de Roca o estrato muy resistente limitando la potencia activa.

**La variante de estudio** , será donde el **estrato de arena esté sobre un estrato de turba** **o cieno con presencia de roca que limite la potencia activa.**

 Arena φ1  γ 1

h1

h2

N’

C2 φ2  γ

Estrato muy débil, para Eo ≤ 5000 kPa

H

M

**ROCA**

df

**Figura 1.- Estrato de arena sobre un estrato muy débil (turba o cieno) limitado por un tercer estrato de roca.**

En este caso se mantendrán las propiedades físico-mecánicas de los suelos que se están estudiando con la única diferencia de que se analizarán cuando existe un estrato de roca que puede limitar o no la profundidad de trabajo del suelo.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Variante 2 | Estrato | C(kPa) | Φ0 | γ(kN/m3) | E(kPa) |
| **Caso 1** | **Arena suelta** | 0 | 26 | 17.6 | 18000 |
| **Turba** | 25 | 5 | 15.6 | 1500 |
| ROCA |
|  **Caso 2** | **Arena media** | 0 | 32 | 17.6 | 22000 |
| **Turba** | 25 | 5 | 15.6 | 1500 |
| ROCA |
| **Caso 3** | **Arena firme** | 0 | 36 | 17.6 | 28000 |
| **Turba** | 25 | 5 | 15.6 | 1500 |
| ROCA |
| **Caso 4** | **Arena suelta** | 0 | 26 | 17.6 | 18000 |
| **Cieno** | 5 | 25 | 15.8 | 2000 |
| ROCA |
| **Caso 5** | **Arena media** | 0 | 32 | 17.6 | 22000 |
| **Cieno** | 5 | 25 | 15.8 | 2000 |
| ROCA |
| **Caso 6** | **Arena firme** | 0 | 36 | 17.6 | 28000 |
| **Cieno** | 5 | 25 | 15.8 | 2000 |
| ROCA |

**Tabla 1.- Propiedades físico – mecánicas de los suelos que se proponen como casos de estudio: estrato de arena sobre un estrato muy débil (turba o cieno) limitado por un tercer estrato de roca.**

A partir de este diseño teórico, y las bases de cálculo que se establecen en la NC 1321 se procedió al diseño de las cimentaciones, para lo cual se proponen las características geométricas y generales que se muestran, así como las combinaciones de cargas para cada caso.

* Rectangularidad de Diseño, rect = 1 (para cimientos aislados)
* Profundidad de cimentación, df = 1.6 m
* Profundidad en el estrato resistente, D =0 m
* Sobrecarga circundante, qsc = 0
* Condiciones de trabajo Normal, Tipo de Fallo Grave – γs = 1.2
* Datos del suelo - tomados de tablas.
* Relación L/H, ≤ 1.5
* No se considerará presencia de Nivel Freático
* Coeficiente de Poisson de 0.33

**Análisis de los resultados de los métodos aplicados**

Para solucionar los casos de estudio con presencia de estratos débiles y estratos rocos dentro de la potencia activa de la base de cimentación, se implementaron nuevas funciones a la hoja de cálculo. Una función que permite tener en cuenta la presencia de suelos con Eo ≤ 5000 kPa, que implica que la condición de cálculo de la potencia activa para estos casos está regida por la expresión σzp ≤ 0.1σzg como lo establece la norma. Y una función que permite la limitación de la potencia activa al aparecer un estrato de roca dentro de esta.

En la figura 2 se muestra como se implementaron y se accede a estas nuevas opciones de la hoja de cálculo.



 **Figura 2. Opción implementada en la hoja de cálculo para el caso de presencia de estrato de roca.**

**Diseño por el 1er Estado Límite.**

Realizado el diseño por el 1er Estado Límite, se puede observar: Cuando hay presencia de ***TURBA*** que a medida que aumenta la resistencia del primer estrato, la capacidad de carga de la base de cimentación aumenta proporcionalmente, lo que trae consigo la disminución de las áreas de la base para una misma relación h1/B, pero a su vez aumenta la influencia del estrato débil en el diseño por capacidad de carga. Para un estrato de Arena Suelta/Turba la influencia del estrato débil se vuelve determinante en la capacidad de carga del suelo a partir de un intervalo de (B – 0.5B), mientras para el caso de Arena Media/Turba, esto sucede a partir de 1.5B. Para el caso de Arena Firme/Turba, en todas las relaciones h1/B, la capacidad de carga está condicionada por el estrato débil, la turba, lo cual implicará que las deformaciones que se producirán estarán por encima de las admisibles.

En el caso de tener el ***CIENO*** como estrato débil, este no determina en ningún caso el diseño por capacidad de carga, debido a que las propiedades mecánicas de estos suelos, principalmente el ángulo de fricción interna, tienen valores aceptables desde el punto de vista resistente, por lo que en este caso de estudio el estrato débil no determina por capacidad de carga. Como se verá más adelante en este caso de estudio, la deformación es la que decide.

**Análisis comparativo Turba – Cieno, en el 1er Estado Límite.**

Cuando se comparan los resultados obtenidos cuando hay presencia de turba a cuando hay presencia de cieno, como estrato débil, puede determinarse, que, en el diseño por capacidad de carga, el segundo estrato débil, en el caso del cieno, no influye prácticamente en ninguna de las relacione h1/B estudiadas, en las dimensiones del área de la base por este criterio de diseño, debido a las propiedades resistentes medianamente elevadas de los cienos. Mientras que la turba no se comporta así, debido a sus bajas propiedades resistentes a cortante, determinando este estrato de turba en gran porciento de las relaciones h1/B estudiadas, las dimensiones por capacidad de carga.

Este análisis se puede ver claramente a través de los gráficos 2.1 y 2.2, que se muestran a continuación.

**Gráfico 1 Análisis de la relación h1/B, en las dimensiones de la base por capacidad de carga, en presencia de Turba.**

**Gráfico 2 Análisis de la relación h1/B, en las dimensiones de la base por capacidad de carga, en presencia de Cieno.**

**Diseño por el 2do Estado Límite.**

Partiendo de las dimensiones del área de la base obtenidas del 1er Estado Límite, se procedió a comprobar primeramente el comportamiento lineal del suelo, calculándose posteriormente los asentamientos según el criterio de diseño que predominó. Tablas 2.7 y 2.8.

|  |
| --- |
| TURBA |
| Caso 1 : Arena suelta y turba con presencia de roca |
| Relación | h1=2B | h1=1.5B | h1=B | h1=0.5B |
| b=l (m) 1er EL | **2.6** | **2.6** | **2.6** | **3.5** |
| b=l (m) Linealidad | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 |
| Asentamiento | Lineal | Lineal | Lineal | Lineal |
| b=l (m) | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 3.5 |
| Sabs(cm) | 1.46 | 3.14 | 4.87 | 4.46 |
| HaF(m) | 3.45 | 5 | 4.38 | 3.75 |
| Caso 2 : Arena media y turba con presencia de roca |
| b=l (m) 1er EL | 1.85 | 1.95 | **2.45** | **3.3** |
| b=l (m) Linealidad | 2.15 | 2.15 | 2.15 | 2.15 |
| Asentamiento | No Lineal | No Lineal | Lineal | Lineal |
| b=l (m) | 1.85 | 1.95 | 2.45 | 3.3 |
| Sabs(cm) | 4.70 | 5.64 | 5.24 | 4.95 |
| HaF(m) | 4.75 | 4.48 | 4.34 | 3.75 |
| Asentamiento | Lineal | Lineal |   |   |
| Sabs(cm) | 3.63 | 4.92 |   |   |
| Caso 3 : Arena firme y turba con presencia de roca |
| b=l (m) 1er EL | 1.65 | **1.95** | **2.45** | **3.3** |
| b=l (m) Linealidad | 1.9 | 1.9 | 1.9 | 1.9 |
| Asentamiento | No Lineal | Lineal | Lineal | Lineal |
| b=l (m) | 1.65 | 1.95 | 2.45 | 3.3 |
| Sabs(cm) | 5.67 | 5.23 | 5.01 | 4.83 |
| HaF(m) | 4.6 | 4.68 | 4.34 | 3.75 |
| Asentamiento | Lineal |   |   |   |
| Sabs(cm) | 4.31 |   |   |   |

**Tabla 2 Influencia de la relación h1/B, en el diseño por el 2do Estado Límite y cálculo de los asentamientos, Turba con presencia de roca.**

Al comprobar el criterio de linealidad y calcular los asentamientos se pudo observar que en el caso donde elestrato de arena se encuentra sobre un estrato de turba con presencia de roca que limita la potencia activa se obtiene que:

* En arena suelta / turba, en todos los casos cumplió la linealidad sin tener que aumentar las áreas de la base por capacidad de carga. En este caso se calcularon todos los asentamientos lineales, siendo los valores de dichos asentamientos menores que 5cm para todas las relaciones de h1/B, por lo que se puede decir que las deformaciones relativas poseen valores controlados. Debido a que se limitó la potencia activa por la existencia de un tercer estrato de roca los asentamientos absolutos en este caso son menores que los obtenidos anteriormente en el caso de arena suelta/turba sin presencia de roca.
* En arena media / turba, sucede lo mismo que para el caso en el que no hay presencia de roca, la linealidad no cumple para las relaciones de h1=2B, y 1.5B, mientras que para h1=B y 0.5B, si se cumple, primando el criterio de capacidad de carga en el diseño. Se puede apreciar que cuando decide el estrato débil en capacidad de carga, este decide en comparación con la linealidad del suelo.

Para calcular los asentamientos se tomaron las dimensiones obtenidas por el 1er Estado Límite; para h1= 2B, y 1.5B se determinaron asentamientos no lineales y para h1=B y 0.5B asentamientos lineales. En estos casos los asentamientos absolutos, a diferencia de los obtenidos para la variante 1, dan valores aproximados entre 5 y 6 cm para todos los casos. Al calcular los asentamientos lineales para las dos primeras relaciones de h1 analizadas se puede observar como estos disminuyen, aunque implicando a la vez un aumento del área de la base de diseño.

* En arena firme / turba, en todos los casos decidió el estrato débil el diseño por capacidad de carga, la linealidad cumple, excepto en la relación de h1=2B. Al ir al cálculo de las deformaciones se determinaron los asentamientos lineales en tres de los casos (h1=1.5B, B, 0.5B), pues prima el criterio de capacidad de carga sobre la linealidad en cuanto a dimensiones de la base. Para las relaciones donde h1=2B, 1.5B, B, los asentamientos absolutos dan valores alrededor de los 5cm-6cm mientras que para h1=0.5B da un valor menor que 5cm, porque el área de la base es mayor que las anteriores. En estos casos, a pesar de que los valores de los asentamientos en algunas relaciones de h1 son un poco mayores de lo recomendado, las deformaciones no se consideran tan críticas para el diseño de las cimentaciones aisladas, al evaluar los asientos diferenciales, como sucede cuando no hay presencia de roca.

En los gráficos 2.9 y 2.10 se observa con mayor claridad el análisis realizado para los casos de la arena suelta y firme, debido a que son los más representativos en cuanto a las deformaciones.

 **Gráfico 3. Análisis de la relación h1/B con respecto a las deformaciones obtenidas, en presencia de Arena Suelta/Turba y Arena Suelta/Turba/Roca**

**Gráfico 4. Análisis de la relación h1/B con respecto a las deformaciones obtenidas, en presencia de Arena Firme/Turba y Arena Firme/Turba/Roca**

En este gráfico se evidencia como los asentamientos disminuyen con la presencia de roca, respecto al primer caso analizado, de solo arena suelta / turba.

Al comparar estas dos gráficas (3 y 4), se observa que la influencia de la presencia del estrato de roca, es más decisivo cuando hay arena firme, que, en arena suelta, en cuanto a la disminución de los valores de asentamientos, lo que lleva a concluir que al aumentar la resistencia del primer estrato de suelo, la influencia de la presencia del estrato de roca, contribuirá más efectivamente al comportamiento del estado deformacional del suelo. Lo anterior es debido a que las áreas de diseño por capacidad de carga son menores a medida que aumentan los valores de las características físico- mecánicas del suelo del primer estrato, y por tanto las tensiones que se transmitirán al suelo serán mayores bajo una misma carga de trabajo.

**Gráfico 5.- Análisis de S absolutos Vs h1, para un mismo valor de b=3.3 m, para Arena Firme / Turba y Arena Firme / Turba / Roca.**

En el gráfico anterior se muestra cómo se comportan las deformaciones bajo un mismo estado tensional, pero variando la influencia del estrato débil en la potencia activa, y qué sucede cuando hay presencia de un estrato de roca. Evidenciándose, como aumentan los asentamientos al aumentar el espesor del estrato débil en la potencia activa; y como disminuyen los valores de asentamientos con la presencia de roca.

**Análisis con presencia de Cieno / Roca**

|  |
| --- |
| CIENO |
| Caso 4 : Arena suelta y cieno con presencia de roca |
| Relación | h1=2B | h1=1.5B | h1=B | h1=0.5B |
| b=l (m) 1er EL | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 |
| b=l (m) Linealidad | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 |
| Asentamiento | Lineal | Lineal | Lineal | Lineal |
| b=l (m) | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 |
| Sabs(cm) | 1.46 | 2.75 | 3.96 | 6.36 |
| HaF(m) | 3.45 | 5 | 4.38 | 3.73 |
| Caso 5 : Arena media y cieno con presencia de roca |
| b=l (m) 1er EL | 1.85 | 1.85 | 1.85 | 1.85 |
| b=l (m) Linealidad | 2.15 | 2.15 | 2.15 | 2.15 |
| Asentamiento | No Lineal  | No Lineal | No Lineal |  Lineal |
| b=l (m) | 1.85 | 1.85 | 1.85 | 2.15 |
| Sabs(cm) | 4.14 | 5.38 | 7.72 | 9.52 |
| HaF(m) | 4.75 | 4.29 | 3.85 | 3.67 |
| Asentamiento | Lineal | Lineal | Lineal |  |
| Sabs(cm) | 3.08 | 4.08 | 5.88 |  |
| Caso 6 : Arena firme y cieno con presencia de roca  |
| b=l (m) 1er EL | 1.55 | 1.55 | 1.55 | 1.55 |
| b=l (m) Linealidad | 1.9 | 1.9 | 1.9 | 1.9 |
| Asentamiento | No Lineal  | No Lineal | Lineal | Lineal |
| b=l (m) | 1.55 | 1.55 | 1.9 | 2.2 |
| Sabs(cm) | 5.74 | 7.70 | 7.90 | 9.96 |
| HaF(m) | 4.4 | 4.04 | 4.0 | 3.64 |
| Asentamiento | Lineal | Lineal |  |   |
| Sabs(cm) | 3.73 | 5.09 |  |   |

Los resultados de deformaciones obtenidas para el caso del cieno con presencia de roca, son los que se muestran en la siguiente tabla 2.8.

**Tabla 3. Influencia de la relación h1/B, en el diseño por el 2do Estado Límite y cálculo de los asentamientos, Cieno con presencia de roca.**

En el caso de la presencia de cieno como estrato débil con un tercer estrato de roca que limita la potencia activa, al comprobar la condición de linealidad y calcular los asentamientos se obtuvo:

* En arena suelta / cieno, al chequear linealidad las áreas de la base del 1er Estado Límite cumplieron con este criterio de diseño, y se calcularon los asentamientos lineales, los cuales disminuyeron con respecto a los calculados para la variante 1, dando valores menores que 5cm para las relaciones h1=2B, 1.5B, B; en el caso de h1=0.5B el asentamiento es superior a los 6cm.
* En arena media / cieno, la linealidad no cumple para ninguna de las relaciones estudiadas de h1, por lo que hubo que aumentar el área de la base para satisfacer este criterio.

Teniendo en cuenta estos resultados existen dos posibilidades, calcular asientos no lineales o lineales. Se calcularon los asentamientos no lineales con las dimensiones del 1er Estado Límite, en los casos de h1=2B, 1.5B y B, en los cuales se obtuvieron asentamientos absolutos menores que los asentamientos límites bajo esta condición de no linealidad, pero en el caso de h1=0.5B fue necesario calcular los asentamientos absolutos con los valores de la B de linealidad para obtener asentamientos absolutos menores que los asentamientos límites.

Se obtuvieron en todos los casos asentamientos absolutos menores que los asentamientos límites absolutos. Para h1=2B y 1.5B los valores de los asentamientos absolutos se encuentran alrededor de los 5cm mientras que para h1=B y 0.5B dichas deformaciones son bastante elevadas pues poseen valores mayores de 7cm, razón por la cual los asentamientos absolutos se consideran un problema para el diseño de la estructura.

* En arena firme / cieno, al chequear la linealidad sucede lo mismo que con la arena media, primando este criterio sobre el de capacidad de carga.

Al realizar el cálculo de las deformaciones se evidencia, que este criterio es el que decide el diseño en este caso de estudio, pues para todas las relaciones de h1, excepto h1=2B y 1.5B, es necesario aumentar el área de la base para cumplir con los asentamientos límites, y en casi todos los casos (h1=1.5B,B,0.5B) los valores de los asentamientos absolutos dan muy cercanos a los límites, (7- 10 cm),excepto para h1=2B que posee un valor cercano a los 5cm,todo esto representa un problema para los asentamientos relativos.

Debe destacarse que con la presencia de la roca, la disminución de los asentamientos trajo consigo la posibilidad de disminuir las dimensiones de la base por deformación. Para el caso de arena media, esta reducción se logra para el caso de h1=B y 0.5B, y en presencia de arena firme, para las relaciones de h1=1.5B, B y 0.5B, pudiendo caracterizar este comportamiento, como una tendencia a aumentar la influencia de la presencia de la roca, en la disminución de los asentamientos, a medida que las propiedades resistentes del suelo 1 son mejores, (mayor 𝞿).

En el análisis del caso de la turba, como estrato débil, el comportamiento deformacional del suelo era similar al explicado anteriormente, pero en presencia de cieno la influencia de la roca es más determinante, la disminución de los asentamientos es más pronunciada.

En los gráficos 6 y 7 se aprecia lo analizado anteriormente para los casos de la arena suelta y firme en presencia del cieno.

**Gráfico 6. Análisis de la relación h1/B con respecto a las deformaciones obtenidas, en presencia de Arena Suelta/Cieno y Arena Suelta/Cieno/Roca.**

**Gráfico 7. Análisis de la relación h1/B con respecto a las deformaciones obtenidas, en presencia de Arena Firme/Cieno y Arena Firme/Cieno/Roca.**

En el gráfico 7, se observa como disminuyen los asentamientos con la presencia de la roca, en el caso del cieno como estrato débil y como aprovechando esta disminución de las deformaciones, al reducir las dimensiones de la base, los asentamientos se hacen casi iguales que cuando no hay presencia de roca. Sería interesante valorar que es más recomendable en cada caso de diseño, si mantener áreas de la base, o un menor asentamiento.

Teniendo en cuenta todo lo analizado, se puede arr

* En el caso de la presencia de turba como estrato débil, se aprecia que a medida que aumenta la resistencia del primer estrato, la capacidad de carga de la base de cimentación aumenta proporcionalmente, lo que trae consigo la disminución de las áreas de la base para una misma relación h1/B, pero a su vez aumenta la influencia del estrato débil en el diseño por capacidad de carga.
* En el caso de tener el cieno como estrato débil, este no determina en ningún caso el diseño por capacidad de carga, debido a que las propiedades mecánicas de estos suelos, principalmente el ángulo de fricción interna, tienen valores aceptables desde el punto de vista resistente. Los resultados obtenidos evidencian que el criterio que decide para este caso es el de la deformación.
* Se aprecia como para el caso de la turba como estrato débil las deformaciones aumentan a medida que aumentan los valores de las características físico- mecánicas del suelo del primer estrato, pues disminuyen las dimensiones de las áreas de las bases por capacidad de carga y por tanto las tensiones que se transmitirán al suelo serán mayores bajo una misma carga de trabajo.
* Los resultados muestran que los asentamientos que se producen cuando hay presencia de cieno, bajo el mismo régimen de cargas, son mayores que cuando hay estrato de turba, debido a que la transmisión de esfuerzos al suelo es mayor, al ser menores las dimensiones del área de la base, para un mismo valor de relación de h1 Vs B. Por lo que el criterio de deformación se vuelve determinante en el diseño de las cimentaciones superficiales aisladas, cuando hay presencia de cieno.
* Para los casos en que existe un tercer estrato de roca que limita la potencia activa, los asentamientos absolutos disminuyen, tanto para el caso de la turba como para el cieno, con respecto a cuando no hay presencia del estrato de roca.
1. **Conclusiones**

La investigación realizada permitió arribar a las siguientes conclusiones:

* A partir del análisis realizado a los casos de estudios para ver la influencia de la presencia de estratos más débiles en la capacidad de carga de bases de cimentaciones no homogéneas y en las deformaciones correspondientes se pudieron identificar los siguientes aspectos:

Para cimientos aislados:

* En el caso de la presencia de turba como estrato débil, se aprecia que a medida que aumenta la resistencia del primer estrato la capacidad de carga de la base de cimentación aumenta proporcionalmente y a su vez aumenta la influencia del estrato débil en el diseño por capacidad de carga.
* En el caso de tener el cieno como estrato débil, este no determina en ningún caso el diseño por capacidad de carga.
* Los resultados muestran que los asentamientos que se producen cuando hay presencia de cieno son mayores que cuando hay estrato de turba por lo que el criterio de deformación se vuelve determinante en el diseño de las cimentaciones superficiales aisladas, cuando hay presencia de cieno.
* Se puede afirmar que cuando el estrato débil decide el diseño por capacidad de carga, ya sea turba o cieno, se ha comprobado que el criterio de deformación no va a cumplir con los asentamientos limites absolutos, ni relativos. Por lo que la solución de diseño de cimentaciones superficiales deja de ser la recomendada para estos casos.
1. **Referencias bibliográficas**

Al-Hashemi, H. M. B. (2016). *Literature Review: Bearing Capacity on Layered soils.s.l.:s.n*.

*Apuntes de Cimentaciones.* Universidad Autónoma de Baja California.Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño. Retrieved from <http://www.ing.enbc.mx/docencia/apuntes/civil/cimentaciones.pdf>

Beyk, J. P. Z. (2014). *Optimización de tratamientos de suelos blandos bajo terraplenes.* Pontificia Uniersidad Católica del Perú, Lima,Perú.

*Características de los suelos.* ((2009).), Procesos constructivos.Taller Lombardi-Cremaschi.Marsili.Ficha No 3.

CivilGeek. (2011). Características de suelos y rocas. from [www.civilgeeks.com](http://www.civilgeeks.com)

Das, B. M. (2001a). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica.* Sacramento, California: International Thomson Editores, S.A. de C.V.

Das, B. M. (2001b). *Principio de Ingeniería en Cimentaciones. 4ta Edición ed.* México: Thomson.

Jiménez Salas, J. A., & Alpañes, J. (1981). *“Geotecnia y cimientos I: Propiedades de los suelos y las rocas”. 2da Edición*. Madrid: Editorial Rueda.

Maugeri, M., Catelli, F., Massimino, M., & Verona, G. (1995). “Observed and computed settlements of two shallow foundations on sand”. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 595 – 605*

Montoya, J., & Vega, F. P. (2010). *Cimentaciones.* Universidad de los Andes, Mérida.

Quevedo, G. (1987). “Aplicación del Método de los Estados Límites en el diseño de las cimentaciones superficiales.”. *Revista Ingeniería Estructural. 2(III): 95 -106.*

Quevedo, G. (1994). *“Diseño de Cimentaciones Superficiales”: Manual del Proyectista*, Santa Clara, Villa Clara. Cuba.

Vila, A. V. G. C. (2001). *Diseño Geotécnico de Cimentaciones Superficiales en Arenas.* Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Departamento de Ingeniería Civil,Facultad de Construcciones, Santa Clara

Vila., A. V. G. C., & Sotolongo, G. Q. (2007). Aplicación de la teoría de seguridad al diseño de cimentaciones en arenas. Chequeo de linealidad.