UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO HENRÍQUEZ UREÑA

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Relación entre Módulo de Subrasante y Esfuerzo Admisible en Suelos Arcillosos.

Trabajo de grado presentado por:

Br. Armando Cabral Jorge

Br. Roberto A. Holguín Araujo

Para la obtención del grado de:

Licenciados en Ingeniería Civil

Asesor:

Ing. Francisco Martínez

Septiembre Dos Mil Catorce, Santo Domingo, D.N.

República Dominicana

Relación entre Módulo de Subrasante y Esfuerzo admisible en suelos Arcillosos

DEDICATORIA

Dedicamos ésta labor a nuestros padres, madres, hermanos, amigos y otros familiares que nos han apoyado siempre en el transcurso de este tiempo de preparación profesional, a aquellos admirables profesores que se esforzaron durante todos estos años a enseñarnos e incentivarnos los conocimientos de la ingeniería, a la Escuela de Ingeniería Civil y la Facultad de Ciencias y Tecnología por mejorar continuamente la profesión y moldearnos para ser mejores cada día, a la Universidad, nuestra próximamente Alma Máter, por ser nuestra casa de estudios durante este tiempo y demostrarnos que debemos no solo ser profesionales de la República Dominicana, sino del mundo.

Además, dedicamos esta investigación a todos los Ingenieros Civiles, para que puedan utilizar valores de diseño mucho más precisos y así que las obras que generamos día tras día sean cada vez más seguras para las personas o fines a los que están dirigidas.

AGRADECIMIENTO

Siendo este un proyecto que para las condiciones económicas, académicas y sociales que nos encontrábamos podía parecer imposible de realizar, tenemos que expresar nuestro más sincero agradecer en primer lugar a Dios y a esas personas que nos han ayudado tanto de forma económica como académica para así lograr vencer las dificultades sociales.

Estando en una cultura donde no se incentiva la investigación, estas personalidades nos llevaron a vencer nuestras propias expectativas y así presentar un proyecto de investigación conforme a los más altos estándares a nivel mundial.

Gracias a usted, profesor Ingeniero Francisco Martínez, por las largas horas dedicadas con nosotros en el desarrollo y entendimiento del tema adoptado como, más que un trabajo de grado, un aporte a la Ingeniería Civil de nuestro país y el mundo.

Gracias a Epsa-Labco, Ingenieros Consultores S.A. y a Geoconsult SRL por su gran interés, ayuda incondicional y apoyo económico durante el desarrollo de los ensayos e investigaciones correspondientes al proyecto propuesto, destacando tanto a los Doctores Manuel Gómez Achécar y Franco Gómez Ramírez como a los Ingenieros Richard Barranco, Yván Martínez y Arístides Carrasco.

Gracias a nuestras familias por el enorme apoyo moral que nos ofrecieron en el proceso de elaboración de este trabajo.

ÍNDICE

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN 1
1. INTRODUCCIÓN 3
1.1 PLANTEAMIENTO Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA 4
1.2 OBJETIVOS 7
1.2.1 GENERALES 7
1.2.2 ESPECÍFICOS 7
1.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN 8
1.4 JUSTIFICACIÓN 9
1.5 ALCANCE Y DELIMITACIÓN 11
CAPÍTULO II: MARCO CONCEPTUAL 13
2.1 CONCEPTUALIZACIÓN DEL TÓPICO 15
CAPÍTULO III: MARCO REFERENCIAL 19
3.1 APUNTES DE COEFICIENTE DE BALASTO 21
CAPÍTULO IV: MARCO TEÓRICO 27
4.1 COEFICIENTE DE BALASTO 29
4.2 MÉTODO FLEXIBLE APROXIMADO 32
4.2 ESFUERZOS EN LOS SUELO 44
4.2.1 ESFUERZO EFECTIVO 44
4.2.2 NATURALEZA DEL ESFUERZO EFECTIVO 44
4.2.3 EL PRINCIPIO DE ESFUERZOS EFECTIVOS EN SUELOS SECOS O SATURADOS 45
4.2.4 EL PRINCIPIO DE ESFUERZOS EFECTIVOS EN SUELOS PARCIALMENTE SATURADOS 47
4.3 SUELO 50
4.3.1 ESTRUCTURA DE LOS SUELOS: 50
4.3.2 ARCILLA 51
4.3.3 TIPOS DE ARCILLAS 52
4.3.4 ARCILLA, OBJETO DE INVESTIGACIÓN 53

4.4 ENSAYO A UTILIZAR PARA LA DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO ADMISIBLE EN SUELOS 54
4.4.1 ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTANDAR (SPT) 54
4.5 ENSAYO UTILIZADO PARA DETERMINAR LA RIGIDEZ DEL SUELO 54
4.5.1 ENSAYO DE PLACA DE CARGA 54
CAPÍTULO V: MARCO METODOLÓGICO 55
5. ASPECTO METODOLÓGICO 57
5.1 TIPOS DE INVESTIGACIÓN 57
5.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN 58
5.2.1 TÉCNICAS 58
5.2.2 INSTRUMENTOS 59
5.2.3 MÉTODO 60
5.2.4 LIMITACIONES 61
5.2.5 POBLACIÓN Y MUESTRA 62
5.2.6 PROCEDIMIENTO 62
5.2.7 PRESUPUESTO 65
5.2.8 CRONOGRAMA 71
CAPÍTULO VI: RESULTADOS: RELACIÓN ENTRE MÓDULO DE SUB-RASANTE Y ESFUERZO ADMISIBLE EN SUELOS ARCILLOSOS 75
6.1 PROCESAMIENTO DE DATOS 77
6.2 MEMORIA DE CÁLCULOS GENERALES 139
6.3 ESTADÍSTICA 141
CAPÍTULO VII: CONCLUSIÓN 147
7.1 CONCLUSIÓN 149
7.2 RECOMENDACIÓN 150
7.3 LINEA FUTURA 151
7.4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 152
7.5 ANEXOS 154
7.5.1 NORMA ASTM DESIGNACIÓN: D1586 154
7.5.2 NORMA ASTM ASIGNACIÓN: D1194 164
7.5.3 GALERÍA DE IMÁGENES 170
7.5.4 MAPAS 172

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

Necesidad imperante hay de ofrecer más que consideraciones generales, parámetros o suposiciones, y dar un paso adelante tomando en cuenta que la eficiencia es menester en el campo de la ingeniería donde, los recursos, el tiempo, la calidad y la seguridad son los principales actuadores. Esto obliga a la búsqueda de nuevos elementos que aporten una mejor comprensión del comportamiento del terreno y la manera de aprovechar su eficiencia y fortalecer sus debilidades. Es precisamente tomando eso en cuenta que se inicia este proyecto de investigación.

¿Sería posible lograr cumplir con las condiciones mencionadas mediante la relación de parámetros esenciales para el cálculo de fundaciones de obras civiles?

Dos de las variables más importantes a conocer durante el diseño de cimentaciones son la rigidez y el esfuerzo admisible del suelo, con tal de que se puedan integrar de forma correcta, sobre todo cuando se trata de arcilla. La exploración mediante ensayos de penetración estándar y placa de carga, permite que se experimente con ambos valores y que se elaboren las relaciones pertinentes mediante gráficos de curvas generados por regresiones estadísticas.

De igual forma se buscará afirmar que el progreso dentro del campo de la ingeniería es y seguirá siendo posible gracias a los profesionales que se dediquen a abrirse camino a través de los campos de búsqueda que ayuden a evolucionar los métodos conocidos, para crear un evento sistémico que holísticamente optimice el análisis estructural de modelos que muestren mayor semejanza y proximidad a la realidad.

1.1 PLANTEAMIENTO Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Conocer la estructura del suelo donde se va a construir es obligatorio, sería considerado un atentado no hacerlo, teniendo en cuenta los grandes desastres que han sucedido por su ignorancia, como son la Torre de Piza (1173), los Deslizamientos de la presa de Fort Peck (1936), la Rotura de Malpasset en Francia (1957), la Falla de Teton Dam (1976), el Quiebre en la cuenca del Mississippi (2008), entre otros tantos, algunos registrados y otros pasados por alto, aun así existe una premisa, y es que todos los desastres son enormes, cuando se pone en riesgo la vida del ser humano y/o, cuando causan pérdidas económicas invaluables.

Todo se resume en una cosa, y es que el tiempo nos ha enseñado que si no se realiza un análisis del suelo en la fase de planeación de la construcción, los resultados de los cálculos estructurales se vuelven tan irreales como decir que lo invisible es visible, o mejor aún, considerar que lo construido se encuentra en el espacio, y es capaz de soportarse a sí mismo, pero que cuyo elemento soportante real, el suelo, no es tomado en cuenta.

Se considera el diseño estructural como determinante primordial de dicha edificabilidad, más aún al momento de estimar adecuadamente los esfuerzos máximos a que estarán sometidos elementos estructurales en contacto continuo con la corteza terrestre, como son pavimentos, fundaciones, entre otras obras de ingeniería; las cuales ameritan conocer la deformación de la estructura térrea ante la acción de las cargas impuestas, esto por el peligro que representa una posible falla por futuros asentamientos, situación que puede causar inutilidad y hasta el colapso de la superestructura.

Hoy en día es necesario llevar a cabo diferentes procesos de larga duración que dilatan la etapa de proyección y, además, no otorgan valores exactos al utilizar parámetros que podrían estar subestimando las cualidades mismas del suelo y su concatenación para con el diseño estructural.

Siempre ha sido un problema ingenieril el lograr modelar correctamente la relación suelo-estructura, de forma que se consiga integrar el primero a la segunda de manera eficaz. Inconveniente que surge cuando se estudian de cerca las propiedades de los

suelos y nos damos cuenta de que como material se puede considerar infinitamente heterogéneo, de forma que un punto no sería idéntico a otro. Éstas características estructurales tan variables hacen que el suelo haya sido a lo largo de la historia uno de los puntos claves de investigación en torno a la ingeniería civil.

Cuando se menciona suelo arcilloso, podría entenderse que se habla de aquel polvillo rojizo que se observa en las canchas de tenis del premio Roland Garros en Paris, Francia, pero su granulometría es que lo define como tal y, es además, uno de los mayores dolores de cabeza para los Ingenieros geotécnicos, estructurales y constructores, debido a sus características tan peculiares de expansión y cohesión, provocando enormes asentamientos plásticos en tiempos efímeros, los que a su vez lo hacen uno de los tipos de suelo más difíciles de analizar.

Es el Ensayo de Penetración Estándar, más conocido por sus siglas en inglés como SPT (Standard Penetration Testing), la prueba por excelencia para el estudio e investigación del suelo. Con este se realizan sondeos que ayudan a tener una idea de los estratos que se encuentran por debajo de la superficie, además de por medio de golpes de un martillo, lograr, correlacionadamente, obtener la capacidad portante de cada manto encontrado.

Calculado el esfuerzo admisible, es el ingeniero geotécnico que, con su pericia y, con ayuda de libros y normas, estima parámetros como la deformación permisible y la rigidez del suelo, evitando de esta manera la realización de ensayos como la Placa de Carga, que arroja valores relacionando presiones con asentamientos en tiempos determinados, que mediante los métodos descritos en las normas, sirven para calcular valores de rigideces muy aproximados a los reales.

Es entonces donde caemos en una Ironía Ingenieril, donde se busca eficiencia, pero se estiman tan vagamente valores de tanta importancia para los diseños estructurales; es necesidad que se elaboren investigaciones cuyos objetivos sean eliminar definitivamente las idealizaciones antiguas y, que se encarguen de modelar atinadamente las situaciones reales, mejorando los cálculos constructivos de forma considerable.

Coexiste una problemática que urge ser resuelta en el campo de estudio de la ingeniería de fundaciones, un módulo de subrasante lo más real posible, preferiblemente también obtenido a partir del esfuerzo admisible del suelo, convirtiéndose en, más que una utopía, un As bajo la manga del profesional que lo utilice, adquiriendo resultados de diseño más precisos y evitando tener que realizar ambos ensayos, SPT y Placa de Carga, a la vez, obteniendo con esta relación los valores de uno a partir de los resultados del otro, disminuyendo la inversión y el tiempo de obtención de datos relevantes.

Ya que, como decía Henry Ford (1863-1947):¨La mayoría de la gente gasta más tiempo y energía en esquivar los problemas que en tratar de resolverlos¨, hemos decidido dedicar ese tiempo y esa energía a relacionar el modulo de subrasante y el esfuerzo admisible en suelos arcillosos.

1.2 OBJETIVOS

Nuestra investigación está sustentada por los siguientes objetivos.

1.2.1 GENERALES

Relacionar, utilizando un modelo matemático y análisis estadísticos, la concordancia suelo arcilloso - estructura y, mediante ésta correspondencia, lograr representar lo más cercano posible el comportamiento de la misma. Facilitar el diseño estructural de fundaciones y aumentar la eficiencia de planificación de obras civiles, agregando valor a los resultados obtenidos del esfuerzo admisible del suelo y su rigidez resultante.

1.2.2 ESPECÍFICOS

- ✓ Realizar ensayos de penetración estándar (SPT-ASTM-D1586)[1] y con estos correlacionar valores para obtener la capacidad portante del suelo.
- ✓ Extraer muestras alteradas o inalteradas, utilizando los sondeos de los ensayos SPT, para determinar características trascendentales de las muestras, como son el porcentaje de humedad, porcentaje de arcilla, límites de Atterberg, entre otras.
- ✓ Elaborar los ensayos de placa de carga (ASTM-D1194)[2], para con ayuda de los métodos especificados en la norma, determinar las rigideces de las muestras correspondientes.
- ✓ Demostrar que sí se pueden relacionar la rigidez y la capacidad portante del suelo.
- ✓ Adquirir mediante los resultados de los ensayos mencionados, una relación entre el módulo de subrasante y el esfuerzo admisible del suelo arcilloso.
- ✓ Lograr exactitud en el diseño de fundaciones.
- ✓ Emplear métodos computacionales basados en la teoría de elemento finito y la teoría del análisis flexible aproximado, ya que dichos parámetros resultan indispensables en los mismos.

---

[1] *Para más información ver anexo 7.5.1*
[2] *Vea ésta norma consultando el anexo 7.5.2*

1.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- ✓ ¿Por qué es importante el enfoque del estudio suelo-estructura en arcillas?
- ✓ ¿De qué forma se obtiene la capacidad portante o esfuerzo admisible del suelo a partir del ensayo SPT?
- ✓ ¿Qué procedimientos se realizan para adquirir el valor de la rigidez del suelo en estudio mediante el ensayo de Placa de Carga?
- ✓ ¿Cómo se relaciona el módulo de subrasante y el esfuerzo admisible del suelo?
- ✓ ¿Cuáles son las generalidades involucradas en el estudio de esta relación?
- ✓ ¿Cuáles futuras investigaciones podrían surgir a partir de este proyecto?
- ✓ ¿Qué solución(es) ofrece tener una relación representativa del esfuerzo admisible y su rigidez correspondiente?

1.4 JUSTIFICACIÓN

Todas las obras de ingeniería civil, de una u otra forma, se apoyan sobre el suelo, y muchas de ellas, además, utilizan el mismo como elemento de construcción para terraplenes, diques y rellenos en general; por lo que, en consecuencia, su estabilidad y comportamiento funcional estarán determinados, entre otros factores, por el desempeño del material de asiento situado en el área de ejecución, de los esfuerzos que se generan, o por el del suelo utilizado para conformar los rellenos.

Si se sobrepasan los límites de la capacidad resistente del suelo o si, aún sin llegar a ellos, los asentamientos son considerables, se pueden producir esfuerzos secundarios en los miembros estructurales, quizás no tomados en consideración en el diseño, produciendo a su vez deformaciones importantes, fisuras, grietas, alabeo o desplomos que pueden producir, en casos extremos, el colapso de la obra o su inutilización y abandono.

En consecuencia, las condiciones del suelo como elemento de sustentación y construcción han de ser siempre observadas infaliblemente, a través de una correcta investigación de mecánica de suelos, inclusive en proyectos pequeños fundados sobre suelos normales a la vista de datos estadísticos y experiencias locales, y en especial en proyectos de mediana a gran importancia o que se encuentren sobre suelos inciertos.

La elaboración de un correcto estudio del comportamiento suelo-estructura podría significar un antes y un después en lo referente a cómo se entiende y se modela ésta relación, la cual como ya se ha mencionado abarca las variables más importantes al momento de realizar una obra civil de cualquier magnitud.

Además, para el diseño sismo resistente es prioridad tener un estudio específico de un modelo representativo de lo que se encuentra realmente en campo, tanto en estado estático como dinámico.

Los resultados de esta investigación, al igual que proyectos futuros sobre esta temática, facilitarían de gran forma la obtención de datos muy relevantes para el diseño de fundaciones como son el esfuerzo admisible y la rigidez del suelo, lo que aumentará la precisión de los cálculos de cimentaciones y además podrá ahorrar inversiones muy

elevadas correspondientes a la fase de planificación de obras, específicamente dentro de las exploraciones geotécnicas, disminuyendo la cantidad de ensayos a realizar o bien evitando la necesidad de ejecutarlos.

1.5 ALCANCE Y DELIMITACIÓN

El estudio de la relación del modulo de subrasante y la capacidad portante del suelo resulta depender de muchas variables, una de las más importante es la parte superficial de la corteza terrestre a causa de su gran diversidad. Se procede a delimitar la investigación en un tipo de material térreo en el cual los resultados finales tengan mayor impacto, por ende, elegimos la arcilla como sujeto de estudio.

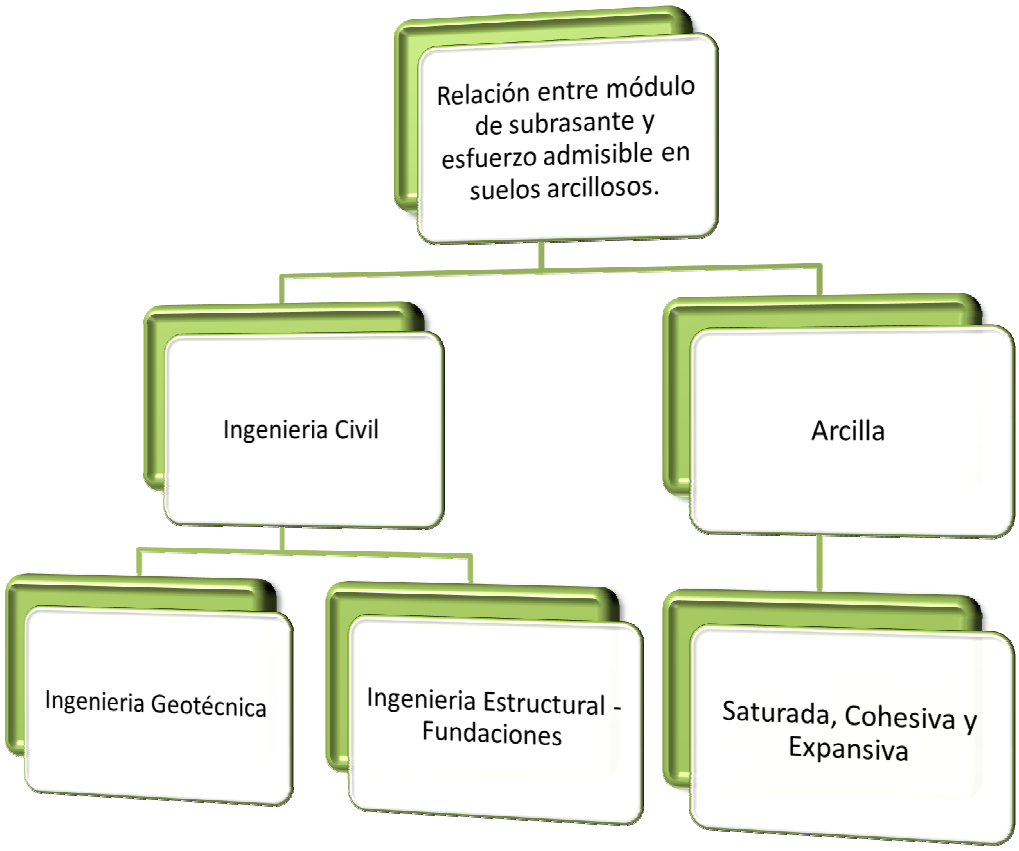
Sin embargo no es suficiente definir el tipo de suelo a experimentar, se necesitan establecer lugares representativos donde se encuentre ese material de forma abundante y natural, el lugar seleccionado ha sido el proyecto de La Circunvalación de Santo Domingo Tramo I, debido a la facilidad de acceso y realización de los trabajos.

A parte se definen los ensayos de los cuales podamos obtener los parámetros necesarios para realizar el proyecto de investigación, que son el ensayo de penetración estándar para el esfuerzo admisible y el ensayo de placa de carga para obtener la rigidez del suelo.

CAPÍTULO II:
MARCO CONCEPTUAL

2.1 CONCEPTUALIZACIÓN DEL TÓPICO

Para llegar al tema propuesto, desarrollamos el siguiente Esquema General de Conceptos.



Esquema conceptual 2.1

La ingeniería civil es la disciplina de la ingeniería profesional que emplea conocimientos de cálculo, mecánica, hidráulica y química para encargarse del diseño, construcción y mantenimiento de las infraestructuras emplazadas en el entorno, incluyendocarreteras, puentes, canales, presas, puertos, aeropuertos, diques, edificios y entre otras obras de aspectos civiles. [345]

[3] (The American Heritage Dictionary of the English Language, 2004)

[4] (History and Heritage of Civil Engineering, 2007)

[5] (What is Civil Engineering, 2007)

La Ingeniería geotécnica es la rama de la Ingeniería civil que se encarga del estudio de las propiedades mecánicas, hidráulicas e ingenieriles de los materiales provenientes de la Tierra. Los ingenieros geotécnicos investigan el suelo y las rocas por debajo de la superficie para determinar sus propiedades y características, ya que una vez conocidos estos parámetros se proceden a diseñar las cimentaciones para las estructuras a construir.[6][7]

La ingeniería estructural es una rama clásica de la ingeniería civil que se ocupa del diseño y cálculo de obras civiles en elementos y sistemas estructurales tales como edificios, puentes, muros (incluyendo muros de contención), presas, túneles y otras obras. Su finalidad es la de conseguir estructuras seguras, resistentes, económicas y funcionales.[8]

Cuando se diseñan cimentaciones, el ingeniero estructural debe de valerse de los estudios previos del suelo (Ingeniero Geotécnico) donde se fundara la estructura en cuestión, dichos estudios juegan un papel importante en la etapa de planificación de un proyecto, haciendo posible un diseño adecuado a las condiciones del suelo emplazado, tomando en cuenta los factores de seguridad competentes para prevenir cualquier tipo de falla.

En el ámbito de la ingeniería, se define la rigidez como la capacidad de un elemento estructural para soportar esfuerzos sin sufrir grandes deformaciones y/o desplazamientos. Los coeficientes de rigidez son magnitudes físicas que consideran la rigidez de un elemento resistente sometido a diversas cargas ó combinaciones de carga. Habitualmente las rigideces se calculan como la razón entre una fuerza aplicada y el desplazamiento resultante debido a la aplicación de esa fuerza. El coeficiente de rigidez puede ser expresado de la siguiente forma[9]:

$$K_i = \frac{F_i}{\delta_i} \tag{2.1}$$

Los esfuerzos internos son magnitudes físicas con unidades de fuerza sobre área utilizadas en el cálculo de piezas prismáticas como vigas o pilares y también en el cálculo de placas y láminas.

[6] (Manual de Geología para Ingenieros, 2003)

[7] (Mecánica de los suelos, 2002)

[8] (Ingenieria Estructural: Wikipedia, 2008)

[9] (Rigidez: Wikipedia, 2014)

Los esfuerzos internos sobre una sección transversal plana de un elemento estructural se definen como un conjunto de fuerzas y momentos estáticamente equivalentes a la distribución de tensiones internas sobre el área de esa sección.[10]

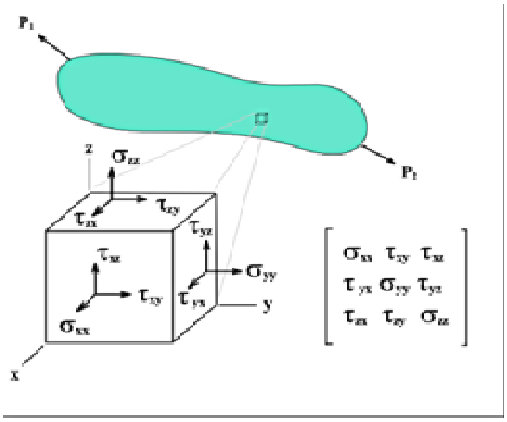


Fig. 2.1 Representación grafica de los esfuerzos en un punto de un cuerpo.

Los esfuerzos sobre una sección transversal plana pueden ser:

- Esfuerzo normal (perpendicular al plano considerado), es el que viene dado por la resultante de tensiones normales σ, es decir, perpendiculares, al área para la cual pretendemos determinar el esfuerzo normal. Puede ser tanto de tracción (cuando sus fibras tienden a alongarse) como de compresión(cuando sus fibras se acortan)

- Esfuerzo cortante (tangencial al plano considerado), es el que viene dado por la resultante de tensiones cortantes τ, es decir, tangenciales al área para la cual pretendemos determinar el esfuerzo cortante.

El esfuerzo admisible de un elemento o material cualesquiera, es el resultado de agregar un factor de seguridad a la tensión de falla de los mismos, con el fin de diseñar con el menor riesgo posible y garantizar el funcionamiento en el rango elástico (capacidad a deformarse y volver a la posición original).

Las arcillas, pertenecientes dentro de la clasificación estándar al grupo de los finos junto a los limos, son el tipo de suelo que más problemas ha causado tanto en infraestructuras como en edificaciones con el pasar de los años, específicamente las que son expansivas

[10] (Esfuerzo Interno: Wikipedia , 2014)

y cohesivas, ya que sufren grandes cambios de volumen en relación directa con la humedad que poseen, lo que a su vez, causa asentamientos plásticos inesperados y así el fallo por deformación de los elementos estructurales que soporta.

Un material está saturado cuando sus poros ya no tienen espacio para guardar más agua en su interior, en las arcillas, esto tiende a aumentar su volumen como ya se mencionó, al salir el agua de los vacios, este tipo de suelo se cohesiona (comprime) grandemente, ya que no hay agua de por medio para romper sus atracciones moleculares. (Para más detalles, ver marco teórico).

CAPÍTULO III:
MARCO REFERENCIAL

3.1 APUNTES DE COEFICIENTE DE BALASTO

Como punto de partida de esta travesía investigativa tomamos el documento "*Apunte de Coeficiente de Balasto*" del Ing. Augusto José Leoni, quien realiza de forma detallada una exploración similar, en la cual se conceptualiza y se muestran los cálculos, además de que llega a conclusiones y resultados que nos servirán de ayuda al desarrollo de la investigación.

Definición

El módulo de Reacción o Coeficiente de Balasto se define como: *La relación entre la tensión capaz de generar una penetración de la placa en el terreno de 0,05" que equivale a una deformación de 0,127 cm,* es decir que este coeficiente es la pendiente de la recta que une el origen de coordenadas con el punto de la curva "tensión – deformación" que genera un asentamiento de la placa de 0,127 cm, como se aprecia en la figura adjunta.

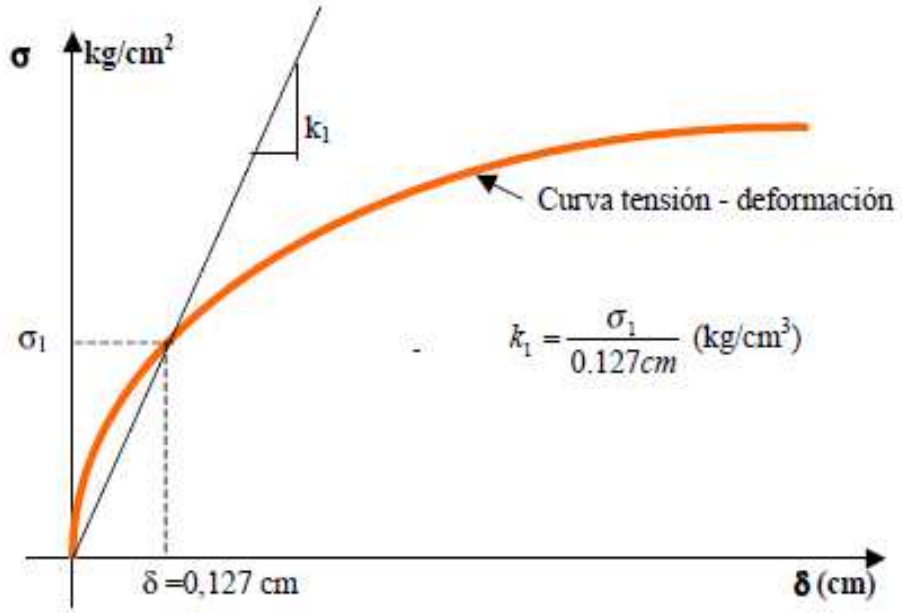


Figura 3.1. Coeficiente de balasto

Los resultados de estos ensayos se expresan con la letra "k" donde por lo general se asocia el subíndice 1 adosado a la letra k, para indicar que el valor corresponde a una placa rígida de 1 pie^2 "k_1".

Si tenemos una base de ancho “B” y de longitud “L” cargada con una carga “Q” y apoyada a una profundidad “D” en un terreno elástico, uniforme, con un módulo de deformación constante “E”, que transmite al terreno donde se apoya una tensión “q” podremos decir que el asentamiento que la misma experimentará, por deformación elástica del terreno, puede ser aproximado por la expresión:

$$y = \frac{q.B}{E}.\left(1 - v^2\right)I \tag{3.1}$$

Donde “v” es el coeficiente de Poisson, mientras que “I” es un coeficiente que tiene en cuenta la forma del área cargada y la rigidez de la base. Considerando lo expresado anteriormente, el Módulo de Reacción nos quedaría expresado
como:

$$k = \frac{q}{y} = \frac{E}{B(1 - \upsilon^2).I} = Cte.\frac{E}{B} \tag{3.2}$$

Suelos Arcillosos

Si tenemos una placa cuadrada (B = L), apoyada en la superficie (D = 0), sobre un suelo arcilloso que consideraremos que tiene una humedad elevada que nos permite considerarlo incompresible frente a una solicitación instantánea (ν = 0,5), tendremos entonces que la expresión (3.1) se transforma en:

$$y = \frac{q.B}{E} \times 0{,}75 \times 0{,}885 \tag{3.3}$$

Con lo cual:

$$k = \frac{q}{y} = Cte \times \frac{E}{B} \tag{3.4}$$

De donde resulta la siguiente ecuación aproximada:

$$k = 1{,}5\frac{E}{B} \tag{3.5}$$

Para **suelos arcillosos**, podemos conocer el valor de k para una base real de ancho “B” a partir del módulo de reacción determinado con un plato de carga “k_1” en el que el lado del plato utilizado es B_1 = 0,305 m, sabiendo que en estos suelos si el manto es

homogéneo y uniforme en profundidad, podemos considerar que el valor del módulo de elasticidad "E" se mantiene constante con lo cual tendríamos:

$\boxed{k_1 = 1{,}5\frac{E}{B_1}}$ para el plato de carga donde $B_1 = 30$ cm y

$\boxed{k = 1{,}5\frac{E}{B}}$ para la base de lado "B".

Podemos despejar el valor de E de cada ecuación e igualarlas con lo cual nos queda:

$$k_1 \times B_1 = k \times B$$

$$k = k_1 . \frac{B_1}{B} \tag{3.6}$$

En esta expresión se nota que el valor de "k" para una base de tamaño real donde el valor de B >> 0,30 m, se reduce a un valor prácticamente despreciable.

Al analizar estas expresiones no tenemos que perder de vista el campo de aplicación de las mismas, en cada caso en particular.

Fundamentalmente se deberá considerar la masa de suelos que se involucra dentro del bulbo de presiones generado, tanto por la placa de ensayo de B_1 = 30 cm de lado como por la base de ancho B, y estar seguros que los bulbos de tensiones que se desarrollan, se ubican dentro de masas de suelos de las mismas características mecánicas.

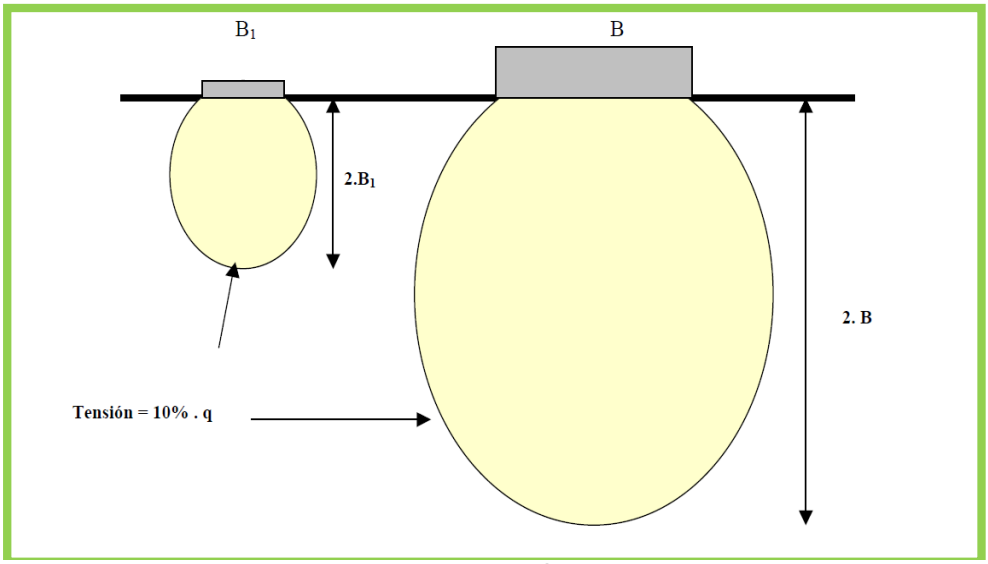


Figura 3.2. Bulbos de presión de Boussinesq

A modo de referencia debemos tomar en consideración que el bulbo de igual tensión correspondiente al 10% de la tensión de contacto “q” generada por el apoyo de la base de ancho “B”, llega a una profundidad de dos veces el ancho de la misma.

Tomando en cuenta que en los suelos granulares y en las arcillas blandas normalmente consolidadas, el módulo de elasticidad “E” aumenta con la profundidad “z” pudiendo ser representado por:

$$E = Cte \,.\, z \tag{3.7}$$

Donde z es la profundidad a la cual se la considera

Esto nos lleva a tener que diferenciar los valores resultantes del Coeficiente de Balasto “k” según la presión de confinamiento a la que está sometido el manto que estamos estudiando, aceptando que la presión de confinamiento es una función directa de la presión efectiva de la “tapada” (∫c = f(∫v´))

Si consideramos que “k” también es directamente proporcional al módulo de elasticidad, e inversamente proporcional al ancho “B” de la placa que solicita al suelo tendremos:

$$kv = Cte \,.\, \frac{z}{B} \tag{3.8}$$

A los efectos de poder estimar el valor de “kv_1” en suelos granulares ubicados a poca profundidad, podemos considerar las curvas que se muestran en el gráfico de la figura 3.3, que fue construido con datos de la bibliografía internacional e interpretados matemáticamente, para valores de las arenas secas o húmedas y para las arenas saturadas, en función del índice corregido del ensayo SPT “Nc”.

$$Nc = N_{SPT}\sqrt{\frac{1}{\sigma'_0}} \quad \text{(Donde } \sigma'_0 \text{ se debe expresar en kg/cm}^2\text{)} \tag{3.9}$$

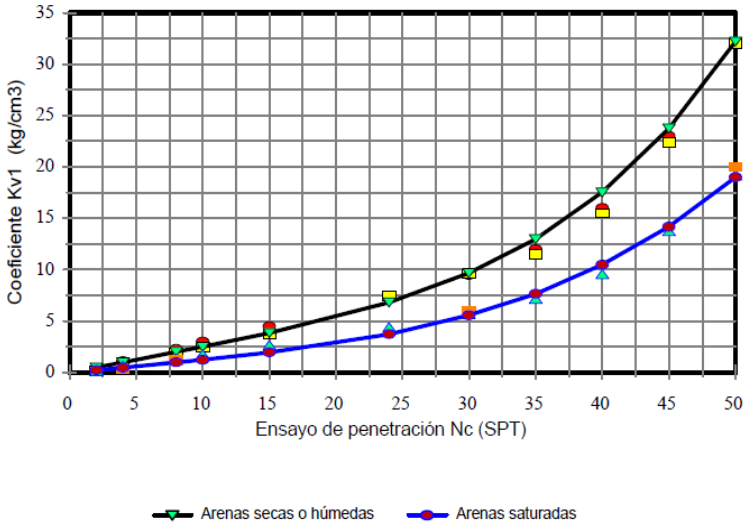


Figura 3.3 Estimación del coeficiente de balasto "k_1" en arenas, en función del índice "N_c" del Ensayo SPT

Estas curvas pueden ser aproximadas por las siguientes expresiones:

(Leoni) $kv_1 = (Nc.0{,}04)^{4.3} + Nc.0.25$ (Para arenas secas o húmedas).

$kv_1 = (Nc.0{,}04)^{3,7} + Nc.0{,}12$ (Para arenas saturadas y sumergidas).

CAPÍTULO IV:
MARCO TEÓRICO

Para situar nuestro problema dentro de un conjunto de conocimientos que permitan orientar nuestra búsqueda y nos ofrezcan una conceptualización adecuada de los términos que utilizaremos, hemos recolectado las siguientes informaciones.

4.1 COEFICIENTE DE BALASTO

El módulo de balasto es una magnitud asociada a la rigidez del terreno. Su interés práctico se encuentra sobre todo en ingeniería civil ya que permite conocer el asentamiento de una edificación pesada sobre el suelo, así como la distribución de esfuerzos en ciertos elementos de cimentación.

Uno de los métodos de cálculo más utilizados para modelar la interacción entre estructuras de cimentación y terreno es el que supone el suelo equivalente a un número infinito de resortes elásticos -muelles o bielas biarticuladas- cuya rigidez, denominada módulo o coeficiente de balasto (K_b), se corresponde con el cociente entre la presión de contacto (q) y la deformación -en su caso asiento- (δ):

$$K_b = q/\delta \tag{4.1}$$

También podemos expresar esta rigidez como:

$$k_b = \frac{F}{\delta\ A} \tag{4.2}$$

Donde:

F es igual a la fuerza vertical aplicada,

A el área de la superficie en contacto con el terreno donde se está aplicando la fuerza,

δ es la distancia vertical de hundimiento lograda.

4.1.1 MÉTODO DEL BALASTO, DE WINKLER O DE VIGA SOBRE APOYOS ELÁSTICOS:

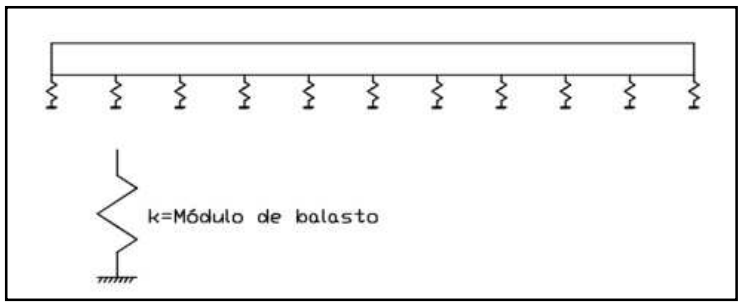


Figura 4.1 Módulo de balasto

El balasto es la capa de grava que se tiende sobre la explanación de los ferrocarriles para asentar y sujetar las traviesas, de aquí proviene el nombre de coeficiente de balasto que fue precisamente en el análisis de las traviesas del ferrocarril donde se utilizó por primera vez esta teoría. A este modelo de interacción también se le conoce generalmente como modelo de Winkler debido al nombre de su creador, y tiene múltiples aplicaciones, no sólo en el campo de las cimentaciones, sino en cualquier problema que pudiese adaptarse a este modelo, véase la figura 4.2 tomado de (Hahn, 1982) en el que mediante la teoría del balasto se calcula la carga P que es capaz de soportar una espiga de acero anclada en una masa de hormigón:

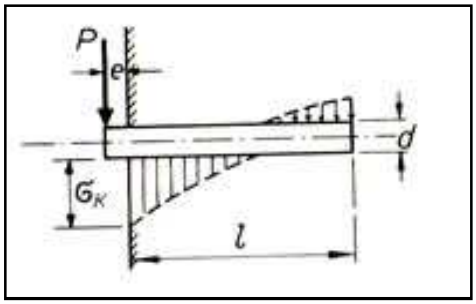


Figura 4.2

La aplicación de la teoría del módulo de balasto ha ganado aceptación en los últimos tiempos, dado que permite una fácil asimilación de la interacción suelo-estructura por los métodos matriciales de cálculo. De hecho, con un programa de cálculo matricial genérico se puede realizar una aproximación del método tan precisa como deseemos al caso de vigas o losas sobre fundación elástica. Para ello basta simplemente con dividir las barras de la viga o del emparrillado, si se trata del análisis de una losa, en otras más pequeñas e incluir en los nudos bielas (muelles) con la rigidez correspondiente al balasto (ver la figura 4.3 donde se obtuvo mediante esta aproximación una ley de flectores para la viga).

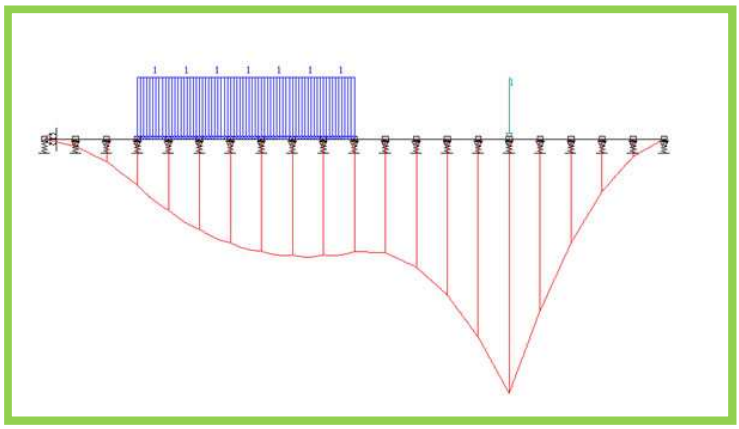


Figura 4.3 Diagrama de Viga sobre fundación elástica

En la práctica habitual del cálculo de cimentaciones veremos aplicar la teoría de Winkler al análisis de elementos tales como vigas flotantes y losas de fundación que trabajan sobre un corte horizontal de terreno.

El valor del módulo de balasto no es función exclusiva del terreno sino que depende también de las características geométricas de la cimentación e incluso de la estructura que ésta sostiene, lo cual hace compleja la extrapolación de los resultados de los ensayos, pensemos por ejemplo en el de placa de carga, a las cimentaciones reales. La precisión del modelo dependerá de la rigidez relativa del conjunto estructura-cimentación respecto a la del suelo. Supone que cada punto del suelo se comporta independientemente de las cargas existentes en sus alrededores, lo cual no ocurre en la realidad (ver figura 4.4), comportamiento según el método de Winkler, (ver figura 4.5) una aproximación más cercana a la realidad -en terrenos reales el suelo en los bordes también se deforma-).

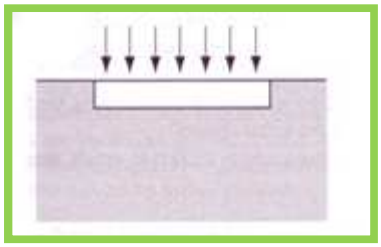


Figura 4.4

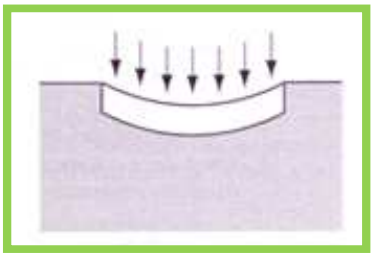


Figura 4.5

Por ello, algunos autores recomiendan hacer un estudio de su sensibilidad. El ACI (1993), por ejemplo, sugiere (Coduto) variar el valor de k desde la mitad hasta cinco o diez veces del calculado y basar el diseño estructural en el peor de los resultados obtenidos de ésta manera.

4.2 MÉTODO FLEXIBLE APROXIMADO

En el método rígido convencional de diseño, la losa se supone infinitamente rígida. Además la presión del suelo se distribuye linealmente y el centroide de la presión del suelo coincide con la línea de acción de las cargas resultantes de la columnas (véase la figura 4.6a). En el *método flexible aproximado de diseño* se basan en el modelo de Winkler para idealizar el comportamiento de la iteración suelo-estructura.

Para entender los conceptos fundamentales del diseño de cimentaciones flexibles, considere una viga de ancho B_1 y longitud infinita, como muestra la figura 4.7. La viga está sometida a una sola carga concentrada Q. De los fundamentos de la mecánica de materiales,

$$M = E_F I_F \frac{d^2 z}{d^2 x} \tag{4.3}$$

Donde M = momento en cualquier sección

E_F = modulo de elasticidad del material de la cimentación.

I_F = momento de inercia de la sección transversal de la viga

Sin embargo,

$$\frac{dM}{dx} = V\ (fuerza\ cortante) \tag{4.4}$$

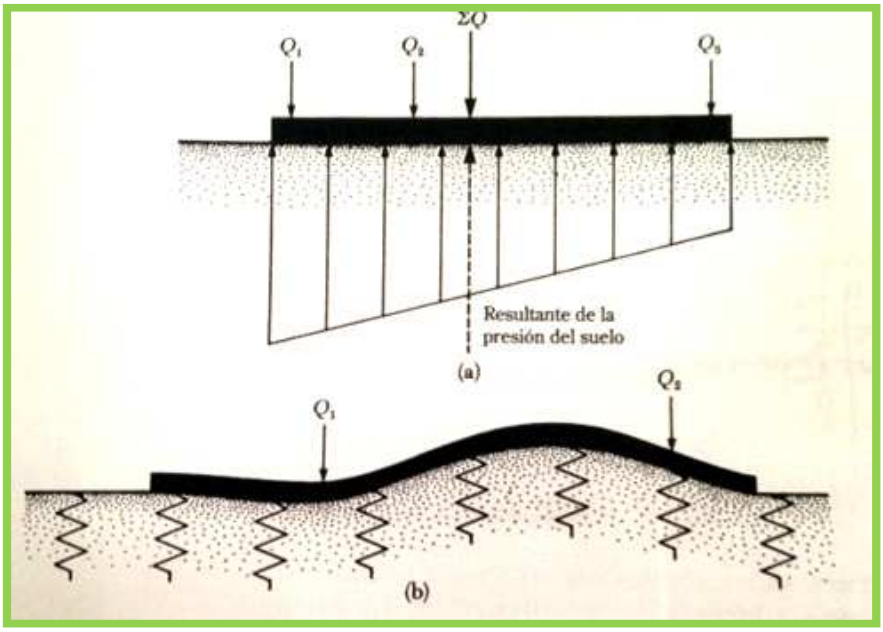


Figura 4.6

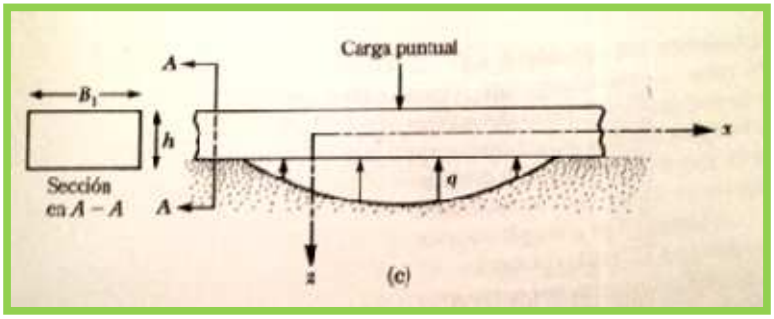


Figura 4.7

La derivada del cortante resulta de la siguiente forma:

$$\frac{dV}{dx} = q\ (reaccion\ del\ suelo)$$

(4.5)

Por consiguiente,

$$\frac{d^2M}{d^2x} = q$$

(4.6)

Combinando las ecuaciones 4.3 y 4.6 se obtiene que:

$$q = E_F I_F \frac{d^4z}{d^4x}$$

(4.7)

Pero la reacción del suelo es

$$q = -zk'$$

(4.8)

Donde z = deflexión

k' = kB_1

k = modulo de reacción del suelo (KN/m3)

por tanto

$$-zkB_1 = E_F I_F \frac{d^4z}{d^4x}$$

(4.9)

La solución de esta ecuación es,

$$z = e^{-\propto x}(A' \cos \beta x + A'' sen\, \beta x) \tag{4.10}$$

donde A' y A'' son constantes y

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{B_1 k}{4E_F I_F}} \tag{4.11}$$

La dimensión del término, es como se definió en la ecuación anterior es (longitud)$^{-1}$. Este parámetro es muy importante en la determinación de si una losa de cimentación debe diseñarse por el método rígido convencional o por el método flexible aproximado. De acuerdo con el comité 336 (1998) del American Concrete Institute las losas deben diseñarse por el método rígido convencional si el espaciamiento de las columnas en una franja es menor que $1.75/\beta$. Si es mayor que $1.75/\beta$, puede usar el método flexible aproximado.

Para efectuar el análisis para el diseño estructural de una losa flexible, deben conocerse los principios que intervienen en la evaluación del modulo de reacción *k*.
El procedimiento de diseño se basa principalmente en la teoría de placas. Su uso permite que sean evaluados los efectos (es decir, momento, fuerza cortante y deflexión) de una carga concentrada de columna en el área circundante que va a evaluarse. Si se traslapan las zonas de influencia de dos o más columnas, se usa la superposición para obtener el momento, cortante y deflexión netos en cualquier punto. El método es como sigue:

1. Suponga un espesor, *h*, para la losa de acuerdo con el paso 6 del método rígido convencional. (*Nota: h* es el espesor total de la losa)

2. Determine la rigidez por flexión R de la losa dada por la formula

$$R = \frac{E_F h^3}{12(1-\mu_F^2)} \tag{4.12}$$

Donde E_F = modulo de elasticidad del material de cimentación

μ_F = relación de Poisson del material de la cimentación

3. Determinar el radio de la rigidez efectiva, es decir:

$$L' = \sqrt[4]{\frac{R}{k}} \tag{4.13}$$

La zona de influencia de cualquier carga de columnas será del orden de 3 a 4 *L'*.

4. Determine el momento en coordenadas polares en un punto causado por una carga de columna. Las formulas que deben usarse son:

$$(momento\ radial\ )M_r = -\frac{Q}{4}\left[A_1 - \frac{(1-\mu_F)A_2}{\frac{r}{L'}}\right] \tag{4.14}$$

y

$$(momento\ tangencial)M_t = -\frac{Q}{4}\left[\mu_F A_1 - \frac{(1-\mu_F)A_2}{\frac{r}{L'}}\right] \tag{4.15}$$

donde r = distancia radial desde la carga de la columna

Q = carga de la columna

A_1, A_2 = funciones de r/L'

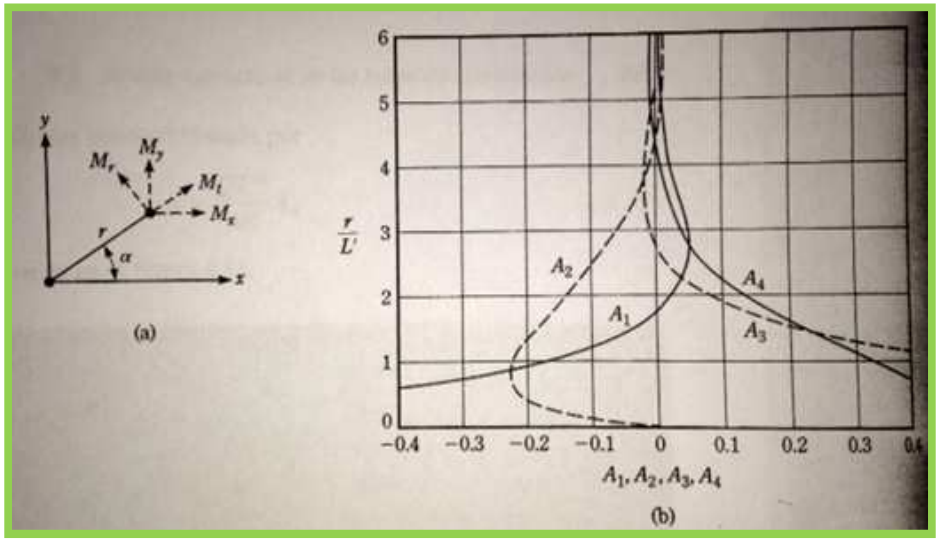


Figura 4.8

Las variaciones de A_1 y A_2 con r/L' se muestran en la figura.

En el sistema coordenado cartesiano:

$$M_x = M_t \, sen^2 \propto + M_r \, cos^2 \propto \tag{4.16}$$

y

$$M_y = M_t \, cos^2 \propto + M_r \, sen^2 \propto \tag{4.17}$$

5. Para un ancho unitario de losa, determine la fuerza cortante, *V*, causada por una carga de columna:

$$V = \frac{Q}{4L'} A_3 \tag{4.18}$$

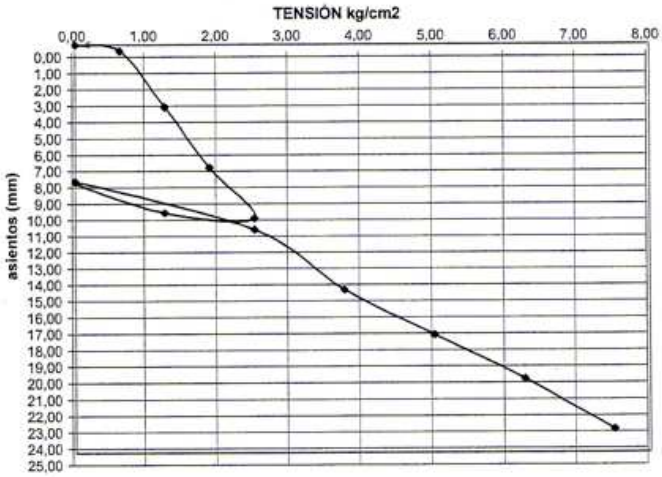
6. Si el borde de la losa se localiza en la zona de influencia de una columna, determine el momento y la fuerza cortante a lo largo del borde (suponga que la losa es continua). Se aplican a los bordes momento y fuerza cortante opuestos en signo a los determinados para satisfacer las condiciones conocidas.

7. La deflexión en cualquier punto está dada por:

$$\delta = \frac{QL'^2}{4R} A_4 \tag{4.19}$$

Siguiendo estos pasos completamos el diseño por el método flexible aproximado para losas de cimentación.

El módulo de balasto vertical para una zapata o una losa se puede definir a partir de ensayo de Placa de Carga realizado sobre el terreno, siendo habitual que dicha placa sea cuadrada de 30x30 cm (1 pie x 1 pie), o bien circular de diámetros 30, 60 y 76,2 cm. Así el coeficiente que aparece referenciado en el estudio geotécnico viene generalmente representado por una k -letra adoptada en la bibliografía para el módulo- y el correspondiente subíndice que identifica a la placa con que se realizó el ensayo -k30, k60, entre otros.- En la siguiente figura se puede observar un ejemplo de ensayo de placa de carga y el resultado de módulo de balasto, k30 en este caso al tratarse de una placa de 30 cm, que se obtiene:



	asiento (mm)	presiones (Kg/cm²)
1er CICLO	0,00	0,00
	0,35	0,63
	3,83	1,25
	7,54	1,88
	10,65	2,50
	10,29	1,25
DESCARGA	8,37	0,00
	11,33	2,50
	15,07	3,75
2º CICLO	17,82	5,00
	20,51	6,25
	23,58	7,50

k_{30}(kg/cm³)	3,18
E1(kg/cm²)	73,37
E2(kg/cm²)	104,55
E2/E1	1,42

Figura 4.9

El tamaño de la placa influye en la profundidad afectada y de la que se podrán extraer conclusiones. A menor tamaño de placa menor bulbo de presiones y con ello menor profundidad de los estratos estudiados. En el caso de losas la profundidad de influencia de la placa es mucho menor que la de la losa real (bulbo de presiones en función del ancho de la cimentación), con lo que se puede inducir a errores debidos a bajadas de rigidez de estratos inferiores pero activos. En el caso de rocas las pruebas realizadas con una placa grande estarán más afectadas por la fisuración que las hechas con placa pequeña.

A partir del ensayo de Placa de Carga y mediante formulación que contempla las dimensiones de la zapata (el caso de losas es más complejo y se debe estudiar la rigidez de la estructura-cimentación) se puede obtener el módulo de balasto siguiendo el procedimiento siguiente debido a Terzaghi:

Se define a continuación un método simplificado para el cálculo del módulo de balasto de una losa de cimentación rectangular a partir del ensayo de placa de carga de 30x30cm. Dada una losa rectangular y un coeficiente de balasto obtenido mediante ensayo de placa de carga de 30x30cm definimos:

- B = ancho equivalente de la zapata (m). Es un parámetro que depende de la rigidez de la estructura, y de la rigidez de la cimentación. En el caso de losas un valor aproximado para b puede ser la luz media entre pilares. Una referencia para profundizar en el valor del ancho equivalente es el (Curso aplicado de cimentaciones), en ella se pueden consultar los apartados de losas semiflexibles, con grandes luces entre pilares y con pequeñas luces entre pilares (es precisamente para este caso cuando es adecuado tomar como ancho equivalente la luz media entre pilares). El tomar B como ancho de la losa conduce a módulos de balasto excesivamente bajos.

- L = lado mayor o longitud de la losa (m)
- ks_{30} = coeficiente de balasto obtenido en placa de 30x30cm (kN/m3).
- $k_{cuadrada}$ = coeficiente de balasto de la zapata cuadrada (kN/m3).
- $k_{rectangular}$ = coeficiente de balasto de la zapata rectangular (kN/m3).

Para el cálculo del coeficiente o módulo de balasto de la zapata rectangular será necesario primero calcular el de la cuadrada. El módulo de balasto de la zapata rectangular (L y B en m) en función del de la losa cuadrada se define por (Terzaghi & Peck, 1996):

$$k_{rectangular} = \frac{2}{3}\, k_{\text{cuadrada}} \left[1 + \frac{B}{2L}\right] \tag{4.20}$$

Donde $k_{cuadrada}$ se determina en función del tipo de suelo y del ensayo de placa de carga de 30x30:

Para suelos cohesivos (arcillas):

$$k_{cuadrada} = k_{30}\, \frac{0.30}{B} \tag{4.21}$$

Para suelos arenosos o granulares:

$$k_{cuadrada} = k_{30} * 2\left(\frac{B + 0.30}{2B}\right) \tag{4.22}$$

Surgen ciertas aclaraciones:

1. En el caso de tener una mezcla de suelos, una solución puede ser el hacer una interpolación a partir de los valores anteriores ($k_{cuadrada}$ *cohesivo* y $k_{cuadrada}$ *arenoso*) y la proporción existente de dichos suelos. No deja de ser una aproximación algo burda, ya que es difícil conocer con exactitud dicha proporción así como que el reparto sea homogéneo. Por ejemplo; Para un suelo con una composición en una proporción estimada del 70% de arcillas y del 30% de arenas tendríamos:

$$k_{cuadrada} = 0{,}70\, k_{cuadrada}\ cohesivo + 0{,}30\, k_{cuadrada}\ arenoso$$

2. En el caso de trabajar en cm, basta con cambiar el coeficiente 0,30 por 30 para que sean válidas las fórmulas.

Se aprecian a continuación los valores estimados del módulo de balasto para Placa de Carga de 30x30 (k30) tomados de (Rodriguez, Gesta, & Mazo). Recordamos que lo correcto sería obtener estos datos a partir del terreno en cuestión:

Tabla 4.1

VALORES DE K30 PROPUESTOS POR TERZAGHI	
Suelo	k30 (kp/cm3)
Arena seca o húmeda:	
-Suelta	0,64-1,92 (1,3)*
-Media	1,92-9,60 (4,0)
-Compacta	9,60-32 (16,0)
Arena sumergida:	
-Suelta	(0,8)
-Media	(2,50)
-Compacta	(10,0)
Arcilla:	
qu=1-2 kp/cm2	1,6-3,2 (2,5)
qu=2-4 kp/cm2	3,2-6,4 (5,0)
qu>4 kp/cm2	>6,4 (10)
***Entre paréntesis los valores medios propuestos**	

Tabla 4.2

VALORES DE K30 PROPUESTOS POR DIVERSOS AUTORES	
Suelo	k30 (kp/cm3)
Arena fina de playa	1,0-1,5
Arena floja, seca o húmeda	1,0-3,0
Arena media, seca o húmeda	3,0-9,0
Arena compacta, seca o húmeda	9,0-20,0
Gravilla arenosa floja	4,0-8,0
Gravilla arenosa compacta	9,0-25,0
Grava arenosa floja	7,0-12,0
Grava arenosa compacta	12,0-30,0
Margas arcillosas	20,0-40,0
Rocas blandas o algo alteradas	30,0-500
Rocas sanas	800-30.000

A partir de la determinación de parámetros característicos del suelo (módulo de deformación, tensión admisible, entre otros) que se relacionan con el módulo de balasto mediante fórmulas dadas por varios autores:

- Es conocida, por ejemplo, la fórmula de Vesic en función del módulo de deformación o elasticidad (E_F) y coeficiente de Poisson (μ_F) el terreno, que en su forma reducida tiene la siguiente expresión:

$$k_s = \frac{E_F}{B(1 - 2\mu_F)} \tag{4.23}$$

Donde B es el ancho de la cimentación.

- La fórmula de klepikov (Tsudik):

$$k_s = \frac{E_F}{[(\frac{\omega A}{2})\,(1 - 2\mu_F)]} \tag{4.24}$$

Con (A) el área de la base de la cimentación y (ω) un coeficiente de forma de la cimentación que para zapatas o losas se puede obtener de la tabla en función del largo (L) y del ancho (b) de la cimentación:

Tabla 4.3

L/b	**1,0**	**1,5**	**2,0**	**3,0**	**4,0**	**5,0**	**6,0**	**7,0**	**8,0**	**9,0**	**10,0**
ω	0,88	0,87	0,86	0,83	0,80	0,77	0,74	0,73	0,71	0,69	0,67

- También la fórmula de (Bowles, 1997), basada en la tensión admisible de la cimentación:
-

$$k_s = 40(F.S)\sigma\text{adm} \tag{4.25}$$

Donde el factor de seguridad es el empleado para minorar la tensión admisible (2-3).

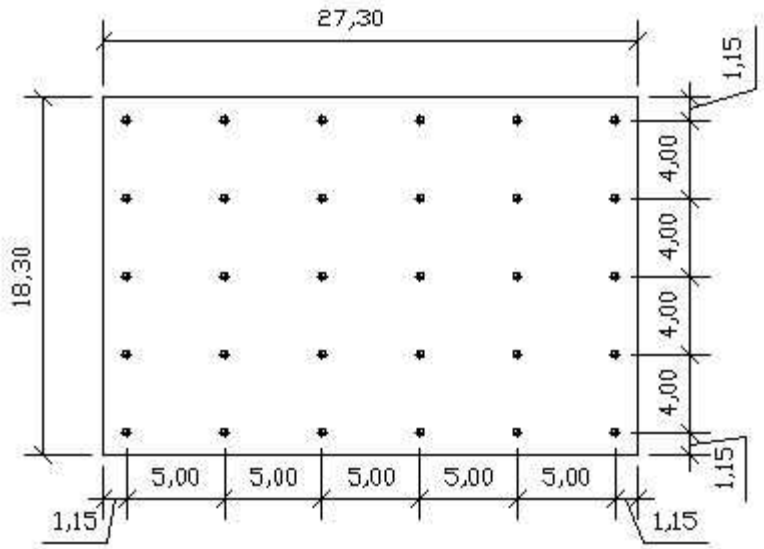


Figura 4.10

EJEMPLO de cálculo de módulo de balasto:

La losa de cimentación de la figura, de 27,30 m de largo, 18,30 m de ancho y 0,50 m de espesor, se asienta sobre un terreno esencialmente arenoso, al que se le ha realizado un ensayo de placa de carga que ha dado como resultado un coeficiente de balasto de k_{30}=13000 kN/m3.

Calcular el módulo de balasto para utilizar en el posterior análisis estructural de la losa.

Solución:

Tenemos para la losa cuadrada en terreno arenoso:

$$k_{cuadrado} = k_{30} * 2(\frac{B + 0.30}{2B})$$

$$k_{cuadrado} = 13000 * 2(\frac{18.50 + 0.30}{2 * 18.50})$$

$$k_{cuadrado} = 3{,}356.30\ KN/m3$$

Y para la losa rectangular:

$$k_{rectangular} = \frac{2}{3}\ k_{\text{cuadrada}} \left[1 + \frac{B}{2L}\right]$$

$$k_{rectangular} = \frac{2}{3}\ (3{,}356.30) \left[1 + \frac{18.50}{2 * 24}\right]$$

$$k_{rectangular} = 3{,}100\ \text{KN/m3}$$

Nota: Se ha utilizado aquí el valor del ancho de la losa para b, como se ha discutido anteriormente dicho valor conduce a un balasto menor que el real.

4.2 ESFUERZOS EN LOS SUELO

Para entender a plenitud el funcionamiento de la capacidad portante en los materiales heterogéneos, como lo es el suelo, de debe conocer el siguiente compendio teórico.

4.2.1 ESFUERZO EFECTIVO

El esfuerzo efectivo en cualquier dirección está definido como la diferencia entre el esfuerzo total en dicha dirección y la presión del agua que existe en los vacíos del suelo. El esfuerzo efectivo es por lo tanto una diferencia de esfuerzos.

4.2.2 NATURALEZA DEL ESFUERZO EFECTIVO

El suelo es una estructura semejante a un esqueleto de partículas sólidas en contacto, formando un sistema intersticial de vacíos intercomunicados. Los vacíos del suelo están total o parcialmente llenos de agua. La interacción entre la estructura del suelo y el fluido de los vacíos determina el comportamiento, desde el punto de vista de la ingeniería, único y dependiente del tiempo de la masa del suelo.

La compresibilidad de un suelo sujeto a carga o descarga, es principalmente su capacidad de deformación de vacíos, usualmente por desplazamiento de agua. La resistencia de un suelo es su capacidad última de resistencia a tal carga.

Los esfuerzos cortantes sólo pueden ser resistidos por la estructura de las partículas sólidas, pues el agua no tiene resistencia cortante. Por otro lado, el esfuerzo normal en cualquier plano es la suma de dos componentes: una debida a la carga transmitida por las partículas sólidas de la estructura del suelo, y la otra, una presión del fluido en los espacios vacíos.

La compresibilidad y la resistencia de un suelo dependen de la diferencia entre el esfuerzo total debido a la carga externa, σ, y la presión de poros, μ. Esta diferencia se denomina esfuerzo efectivo, y se expresa por:

$$\sigma = (\sigma - \mu) \tag{4.26}$$

La naturaleza física de este parámetro puede entenderse intuitivamente considerando a un suelo saturado limitado por una membrana flexible impermeable, tal como se muestra en la Fig. 1. El esfuerzo total debido a la carga aplicada es σ, que es perpendicular a la membrana. La presión de poros es μ (μ < σ), la cual por ser una presión hidrostática, tiene igual intensidad en todas las direcciones.

La presión de poros es perpendicular a la membrana y tiene el valor de μ. Examinando los esfuerzos normales a la membrana, se puede apreciar que la diferencia de esfuerzos (σ-μ) se transmite a la estructura del suelo a través de la membrana, para una situación de equilibrio. Entonces, el esfuerzo efectivo (σ-μ) es una medida de la carga transmitida por la estructura del suelo.

4.2.3 EL PRINCIPIO DE ESFUERZOS EFECTIVOS EN SUELOS SECOS O SATURADOS

El principio de los esfuerzos efectivos fue propuesto por Karl Terzaghi en 1923 y se representa en la ecuación (4.26). La expresión anterior fue establecida para suelos saturados o suelos granulares secos. De acuerdo a Lambe y Whitman (1969), el principio de esfuerzos efectivos se enuncia del modo siguiente:

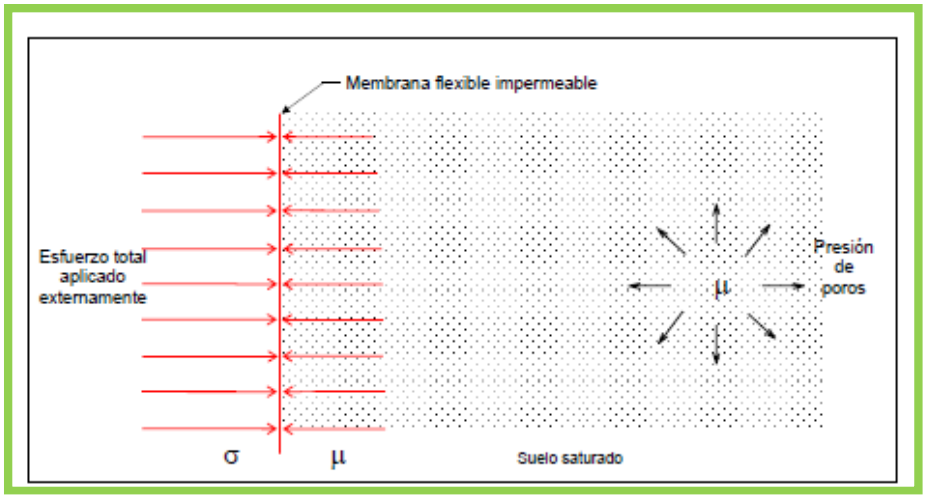


Figura 4.11

a) El esfuerzo efectivo es igual al esfuerzo total menos la presión de poros.

b) El esfuerzo efectivo controla ciertos aspectos del comportamiento del suelo, especialmente la compresibilidad y la resistencia.

(Bishop & Blight, 1963) Indicaron que existen dos condiciones necesarias y suficientes Para que la ec. (4.26) se cumpla rigurosamente para el cambio de volumen y la resistencia de suelos saturados o secos:

1. Las partículas del suelo son incompresibles.

2. El esfuerzo de fluencia en la partícula sólida, que controla el área de contacto y la resistencia cortante intergranular, es independiente del esfuerzo de confinamiento. Los suelos reales no satisfacen completamente estas dos condiciones, tal como fue indicado por (Skempton, Effective Stress in Soils, Concrete and Rocks, 1961); el comportamiento mecánico de los suelos y otros materiales porosos está controlado más exactamente por un esfuerzo efectivo que es función del esfuerzo total y la presión de poros en la forma:

$$\sigma = \sigma - k\mu \tag{4.27}$$

donde, para cambios en la resistencia cortante:

$$k = \left(1 - \frac{a \ \mathrm{tg}\ \psi}{\mathrm{tg}\ \bar{\phi}}\right) \tag{4.28}$$

y para cambios volumétricos:

$$k = \left(1 - \frac{C_s}{C}\right) \tag{4.29}$$

donde:

a = área de contacto entre partículas por área unitaria bruta del material.

ψ = ángulo de fricción intrínseca de la sustancia sólida que compone las partículas.

φ = ángulo de resistencia cortante del material poroso.

Cs = compresibilidad de la sustancia sólida que compone las partículas.

C = compresibilidad del material poroso.

Para los suelos, el valor de $\frac{tg\psi}{\text{tg}\,\varphi}$ puede ser de 0.15 a 0.30, pero *a* es muy pequeña a las presiones normalmente encontradas en los problemas de ingeniería. Además, bajo estas presiones bajas, Cs/C es muy pequeña, de modo que para suelos saturados o secos, el valor de σ = σ −μ para ambos casos. (Skempton, Effective Stress in Soils, Concrete and Rocks, 1961) Ha demostrado que la ecuación (4.26) de Terzaghi no es cierta para rocas saturadas o concreto, donde el valor de Cs/C está en el orden de 0.1 a 0.5, el de $\frac{tg\psi}{\text{tg}\,\varphi}$ en el orden de 0.1 a 0.3 y el valor de a no es despreciable.

4.2.4 EL PRINCIPIO DE ESFUERZOS EFECTIVOS EN SUELOS PARCIALMENTE SATURADOS

Un suelo parcialmente saturado es un material compuesto de tres fases; los posibles estados del suelo, aire y agua se presentan en la Fig. 4.12 (Jennings, 1961). Para los casos donde el aire en un suelo parcialmente saturado existe dentro de burbujas, puede decirse que por lo menos para el caso de cambios de resistencia cortante la ec. (4.26) se mantiene. Una situación diferente será en el caso de la Fig. 4.12 (d), donde existe un canal de aire.

En una conferencia presentada en Oslo en 1955 y después publicada en 1959, (Bishop & Donald, 1961) propone el principio de esfuerzos efectivos para suelos parcialmente saturados:

$$\overline{\sigma} = \sigma - [\mu_a - \psi\,(\mu_a - \mu_w)] \tag{4.30}$$

Con el objeto de desarrollar la ec. (4.30), Bishop extendió la ec. (4.27) a un suelo que contiene dos fluidos en los poros a diferentes presiones:

$$\overline{\sigma} = \sigma - k_1 \ \mu_w - k_2 \ \mu_a$$

(4.31)

Donde μ_w = presión de poros en el agua

μ_a = presión de poros en el aire

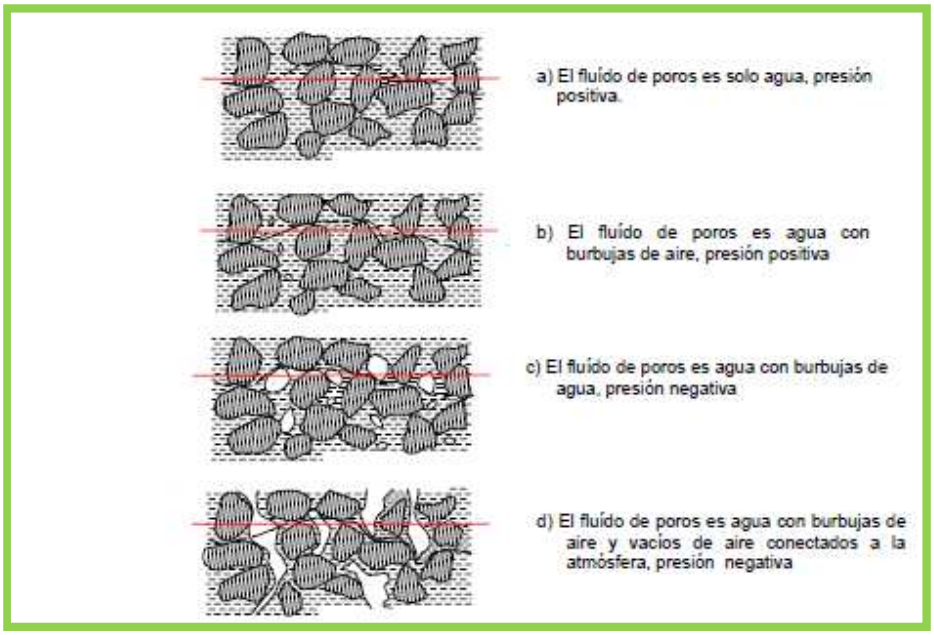


Figura 4.12 Estados del agua-aire en relación con el principio de esfuerzos efectivos (Jennings, 1961)

Dentro del rango práctico de interés, se asume que cambios iguales y simultáneos en esfuerzo total, presión de poros en el agua y presión de poros en el aire, no tendrán efecto en el volumen o la resistencia cortante (la geometría del menisco depende solamente de la diferencia μa - μw y es independiente de la presión absoluta.).

De la ec. $\Delta\sigma = 0$

$$\Delta\sigma = \Delta\mu_w = \Delta\mu_a$$

(4.32)

luego:

$$k2 = 1 - k1$$

(4.33)

si k1 = ψ, la ec. (4.31) se transforma en:

$$\overline{\sigma} = \sigma - \mu_a + \psi\,(\mu_a - \mu_w)$$

(4.34)

Como fue indicado por Bishop y Donald (1961), ψ, simboliza un parámetro que depende del grado de saturación S_r y del ciclo de humedecimiento-secado o cambio de esfuerzo a que hubiera estado sometido el espécimen.

El esfuerzo efectivo normal con respecto a la resistencia cortante puede definirse como aquel esfuerzo al cual, con presiones de poro de aire y agua igual a cero, proporcionaría la misma resistencia que la combinación de esfuerzo total y presiones de poro y aire bajo consideración. El esfuerzo efectivo puede definirse de modo similar respecto al cambio volumétrico, pero los valores de ψ no necesariamente serían los mismos.

4.3 SUELO

El Doctor Ing. Karl V. Terzaghi expresa en su libro "*Soil Mechanics in Engineering Practice*" que el suelo es una delgada capa sobre la corteza terrestre de material que proviene de la desintegración y/o alteración (física o química) de las rocas y de los residuos de las actividades de los seres vivos que sobre ella se asientan.

4.3.1 ESTRUCTURA DE LOS SUELOS:

Los diferentes tipos de estratificaciones que de manera amplia y explícita se conforman en las capas superficiales y profundas dan como resultado estructuras complejas, lo que a su vez hace atractivo e intrigante el conocimiento y estudio del mismo. La estructura básica en su estado natural, es la disposición y estado de agregación de los granos, lo que depende del ambiente de meteorización[11] en los suelos residuales, o del ambiente de deposición[12] en los suelos transportados. Esta es la fábrica textural que hereda el suelo.

Otras discontinuidades en la masa, por ejemplo, pliegues y fracturas, por tectonismo, vulcanismo, y otros, o las que marcan ciclos de actividad geológica (planos de estratificación, disolución, alteración, entre otros), son la estructura secundaria y constituyen aspectos estructurales a mayor escala; esta es la fábrica estructural que hereda el suelo (relictos).

En el proceso de sedimentación, las partículas sólidas están sometidas a fuerzas mecánicas y eléctricas. Las primeras afectan todas las partículas (ambientes turbulentos, gravedad y algunas otras) y las segundas a las partículas finas (atracción, repulsión y enlaces iónicos, en medios acuosos). Cuando dominan fuerzas de atracción eléctrica, se produce floculación y cuando dominan las de repulsión, y las partículas se separan, dispersión. La temperatura y concentración iónica, influyen en la incidencia del medio acuoso de la sedimentación. Así, la estructura primaria puede ser:

---

[11] Meteorización: Erosión, alteración o descomposición de una roca por la acción de los agentes atmosféricos

[12] Deposición: sedimentación de materiales (sedimentos) que se añaden sobre el suelo terrestre o marino.

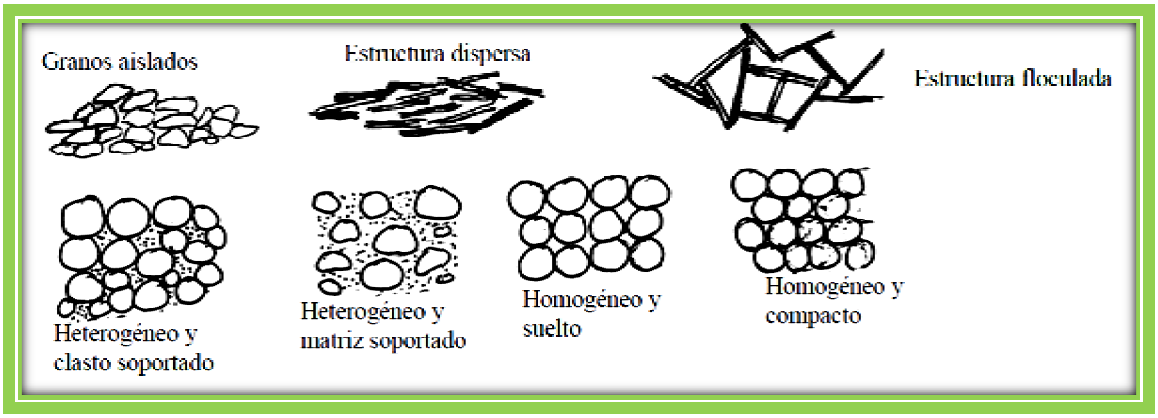


Fig. 4.13

4.3.2 ARCILLA

Un suelo de uso muy particular en mecánica de suelos es la arcilla y es por eso que dedicaremos un poco más de tiempo para su estudio detallado:

Arcillas son grupos minerales definidos, como caolinita, illita y montmorillonita, donde participan estructuras octaédricas y tetraédricas. La arcilla, como el humus[13], posee propiedades coloidales. Las arcillas, en el sentido mineralógico, son cristales microscópicos cuyos átomos están dispuestos en planos.

Al interior de una trama de átomos de oxígeno, cuyas esferas iónicas son voluminosas, se encuentran cationes de sílice (Si) y aluminio (Al). Si el volumen lo permite, cationes de hierro (Fe), magnesio (Mg), calcio (Ca) o potasio (K) reemplazan al sílice (Si) y al aluminio (Al).

Las arcillas tienen una capacidad de intercambio iónico grande. Otros iones diferentes a los enunciados pueden completar las capas y unirlas, y también, las cargas eléctricas libres pueden ser equilibradas por iones intercambiables.

Sensibilidad: o susceptibilidad de una arcilla, es la propiedad por la cual, al perder el suelo su estructura natural, cambia su resistencia, haciéndose menor, y su compresibilidad, aumenta.

---

[13] Humus: es la sustancia compuesta por ciertos productos orgánicos de naturaleza coloidal, que proviene de la descomposición de los restos orgánicos por organismos y microorganismos benéficos (hongos y bacterias).

Tixotropía: Propiedad que tienen las arcillas, en mayor o menor grado, por la cual, después de haber sido ablandada por manipulación o agitación, puede recuperar su resistencia y rigidez, si se le deja en reposo y sin cambiar el contenido de agua inicial

4.3.3 TIPOS DE ARCILLAS

De acuerdo con su arreglo reticular los minerales de arcillas se clasifican en:

- **Caolinítico**: (del nombre chino Kau-ling) Principal grupo de arcillas que presenta baja capacidad de intercambio, 10-12 me (mili-equivalentes) cada 100 gr, y con dos capas de cationes, las llamadas arcillas 1:1, procede de la carbonatación de la ortoclasa. Formados por una lámina silícica y una lámina alumínica superpuestas de manera indefinida y con la unión tal entre sus retículas que no permiten penetración de moléculas de agua entre ellas, cuya estructura no es expansiva, por eso es que estas arcillas son bastantes estables en presencia de agua.

Del grupo son: haloisita, caolinita (por definición), endellita, dickita, alofano, nacrita y anauxita. La haloisita, aunque tiene la misma fórmula del caolín, contiene moléculas extra dentro de su estructura.

- **Montmorilonítico**: Arcilla 2:1 (nombre debido al lugar llamado Montmorrillón, Francia) cuya capacidad de intercambio es de unos 120 me/100gr, lo que las hace muy expansivas, a este grupo pertenecen las bentonitas, se forman por superposición indefinida de una lámina alumínica entre dos láminas silícicas pero con una unión débil entre sus retículas, lo que hace que agua pueda penetrar con facilidad a sus retículas. Estas arcillas sufren fuerte expansión en contacto con agua lo que provoca inestabilidad entre ellas.

Entre las montmorillonitas tenemos: la montmorillonita (por definición), hectorita, saponita, beidellita, sauconita, talco, porfilita y nontronita.

Bentonitas: Suelos montmorilloníticos altamente plásticos y altamente expansivos, de grano tan fino que al tacto es jabonoso (sí es húmedo). Se utilizan para sellar fugas en depósitos y canales.

- **Ilítico**: (se debe al lugar llamado Illinois, Estados Unidos) Es una arcilla 2:1, cuya capacidad de intercambio es de unos 40 me/100gr, lo que las hace algo expansivas. Producto de la hidratación de las micas y presentan un arreglo reticular similar a las Montmoriloníticas, pero con tendencia a formar grumos por la presencia de iones de potasio, lo que reduce el área expuesta al agua, razón por la cual no son tan expansivas. El coeficiente de fricción interno y la permeabilidad son menores que en la caolinita y mayores que en la montmorillonita.

Vermiculita, clorita, sericita, entre otras, son otros minerales arcillosos no clasificados en los anteriores tres grupos. (Terzaghi & Peck, 1996)

4.3.4 ARCILLA, OBJETO DE INVESTIGACIÓN

En la ingeniería civil toda obra es fundada sobre un estrato o diversos estratos del suelo, dependiendo de la clasificación de este podría traducirse en una problemática para el emplazamiento de la estructura, dicho así, como serian las arcillas.

Las arcillas como suelo de cimentación resultan desfavorables ante cargas colosales, lo que significa un aumento en los costos del proyecto, ya que se debe acudir a soluciones geotécnicas para el acondicionamiento de la misma, dada las propiedades de esta como son su capacidad de intercambio cationico, capacidad de absorción, hinchamiento, plasticidad, sensibilidad y tixotropía, lo que convierte este material en uno de los candidatos menos deseados al momento de hablar de fundaciones.

Las propiedades anteriormente mencionadas y el comportamiento de esta despierta grandes inquietudes en los investigadores de mecánica de los suelos, arrojadas estas razones las cuales son de motivación para elegir este material como enfoque en el estudio.

4.4 ENSAYO A UTILIZAR PARA LA DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO ADMISIBLE EN SUELOS

4.4.1 ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTANDAR (SPT)

(*Ver anexo7.5.1*)

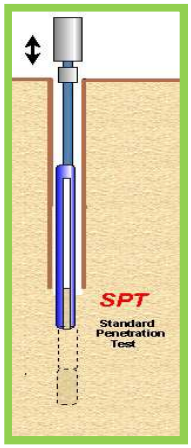


Fig. 4.14

El ensayo S.P.T. (Standard Penetration Test) consiste básicamente en contar el número de golpes (N) que se necesitan para introducir dentro un estrato de suelo, un tomamuestras (cuchara partida) de 30 cm. De largo, a diferentes profundidades (generalmente con variación de metro en metro). El tomamuestras es golpeado bajo energía constante, con una masa en caída libre de 140 lb. (33.5 Kg.) y una altura de caída de 30 pulg. (76,2 cm.).

4.5 ENSAYO UTILIZADO PARA DETERMINAR LA RIGIDEZ DEL SUELO

(Ver anexo 7.6.1)

4.5.1 ENSAYO DE PLACA DE CARGA

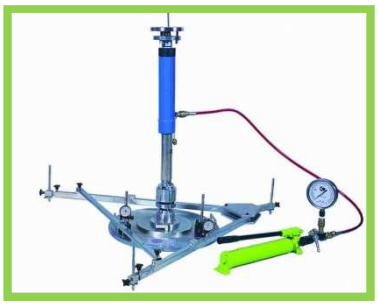


Fig 4.14

El ensayo de carga directa es un ensayo in-situ que permite la estimación de la capacidad portante del suelo mediante métodos empíricos. Este ensayo es sólo una parte de los procedimientos necesarios en la investigación del suelo para el diseño de la cimentación.

Éste método proporciona información del suelo sólo hasta una profundidad igual a dos veces el diámetro de la placa a partir del nivel de ensayo, y toma en cuenta sólo parte del efecto del tiempo. Debido a que mediante este ensayo se miden asentamientos o deformaciones, ha sido continuamente utilizado para el cálculo de la rigidez del suelo y modernamente para obtener el Modulo de Young del material en prueba.

CAPÍTULO V:
MARCO METODOLÓGICO

5. ASPECTO METODOLÓGICO

A continuación presentamos los aspectos característicos del proyecto investigativo.

5.1 TIPOS DE INVESTIGACIÓN

Como se muestra en el siguiente esquema, se utilizaran los siguientes tipos de investigacion:

Esquema 5.1

-Investigación Aplicada:

Conocida como investigación práctica o empírica, es aquella que utiliza los conocimientos prácticos obtenidos para generar nuevos tras implementar y sistematizar la práctica basada en investigación, que podrán ser empleados en provecho de los técnicos que emplean dichos procesos y en la sociedad en general. Pudiendo desarrollar una forma atinada, rigurosa y sistemática de generar los resultados.

-Investigación de Campo:

Esta investigación permite, mediante la utilización del método científico, la generación de nuevas teorías aplicables a la situación actual, por lo que el investigador certifica las condiciones reales y posibles respuestas del suceso en función de las pruebas adquiridas tras la investigación y experimentación de los elementos. Por lo que se le otorga un alto grado de confiabilidad al proceso por la exactitud de la información proporcionada.

5.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Esquema 5.2

En esta etapa de planificación de la investigación elaboramos arduamente todas las actividades a realizar para alcanzar los objetivos de estudio de forma excelente.

5.2.1 TÉCNICAS

Para el desarrollo del tema, hemos considerado la utilización de técnicas investigativas en el campo que proporcionen resultados reales y comparativos; siendo estas las siguientes:

- Experimental y ex post-facto:

  Se basa en ensayos de experimentación para fundamentar teorías que pudieren derogar antiguas consideraciones.

- Investigación-acción, investigación sobre la práctica; de manera holística, fenomenológica, de análisis sistemático, de contenido, e investigación en general dentro de enfoques cualitativos e interpretativos:

Donde se toman en consideración todos los factores relacionado con el evento, haciendo que la investigación sea muy analítica para producir nuevas interpretaciones.

- Estudios de costo-beneficio y de costo-efectividad:

  Efectuar comparaciones respecto a los métodos convencionales, realizando reportes analíticos de los beneficios y efectividad del método investigado con un enfoque económico.

- Prueba de modelos estadísticos, econométricos y matemáticos en general:

  Utilizar los modelos existentes como medio para comprobación de resultados.

5.2.2 INSTRUMENTOS

Para la realización de los estudios de campo en los cuales se incurre para la obtención de los datos y valores que se ameritan para la sustentación, son necesarias herramientas y equipos especializados propios del área de la geotecnia e ingeniería en general. A continuación los mencionamos:

Equipos del ensayo de Placa de Carga (Norma ASTM-D1586).

Equipos necesarios para la realización del ensayo SPT (Norma ASTM-D1194)

Cinta métrica.

Pico y Pala.

Caja de herramientas.

Equipos de protección personal incluyendo guantes.

Camioneta o Camión para el transporte de los equipos y el personal.

Cámara para obtención de multimedia (Imágenes y Videos)

Computadora para procesamiento de datos y elaboración de informes.

5.2.3 MÉTODO

En esta investigación se hace uso de diversos métodos los cuales se ameritan para el desarrollo de la misma, dada la complejidad del estudio se ven implicada ramas de la ciencia que sirven de apoyo para la sustentación y conformación del mismo. A continuación se detalla los métodos aplicados:

- Método deductivo, ya que este procede a tomar aspectos específicos de las normas, leyes, teorías y proposiciones, basándonos en esto para la definición y planteamiento de los conceptos allegados al tema en cuestión.

- Método matemático, una de las herramientas más grandes que se tiene disponible, mediante operaciones y conceptos aplicados llegaremos a conclusiones basados en valores obtenidos

- Método estadístico, se aplica la estadística para promediar, correlacionar y hacer estudios de regresión para estimar datos que arrojaran resultados esperados para la comprobación de la hipótesis.

- Método bibliográfico documental, se aplica para los conceptos utilizados en la investigación.

- Método experimental, mediante la realización de ensayos in situ y de laboratorio al suelo.

5.2.4 LIMITACIONES

Hay factores muy trascendentales que han causado que nuestra investigacion no surgiera según las condiciones ideales de estudio. Estas limitaciones fueron las siguientes:

- Tiempo: Como estudio investigativo, necesita que se le dedique el tiempo necesario para lograr las precisiones requeridas para análisis de esta magnitud, pero el tiempo limitado de plazo para el termino de la tesis ha causado que no se realizaran un mayor número de ensayos.

- Recursos: Los equipos de SPT y Placa de Carga para la realización de los ensayos in situ son muy costosos y si no fuera por patrocinios no se hubieran podido ejecutar. El transporte de los instrumentos también se convirtió en contratiempos al igual que la necesidad del personal requerido para la operación de las herramientas.

- Clima: Un país necesita lluvia (agua) para funcionar, pero cuando hablamos de la realización de labores científicas, posiblemente esta cause un sin número de inconvenientes, es el caso de nosotros, mas porque las pruebas deben ser preparadas en suelo arcilloso, y como sabemos, el humedecimiento de este causa estragos si se trata de permanecer sobre la superficie del mismo, hundimiento del equipo y del camión, además de resultados grandemente alterados.

- Complejidad: El tema ha evolucionado hasta representar, en algunos momentos, dificultades como su aprendizaje y, al ser una solución innovadora y especializada, falta de referencias de trabajos parecidos. Aun así hemos utilizado nuestros conocimientos para lograr derrumbar todas las barreras anteriormente mencionadas y desarrollar el proyecto de forma que los resultados sean validos y positivamente aceptados dentro del ámbito de la ingeniería.

5.2.5 POBLACIÓN Y MUESTRA

El gran universo de suelo arcilloso nos obliga a seleccionar parámetros de estudios más cercanos a la realidad que nos compete.

La población elegida es la Arcilla de la Ciudad de Santo Domingo.
La muestra seleccionada es el suelo arcilloso de la Circunvalación de Santo Domingo, específicamente el Tramo I.

5.2.6 PROCEDIMIENTO

Para lograr resultados positivos y reales en este estudio, debemos seguir un conjunto de tácticas y estrategias, las cuales mencionamos a continuación:

- Es necesario planificarse en gabinete, revisando los presupuestos y cronogramas, al igual que los pronósticos del clima y consultar sobre el acceso a las zonas para realizar los ensayos.

- Una visita de exploración a los lugares de prueba es casi obligatorio, debido a que se pueden tomar decisiones concernientes a la ejecución de los estudios sin recurrir a la movilización de los equipos. Tener control de los puntos (coordenadas a ensayar).

- Se deben preparar listas de chequeo de salida y entrada, para verificar que se cumpla con todos los instrumentos, personal, herramientas y documentación necesarios, como las normas para posibles consultas, formularios de campo para cada prueba, entre otros ya mencionados. En caso de ser imperioso, portar sombrillas, asientos compactos, refrigerios, protector solar y equipos de protección personal en general.

- Dirigirse a las localizaciones a estudiar y realizar sondeos hasta llegar al estrato de suelo deseado, en este caso para este proyecto será el intervalo de sondeo correspondiente al material arcilloso. Seguir el procedimiento de la norma (ASTM-D1186), encontrado en los Anexos.

- Tomar muestras del sondeo para identificar el estrato de suelo arcilloso, todo esto en contenedores impermeables o tubos Shelby, para lograr obtener las características intrínsecas del mismo, dígase, Contenido de humedad, Clasificación y Limites de Atterbeg. Al igual se pueden realizar ensayos de comparación, como el de compresión simple y corte directo. Todo esto se realiza en el Laboratorio de Suelo.

- Luego de haber identificado la profundidad del estrato de arcilla, si es que ésta no se encuentra en la superficie, se procede a realizar el ensayo de placa de carga, si es superficial, tomar en cuenta que solo es efectivo hasta una profundidad igual a dos veces el diámetro de la placa a utilizar. Se debe proceder según la norma correspondiente (Ver anexo – Norma ASTM-D1194)

- Teniendo a mano los resultados recopilados en campo, se digitan los datos en las hojas de cálculo previamente elaboradas, se analizan y comparan los resultados.

- Se modelan ejemplos de utilidades con los resultados obtenidos, estos pueden ser elaboración de correlaciones de numero de golpes de SPT con la Rigidez de Placa de Carga o diseño de un antes y después de alguna fundación.

- Los equipos deben estar siempre guardados de forma que no se altere su condición física-mecánica, al igual que deben estar bien calibrados.

Comprobamos que siguiendo éstos pasos como se mencionan, se logra el desarrollo correcto de la investigación.

5.2.7 PRESUPUESTO

PRESUPUESTO

Investigacion "Relacion entre el Modulo de subransante y Sigma Admisible en suelos Arcillosos

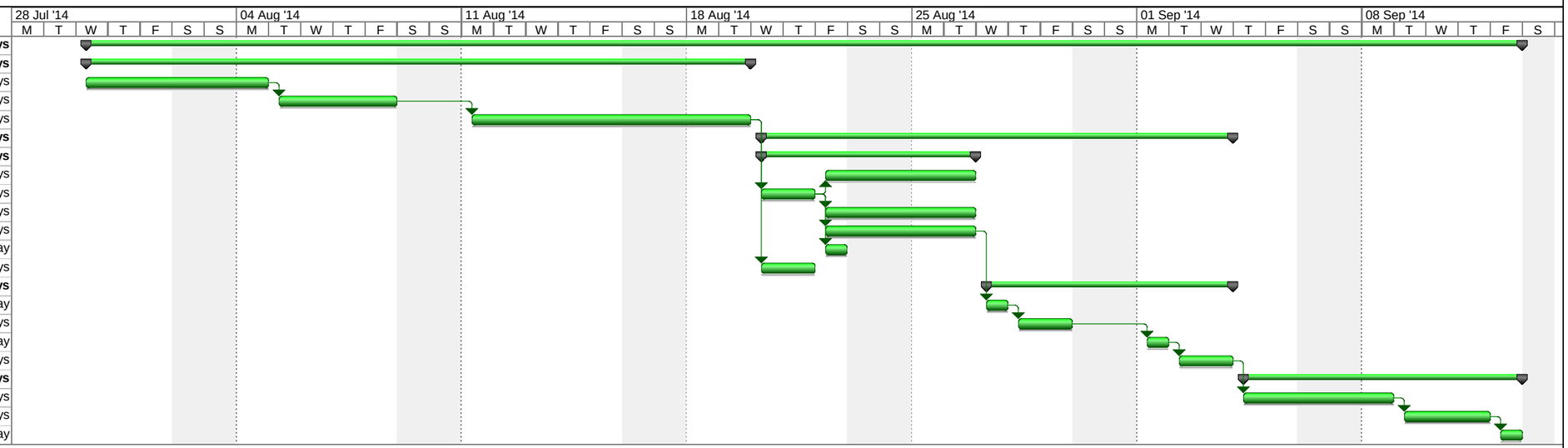
Ubicac : PROVINCIA SANTO DOMINGO Zona: II

PART.	D E S C R I P C I O N	CANTIDAD	UNIDAD	P.U. (RD$)	VALOR (RD$)
	INVESTIGACION RELACION DE MODULO DE SUBRASANTE Y SIGMA ADMISIBLE				
A	**TRABAJOS DE CAMPO**				
1	**ENSAYOS IN SITU**				**346,639.95**
1.1	PLACA DE CARGA	10.00	UD	13,000.00	130,000.00
1.2	SONDEO SPT	10.00	UD	15,000.00	150,000.00
1.3	CALICATA A 0.50M X 2.00M X 5.00M A MANO	50.00	M3	295.89	14,794.28
1.4	TRANSPORTE DE EQUIPOS PLACA DE CARGA + PERSONAL @ 30 KM.	6.00	DIA	4,860.63	29,163.78
1.5	SUMINISTRO MATERIAL P/ CARGA DE CAMION	18.00	M3	450.00	8,100.00
1.6	TRANSPORTE DE EQUIPOS SPT + PERSONAL @ 30 KM.	3.00	DIA	4,860.63	14,581.89
2	**ENSAYOS DE LABORATORIO**				**47,500.00**
2.1	GRANULOMETRIA	10.00	P.A.	1,900.00	19,000.00
2.2	CONTENIDO DE HUMEDAD	10.00	P.A.	300.00	3,000.00
2.3	LIMITE DE ATTENBERG	10.00	P.A.	1,950.00	19,500.00
2.4	CLASIFICACION	10.00	P.A.	600.00	6,000.00
3	**EQUIPOS DE SEGURIDAD**				**10,920.00**
3.1	CASCO	8.00	UD	250.00	2,000.00
3.2	CHALECO LUMINICO	8.00	UD	200.00	1,600.00
3.2	LENTES	4.00	UD	180.00	720.00
3.3	BOTAS CON PUNTA DE ACERO	2.00	UD	3,000.00	6,000.00
3.4	GUANTES	4.00	UD	150.00	600.00
4	**MATERIALESS GASTABLES Y OTRO**				**1,800.00**
4.1	IMPRESION HOJAS ENSAYOS	100.00	UD	5.00	500.00
4.2	COPIAS	100.00	UD	2.00	200.00
4.3	HERRAMIENTAS	1.00	P.A	500.00	500.00
4.4	SUMINISTRO DE AGUA	6.00	P.A	100.00	600.00
	SUB - TOTAL GENERAL				**406,859.95**
	GASTOS INDIRECTOS				
	GASTOS ADMINISTRATIVOS		3.0%		12,205.80
	GASTOS DE SUPERVISION		10.0%		40,686.00
	GASTOS DE TRANSPORTE		3.5%		14,240.10
	CARGAS SOCIALES		2.0%		8,137.20
	ITEBIS DE LOS HONORARIOS PROFESIONALES		18.0%		7,323.48
	TOTAL GASTOS INDIRECTOS			40,686.00	**82,592.58**
	IMPREVISTOS		10.0%		8,259.26
	TOTAL				**RD$497,711.79**

5.2.8 CRONOGRAMA

5.9 CRONOGRAMA

ID	Task Name	Duration
1	**CRONOGRAMA INVESTIGACION**	**33 days**
2	**TRABAJOS PREVIOS**	**15 days**
3	PLANEACION	4 days
4	CONCEPTUALIZACION	4 days
5	RECOPILACION DE INFORMACION	7 days
6	**TRABAJOS DE CAMPO**	**11 days**
7	**ENSAYOS IN SITU**	**5 days**
8	PLACA DE CARGA	3 days
9	SONDEO SPT	2 days
10	CALICATA A 0.50M X 2.00M X 5.00M A MANO	3 days
11	TRANSPORTE EQUIPOS PLACA DE CARGA @	3 days
12	SUMINISTRO MATERIAL P/ CARGA DE CAMION	1 day
13	TRANSPORTE DE EQUIPOS SPT @ 30 KM.	2 days
14	**ENSAYOS DE LABORATORIO**	**6 days**
15	GRANULOMETRIA	1 day
16	CONTENIDO DE HUMEDAD	2 days
17	LIMITE DE ATTENBERG	1 day
18	CLASIFICACION	2 days
19	**PROCESAMIENTO DE DATOS**	**7 days**
20	DATOS DE ENSAYOS	3 days
21	ELABORACION DE GRAFICAS	3 days
22	CONLCUSIONES	1 day



Project: CRONOGRAMA INVES RELA
Date: Thu 18/09/14

Task | Split | Progress | Milestone | Summary | Project Summary | External Tasks | External Milestone | Deadline

CAPÍTULO VI:
RESULTADOS:
RELACIÓN ENTRE MÓDULO DE SUB-RASANTE Y ESFUERZO ADMISIBLE EN SUELOS ARCILLOSOS

6.1 PROCESAMIENTO DE DATOS

Ensayo Placa de Carga

ASTM D1194

PROYECTO:	CIRCUNVALACION SD	***UBICACION :***	SANTO DOMINGO
REALIZADO POR:	ARMANDO CABRAL	***REVISADO POR:***	ROBERTO HOLGUIN
FECHA:	28/08/2014	***HORA:***	08:30 a.m.
TEMPERATURA:	30 ˚C	***CLIMA:***	NUBLADO
COORDENADAS:			
ESTACIÓN:	14+500		

DESCRIPCION SUELO:	ARENOSA ARCILLOSA AMARILLA (SC), MUY FIRME.

Bearing Plate usado	#3
No. Ensayo	1

Equipo			
Bomba	P 80 ENERPAC	**Presion de Bomba**	10000 Psi (700 Bar)
Gato Hidraulico	ENERPAC ESP2026	**Carga Maxima**	500 KN
Peso del Gato Hid.	32 kg	**Area del Gato Hid.**	72.52 cm²

LECTURAS								
No. Lecturas	**Tiempo [min.]**	**Carga [kg/cm2]**	**DEFORMIMETROS**			**PROM. LECTURAS**	**ASENTAMIENTO [mm]**	
			D1 [mm]	**D2 [mm]**	**D3 [mm]**			
1	0	0.50	0.79	1.02		0.90		
2	0.5		0.92	1.07		0.99		
3	1		0.94	1.22		1.08		
4	2		0.97	1.27		1.12		
5	4		1.00	1.27		1.14		
6	6		0.99	1.27		1.13		
7	8		1.03	1.27		1.15		
8	10		1.03	1.30		1.16		
9	12		1.03	1.30		1.16		
10	14		1.03	1.30		1.16		
11	15		1.03	1.30		1.16		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**1.16**	

LECTURAS								
No. Lecturas	Tiempo [min.]	Carga [kg/cm2]	DEFORMIMETROS			PROM. LECTURAS	ASENTAMIENTO [mm]	
			D1 [mm]	D2 [mm]	D3 [mm]			
1	0		1.35	2.60		1.97		
2	0.5		1.37	2.61		1.99		
3	1		1.40	2.65		2.02		
4	2		1.40	2.67		2.03		
5	4		1.42	2.69		2.06		
6	6		1.42	2.75		2.09		
7	8		1.42	2.78		2.10		
8	10		1.45	2.80		2.12		
9	12		1.45	2.81		2.13		
10	14	1.00	1.45	2.81		2.13		
11	15		1.45	2.81		2.13		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**2.13**	
1	0		3.78	6.23		5.01		
2	0.5		3.90	6.47		5.19		
3	1		4.01	6.52		5.27		
4	2		4.07	6.55		5.31		
5	4		4.13	6.57		5.35		
6	6		4.18	6.58		5.38		
7	8		4.19	6.58		5.39		
8	10		4.19	6.58		5.39		
9	12		4.19	6.59		5.39		
10	14	2.00	4.20	6.59		5.40		
11	15		4.20	6.59		5.40		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**5.40**	

LECTURAS								
No. Lecturas	Tiempo [min.]	Carga [kg/cm2]	DEFORMIMETROS			PROM. LECTURAS	ASENTAMIENTO [mm]	
			D1 [mm]	D2 [mm]	D3 [mm]			
1	0		10.16	12.76		11.46		
2	0.5		10.25	12.90		11.58		
3	1		10.34	12.98		11.66		
4	2		10.36	13.04		11.70		
5	4		10.40	13.06		11.73		
6	6		10.42	13.07		11.75		
7	8		10.42	13.07		11.75		
8	10		10.44	13.07		11.76		
9	12	4.00	10.45	13.07		11.76		
10	14		10.45	13.07		11.76		
11	15		10.45	13.07		11.76		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**11.76**	
1	0		23.46	28.94		26.20		
2	0.5		23.68	29.18		26.43		
3	1		23.80	29.30		26.55		
4	2		23.83	29.37		26.60		
5	4		23.85	29.40		26.63		
6	6		23.86	29.41		26.64		
7	8		23.86	29.41		26.64		
8	10		23.86	29.42		26.64		
9	12		23.87	29.42		26.65		
10	14	6.00	23.87	29.43		26.65		
11	15		23.87	29.43		26.65		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**26.65**	
		DESCARGA	18.78	16.45		17.62		
							17.62	

Ensayo de Penetracion Estandar SPT

ASTM D1586

PROYECTO:	CIRCUNVALACION SD	***UBICACION :***	SANTO DOMINGO
REALIZADO POR:	MEDRANO	***REVISADO POR:***	ING. BARRANCO
FECHA:	25/08/2014	***HORA:***	-
TEMPERATURA:	-	***CLIMA:***	-
COORDENADAS:			
ESTACIÓN:	14+500		

DESCRIPCION SUELO:	ARENOSA ARCILLOSA AMARILLA (SC), MUY FIRME.

P [m]	γ [kN/m³]	N_{SPT}	q_u [kg/cm2]	q_{adm} [kg/cm2]	Ensayos Laboratorio	
0.00					***LL***	39%
0.45	17.00	12	3.08	1.03	***LP***	20%
0.90	17.00	24	6.17	2.06	***IP***	19%
1.35	17.00	54	13.88	4.63	***%humedad***	27%
1.80	17.50	48	12.34	4.11	***Clasificacion***	SC
2.25	17.50	55	14.14	4.71	42%Are,36%Arc, 22%Frg	
2.70	18.00	72	18.50	6.17	***LL***	69%
3.15	18.00	64	16.45	5.48	***LP***	25%
3.60	18.00	0	0.00	0.00	***IP***	44%
4.05	18.00	0	0.00	0.00	***%humedad***	13%
4.50	19.00	0	0.00	0.00	***Clasificacion***	CH
4.95	19.00	0	0.00	0.00	36%Are,64%Arc,	

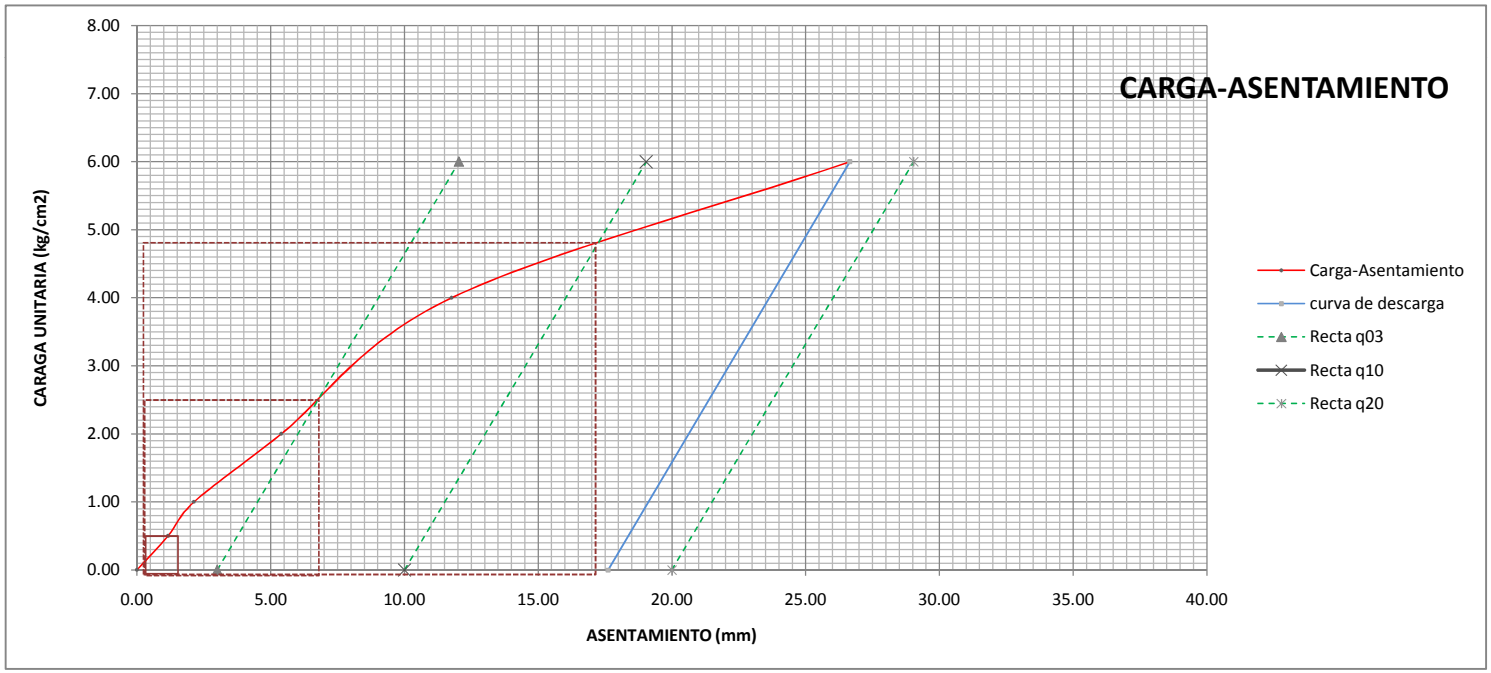
Grafica Ensayo placa de Carga

PROYECTO:	CIRCUNVALACION SD	***UBICACION :***	SANTO DOMINGO
REALIZADO POR:	ARMANDO CABRAL	***REVISADO POR:***	ROBERTO HOLGUIN
FECHA:	28/08/2014	***HORA:***	08:30 a.m.
TEMPERATURA:	30 ˚C	***CLIMA:***	NUBLADO
COORDENADAS:			
ESTACIÓN:	14+500		

DESCRIPCION SUELO:	ARENOSA ARCILLOSA AMARILLA (SC), MUY FIRME.

Bearing Plate usado	#3
No. Ensayo	1

Presion (kg/cm2)	ASENT (mm)
0.00	0.00
0.50	1.16
1.00	2.13
2.00	5.40
4.00	11.76
6.00	26.65
0.00	17.62



Pendiente de Descarga

$m_D =$ 0.66

Pendiente Tramo = 0.52

para $\delta =$ 1.27

$\sigma =$ **0.56**

Kv= 4.37 kg/cm3

$$k_1 = \frac{\sigma_1}{0.127cm} \ (\text{kg/cm}^3)$$

Qadm Metodo Frances

q03= 2.11

q10= 3.13

q20= 0.00

Qadm Terzaaghi - peck

qadm= 1.8

Ensayo Placa de Carga

ASTM D1194

PROYECTO:	CIRCUNVALACION SD	***UBICACION :***	SANTO DOMINGO
REALIZADO POR:	ARMANDO CABRAL	***REVISADO POR:***	ROBERTO HOLGUIN
FECHA:	28/08/2014	***HORA:***	10:30 a.m.
TEMPERATURA:	33 ˚C	***CLIMA:***	NUBLADO
COORDENADAS:			
ESTACIÓN:	16+000		

DESCRIPCION SUELO:	ARCILLA UN POCO ARENOSA (CH), MARRON CLARO.

Bearing Plate usado	#3
No. Ensayo	2

Equipo			
Bomba	P 80 ENERPAC	**Presion de Bomba**	10000 Psi (700 Bar)
Gato Hidraulico	ENERPAC ESP2026	**Carga Maxima**	500 KN
Peso del Gato Hid.	32 kg	**Area del Gato Hid.**	72.52 cm²

LECTURAS								
No. Lecturas	**Tiempo [min.]**	**Carga [kg/cm2]**	**DEFORMIMETROS**			**PROM. LECTURAS**	**ASENTAMIENTO [mm]**	
			D1 [mm]	**D2 [mm]**	**D3 [mm]**			
1	0	0.50	0.47	0.32		0.40		
2	0.5		0.51	0.44		0.48		
3	1		0.59	0.48		0.54		
4	2		0.66	0.49		0.58		
5	4		0.68	0.50		0.59		
6	6		0.70	0.51		0.61		
7	8		0.71	0.51		0.61		
8	10		0.71	0.51		0.61		
9	12		0.72	0.51		0.62		
10	14		0.72	0.51		0.62		
11	15		0.72	0.51		0.62		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**0.62**	

LECTURAS								
No. Lecturas	Tiempo [min.]	Carga [kg/cm2]	DEFORMIMETROS			PROM. LECTURAS	ASENTAMIENTO [mm]	
			D1 [mm]	D2 [mm]	D3 [mm]			
1	0	1.00	3.04	2.88		2.96		
2	0.5		3.24	2.99		3.12		
3	1		3.36	3.12		3.24		
4	2		3.50	3.17		3.34		
5	4		3.55	3.21		3.38		
6	6		3.57	3.24		3.41		
7	8		3.59	3.25		3.42		
8	10		3.60	3.25		3.43		
9	12		3.61	3.25		3.43		
10	14		3.61	3.25		3.43		
11	15		3.61	3.25		3.43		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**3.43**	
1	0	2.00	6.45	5.96		6.21		
2	0.5		6.63	6.14		6.39		
3	1		6.78	6.20		6.49		
4	2		6.89	6.24		6.57		
5	4		6.92	6.26		6.59		
6	6		6.94	6.26		6.60		
7	8		6.95	6.27		6.61		
8	10		6.95	6.27		6.61		
9	12		6.96	6.27		6.62		
10	14		6.96	6.27		6.62		
11	15		6.96	6.27		6.62		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**6.62**	

LECTURAS								
No. Lecturas	Tiempo [min.]	Carga [kg/cm2]	DEFORMIMETROS			PROM. LECTURAS	ASENTAMIENTO [mm]	
			D1 [mm]	D2 [mm]	D3 [mm]			
1	0	4.00	16.83	15.90		16.37		
2	0.5		16.90	16.09		16.50		
3	1		16.95	16.14		16.55		
4	2		16.97	16.17		16.57		
5	4		16.98	16.19		16.59		
6	6		16.99	16.20		16.60		
7	8		17.00	16.20		16.60		
8	10		17.01	16.20		16.61		
9	12		17.01	16.20		16.61		
10	14		17.02	16.20		16.61		
11	15		17.02	16.20		16.61		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**16.61**	
1	0	6.00	39.82	25.50		32.66		
2	0.5		40.45	26.00		33.23		
3	1		40.49	26.10		33.30		
4	2		40.52	26.35		33.44		
5	4		40.52	26.42		33.47		
6	6		40.55	26.44		33.50		
7	8		40.55	26.44		33.50		
8	10		40.55	26.44		33.50		
9	12		40.55	26.44		33.50		
10	14		40.55	26.44		33.50		
11	15		40.55	26.44		33.50		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**33.50**	
		DESCARGA	32.45	20.65		26.55		
							26.55	

Ensayo de Penetracion Estandar SPT

ASTM D1586

PROYECTO:	CIRCUNVALACION SD	***UBICACION :***	SANTO DOMINGO
REALIZADO POR:	MEDRANO	***REVISADO POR:***	ING. BARRANCO
FECHA:	25/08/2014	***HORA:***	-
TEMPERATURA:	-	***CLIMA:***	-
COORDENADAS:			
ESTACIÓN:	16+000		

DESCRIPCION SUELO:	ARCILLA UN POCO ARENOSA (CH), MARRON CLARO.

P [m]	γ [kN/m³]	N_{SPT}	q_u [kg/cm2]	q_{adm} [kg/cm2]	Ensayos Laboratorio	
0.00					***LL***	65%
0.45	17.00	15	3.86	1.29	***LP***	45%
0.90	17.00	48	12.34	4.11	***IP***	34%
1.35	17.00	52	13.36	4.45	***%humedad***	32%
1.80	17.50	79	20.30	6.77	***Clasificacion***	SC
2.25	17.50	81	20.82	6.94	57%Are,23%Arc, 20%Frg	
2.70	18.00	97	24.93	8.31	***LL***	56%
3.15	18.00	0	0.00	0.00	***LP***	43%
3.60	18.00	0	0.00	0.00	***IP***	18%
4.05	18.00	0	0.00	0.00	***%humedad***	23%
4.50	19.00	0	0.00	0.00	***Clasificacion***	CH
4.95	19.00	0	0.00	0.00	30%Are,50%Arc, 20%Frg	

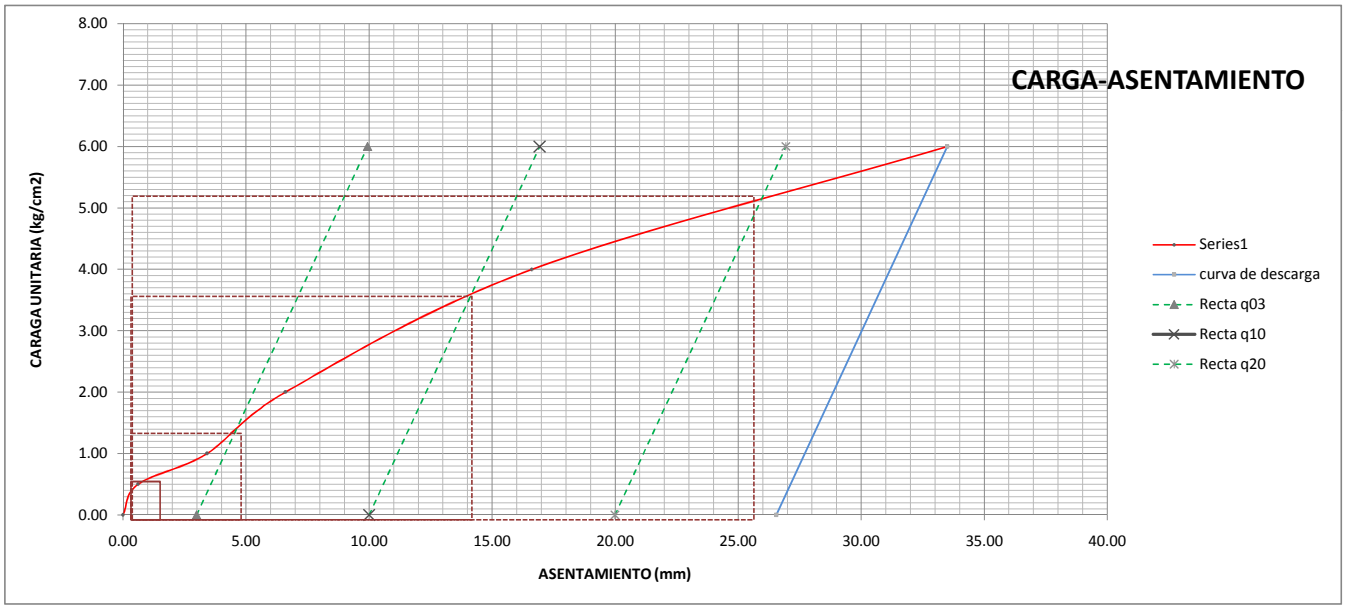
Grafica Ensayo placa de Carga

PROYECTO:	CIRCUNVALACION SD	***UBICACION :***	SANTO DOMINGO
REALIZADO POR:	ARMANDO CABRAL	***REVISADO POR:***	ROBERTO HOLGUIN
FECHA:	28/08/2014	***HORA:***	10:30 a.m.
TEMPERATURA:	33 ˚C	***CLIMA:***	NUBLADO
COORDENADAS:			
ESTACIÓN:	16+000		

DESCRIPCION SUELO:	ARCILLA UN POCO ARENOSA (CH), MARRON CLARO.

Bearing Plate usado	#3
No. Ensayo	2

Presion (kg/cm2)	ASENT (mm)
0.00	0.00
0.50	0.62
1.00	3.43
2.00	6.62
4.00	16.61
6.00	33.50
0.00	26.55



Pendiente de Descarga

$m_D =$ 0.86

Pendiente Tramo = 0.18

para $\delta =$ 1.27

$\sigma =$ **0.62**

Kv= 4.85 kg/cm3

$$k_1 = \frac{\sigma_1}{0.127cm} \ (\mathrm{kg/cm^3})$$

Qadm Metodo Frances

q03= 1.40

q10= 2.40

q20= 2.57

Qadm Terzaaghi - peck

qadm= 1.49

Ensayo Placa de Carga

ASTM D1194

PROYECTO:	CIRCUNVALACION SD	***UBICACION :***	SANTO DOMINGO
REALIZADO POR:	ROBERTO HOLGUIN	***REVISADO POR:***	ARMANDO CABRAL
FECHA:	29/08/2014	***HORA:***	02:15 p.m.
TEMPERATURA:	29 ˚C	***CLIMA:***	LLUVIOSO
COORDENADAS:			
ESTACIÓN:	14+260		

DESCRIPCION SUELO:	ARCILLA ARENOSA (CH), AMARILLA CON FRAG DE BASALTO.

Bearing Plate usado	#3
No. Ensayo	3

Equipo			
Bomba	P 80 ENERPAC	**Presion de Bomba**	10000 Psi (700 Bar)
Gato Hidraulico	ENERPAC ESP2026	**Carga Maxima**	500 KN
Peso del Gato Hid.	32 kg	**Area del Gato Hid.**	72.52 cm²

LECTURAS

No. Lecturas	Tiempo [min.]	Carga [kg/cm2]	DEFORMIMETROS D1 [mm]	D2 [mm]	D3 [mm]	PROM. LECTURAS	ASENTAMIENTO [mm]	
1	0		0.93	0.45		0.69		
2	0.5		1.06	0.46		0.76		
3	1		1.08	0.47		0.78		
4	2		1.11	0.48		0.79		
5	4		1.16	0.49		0.83		
6	6		1.16	0.50		0.83		
7	8		1.16	0.50		0.83		
8	10		1.16	0.50		0.83		
9	12		1.16	0.50		0.83		
10	14	0.50	1.16	0.50		0.83		
11	15		1.16	0.50		0.83		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**0.83**	

LECTURAS								
No. Lecturas	Tiempo [min.]	Carga [kg/cm2]	DEFORMIMETROS			PROM. LECTURAS	ASENTAMIENTO [mm]	
			D1 [mm]	D2 [mm]	D3 [mm]			
1	0	1.00	3.42	2.75		3.08		
2	0.5		3.47	2.78		3.12		
3	1		3.49	2.80		3.15		
4	2		3.54	2.81		3.18		
5	4		3.54	2.82		3.18		
6	6		3.54	2.82		3.18		
7	8		3.57	2.82		3.19		
8	10		3.57	2.82		3.19		
9	12		3.57	2.82		3.19		
10	14		3.57	2.82		3.19		
11	15		3.57	2.82		3.19		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**3.19**	
1	0	2.00	8.81	5.92		7.37		
2	0.5		8.99	6.05		7.52		
3	1		9.01	6.07		7.54		
4	2		9.06	6.10		7.58		
5	4		9.09	6.11		7.60		
6	6		9.11	6.12		7.62		
7	8		9.11	6.12		7.62		
8	10		9.11	6.12		7.62		
9	12		9.11	6.12		7.62		
10	14		9.11	6.12		7.62		
11	15		9.11	6.12		7.62		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**7.62**	

LECTURAS								
No. Lecturas	Tiempo [min.]	Carga [kg/cm2]	DEFORMIMETROS			PROM. LECTURAS	ASENTAMIENTO [mm]	
			D1 [mm]	D2 [mm]	D3 [mm]			
1	0		20.19	16.17		18.18		
2	0.5		20.37	16.30		18.33		
3	1		20.39	16.33		18.36		
4	2		20.42	16.34		18.38		
5	4		20.42	16.36		18.39		
6	6		20.44	16.37		18.41		
7	8		20.47	16.38		18.42		
8	10		20.47	16.38		18.42		
9	12		20.47	16.38		18.42		
10	14	4.00	20.47	16.38		18.42		
11	15		20.47	16.38		18.42		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**18.42**	
1	0		37.28	35.30		36.29		
2	0.5		37.33	35.36		36.35		
3	1		37.33	35.40		36.37		
4	2		37.38	35.46		36.42		
5	4		37.46	35.48		36.47		
6	6		37.51	35.53		36.52		
7	8		37.56	35.55		36.56		
8	10		37.61	35.56		36.59		
9	12		37.61	35.56		36.59		
10	14	6.00	37.61	35.56		36.59		
11	15		37.61	35.56		36.59		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**36.59**	
		DESCARGA	32.43	30.21		31.32		
							31.32	

Ensayo de Penetracion Estandar SPT

ASTM D1586

PROYECTO:	CIRCUNVALACION SD	**UBICACION :**	SANTO DOMINGO
REALIZADO POR:	MEDRANO	**REVISADO POR:**	ING. BARRANCO
FECHA:	25/08/2014	**HORA:**	-
TEMPERATURA:	-	**CLIMA:**	-
COORDENADAS:			
ESTACIÓN:	14+260		

DESCRIPCION SUELO:	ARCILLA ARENOSA (CH), AMARILLA CON FRAG DE BASALTO.

P [m]	γ [kN/m³]	N_{SPT}	q_u [kg/cm2]	q_{adm} [kg/cm2]	Ensayos Laboratorio	
0.00					***LL***	13%
0.45	17.00	12	3.08	1.03	***LP***	18%
0.90	17.00	46	11.82	3.94	***IP***	12%
1.35	17.00	57	14.65	4.88	***%humedad***	20%
1.80	17.50	67	17.22	5.74	***Clasificacion***	SC
2.25	17.50	60	15.42	5.14	57%Are,30%Arc, 13%Frg	
2.70	18.00	70	17.99	6.00	***LL***	40%
3.15	18.00	91	23.39	7.80	***LP***	22%
3.60	18.00	0	0.00	0.00	***IP***	18%
4.05	18.00	0	0.00	0.00	***%humedad***	16%
4.50	19.00	0	0.00	0.00	***Clasificacion***	SC
4.95	19.00	0	0.00	0.00	38%Are,41%Arc, 21%Frg	

Grafica Ensayo placa de Carga

PROYECTO:	CIRCUNVALACION SD	***UBICACION :***	SANTO DOMINGO
REALIZADO POR:	ARMANDO CABRAL	***REVISADO POR:***	ROBERTO HOLGUIN
FECHA:	29/08/2014	***HORA:***	02:15 p.m.
TEMPERATURA:	29 ˚C	***CLIMA:***	LLUVIOSO
COORDENADAS:			
ESTACIÓN:	14+260		

DESCRIPCION SUELO:	ARCILLA ARENOSA (CH), AMARILLA CON FRAG DE BASALTO.

Bearing Plate usado	#3
No. Ensayo	3

Presion (kg/cm2)	ASENT (mm)
0.00	0.00
0.50	0.83
1.00	3.19
2.00	7.62
4.00	18.42
6.00	36.59
0.00	31.32

Pendiente de Descarga

$m_D =$ 1.14

Pendiente Tramo = 0.21

para $\delta =$ 1.27

$\sigma =$ **0.59**

Kv= 4.67 kg/cm3

$$k_1 = \frac{\sigma_1}{0.127cm} \ (\text{kg/cm}^3)$$

Qadm Metodo Frances

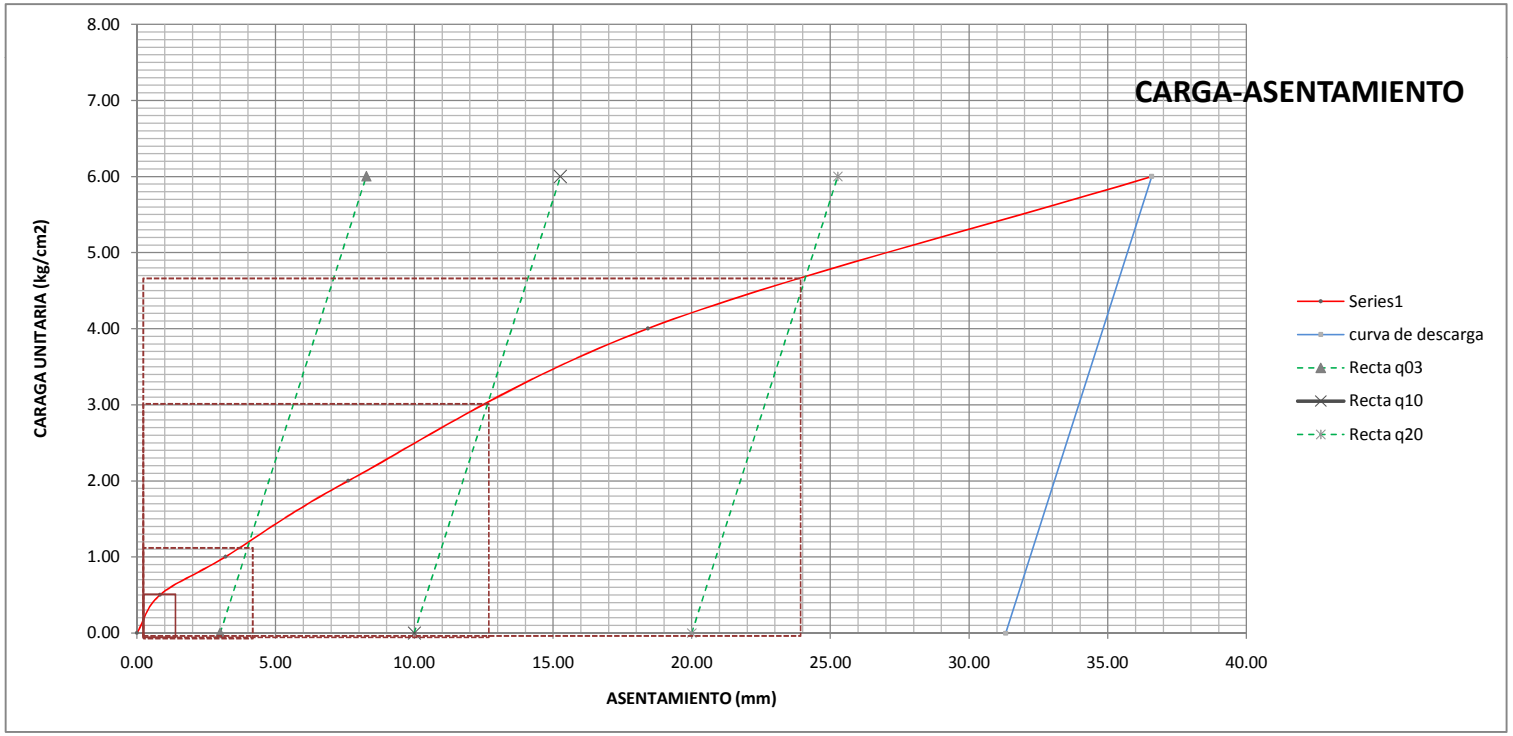
q03= 1.19

q10= 2.01

q20= 2.35

Qadm Terzaaghi - peck

qadm= 1.25



Ensayo Placa de Carga

ASTM D1194

PROYECTO:	CIRCUNVALACION SD	***UBICACION :***	SANTO DOMINGO
REALIZADO POR:	ROBERTO HOLGUIN	***REVISADO POR:***	ARMANDO CABRAL
FECHA:	01/09/2014	***HORA:***	02:40 p.m.
TEMPERATURA:	28 ˚C	***CLIMA:***	LLUVIOSO
COORDENADAS:			
ESTACIÓN:	13+500		

DESCRIPCION SUELO:	ARCILLA ORGANICA COLOR MARRON (CH).

Bearing Plate usado	#3
No. Ensayo	4

Equipo			
Bomba	P 80 ENERPAC	**Presion de Bomba**	10000 Psi (700 Bar)
Gato Hidraulico	ENERPAC ESP2026	**Carga Maxima**	500 KN
Peso del Gato Hid.	32 kg	**Area del Gato Hid.**	72.52 cm²

LECTURAS

No. Lecturas	Tiempo [min.]	Carga [kg/cm2]	DEFORMIMETROS D1 [mm]	D2 [mm]	D3 [mm]	PROM. LECTURAS	ASENTAMIENTO [mm]	
1	0	0.50	0.42	1.92		1.17		
2	0.5		0.47	2.05		1.26		
3	1		0.62	2.07		1.34		
4	2		0.67	2.10		1.39		
5	4		0.67	2.13		1.40		
6	6		0.67	2.13		1.40		
7	8		0.70	2.16		1.43		
8	10		0.70	2.16		1.43		
9	12		0.70	2.16		1.43		
10	14		0.70	2.16		1.43		
11	15		0.70	2.16		1.43		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**1.43**	

LECTURAS								
No. Lecturas	Tiempo [min.]	Carga [kg/cm2]	DEFORMIMETROS			PROM. LECTURAS	ASENTAMIENTO [mm]	
			D1 [mm]	D2 [mm]	D3 [mm]			
1	0	1.00	1.63	3.80		2.71		
2	0.5		1.80	3.89		2.85		
3	1		1.88	3.93		2.91		
4	2		1.93	3.95		2.94		
5	4		1.96	3.97		2.96		
6	6		1.96	3.98		2.97		
7	8		1.98	3.98		2.98		
8	10		1.98	3.98		2.98		
9	12		1.98	3.98		2.98		
10	14		1.98	3.99		2.99		
11	15		1.98	3.99		2.99		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**2.99**	
1	0	2.00	5.25	7.30		6.27		
2	0.5		5.40	7.60		6.50		
3	1		5.50	7.65		6.58		
4	2		5.55	7.70		6.63		
5	4		5.58	7.74		6.66		
6	6		5.60	7.79		6.70		
7	8		5.63	7.82		6.72		
8	10		5.63	7.81		6.72		
9	12		5.63	7.81		6.72		
10	14		5.65	7.81		6.73		
11	15		5.65	7.81		6.73		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**6.73**	

LECTURAS								
No. Lecturas	Tiempo [min.]	Carga [kg/cm2]	DEFORMIMETROS			PROM. LECTURAS	ASENTAMIENTO [mm]	
			D1 [mm]	D2 [mm]	D3 [mm]			
1	0		14.63	15.70		15.17		
2	0.5		14.70	15.80		15.25		
3	1		14.81	16.05		15.43		
4	2		14.87	16.10		15.49		
5	4		14.95	16.20		15.58		
6	6		14.96	16.28		15.62		
7	8		14.96	16.31		15.64		
8	10		14.96	16.33		15.65		
9	12	4.00	14.97	16.36		15.67		
10	14		14.97	16.37		15.67		
11	15		14.97	16.37		15.67		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**15.67**	
1	0		26.64	29.90		28.27		
2	0.5		27.35	30.35		28.85		
3	1		27.50	30.49		29.00		
4	2		27.60	30.61		29.11		
5	4		27.68	30.68		29.18		
6	6		27.96	30.77		29.36		
7	8		27.98	30.84		29.41		
8	10		28.01	30.90		29.45		
9	12		28.06	30.93		29.49		
10	14	6.00	28.06	30.97		29.51		
11	15		28.06	30.98		29.52		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**29.52**	
		DESCARGA	21.32	24.43		22.88		
							22.88	

Ensayo de Penetracion Estandar SPT

ASTM D1586

PROYECTO:	CIRCUNVALACION SD	**UBICACION :**	SANTO DOMINGO
REALIZADO POR:	MEDRANO	**REVISADO POR:**	ING. BARRANCO
FECHA:	25/08/2014	**HORA:**	-
TEMPERATURA:	-	**CLIMA:**	-
COORDENADAS:			
ESTACIÓN:	13+500		

DESCRIPCION SUELO:	ARCILLA ORGANICA COLOR MARRON (CH).

P [m]	γ [kN/m³]	N_{SPT}	q_u [kg/cm2]	q_{adm} [kg/cm2]	Ensayos Laboratorio	
0.00					***LL***	43%
0.45	17.00	7	1.80	0.60	***LP***	24%
0.90	17.00	7	1.80	0.60	***IP***	19%
1.35	17.00	81	20.82	6.94	***%humedad***	25%
1.80	17.50	99	25.44	8.48	***Clasificacion***	CL
2.25	17.50	0	0.00	0.00	36%Are,64%Arc,	
2.70	18.00	0	0.00	0.00	***LL***	37%
3.15	18.00	0	0.00	0.00	***LP***	20%
3.60	18.00	0	0.00	0.00	***IP***	17%
4.05	18.00	0	0.00	0.00	***%humedad***	10%
4.50	19.00	0	0.00	0.00	***Clasificacion***	SC
4.95	19.00	0	0.00	0.00	43%Are,34%Arc, 23%Grv	

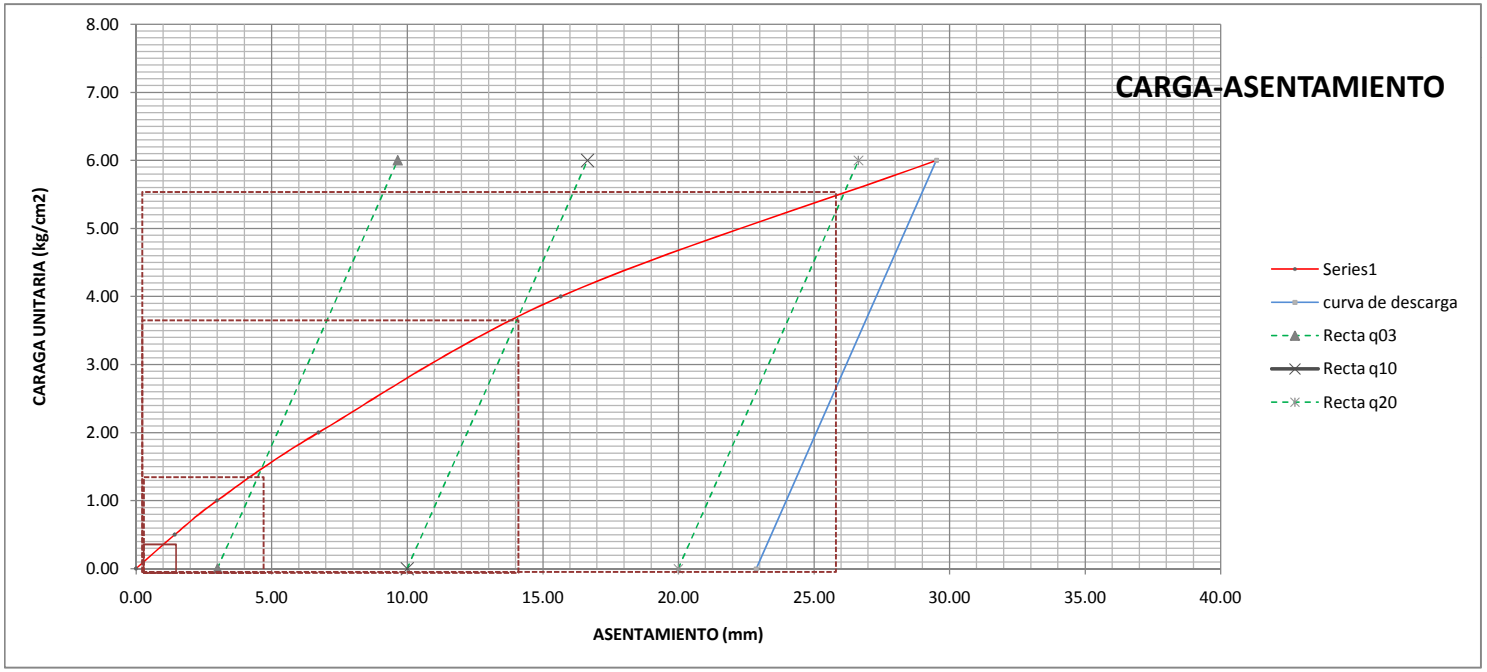
Grafica Ensayo placa de Carga

PROYECTO:	CIRCUNVALACION SD	***UBICACION :***	SANTO DOMINGO
REALIZADO POR:	ARMANDO CABRAL	***REVISADO POR:***	ROBERTO HOLGUIN
FECHA:	01/09/2014	***HORA:***	02:40 p.m.
TEMPERATURA:	28 ˚C	***CLIMA:***	LLUVIOSO
COORDENADAS:			
ESTACIÓN:	13+500		

DESCRIPCION SUELO:	ARCILLA ORGANICA COLOR MARRON (CH).

Bearing Plate usado	#3
No. Ensayo	4

Presion (kg/cm2)	ASENT (mm)
0.00	0.00
0.50	1.43
1.00	2.99
2.00	6.73
4.00	15.67
6.00	29.52
0.00	22.88



Pendiente de Descarga

$m_D =$ 0.90

Pendiente Tramo = 0.32

para $\delta =$ 1.27

$\sigma =$ **0.45**

Kv= 3.54 kg/cm3

$$k_1 = \frac{\sigma_1}{0.127cm} \ (\text{kg/cm}^3)$$

Qadm Metodo Frances

q03= 1.42

q10= 2.47

q20= 2.76

Qadm Terzaaghi - peck

qadm= 1.4

Ensayo Placa de Carga

ASTM D1194

PROYECTO:	CIRCUNVALACION SD	***UBICACION :***	SANTO DOMINGO
REALIZADO POR:	ARMANDO CABRAL	***REVISADO POR:***	ROBERTO HOLGUIN
FECHA:	01/09/2014	***HORA:***	04:20 p.m.
TEMPERATURA:	27 ˚C	***CLIMA:***	LLUVIOSO
COORDENADAS:			
ESTACIÓN:	14+020		

DESCRIPCION SUELO:	ARCILLA ORGANICA COLOR MARRON (CH).

Bearing Plate usado	#3
No. Ensayo	5

Equipo			
Bomba	P 80 ENERPAC	**Presion de Bomba**	10000 Psi (700 Bar)
Gato Hidraulico	ENERPAC ESP2026	**Carga Maxima**	500 KN
Peso del Gato Hid.	32 kg	**Area del Gato Hid.**	72.52 cm²

LECTURAS

No. Lecturas	Tiempo [min.]	Carga [kg/cm2]	DEFORMIMETROS D1 [mm]	D2 [mm]	D3 [mm]	PROM. LECTURAS	ASENTAMIENTO [mm]	
1	0	0.50	0.34	1.75		1.05		
2	0.5		0.70	1.89		1.29		
3	1		0.80	2.00		1.40		
4	2		0.87	2.04		1.46		
5	4		0.95	2.07		1.51		
6	6		0.98	2.10		1.54		
7	8		0.98	2.11		1.54		
8	10		1.00	2.12		1.56		
9	12		1.00	2.12		1.56		
10	14		1.00	2.12		1.56		
11	15		1.00	1.89		1.45		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**1.56**	

LECTURAS								
No. Lecturas	Tiempo [min.]	Carga [kg/cm2]	DEFORMIMETROS			PROM. LECTURAS	ASENTAMIENTO [mm]	
			D1 [mm]	D2 [mm]	D3 [mm]			
1	0	1.00	3.63	5.05		4.34		
2	0.5		3.75	5.20		4.48		
3	1		3.80	5.34		4.57		
4	2		3.84	5.36		4.60		
5	4		3.89	5.37		4.63		
6	6		3.91	5.38		4.65		
7	8		3.92	5.38		4.65		
8	10		3.92	5.38		4.65		
9	12		3.92	5.39		4.66		
10	14		3.93	5.39		4.66		
11	15		3.93	5.39		4.66		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**4.66**	
1	0	2.00	8.76	12.45		10.61		
2	0.5		8.88	12.56		10.72		
3	1		8.94	12.60		10.77		
4	2		8.96	12.63		10.80		
5	4		8.99	12.65		10.82		
6	6		9.00	12.67		10.84		
7	8		9.01	12.68		10.85		
8	10		9.01	12.68		10.85		
9	12		9.01	12.68		10.85		
10	14		9.01	12.68		10.85		
11	15		9.01	12.68		10.85		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**10.85**	

LECTURAS								
No. Lecturas	Tiempo [min.]	Carga [kg/cm2]	DEFORMIMETROS			PROM. LECTURAS	ASENTAMIENTO [mm]	
			D1 [mm]	D2 [mm]	D3 [mm]			
1	0		17.29	19.93		18.61		
2	0.5		17.55	20.03		18.79		
3	1		17.73	20.28		19.00		
4	2		17.80	20.24		19.02		
5	4		17.90	20.34		19.12		
6	6		17.75	20.42		19.09		
7	8		17.78	20.45		19.11		
8	10		17.81	20.47		19.14		
9	12		17.83	20.50		19.17		
10	14	4.00	17.83	20.51		19.17		
11	15		17.86	20.51		19.18		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**19.18**	
1	0		28.67	32.03		30.35		
2	0.5		29.38	32.43		30.90		
3	1		29.53	32.70		31.12		
4	2		29.63	32.83		31.23		
5	4		29.71	32.87		31.29		
6	6		30.29	32.88		31.58		
7	8		30.31	32.90		31.61		
8	10		30.34	32.91		31.62		
9	12		30.39	32.91		31.65		
10	14	6.00	30.39	32.91		31.65		
11	15		30.39	32.91		31.65		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**31.65**	
		DESCARGA	13.03	17.90		15.47		
							15.47	

Ensayo de Penetracion Estandar SPT

ASTM D1586

PROYECTO:	CIRCUNVALACION SD	***UBICACION :***	SANTO DOMINGO
REALIZADO POR:	MEDRANO	***REVISADO POR:***	ING. BARRANCO
FECHA:	27/08/2014	***HORA:***	-
TEMPERATURA:	-	***CLIMA:***	-
COORDENADAS:			
ESTACIÓN:	14+020		

DESCRIPCION SUELO:	ARCILLA ORGANICA COLOR MARRON (CH).

P [m]	γ [kN/m³]	N_{SPT}	q_u [kg/cm2]	q_{adm} [kg/cm2]	Ensayos Laboratorio	
0.00					***LL***	38%
0.45	17.00	4	1.03	0.34	***LP***	21%
0.90	17.00	9	2.31	0.77	***IP***	17%
1.35	17.00	15	3.86	1.29	***%humedad***	19%
1.80	17.50	26	6.68	2.23	***Clasificacion***	SC
2.25	17.50	29	7.45	2.48	51%Are,49%Arc,	
2.70	18.00	36	9.25	3.08	***LL***	0%
3.15	18.00	33	8.48	2.83	***LP***	0%
3.60	18.00	34	8.74	2.91	***IP***	0%
4.05	18.00	32	8.22	2.74	***%humedad***	0%
4.50	19.00	0	0.00	0.00	***Clasificacion***	-
4.95	19.00	0	0.00	0.00	-	

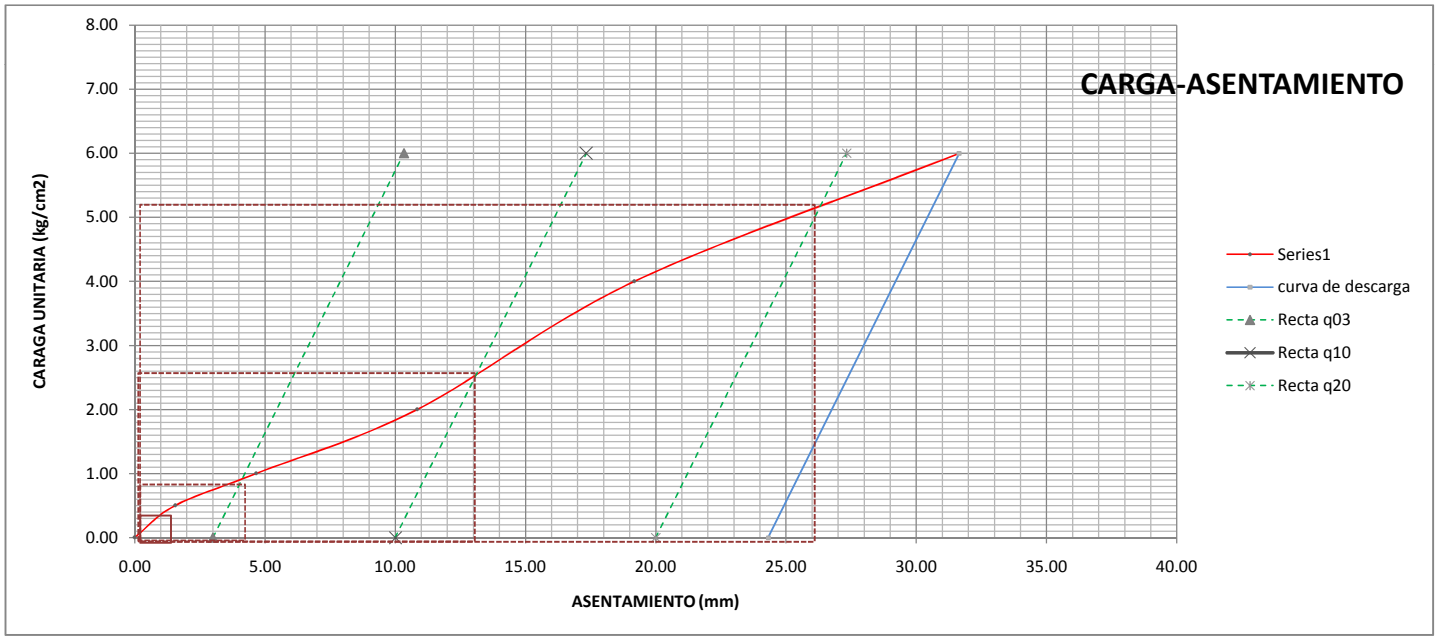
Grafica Ensayo placa de Carga

PROYECTO:	CIRCUNVALACION SD	***UBICACION :***	SANTO DOMINGO
REALIZADO POR:	ARMANDO CABRAL	***REVISADO POR:***	ROBERTO HOLGUIN
FECHA:	01/09/2014	***HORA:***	04:20 p.m.
TEMPERATURA:	27 ˚C	***CLIMA:***	LLUVIOSO
COORDENADAS:			
ESTACIÓN:	14+020		

DESCRIPCION SUELO:	ARCILLA ORGANICA COLOR MARRON (CH).

Bearing Plate usado	#3
No. Ensayo	5

Presion (kg/cm2)	ASENT (mm)
0.00	0.00
0.50	1.56
1.00	4.66
2.00	10.85
4.00	19.18
6.00	31.65
0.00	24.32



Pendiente de Descarga

$m_D =$ 0.82

Pendiente Tramo = 0.16

para $\delta =$ 1.27

$\sigma =$ **0.45**

Kv= 3.57 kg/cm3

$$k_1 = \frac{\sigma_1}{0.127cm} \ (\text{kg/cm}^3)$$

Qadm Metodo Frances

q03= 0.91

q10= 1.67

q20= 2.59

Qadm Terzaaghi - peck

qadm= 0.91

Ensayo Placa de Carga

ASTM D1194

PROYECTO:	CIRCUNVALACION SD	***UBICACION :***	SANTO DOMINGO
REALIZADO POR:	ARMANDO CABRAL	***REVISADO POR:***	ROBERTO HOLGUIN
FECHA:	02/09/2014	***HORA:***	08:00 p.m.
TEMPERATURA:	29 ˚C	***CLIMA:***	SOLEADO
COORDENADAS:			
ESTACIÓN:	14+420		

DESCRIPCION SUELO:	ARCILLA UN POCO ARENOSA (CH), MARRON CLARO CON VETAS GRIS.

Bearing Plate usado	#3
No. Ensayo	6

Equipo			
Bomba	P 80 ENERPAC	**Presion de Bomba**	10000 Psi (700 Bar)
Gato Hidraulico	ENERPAC ESP2026	**Carga Maxima**	500 KN
Peso del Gato Hid.	32 kg	**Area del Gato Hid.**	72.52 cm²

LECTURAS								
No. Lecturas	**Tiempo [min.]**	**Carga [kg/cm2]**	**DEFORMIMETROS**			**PROM. LECTURAS**	**ASENTAMIENTO [mm]**	
			D1 [mm]	**D2 [mm]**	**D3 [mm]**			
1	0	0.50	0.32	0.26		0.29		
2	0.5		0.44	0.27		0.36		
3	1		0.47	0.28		0.38		
4	2		0.49	0.29		0.39		
5	4		0.54	0.30		0.42		
6	6		0.54	0.31		0.43		
7	8		0.54	0.31		0.43		
8	10		0.54	0.31		0.43		
9	12		0.54	0.31		0.43		
10	14		0.54	0.31		0.43		
11	15		0.54	0.31		0.43		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**0.43**	

LECTURAS								
No. Lecturas	Tiempo [min.]	Carga [kg/cm2]	DEFORMIMETROS			PROM. LECTURAS	ASENTAMIENTO [mm]	
			D1 [mm]	D2 [mm]	D3 [mm]			
1	0	1.00	2.55	1.66		2.10		
2	0.5		2.60	1.69		2.14		
3	1		2.62	1.71		2.17		
4	2		2.67	1.72		2.20		
5	4		2.67	1.73		2.20		
6	6		2.67	1.73		2.20		
7	8		2.70	1.73		2.22		
8	10		2.70	1.73		2.22		
9	12		2.70	1.73		2.22		
10	14		2.70	1.73		2.22		
11	15		2.70	1.73		2.22		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**2.22**	
1	0	2.00	6.98	5.13		6.06		
2	0.5		7.16	5.26		6.21		
3	1		7.18	5.28		6.23		
4	2		7.23	5.31		6.27		
5	4		7.26	5.32		6.29		
6	6		7.28	5.33		6.31		
7	8		7.28	5.33		6.31		
8	10		7.28	5.33		6.31		
9	12		7.28	5.33		6.31		
10	14		7.28	5.33		6.31		
11	15		7.28	5.33		6.31		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**6.31**	

LECTURAS								
No. Lecturas	Tiempo [min.]	Carga [kg/cm2]	DEFORMIMETROS			PROM. LECTURAS	ASENTAMIENTO [mm]	
			D1 [mm]	D2 [mm]	D3 [mm]			
1	0	4.00	18.97	13.70		16.34		
2	0.5		19.15	13.83		16.49		
3	1		19.18	13.86		16.52		
4	2		19.20	13.87		16.54		
5	4		19.20	13.89		16.55		
6	6		19.23	13.90		16.56		
7	8		19.25	13.91		16.58		
8	10		19.25	13.91		16.58		
9	12		19.25	13.91		16.58		
10	14		19.25	13.91		16.58		
11	15		19.25	13.91		16.58		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**16.58**	
1	0	6.00	29.32	28.84		29.08		
2	0.5		29.37	28.90		29.13		
3	1		29.37	28.94		29.15		
4	2		29.42	29.00		29.21		
5	4		29.49	29.02		29.26		
6	6		29.54	29.07		29.31		
7	8		29.60	29.09		29.34		
8	10		29.65	29.10		29.37		
9	12		29.65	29.10		29.37		
10	14		29.65	29.10		29.37		
11	15		29.65	29.10		29.37		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**29.37**	
		DESCARGA	20.87	22.93		21.90		
							21.90	

Ensayo de Penetracion Estandar SPT

ASTM D1586

PROYECTO:	CIRCUNVALACION SD	**UBICACION :**	SANTO DOMINGO
REALIZADO POR:	MEDRANO	**REVISADO POR:**	ING. BARRANCO
FECHA:	27/08/2014	**HORA:**	-
TEMPERATURA:	-	**CLIMA:**	-
COORDENADAS:			
ESTACIÓN:	14+420		

DESCRIPCION SUELO:	ARCILLA UN POCO ARENOSA (CH), MARRON CLARO CON VETAS GRIS.

P [m]	γ [kN/m³]	N_{SPT}	q_u [kg/cm2]	q_{adm} [kg/cm2]	Ensayos Laboratorio	
0.00					***LL***	52%
0.45	17.00	24	6.17	2.06	***LP***	24%
0.90	17.00	43	11.05	3.68	***IP***	28%
1.35	17.00	32	8.22	2.74	***%humedad***	16%
1.80	17.50	81	20.82	6.94	***Clasificacion***	CH
2.25	17.50	62	15.93	5.31	38%Are,56%Arc, 6%Frg	
2.70	18.00	99	25.44	8.48	***LL***	38%
3.15	18.00	0	0.00	0.00	***LP***	21%
3.60	18.00	0	0.00	0.00	***IP***	17%
4.05	18.00	0	0.00	0.00	***%humedad***	11%
4.50	19.00	0	0.00	0.00	***Clasificacion***	SC
4.95	19.00	0	0.00	0.00	53%Are,39%Arc, 8%Frg	

Grafica Ensayo placa de Carga

PROYECTO:	CIRCUNVALACION SD	***UBICACION :***	SANTO DOMINGO
REALIZADO POR:	ROBERTO HOLGUIN	***REVISADO POR:***	ARMANDO CABRAL
FECHA:	02/09/2014	***HORA:***	08:00 p.m.
TEMPERATURA:	29 ˚C	***CLIMA:***	SOLEADO
COORDENADAS:			
ESTACIÓN:	14+420		

DESCRIPCION SUELO:	ARCILLA UN POCO ARENOSA (CH), MARRON CLARO CON VETAS GRIS.

Bearing Plate usado	#3
No. Ensayo	6

Presion (kg/cm2)	ASENT (mm)
0.00	0.00
0.50	0.43
1.00	2.22
2.00	6.31
4.00	16.58
6.00	29.37
0.00	21.90

Pendiente de Descarga

$m_D =$ 0.80

Pendiente Tramo = 0.28

para $\delta =$ 1.27

$\sigma =$ **0.74**

Kv= 5.79 kg/cm3

$$k_1 = \frac{\sigma_1}{0.127cm} \ (\text{kg/cm}^3)$$

Qadm Metodo Frances

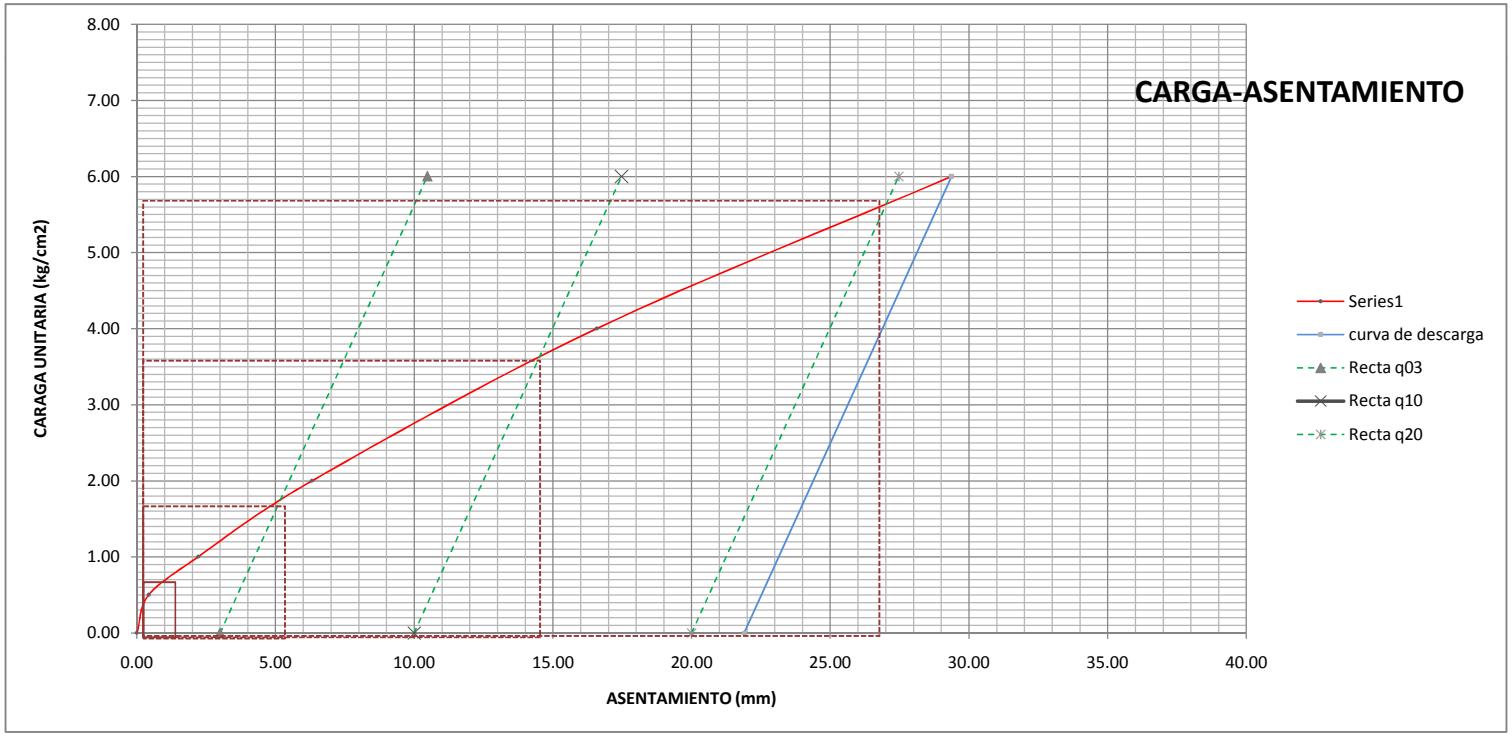
q03= 1.73

q10= 2.41

q20= 2.82

Qadm Terzaaghi - peck

qadm= 1.37



Ensayo Placa de Carga

ASTM D1194

PROYECTO:	CIRCUNVALACION SD	***UBICACION :***	SANTO DOMINGO
REALIZADO POR:	ARMANDO CABRAL	***REVISADO POR:***	ROBERTO HOLGUIN
FECHA:	02/09/2014	***HORA:***	10:15 a.m.
TEMPERATURA:	33 ˚C	***CLIMA:***	NUBLADO
COORDENADAS:			
ESTACIÓN:	14+300		

DESCRIPCION SUELO:	ARCILLA ARENOSA (CH), CON FRAGMENTOS DE BASALTO.

Bearing Plate usado	#3
No. Ensayo	7

Equipo			
Bomba	P 80 ENERPAC	**Presion de Bomba**	10000 Psi (700 Bar)
Gato Hidraulico	ENERPAC ESP2026	**Carga Maxima**	500 KN
Peso del Gato Hid.	32 kg	**Area del Gato Hid.**	72.52 cm²

LECTURAS								
No. Lecturas	**Tiempo [min.]**	**Carga [kg/cm2]**	**DEFORMIMETROS**			**PROM. LECTURAS**	**ASENTAMIENTO [mm]**	
			D1 [mm]	**D2 [mm]**	**D3 [mm]**			
1	0	0.50	0.20	0.37		0.28		
2	0.5		0.24	0.49		0.36		
3	1		0.32	0.53		0.42		
4	2		0.39	0.54		0.46		
5	4		0.41	0.55		0.48		
6	6		0.43	0.56		0.49		
7	8		0.44	0.56		0.50		
8	10		0.44	0.56		0.50		
9	12		0.45	0.56		0.50		
10	14		0.45	0.56		0.50		
11	15		0.45	0.56		0.50		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**0.50**	

LECTURAS								
No. Lecturas	Tiempo [min.]	Carga [kg/cm2]	DEFORMIMETROS			PROM. LECTURAS	ASENTAMIENTO [mm]	
			D1 [mm]	D2 [mm]	D3 [mm]			
1	0	1.00	1.90	5.55		3.72		
2	0.5		2.10	5.66		3.88		
3	1		2.22	5.79		4.00		
4	2		2.36	5.84		4.10		
5	4		2.41	5.88		4.14		
6	6		2.43	5.91		4.17		
7	8		2.45	5.92		4.18		
8	10		2.46	5.92		4.19		
9	12		2.47	5.92		4.19		
10	14		2.47	5.92		4.19		
11	15		2.47	5.92		4.19		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**4.19**	
1	0	2.00	5.29	8.59		6.94		
2	0.5		5.47	8.77		7.12		
3	1		5.62	8.83		7.22		
4	2		5.73	8.87		7.30		
5	4		5.76	8.89		7.32		
6	6		5.78	8.89		7.33		
7	8		5.79	8.90		7.34		
8	10		5.79	8.90		7.34		
9	12		5.80	8.90		7.35		
10	14		5.80	8.90		7.35		
11	15		5.80	8.90		7.35		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**7.35**	

LECTURAS								
No. Lecturas	Tiempo [min.]	Carga [kg/cm2]	DEFORMIMETROS			PROM. LECTURAS	ASENTAMIENTO [mm]	
			D1 [mm]	D2 [mm]	D3 [mm]			
1	0	4.00	14.84	19.77		17.31		
2	0.5		14.91	19.96		17.44		
3	1		14.96	20.01		17.49		
4	2		14.98	20.04		17.51		
5	4		14.99	20.06		17.53		
6	6		15.00	20.07		17.54		
7	8		15.01	20.07		17.54		
8	10		15.02	20.07		17.55		
9	12		15.02	20.07		17.55		
10	14		15.03	20.07		17.55		
11	15		15.03	20.07		17.55		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**17.55**	
1	0	6.00	36.14	38.39		37.27		
2	0.5		36.77	38.89		37.83		
3	1		36.81	38.99		37.90		
4	2		36.84	39.24		38.04		
5	4		36.84	39.31		38.08		
6	6		36.87	39.33		38.10		
7	8		36.87	39.33		38.10		
8	10		36.87	39.33		38.10		
9	12		36.87	39.33		38.10		
10	14		36.87	39.33		38.10		
11	15		36.87	39.33		38.10		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**38.10**	
		DESCARGA	27.90	30.45		29.18		
							29.18	

Ensayo de Penetracion Estandar SPT

ASTM D1586

PROYECTO:	CIRCUNVALACION SD	***UBICACION :***	SANTO DOMINGO
REALIZADO POR:	MEDRANO	***REVISADO POR:***	ING. BARRANCO
FECHA:	27/08/2014	***HORA:***	-
TEMPERATURA:	-	***CLIMA:***	-
COORDENADAS:			
ESTACIÓN:	14+300		

DESCRIPCION SUELO:	ARCILLA ARENOSA (CH), CON FRAGMENTOS DE BASALTO.

P [m]	γ [kN/m³]	N_{SPT}	q_u [kg/cm2]	q_{adm} [kg/cm2]	Ensayos Laboratorio	
0.00					***LL***	73%
0.45	17.00	14	3.60	1.20	***LP***	25%
0.90	17.00	27	6.94	2.31	***IP***	48%
1.35	17.00	45	11.57	3.86	***%humedad***	
1.80	17.50	61	15.68	5.23	***Clasificacion***	CH
2.25	17.50	92	23.64	7.88	23%Are,77%Arc,	
2.70	18.00	99	25.44	8.48	***LL***	40%
3.15	18.00	0	0.00	0.00	***LP***	21%
3.60	18.00	0	0.00	0.00	***IP***	19%
4.05	18.00	0	0.00	0.00	***%humedad***	
4.50	19.00	0	0.00	0.00	***Clasificacion***	CL
4.95	19.00	0	0.00	0.00	47%Are,53%Arc,	

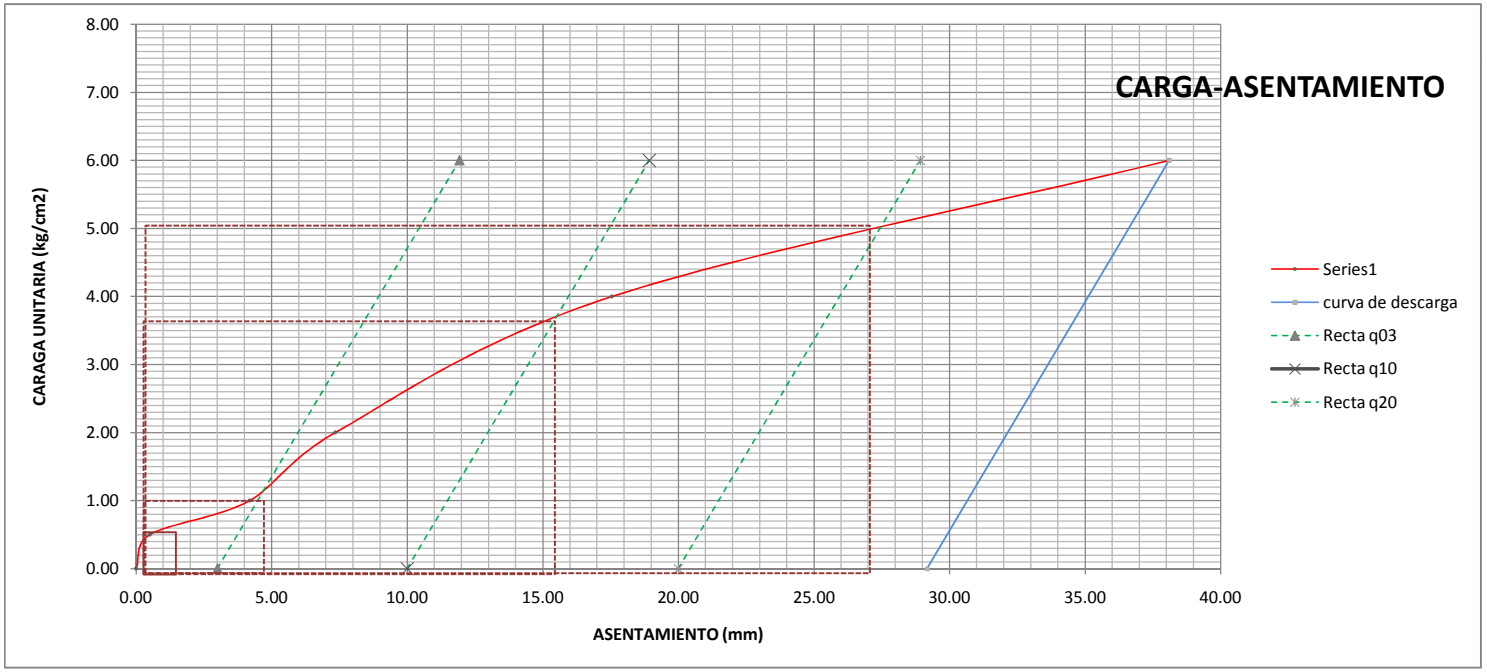
Grafica Ensayo placa de Carga

PROYECTO:	CIRCUNVALACION SD	***UBICACION :***	SANTO DOMINGO
REALIZADO POR:	ARMANDO CABRAL	***REVISADO POR:***	ROBERTO HOLGUIN
FECHA:	02/09/2014	***HORA:***	10:15 a.m.
TEMPERATURA:	33 ˚C	***CLIMA:***	NUBLADO
COORDENADAS:			
ESTACIÓN:	14+300		

DESCRIPCION SUELO:	ARCILLA ARENOSA (CH), CON FRAGMENTOS DE BASALTO.

Bearing Plate usado	#3
No. Ensayo	7

Presion (kg/cm2)	ASENT (mm)
0.00	0.00
0.50	0.50
1.00	4.19
2.00	7.35
4.00	17.55
6.00	38.10
0.00	29.18



Pendiente de Descarga

$m_D =$ 0.67

Pendiente Tramo = 0.14

para $\delta =$ 1.27

$\sigma =$ **0.60**

Kv= 4.75 kg/cm3

$$k_1 = \frac{\sigma_1}{0.127cm} \ (\text{kg/cm}^3)$$

Qadm Metodo Frances

q03= 1.08

q10= 2.47

q20= 2.50

Qadm Terzaaghi - peck

qadm= 1.3

Ensayo Placa de Carga

ASTM D1194

PROYECTO:	CIRCUNVALACION SD	***UBICACION :***	SANTO DOMINGO
REALIZADO POR:	ROBERTO HOLGUIN	***REVISADO POR:***	ARMANDO CABRAL
FECHA:	02/09/2014	***HORA:***	01:30 p.m.
TEMPERATURA:	32 ˚C	***CLIMA:***	SOLEADO
COORDENADAS:			
ESTACIÓN:	12+910		

DESCRIPCION SUELO:	ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD (CH), MARRON CLARO ESTADO BLANDO.

Bearing Plate usado	#3
No. Ensayo	8

Equipo			
Bomba	P 80 ENERPAC	**Presion de Bomba**	10000 Psi (700 Bar)
Gato Hidraulico	ENERPAC ESP2026	**Carga Maxima**	500 KN
Peso del Gato Hid.	32 kg	**Area del Gato Hid.**	72.52 cm²

LECTURAS

No. Lecturas	Tiempo [min.]	Carga [kg/cm2]	DEFORMIMETROS D1 [mm]	D2 [mm]	D3 [mm]	PROM. LECTURAS	ASENTAMIENTO [mm]	
1	0	0.50	0.27	2.81		1.54		
2	0.5		0.32	2.94		1.63		
3	1		0.47	2.96		1.72		
4	2		0.52	2.99		1.76		
5	4		0.52	3.02		1.77		
6	6		0.52	3.02		1.77		
7	8		0.55	3.05		1.80		
8	10		0.55	3.05		1.80		
9	12		0.55	3.05		1.80		
10	14		0.55	3.05		1.80		
11	15		0.55	3.05		1.80		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**1.80**	

LECTURAS								
No. Lecturas	Tiempo [min.]	Carga [kg/cm2]	DEFORMIMETROS			PROM. LECTURAS	ASENTAMIENTO [mm]	
			D1 [mm]	D2 [mm]	D3 [mm]			
1	0	1.00	1.50	4.72		3.11		
2	0.5		1.68	4.81		3.24		
3	1		1.75	4.85		3.30		
4	2		1.80	4.87		3.34		
5	4		1.83	4.89		3.36		
6	6		1.83	4.90		3.36		
7	8		1.85	4.90		3.38		
8	10		1.85	4.90		3.38		
9	12		1.85	4.90		3.38		
10	14		1.85	4.91		3.38		
11	15		1.85	4.91		3.38		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**3.38**	
1	0	2.00	4.08	9.40		6.74		
2	0.5		4.24	9.70		6.97		
3	1		4.34	9.75		7.04		
4	2		4.39	9.80		7.09		
5	4		4.41	9.84		7.13		
6	6		4.44	9.89		7.16		
7	8		4.46	9.92		7.19		
8	10		4.46	9.91		7.19		
9	12		4.46	9.91		7.19		
10	14		4.49	9.91		7.20		
11	15		4.49	9.91		7.20		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**7.20**	

LECTURAS								
No. Lecturas	Tiempo [min.]	Carga [kg/cm2]	DEFORMIMETROS			PROM. LECTURAS	ASENTAMIENTO [mm]	
			D1 [mm]	D2 [mm]	D3 [mm]			
1	0		13.83	18.69		16.26		
2	0.5		13.90	18.79		16.34		
3	1		14.01	19.04		16.53		
4	2		14.07	19.09		16.58		
5	4		14.15	19.19		16.67		
6	6		14.16	19.27		16.72		
7	8		14.16	19.30		16.73		
8	10		14.16	19.32		16.74		
9	12	4.00	14.17	19.35		16.76		
10	14		14.17	19.36		16.77		
11	15		14.17	19.36		16.77		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**16.77**	
1	0		30.92	35.25		33.08		
2	0.5		31.63	35.70		33.66		
3	1		31.78	35.84		33.81		
4	2		31.88	35.96		33.92		
5	4		31.96	36.03		33.99		
6	6		32.24	36.12		34.18		
7	8		32.26	36.19		34.23		
8	10		32.29	36.25		34.27		
9	12		32.34	36.28		34.31		
10	14	6.00	32.34	36.32		34.33		
11	15		32.34	36.33		34.33		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**34.33**	
		DESCARGA	28.78	32.92		30.85		
							30.85	

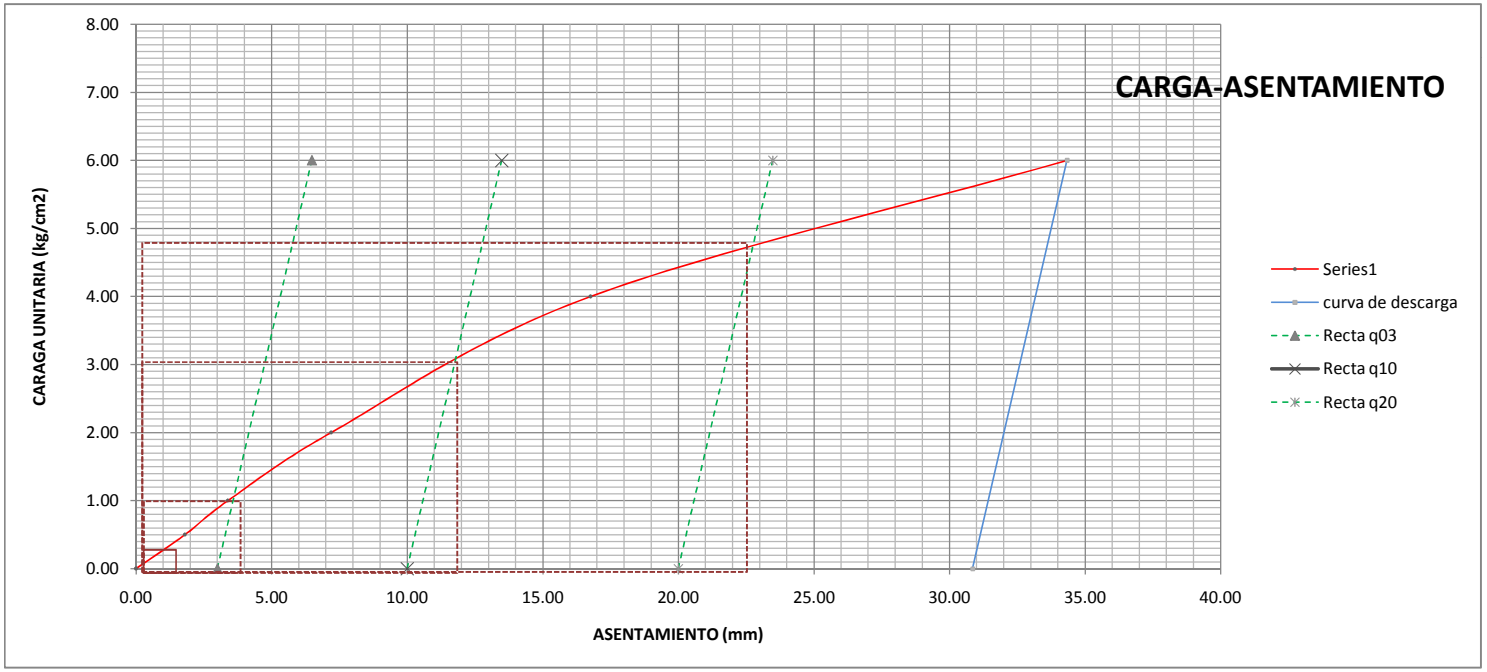
Grafica Ensayo placa de Carga

PROYECTO:	CIRCUNVALACION SD	***UBICACION :***	SANTO DOMINGO
REALIZADO POR:	ARMANDO CABRAL	***REVISADO POR:***	ROBERTO HOLGUIN
FECHA:	02/09/2014	***HORA:***	01:30 p.m.
TEMPERATURA:	32 ˚C	***CLIMA:***	SOLEADO
COORDENADAS:			
ESTACIÓN:	12+910		

DESCRIPCION SUELO:	ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD (CH), MARRON CLARO ESTADO BLANDO.

Bearing Plate usado	#3
No. Ensayo	8

Presion (kg/cm2)	ASENT (mm)
0.00	0.00
0.50	1.80
1.00	3.38
2.00	7.20
4.00	16.77
6.00	34.33
0.00	30.85



Pendiente de Descarga

$m_D =$ 1.72

Pendiente Tramo = 0.32

para $\delta =$ 1.27

$\sigma =$ **0.33**

Kv= 2.62 kg/cm3

$$k_1 = \frac{\sigma_1}{0.127cm} \ (\text{kg/cm}^3)$$

Qadm Metodo Frances

q03= 1.09

q10= 2.06

q20= 2.38

Qadm Terzaaghi - peck

qadm= 1.345

Ensayo de Penetracion Estandar SPT

ASTM D1586

PROYECTO:	CIRCUNVALACION SD	***UBICACION :***	SANTO DOMINGO
REALIZADO POR:	MEDRANO	***REVISADO POR:***	ING. BARRANCO
FECHA:	27/08/2014	***HORA:***	-
TEMPERATURA:	-	***CLIMA:***	-
COORDENADAS:			
ESTACIÓN:	12+910		

DESCRIPCION SUELO:	ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD (CH), MARRON CLARO ESTADO BLANDO.

P [m]	γ [kN/m³]	N_{SPT}	q_u [kg/cm2]	q_{adm} [kg/cm2]	Ensayos Laboratorio	
0.00					***LL***	59%
0.45	17.00	4	1.03	0.34	***LP***	24%
0.90	17.00	8	2.06	0.69	***IP***	35%
1.35	17.00	10	2.57	0.86	***%humedad***	28%
1.80	17.50	16	4.11	1.37	***Clasificacion***	CH
2.25	17.50	17	4.37	1.46	10%Are,90%Arc,	
2.70	18.00	23	5.91	1.97	***LL***	56%
3.15	18.00	23	5.91	1.97	***LP***	24%
3.60	18.00	35	9.00	3.00	***IP***	32%
4.05	18.00	0	0.00	0.00	***%humedad***	19%
4.50	19.00	0	0.00	0.00	***Clasificacion***	CH
4.95	19.00	0	0.00	0.00	10%Are,90%Arc,	

Ensayo Placa de Carga

ASTM D1194

PROYECTO:	CIRCUNVALACION SD	***UBICACION :***	SANTO DOMINGO
REALIZADO POR:	ARMANDO CABRAL	***REVISADO POR:***	ROBERTO HOLGUIN
FECHA:	02/09/2014	***HORA:***	03:00 p.m.
TEMPERATURA:	33 ˚C	***CLIMA:***	SOLEADO
COORDENADAS:			
ESTACIÓN:	16+800		

DESCRIPCION SUELO:	ARCILLA UN POCO ARENOSA (CH), MARRON CLARO CON VETAS GRIS.

Bearing Plate usado	#3
No. Ensayo	9

Equipo			
Bomba	P 80 ENERPAC	**Presion de Bomba**	10000 Psi (700 Bar)
Gato Hidraulico	ENERPAC ESP2026	**Carga Maxima**	500 KN
Peso del Gato Hid.	32 kg	**Area del Gato Hid.**	72.52 cm²

LECTURAS								
No. Lecturas	**Tiempo [min.]**	**Carga [kg/cm2]**	**DEFORMIMETROS**			**PROM. LECTURAS**	**ASENTAMIENTO [mm]**	
			D1 [mm]	**D2 [mm]**	**D3 [mm]**			
1	0	0.50	0.30	0.55		0.42		
2	0.5		0.43	0.60		0.51		
3	1		0.45	0.75		0.60		
4	2		0.48	0.80		0.64		
5	4		0.51	0.80		0.65		
6	6		0.50	0.80		0.65		
7	8		0.54	0.80		0.67		
8	10		0.54	0.83		0.68		
9	12		0.54	0.83		0.68		
10	14		0.54	0.83		0.68		
11	15		0.54	0.83		0.68		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**0.68**	

LECTURAS								
No. Lecturas	Tiempo [min.]	Carga [kg/cm2]	DEFORMIMETROS			PROM. LECTURAS	ASENTAMIENTO [mm]	
			D1 [mm]	D2 [mm]	D3 [mm]			
1	0	1.00	1.21	3.90		2.55		
2	0.5		1.23	3.91		2.57		
3	1		1.26	3.95		2.60		
4	2		1.26	3.97		2.61		
5	4		1.29	3.99		2.64		
6	6		1.29	4.05		2.67		
7	8		1.29	4.08		2.68		
8	10		1.31	4.10		2.70		
9	12		1.31	4.11		2.71		
10	14		1.31	4.11		2.71		
11	15		1.31	4.11		2.71		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**2.71**	
1	0	2.00	3.40	7.87		5.64		
2	0.5		3.52	8.11		5.82		
3	1		3.63	8.16		5.90		
4	2		3.69	8.19		5.94		
5	4		3.75	8.21		5.98		
6	6		3.80	8.22		6.01		
7	8		3.81	8.22		6.02		
8	10		3.81	8.22		6.02		
9	12		3.81	8.23		6.02		
10	14		3.82	8.23		6.03		
11	15		3.82	8.23		6.03		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**6.03**	

LECTURAS								
No. Lecturas	Tiempo [min.]	Carga [kg/cm2]	DEFORMIMETROS			PROM. LECTURAS	ASENTAMIENTO [mm]	
			D1 [mm]	D2 [mm]	D3 [mm]			
1	0		9.57	16.00		12.78		
2	0.5		9.66	16.14		12.90		
3	1		9.75	16.22		12.98		
4	2		9.77	16.28		13.02		
5	4		9.81	16.30		13.05		
6	6		9.83	16.31		13.07		
7	8		9.83	16.31		13.07		
8	10		9.86	16.31		13.08		
9	12		9.86	16.31		13.08		
10	14	4.00	9.86	16.31		13.08		
11	15		9.86	16.31		13.08		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**13.08**	
1	0		21.11	34.27		27.69		
2	0.5		21.33	34.51		27.92		
3	1		21.45	34.63		28.04		
4	2		21.48	34.70		28.09		
5	4		21.50	34.73		28.12		
6	6		21.51	34.74		28.13		
7	8		21.51	34.74		28.13		
8	10		21.51	34.75		28.13		
9	12		21.52	34.75		28.14		
10	14	6.00	21.52	34.76		28.14		
11	15		21.52	34.76		28.14		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**28.14**	
		DESCARGA	15.43	22.78		19.11		
							19.11	

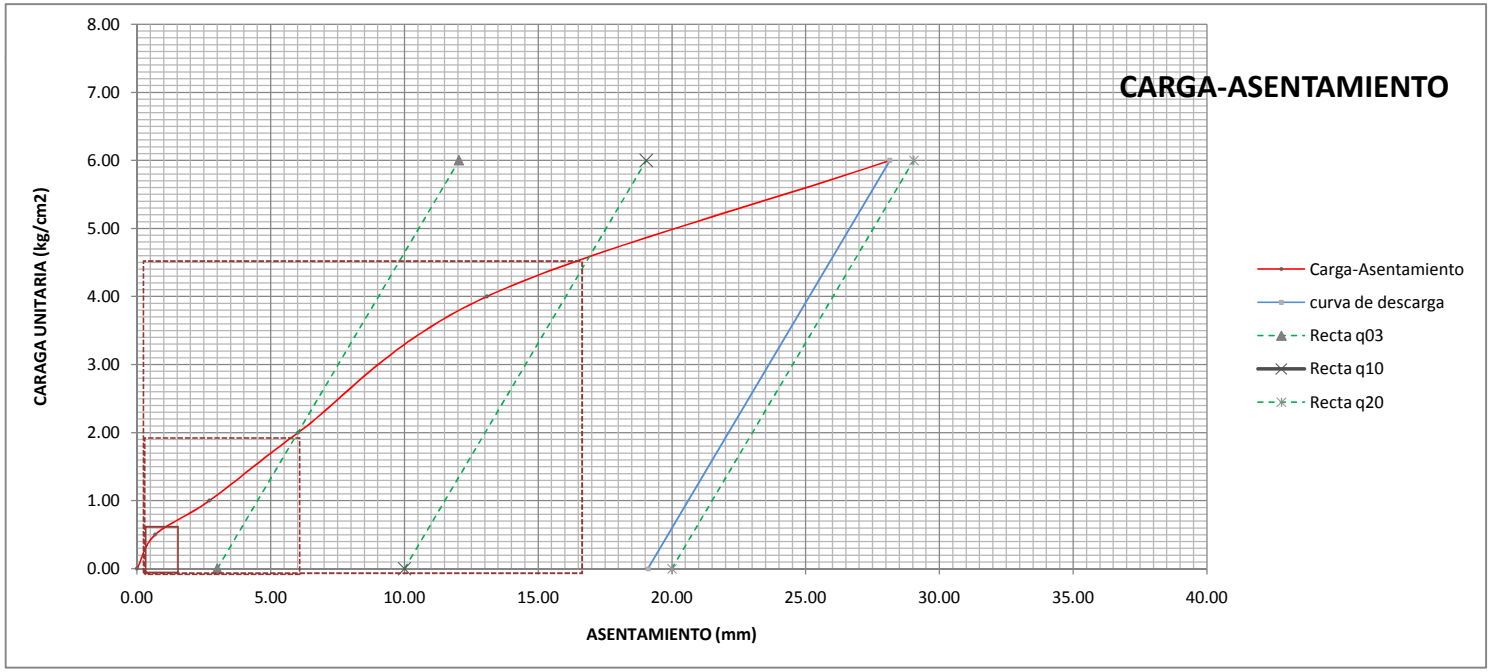
Grafica Ensayo placa de Carga

PROYECTO:	CIRCUNVALACION SD	***UBICACION :***	SANTO DOMINGO
REALIZADO POR:	ARMANDO CABRAL	***REVISADO POR:***	ROBERTO HOLGUIN
FECHA:	02/09/2014	***HORA:***	03:00 p.m.
TEMPERATURA:	33 ˚C	***CLIMA:***	SOLEADO
COORDENADAS:			
ESTACIÓN:	16+800		

DESCRIPCION SUELO:	ARCILLA UN POCO ARENOSA (CH), MARRON CLARO CON VETAS GRIS.

Bearing Plate usado	#3
No. Ensayo	9

Presion (kg/cm2)	ASENT (mm)
0.00	0.00
0.50	0.68
1.00	2.71
2.00	6.03
4.00	13.08
6.00	28.14
0.00	19.11



Pendiente de Descarga

$m_D =$ 0.66

Pendiente Tramo = 0.25

para $\delta =$ 1.27

$\sigma =$ **0.64**

Kv= 5.08 kg/cm3

$$k_1 = \frac{\sigma_1}{0.127cm} \ (\text{kg/cm}^3)$$

Qadm Metodo Frances

q03= 2.00

q10= 3.05

q20= 0.00

Qadm Terzaaghi - peck

qadm= 1.65

Ensayo de Penetracion Estandar SPT

ASTM D1586

PROYECTO:	CIRCUNVALACION SD	**UBICACION :**	SANTO DOMINGO
REALIZADO POR:	MEDRANO	**REVISADO POR:**	ING. BARRANCO
FECHA:	27/08/2014	**HORA:**	-
TEMPERATURA:	-	**CLIMA:**	-
COORDENADAS:			
ESTACIÓN:	16+800		

DESCRIPCION SUELO:	ARCILLA UN POCO ARENOSA (CH), MARRON CLARO CON VETAS GRIS.

P [m]	γ [kN/m³]	N_{SPT}	q_u [kg/cm2]	q_{adm} [kg/cm2]	Ensayos Laboratorio	
0.00					***LL***	65%
0.45	17.00	18	4.63	1.54	***LP***	34%
0.90	17.00	67	17.22	5.74	***IP***	23%
1.35	17.00	70	17.99	6.00	***%humedad***	18%
1.80	17.50	78	20.05	6.68	***Clasificacion***	SC
2.25	17.50	89	22.87	7.62	52%Are,48%Arc,	
2.70	18.00	92	23.64	7.88	***LL***	0%
3.15	18.00	0	0.00	0.00	***LP***	0%
3.60	18.00	0	0.00	0.00	***IP***	0%
4.05	18.00	0	0.00	0.00	***%humedad***	0%
4.50	19.00	0	0.00	0.00	***Clasificacion***	-
4.95	19.00	0	0.00	0.00	-	

Ensayo Placa de Carga

ASTM D1194

PROYECTO:	CIRCUNVALACION SD	***UBICACION :***	SANTO DOMINGO
REALIZADO POR:	ROBERTO HOLGUIN	***REVISADO POR:***	ARMANDO CABRAL
FECHA:	01/09/2014	***HORA:***	05:00 p.m.
TEMPERATURA:	32 ˚C	***CLIMA:***	SOLEADO
COORDENADAS:			
ESTACIÓN:	16+500		

DESCRIPCION SUELO:	ARCILLA ARENOSA (CH), MARRON CLARO CON VETAS GRIS.

Bearing Plate usado	#3
No. Ensayo	10

Equipo			
Bomba	P 80 ENERPAC	**Presion de Bomba**	10000 Psi (700 Bar)
Gato Hidraulico	ENERPAC ESP2026	**Carga Maxima**	500 KN
Peso del Gato Hid.	32 kg	**Area del Gato Hid.**	72.52 cm²

LECTURAS

No. Lecturas	Tiempo [min.]	Carga [kg/cm2]	DEFORMIMETROS D1 [mm]	D2 [mm]	D3 [mm]	PROM. LECTURAS	ASENTAMIENTO [mm]	
1	0	0.50	0.28	0.78		0.53		
2	0.5		0.44	0.92		0.68		
3	1		0.54	1.03		0.79		
4	2		0.62	1.07		0.84		
5	4		0.70	1.10		0.90		
6	6		0.72	1.12		0.92		
7	8		0.72	1.14		0.93		
8	10		0.75	1.15		0.95		
9	12		0.75	1.15		0.95		
10	14		0.75	1.15		0.95		
11	15		0.75	1.15		0.95		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**0.95**	

LECTURAS								
No. Lecturas	Tiempo [min.]	Carga [kg/cm2]	DEFORMIMETROS			PROM. LECTURAS	ASENTAMIENTO [mm]	
			D1 [mm]	D2 [mm]	D3 [mm]			
1	0	1.00	1.09	1.72		1.41		
2	0.5		1.21	1.87		1.54		
3	1		1.26	2.01		1.64		
4	2		1.30	2.03		1.67		
5	4		1.35	2.04		1.70		
6	6		1.37	2.05		1.71		
7	8		1.38	2.05		1.72		
8	10		1.38	2.05		1.72		
9	12		1.38	2.06		1.72		
10	14		1.39	2.06		1.73		
11	15		1.39	2.06		1.73		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**1.73**	
1	0	2.00	3.52	6.02		4.77		
2	0.5		3.64	6.13		4.89		
3	1		3.70	6.17		4.94		
4	2		3.72	6.20		4.96		
5	4		3.75	6.22		4.99		
6	6		3.76	6.24		5.00		
7	8		3.77	6.25		5.01		
8	10		3.77	6.25		5.01		
9	12		3.77	6.25		5.01		
10	14		3.77	6.25		5.01		
11	15		3.77	6.25		5.01		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**5.01**	

LECTURAS								
No. Lecturas	Tiempo [min.]	Carga [kg/cm2]	DEFORMIMETROS			PROM. LECTURAS	ASENTAMIENTO [mm]	
			D1 [mm]	D2 [mm]	D3 [mm]			
1	0		14.08	16.26		15.17		
2	0.5		14.33	16.36		15.34		
3	1		14.51	16.61		15.56		
4	2		14.58	16.57		15.58		
5	4		14.69	16.67		15.68		
6	6		14.54	16.75		15.64		
7	8		14.56	16.78		15.67		
8	10		14.59	16.80		15.69		
9	12	4.00	14.61	16.83		15.72		
10	14		14.61	16.84		15.73		
11	15		14.64	16.84		15.74		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**15.74**	
1	0		23.24	25.20		24.22		
2	0.5		23.95	25.60		24.77		
3	1		24.10	25.87		24.99		
4	2		24.20	26.00		25.10		
5	4		24.28	26.04		25.16		
6	6		24.86	26.05		25.45		
7	8		24.88	26.07		25.48		
8	10		24.91	26.08		25.49		
9	12		24.96	26.08		25.52		
10	14	6.00	24.96	26.08		25.52		
11	15		24.96	26.08		25.52		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18							**25.52**	
		DESCARGA	19.32	21.50		20.41		
							20.41	

Ensayo de Penetracion Estandar SPT

ASTM D1586

PROYECTO:	CIRCUNVALACION SD	**UBICACION :**	SANTO DOMINGO
REALIZADO POR:	MEDRANO	**REVISADO POR:**	ING. BARRANCO
FECHA:	27/08/2014	**HORA:**	-
TEMPERATURA:	-	**CLIMA:**	-
COORDENADAS:			
ESTACIÓN:	16+500		

DESCRIPCION SUELO:	ARCILLA ARENOSA (CH), MARRON CLARO CON VETAS GRIS.

P [m]	γ [kN/m³]	N_{SPT}	q_u [kg/cm2]	q_{adm} [kg/cm2]	Ensayos Laboratorio	
0.00					***LL***	21%
0.45	17.00	25	6.43	2.14	***LP***	17%
0.90	17.00	60	15.42	5.14	***IP***	11%
1.35	17.00	69	17.73	5.91	***%humedad***	8%
1.80	17.50	66	16.96	5.65	***Clasificacion***	SC
2.25	17.50	90	23.13	7.71	57%Are,12%Arc, 31%Grv	
2.70	18.00	99	25.44	8.48	***LL***	36%
3.15	18.00	0	0.00	0.00	***LP***	19%
3.60	18.00	0	0.00	0.00	***IP***	15%
4.05	18.00	0	0.00	0.00	***%humedad***	7%
4.50	19.00	0	0.00	0.00	***Clasificacion***	SC
4.95	19.00	0	0.00	0.00	78%Are,22%Arc,	

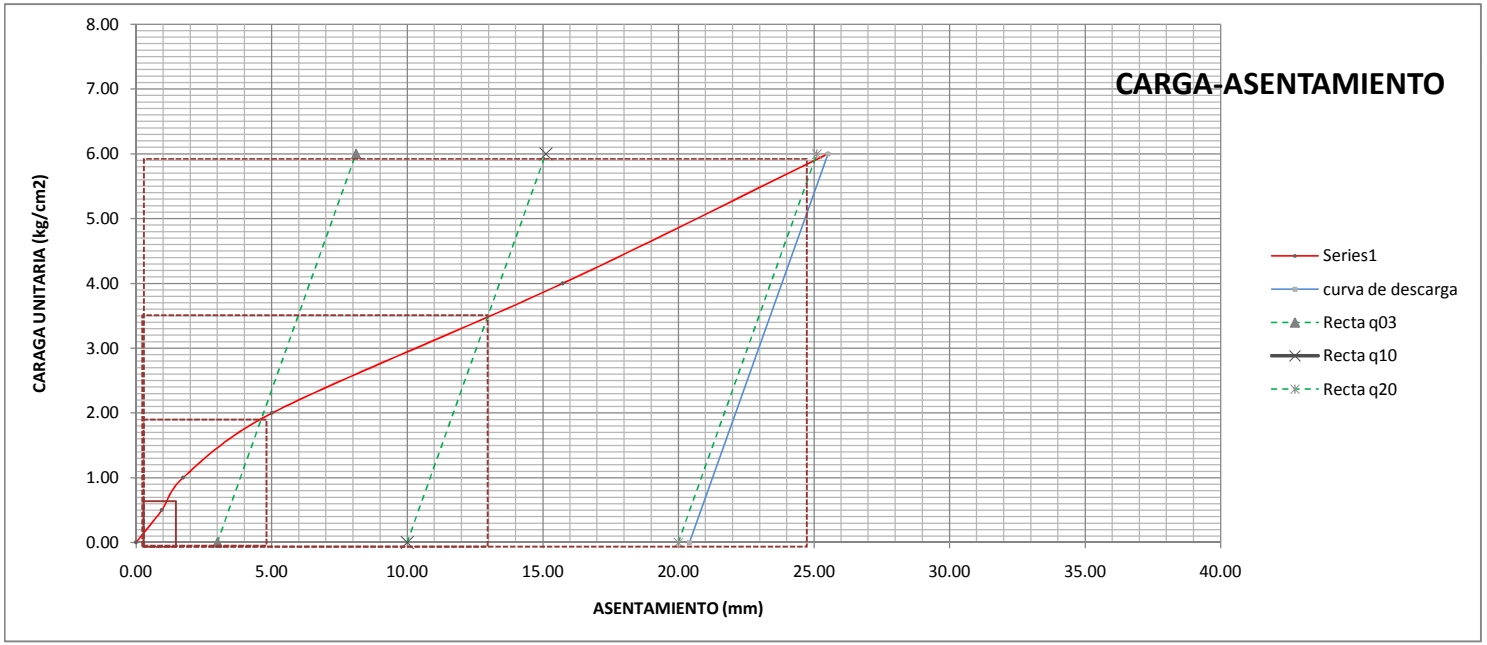
Grafica Ensayo placa de Carga

PROYECTO:	CIRCUNVALACION SD	***UBICACION :***	SANTO DOMINGO
REALIZADO POR:	ROBERTO HOLGUIN	***REVISADO POR:***	ARMANDO CABRAL
FECHA:	01/09/2014	***HORA:***	05:00 p.m.
TEMPERATURA:	32 ˚C	***CLIMA:***	SOLEADO
COORDENADAS:			
ESTACIÓN:	16+500		

DESCRIPCION SUELO:	ARCILLA ARENOSA (CH), MARRON CLARO CON VETAS GRIS.

Bearing Plate usado	#3
No. Ensayo	10

Presion (kg/cm2)	ASENT (mm)
0.00	0.00
0.50	0.95
1.00	1.73
2.00	5.01
4.00	15.74
6.00	25.52
0.00	20.41



Pendiente de Descarga

$m_D =$ 1.17

Pendiente Tramo = 0.64

para $\delta =$ 1.27

$\sigma =$ **0.71**

Kv= 5.57 kg/cm3

$$k_1 = \frac{\sigma_1}{0.127cm} \ (\text{kg/cm}^3)$$

Qadm Metodo Frances

q03= 1.90

q10= 2.30

q20= 2.95

Qadm Terzaaghi - peck

qadm= 1.46

6.2 MEMORIA DE CÁLCULOS GENERALES

A continuación presentamos un compendio de las formulas a utilizar en el cálculo de los datos a procesar.

6.2.1 Cálculos para Placa de carga

- **Cálculo de promedio**

$$Promd. = \frac{x_1 + x_2 + x_3 \dots x_n}{n} \tag{6.1}$$

- **Cálculo de pendiente**

$$m = \frac{(x_2 - x_1)}{(y_2 - y_1)} \tag{6.2}$$

- **Cálculo de Qadm por Comité Francés**

  Este método estipula que Qadm será igual al valor menor de q_{03}, $2/3q_{10}$ y ½ q_{20}, donde los subíndices son los valores en milímetros de asentamiento. El valor de Qadm se toma como la carga correspondiente en la curva esfuerzo deformación, que es producto de la intersección de una recta paralela a la curva de descarga que pasa por los valores de deformación en milímetros indicados y la curva referida.

- **Cálculo de Qadm por Terzaghi – Peck**

  Terzaghi expresa que el Qadm es la mitad del esfuerzo que produce un asentamiento de 1cm.

- **Cálculo de Coeficiente de balasto K_v**

  Para hallar el coeficiente de balasto primero se busca el esfuerzo que se aplico para una deformación de 0.127cm mediante la curva obtenida del ensayo, luego se aplica la siguiente ecuación (Leoni):

$$K_v = \frac{\sigma}{0.127cm} \left(\frac{kg}{cm3}\right) \tag{6.3}$$

6.2.2 Cálculos para Ensayo SPT

- **Cálculo de Esfuerzo admisible del suelo**

  Para este utilizaremos la ecuación propuesta por Terzaghi;

$$Q_{adm} = \frac{q_o}{3} \tag{6.4}$$

donde, $q_o = C * Nc$

$Nc = 5.14$ (factor de Terzaghi)

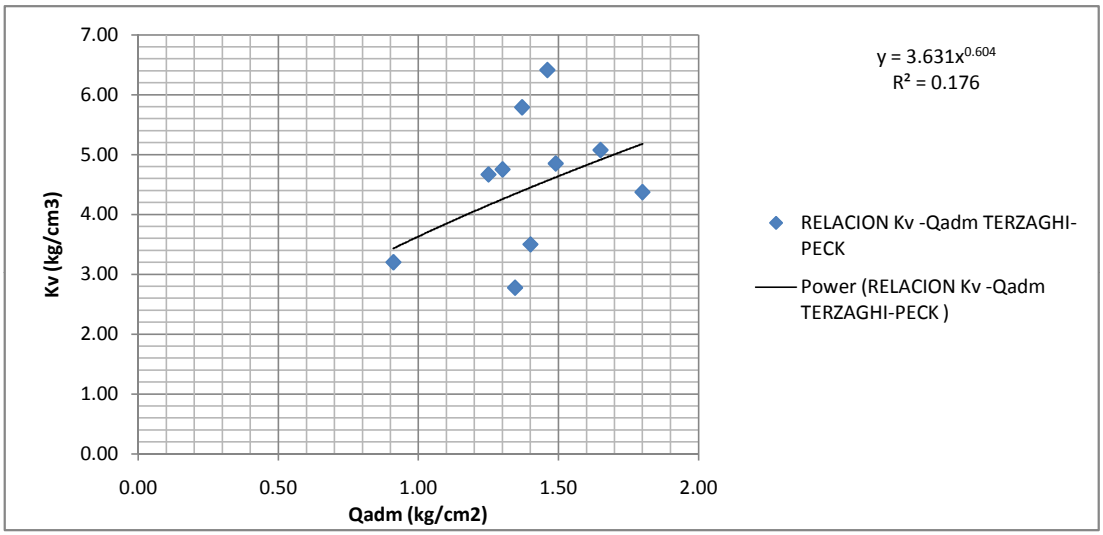
$C = qu/2$

$qu = N/10$

6.3 ESTADÍSTICA

RESULTADOS

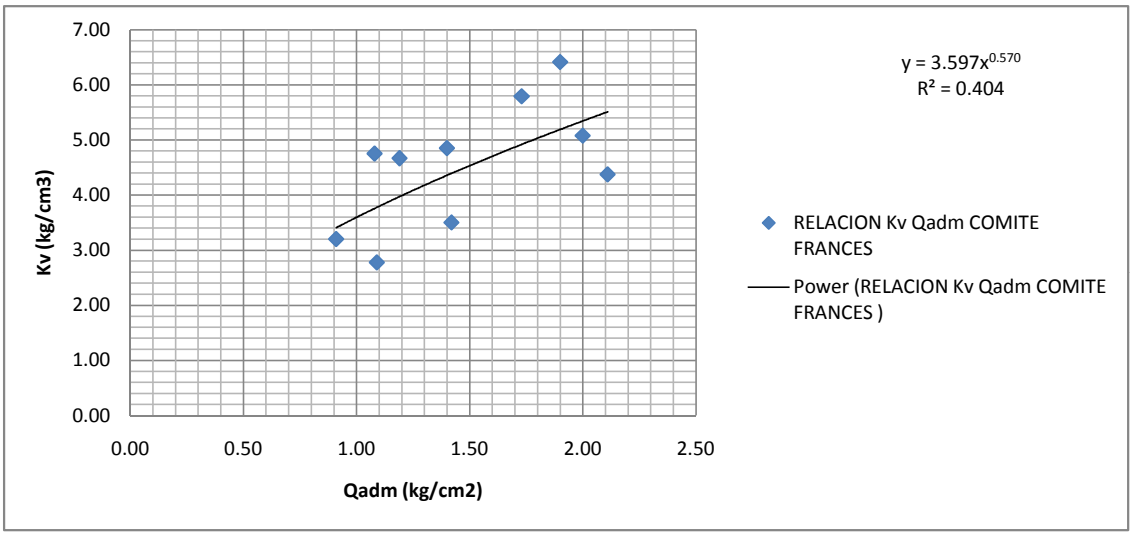
RELACION Kv -Qadm TERZAGHI-PECK



Qadm	Kv
1.49	4.85
1.80	4.37
1.25	4.67
1.40	3.50
0.91	3.20
1.37	5.79
1.30	4.75
1.35	2.78
1.65	5.08
1.46	6.42

RESULTADOS

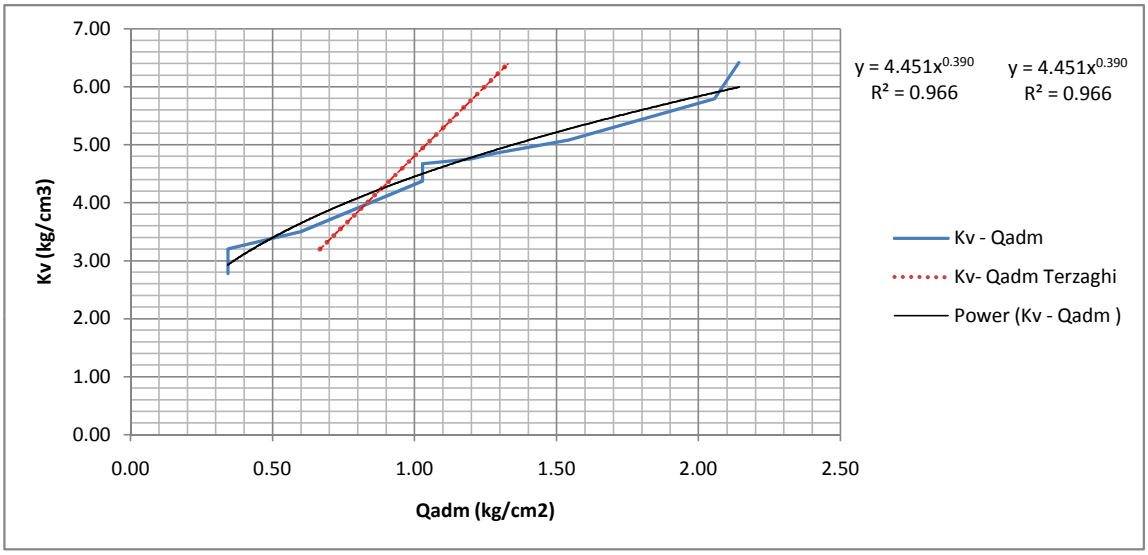
RELACION Kv Qadm COMITE FRANCES



Qadm	Kv
1.09	2.78
0.91	3.20
1.42	3.50
2.11	4.37
1.19	4.67
1.08	4.75
1.40	4.85
2.00	5.08
1.73	5.79
1.90	6.42

RESULTADOS

RELACION Kv - Qadm SPT



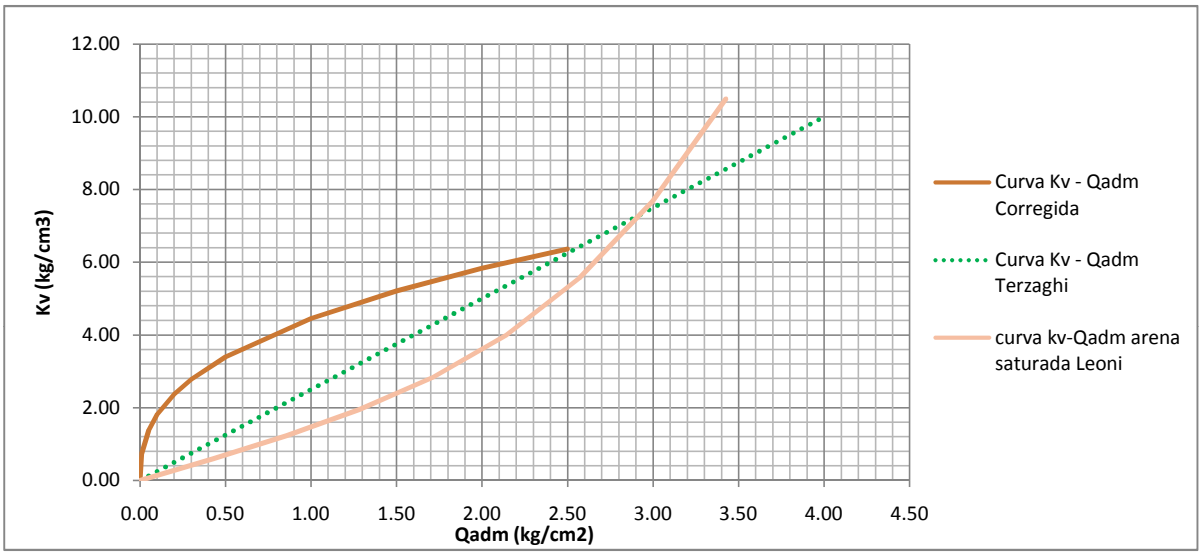
Qadm	Kv
0.34	2.78
0.34	3.20
0.60	3.50
1.03	4.37
1.03	4.67
1.20	4.75
1.29	4.85
1.54	5.08
2.06	5.79
2.14	6.42

Valores de Terzaghi

Qadm	Kv
0.667	3.2
1	4.8
1.33	6.4

RESULTADOS

RELACION Kv - Qadm SPT Curva Corregida



Qadm	Kv
0.00	0.00
0.01	0.74
0.05	1.38
0.10	1.81
0.20	2.38
0.30	2.78
0.50	3.40
1.00	4.45
1.50	5.21
2.00	5.83
2.50	6.36

Valores de Terzaghi

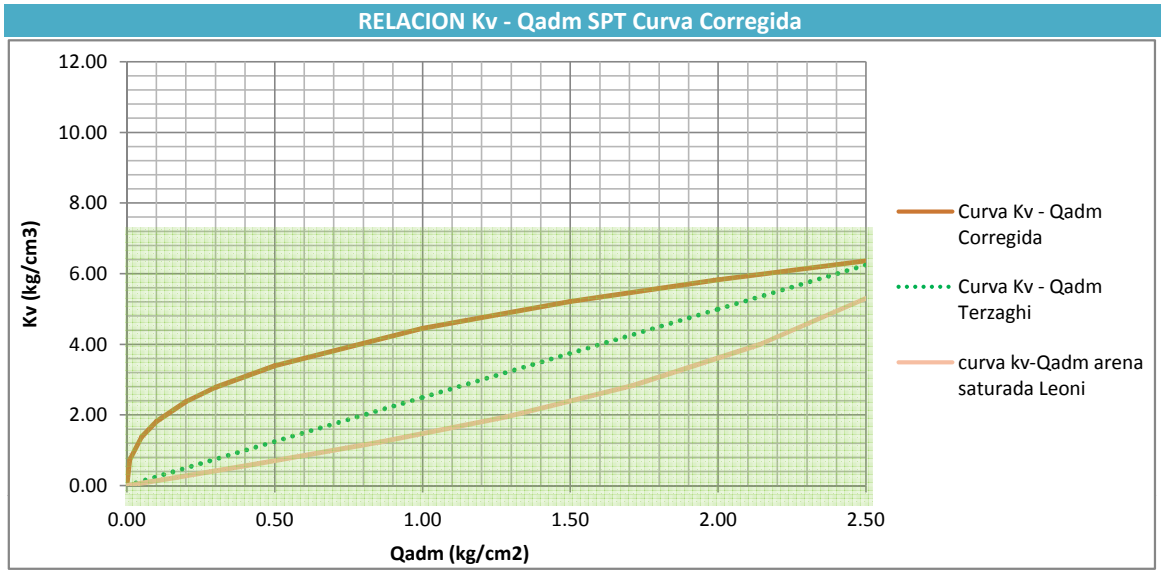
Qadm	Kv
0.00	0.00
1.00	2.50
2.00	5.00
4.00	10.00

Curva Leoni Arena Saturada

Nc	Kv	Qadm
0.00	0.00	0.00
2.00	0.24	0.17
5.00	0.60	0.43
10.00	1.23	0.86
15.00	1.95	1.29
20.00	2.84	1.71
25.00	4.00	2.14
30.00	5.56	2.57
35.00	7.67	3.00
40.00	10.49	3.43

$$kv_1 = (Nc.0{,}04)^{3{,}7} + Nc.0{,}12$$

RESULTADOS


RELACION Kv - Qadm SPT Curva Corregida
12.00
10.00
8.00
6.00
4.00
2.00
0.00
Kv (kg/cm3)
0.00
0.50
1.00
1.50
2.00
2.50
Qadm (kg/cm2)
Curva Kv - Qadm Corregida
Curva Kv - Qadm Terzaghi
curva kv-Qadm arena saturada Leoni

CAPÍTULO VII: CONCLUSIÓN

7.1 CONCLUSIÓN

Panoramas difíciles aparecen en cualquier actividad del diario vivir, más si se trata de ensayos geotécnicos con cierto nivel de complejidad. Ser ingeniero es ingeniárselas y rindiendo honor a este dicho típico de la profesión, se sobrepasan barreras en las investigaciones tales como las mencionadas en las limitaciones. Aún así hemos comprobado que la dedicación deja sus frutos, y éstos son los resultados.

Luego de finalizar los procedimientos estadísticos, los cuales fueron elaborados utilizando la inferencia, específicamente regresiones no lineales, se obtienen relaciones por distintos métodos. Los procedimientos de cálculo propuestos sugieren una correspondencia creciente y un coeficiente de determinación R cuadrado de 97%, este valor indica un alto índice de correlación entre el Módulo de Subrasante por placa de carga y el Esfuerzo Admisible por SPT en el suelo arcilloso, sujeto de estudio.

Resaltamos que la regresión no lineal potencial con la que se trabajo, es la que más se ajusta a la representatividad de los datos captados. Además, comparando con las estimaciones de Terzaghi, observamos que según los valores encontrados en la tabla 4.1, resultan tendencias que difieren de la relación propuesta ya que la grafica obtenida con los datos de Terzaghi proyectan una grafica lineal, sin embargo, autores como (Leoni) que relacionan valores del módulo de reacción de suelo con Nspt, obtienen una grafica con una función curva.

Realizamos otras comparaciones con los procedimientos de obtención de capacidad portante del suelo mediante ensayos de placa de carga, los cuales son los métodos del Comité francés y de Terzaghi - Peck, en los cuales observamos que los pares de valores arrojaron bajos coeficientes de determinación R cuadrado, seria incongruente concluir que no existe ninguna correlación ya que el estudio de estos parámetros no forman parte del alcance de esta investigación.

Y la incógnita vuelve a relucir: ¿Si sería posible lograr cumplir con las condiciones de eficiencia en el diseño estructural de fundaciones mediante la relación del modulo de subrasante y el esfuerzo admisible en suelos arcillosos?

Pues con los resultados logrados, podríamos obtener valores de coeficientes de balasto sin la necesidad de realizar placas de carga, a partir de los datos de esfuerzo admisible resultantes de los ensayos SPT. Al igual que viceversa, evitar tener que realizar sondeos y lograr mediante ensayos de placa de carga conocer valores de capacidad portante prácticamente idénticos a la realidad. Destacando que los resultados consiguen ofrecer mayor precisión en el diseño de cimentaciones, invitamos a que sean utilizados, siempre y cuando se alcance a cumplir con las siguientes recomendaciones.

7.2 RECOMENDACIÓN

A la luz de los resultados obtenidos, proporcionamos las siguientes sugerencias:

- Con el objetivo de que se mejoren los métodos de estudio, es necesario que se atiendan las limitaciones de este proyecto de investigacion y que para trabajos futuros se logren reducir las mismas. Es muy importante adquirir un mínimo de muestras (n), el cual debe ser la cantidad representativa determinada mediante procedimientos estadísticos. Al igual, lograr elaborar un análisis de regresión no lineal con un coeficiente de determinación cercano a uno (1) es lo correcto.

- Contar con equipos propios y a la disposición investigativa es lo ideal. El ensayo SPT debe ser el primero a realizar luego de la elección de la zona. Se deben elegir estratos consistentes del tipo de suelo sujeto seleccionado. Luego, mediante las calicatas se realiza el ensayo de placa de carga.

- Para futuras investigaciones, sería ideal poseer deformímetros digitales, al igual que un equipo bien calibrado y un medio de transporte adecuado.

Proponer la ampliación de estos resultados mediante un mayor número de ensayos que representen más puntos en la relación lograda es obligatorio, para llegar a utilizar estos valores en diseños de fundaciones reales. Someter los resultados a pruebas con relación a las normas de análisis estructural nacional e internacionales.

7.3 LÍNEA FUTURA

Rindiendo honor a la frase pensada por Eleanor Roosevelt (1884-1962): “El futuro pertenece a quienes creen en la belleza de sus sueños.”, vemos el porvenir de los resultados de este proyecto como el cero coma cero de un sin número de nuevas investigaciones que harán cumplir lo que deseamos en lo más profundo de nuestro ser, la precisión necesaria para brindar mejor eficiencia al diseño de fundaciones.

Proponemos líneas y ramas investigativas, las líneas suponen direcciones diferentes, las ramas son derivadas de esas trayectorias, cuyo objetivo es completar las informaciones aquí ofrecidas, enfocadas en el resto de los tipos de suelo, partiendo desde los más comunes hasta los menos frecuentes.

Que se exploren las rocas, que se prueben las arenas, que se siga adelante y que no se detengan hasta lograr las metas propuestas.

Positivo sería si se logran métodos aun más económicos de hacer estas investigaciones, aumentando así las posibilidades de obtener mayor cantidad de resultados y que a la vez aumente la representatividad de los mismos.

Motivamos a que se siga indagando y generando utilidades en función de los diseños y a la seguridad de éstos. Debemos demostrar que en nuestro país y en nuestra universidad se pueden generar buenas investigaciones, que aunque las cartas las baraje el destino, nosotros seamos los que juguemos.

7.4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Universidad Nacional de Colombia. (2003). *Manual de Geología para Ingenieros.*

ASCE. (2007). *History and Heritage of Civil Engineering.*

Bishop, A., & Donald, I. (1961). The Experimental Study of Partly Saturated Soil in the Triaxial Apparatus. *5th. International Conference on Soil Mechanics and Foundation*, (págs. 13-21). Paris.

Bishop, G., & Blight, A. (1963). *Some Aspecsts of Effective Stress in Saturated and Partly Saturated Soils* (Vol. 13). Geotechnique.

Bowles, J. (1997). *Foundation Analisis and Design* . Mc. Graw-Hill .

Coduto, D. *Foundation Design. Prnciples and Practice.* Pearson Prencice Hall.

Colaboradores Wikipedia . (2 de Mayo de 2014). *Esfuerzo Interno: Wikipedia* . Obtenido de http://es.wikipedia.org/wiki/Esfuerzo_interno

Colaboradores Wikipedia. (25 de Junio de 2014). *Rigidez: Wikipedia*. Obtenido de http://es.wikipedia.org/wiki/Rigidez

Colaboradores, W. (1 de Diciembre de 2008). *Ingenieria Estructural: Wikipedia.* Obtenido de http://es.wikipedia.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_estructural

Hahn, J. (1982). *Vigas Continuas, porticos, placas y vigas flotantes sobre terreno elastico* (3ra edicion ed.). (G. Gili, Ed.)

ICE., I. o. (2007). *What is Civil Engineering.*

Jennings, J. (1961). A Revised Effective Stress Law for use in the Prediction of the Behavior of Unsaturated Soils. *Conference on Pore Pressure and suction in soils* , (págs. 26-30). London.

Lambe, R., & Wihtman, T. (1969). *Soil Mechanics.* New York: Jhon Wiley.

Leoni, A. J. *Apunte de Coeficiente de Balasto.*

Melerski, E. *Design Analysis of Beams, Circular Plates and Cylindrical Tanks on Elastic Foundations.* Taylor and Francis .

Mifflin Houghton, C. (2004). *The American Heritage Dictionary of the English Language* (Fourth Edition ed.).

Muzas Labad, F. (2002). *Consideraciones sobre la eleccion de los coeficientes de balasto* (3427 ed.). Revista de Obras Publicas.

Muzas Labad, F. (2005). *El Coeficiente de balasto en el calculo de pantallas* (3459 ed.). Revista de Obras Publicas.

Rodriguez, J. M., Gesta, J. S., & Mazo, C. M. *Curso aplicado de cimentaciones* . COAM .

Skempton, A. (1961). Effective Stress in Soils, Concrete and Rocks. *Conference on Pore Pressure and suction in soils* , (págs. 4-16). London.

Skempton, A. (1954). *The Pore Pressure Coefficientes A and B* (Vol. 4). Geotechnique.

Terzaghi, K., & Peck, R. (1996). *Soil Mechanics in Engineering Practice* . USA: Jhon Wiley and Sons, Inc.

Tsudik, E. *Analysis of Beams and Frames on Elastic Foundation* . Trafford Publishing.

Universidad Nacional de Colombia. (2002). *Mecánica de los suelos.*

Winter, G., & Nilson, A. (1986). *Proyectos de Estructuras de Hormigon.* Ed. Reverte.

7.5 ANEXOS

7.5.1 NORMA ASTM DESIGNACIÓN: D1586

MÉTODO ESTÁNDAR DE ENSAYO DE PENETRACION Y MUESTREO DE SUELOS CON CAÑA PARTIDA

1.0 ALCANCE

1.1 Este método describe el procedimiento, generalmente conocido como Ensayo de Penetración Estándar (SPT), de hincar un muestreador de caña partida para obtener una muestra representativa de suelo y medir la resistencia del suelo a la penetración del muestreador.

1.2 Esta norma puede involucrar materiales, operaciones y equipos peligrosos. Esta norma no pretende cubrir todos los problemas de seguridad asociados a su uso. Es la responsabilidad de quien use esta norma, el consultar y establecer prácticas apropiadas de seguridad y determinar la aplicabilidad de normas regulatorias en vigencia. Para una declaración específica de precaución, vea 5.4.1.

1.3 Los valores indicados en unidades pulgada-libra son considerados los estándar.

2.0 DOCUMENTOS APLICABLES

2.1 Normas ASTM

D2487 Método de Ensayo para la Clasificación de Suelos con Propósitos Ingenieriles.

D2488 Práctica para la Descripción e Identificación de Suelos
(Procedimiento Visual-Manual).

D4220 Prácticas para Preservar y Transportar Muestras de Suelo.

3.0 DESCRIPCION DE TERMINOS ESPECIFICOS DE ESA NORMA

3.1 Yunque.- la porción del ensamblaje de caída de peso que el martillo golpea y a través del cual la energía del martillo pasa a las barras de perforación.

3.2 Malacate.- el tambor que rota o torno en el sistema de aplicación de carga alrededor del cual el operador enrolla una soga para levantar y dejar caer el martillo por el sucesivo ajustar y aflojar las vueltas de la soga alrededor del tambor.

3.3 Varillas de perforación.- las varillas utilizadas para transmitir la fuerza hacia abajo y torque a la broca durante la perforación de un sondaje.

3.4 Ensamblaje de caída de peso.- un equipo consistente de martillo, barra, guía, y un que cualquier sistema de caída de martillo.

3.5 Martillo.- la porción del ensamblaje de caída de peso que consiste de un peso de 140 ±2 lb (63.5±/Kg) que sucesivamente y se deja caer para proporcionar la energía que efectúa el muestreado y la penetración.

3.6 Sistema de caída de martillo.- la porción del ensamblaje de caída de peso mediante el cual el operador efectúa la subida y caída del martillo para producir el golpe.

3.7 Barra guía.- la parte del ensamblaje de caída de peso utilizada para guiar la caída del martillo.

3.8 Valor N.- el número de golpes representativo de la resistencia a la penetración del suelo. El valor de N, representado en golpes/pie es igual a la suma del número de golpes requerido para hincar el muestreador en el intervalo de profundidad de 6 a 18 pulgadas (150 a 450 mm) (ver 7.3).

3.9 □N.- el número de golpes obtenido en cada intervalo de 6 pulg. (150 mm) de la penetración del muestreador (ver 7.3).

3.10 Número de vueltas de soga.- el ángulo de contacto total entre la soga y el malacate, al principio del aflojamiento del operador para dejar caer el martillo, dividido por 360° (ver
Fig. 1).

3.11 Varillas de muestreo.- las varillas que conectan el ensamblaje de caída de peso al muestreador. Generalmente se utilizan varillas de perforación para este propósito.

3.12 SPT.- abreviación del Ensayo de Penetración Estándar, un término que los ingenieros utilizan frecuentemente para este método.

4.0 SIGNIFICADO Y USO

4.1 Este método proporciona una muestra de suelo para propósito de identificación y para ensayos de laboratorio apropiados al suelo obtenido de un muestreador que puede producir perturbación por una gran deformación cortante en la muestra.

4.2 Este método es utilizado extensamente en una gran variedad de proyectos geotécnicos de exploración. Existen disponibles muchas correlaciones locales y correlaciones extensamente publicadas que relacionan el valor de N con el comportamiento ingenieril de estructuras de tierra y cimentaciones.

5.0 APARATOS

5.1 **Equipo de Perforación**.- Cualquier equipo de perforación será aceptable, que proporcione al tiempo del muestreo una cavidad razonablemente limpia antes de introducir el muestreador y asegure que el ensayo de penetración se realiza en suelo inalterado. Las piezas de equipo siguientes han demostrado ser apropiadas para el avance de una perforación en algunas condiciones de subsuelo.

5.1.1 **Brocas de arrastre, de corte o de cola de pez**, menores de 6.5 pulg (162 mm) y mayores de 2.2 pulg (56 mm) de diámetro pueden usarse en conexión con métodos de perforación por rotación en cavidad abierta o por avance de entubado. Para evitar la perturbación en el suelo inferior no se permiten brocas con descarga de fondo. Solo se permiten brocas con descarga lateral.

5.1.2 **Brocas de cono-rodillo**, menores de 6.5 pulg (162 mm) y mayores de 2.2 pulg (56 mm) de diámetro pueden usarse en conexión con métodos de perforación por rotación en cavidad abierta o por avance de entubado, si la descarga del fluido de excavación es desviada.

5.1.3 **Barrenos continuos con eje hueco**, con o sin ensamblaje de broca central, pueden usarse para perforar. El diámetro interior de los barrenos con eje hueco deberán ser menores de 6.5 pulg (162 mm) y mayores de 2.2 pulg (56 mm).

5.1.4 **Barrenos continuos sólidos, de tipo balde y manuales**, menores de 6.5 pulg (162 mm) y mayores de 2.2 pulg (56 mm) de diámetro pueden usarse si el suelo en las paredes laterales del sondaje no colapsa sobre el muestreador o las varillas durante el muestreo.

5.2 **Varillas de Muestreo**. Deberán usarse varillas de perforación de acero de unión rápida para conectar el muestreador de caña partida con el ensamblaje de caída de peso. La varilla de muestreo deberá tener una rigidez (momento de inercia) igual o mayor a aquella de una varilla "A" de paredes paralelas (una varilla de acero con un diámetro exterior de 1 5/8 pulg (41.2 mm) y un diámetro interior de 1 1/8 pulg (285 mm).

Nota 1.- Investigación reciente y ensayos comparativos indican que el tipo de varilla utilizada, con rigideces de varillas tamaño "A" a tamaño "N", tendrán un efecto despreciable en los valores de N hasta profundidades de por lo menos 100 pies (30metros).

5.3 **Muestreador de Caña Partida**. El muestreador deberá ser construido con las dimensiones indicadas en la Fig. 2. La zapata deberá ser de acero endurecido y deberá ser reemplazada o reparada cuando esté abollada o deformada. El uso de revestimientos para producir un diámetro constante interior de 1 3/8 pulg (35 mm) se permite, pero deberá anotarse si éstos se emplean en el registro de perforación. El empleo de canastillas de retención de muestras se permite, debiéndose indicar su empleo en el registro de perforación.

Nota 2.- La teoría y los datos disponibles sugieren que el valor de N puede aumentar en 10 a 30% cuando se emplean revestimientos.

5.4 Ensamblaje de Caída-Peso

5.4.1 **Martillo y Yunque**.- El martillo deberá pesar 140 2 lb (63.5 ± 1 Kg) y deberá ser una masa metálica sólida y rígida. El martillo deberá golpear el yunque y realizar un contacto acero-acero cuando se deja caer. Una guía que permita una caída libre deberá utilizarse. Los martillos que se usan con el método de malacate y soga, deberán tener una capacidad de sobre elevación libre de por lo menos 4 pulg (100 mm). Por razones de seguridad se recomienda el empleo de un equipo con yunque interno.

Nota 3.- Se sugiere que la guía del martillo tenga una marca permanente para permitir que el operador o inspector pueda verificar la altura de caída del martillo.

5.4.2 **Sistema de Caída del Martillo**.- Pueden utilizarse sistemas de malacate-soga, sema-automático o automático, siempre y cuando el aparato de levante no cause penetración del muestreador cuando se engancha y levanta el martillo.

5.5 **Equipo Accesorio**. Deberán proporcionarse etiquetas, contenedores, hojas de datos y equipos para medir el nivel de agua, de acuerdo con los requisitos del proyecto y otras normas ASTM.

6.0 PROCEDIMIENTO DE PERFORACION

6.1 El sondaje deberá ser avanzado por incrementos, para permitir muestreado continuo o intermitente. Los intervalos y las localizaciones de ensayo son especificados por el ingeniero o geólogo. Típicamente los intervalos seleccionados son de 5 pies (1.5 m) o menos en estratos homogéneos con ensayos y muestreos a cada cambio de estrato.

6.2 Será aceptable cualquier procedimiento de perforación que proporcione una cavidad razonablemente limpia y estable antes de introducir el muestreador y asegure que el ensayo se realiza en suelo esencialmente inalterado. Cada uno de los procedimientos siguientes ha sido probado como aceptable para algunas condiciones del subsuelo anticipadas al seleccionar el método de perforación a emplearse.

6.2.1 Método de perforación por rotación.

6.2.2 Método de barreno continúo con eje hueco.

6.2.3 Método de lavado.

6.2.4 Método de barreno continúo con eje sólido.

6.3 Varios métodos de perforación producen sondajes inaceptables. El proceso de chorro a través de un muestreador de tubo abierto y luego el muestreo cuando se alcanza la profundidad deseada, no deberá ser permitido. El método de barreno continuo con eje sólido no deberá ser usado para avanzar el sondaje debajo del nivel freático o debajo de la cama superior confinante de un estrato no cohesivo confinado que está bajo presión artesiana. El entubado no debe ser avanzado por debajo del punto de muestreo antes de realizar el muestreo. No se permite avanzar la perforación con brocas de descarga de fondo. No se permite avanzar la perforación para la subsecuente inserción del muestreador solamente por medio de muestreo previo con el muestreador SPT.

6.4 El nivel del fluido de perforación dentro del sondaje o barrenos de eje hueco, deberá ser mantenido al nivel o por encima del nivel freático del terreno en todo momento durante la perforación, remoción de varillas de perforación y muestreo.

7.0 PROCEDIMIENTO DE MUESTREO Y ENSAYO

7.1 Después que el sondaje se ha avanzado hasta la elevación del muestreo deseada y se ha removido los sobrantes de la excavación, prepare el ensayo con la secuencia de operaciones siguiente.

7.1.1 Asegure el muestreador de una caña partida a las varillas de muestreo y bájenlas en el sondaje. No permita que el muestreador caiga en el suelo a ser ensayado.

7.1.2 Coloque el martillo por encima y conecte el yunque a la parte superior de las varillas de muestreo. Esto puede ser hecho antes que las varillas de muestreo y el muestreador se bajen a la perfección.

7.1.3 Descanse el peso muerto del muestreador, varillas, yunque y peso de hinca, en el fondo de la perforación y aplique un golpe de asiento. Si se encuentran muchos

sobrantes en el fondo de la perforación, remueva el muestreador y las varillas de la perforación y saque los sobrantes de la perforación.

7.1.4 Marque las varillas de perforación en tres incrementos sucesivos de 6 pulg (0.15m), de modo que el avance del muestreador bajo el impacto del martillo pueda ser observado fácilmente en cada incremento de 6 pulg (0.15 m).

7.2 Hinque el muestreador con golpes del martillo de 140 lbs. (63.5 Kg) y cuente el número de golpes aplicado a cada incremento de 6 pulg (0.15 m), hasta que uno de lo siguiente ocurra:

7.2.1 Un total de 50 golpes ha sido aplicado durante cualquiera de los tres incrementos de 6 pulg (0.15 m) descritos en 7.1.4.

7.2.2 Un total de 100 golpes se han aplicado.
7.2.3 No se observa ningún avance del muestreador durante la aplicación de 10golpes sucesivos del martillo.

7.2.4 El muestreador se avanza las 18 pulgadas (0.45 m) completas sin que ocurra el número de golpes límite que se describe en 7.2.1, 7.2.2 y 7.2.3.

7.3 Registre el número de golpes requerido para alcanzar cada 6 pulg (0.15 m) de penetración o fracción. Las primeras 6 pulg se consideran las de acomodamiento. La suma del número de golpes del segundo y tercer incremento de 6 pulg de penetración se denomina "resistencia a la penetración estándar" o "valor de N". Si el muestreador se hinca menos de 18 pulg (0.45), como lo permite 7.2.1, 7.2.2 ó 7.2.3, deberá anotarse en el registro de sondaje el número de golpes de cada incremento completo de 6 pulg (0.15m) y cada incremento parcial. Para los incrementos parciales, deberá reportarse la profundidad de penetración con aproximación a 1 pulg (25 mm), además del número de golpes. Si el muestreador avanza por debajo del fondo de la perforación por acción del peso propio de las varillas y varillas más martillo, deberá ser anotada dicha información en el registro de perforación.

7.4 La salida y bajada del martillo de 140 lbs. (63.5 Kgs) deberá ejecutarse mediante uno de los métodos siguientes:

7.4.1 Por el uso de un sistema de caída de martillo automático o semi-automático, que levanta el martillo de 140 lbs. (63.5 Kgs) y lo deja caer 30 ± 10 pulg. (0.76m ± 25 mm) sin impedimento.

7.4.2 Por el uso de un malacate para jalar una soga conectada al martillo. Cuando se use el método de malacate y soga, el sistema y operación deberá cumplir con lo siguiente.

7.4.2.1 El malacate deberá estar libre de oxidación, aceite y grasa y deberá tener un diámetro en el rango de 6 a 10 pulg (150 a 250 mm).7.4.2.2 El malacate deberá ser operado a una velocidad de rotación mínima de 100 RPM, o la velocidad de rotación aproximada se reportará en el registro de perforación.

7.4.2.3 No más de 2 1/4 vueltas de soga en el malacate pueden emplearse durante la realización del ensayo de penetración, como se muestra en la Fig. 1.

Nota 4.- El operador deberá usar ya sea 1 3/4 ó 2 1/4 vueltas de soga, dependiendo que la soga salga de la parte superior (1 3/4) o inferior (2 1/4) del malacate. Se reconoce y acepta que 2 3/4 o más vueltas de soga dificultan la caída del martillo, por lo que no deberán utilizarse en el ensayo. La soga deberá mantenerse en una condición seca, limpia y sin desgaste.

7.4.2.4 Para cada golpe del martillo, debe emplearse una salida y bajada por el operador. La operación de jalar y soltar la soga debe ser realizada con ritmo y sin mantener la soga en la parte superior del golpe.

7.5 Lleve el muestreador a la superficie y ábralo. Registre el porcentaje de recuperación o la longitud de la muestra recuperada. Describa las muestras de suelo recuperadas, tal como su composición, color, estratificación y condición, luego coloque una o más partes representativas de la muestra en recipientes sellados e impermeables, sin dañar o distorsionar cualquier estratificación aparente. Selle cada recipiente para prevenir la evaporación de la humedad del suelo. Fije etiquetas a los recipientes indicando la obra, número de sondaje, profundidad de la muestra y el número de golpes por cada incremento de 6 pulg (0.15 m). Proteja las muestras contra cambios extremos de temperatura. Si existe un cambio de suelo dentro del muestreador, prepare un recipiente para cada estrato y anote su localización en el muestreador.

8.0 REPORTE

8.1 La información de la perforación deberá ser registrada en el campo y deberá incluir lo siguiente:

8.1.1 Nombre y localización de la obra.
8.1.2 Nombre del personal.
8.1.3 Tipo y marca de la máquina de perforación.
8.1.4 Condiciones ambientales.
8.1.5 Fecha y hora de comienzo y fin de la perforación.
8.1.6 Número de sondaje y ubicación (estación y coordenadas, si están disponibles y son aplicables).
8.1.7 Elevación de la superficie, si está disponible.
8.1.8 Método de avance y limpieza de la perforación.
8.1.9 Método de mantenimiento de la perforación.
8.1.10 Profundidad de la superficie de agua y profundidad de perforación al momento de notar pérdida del fluido de perforación y fecha y hora cuando se hizo la lectura o notación.
8.1.11 Localización de cambios de estratos.
8.1.12 Tamaño de entubado, profundidades de la porción entubada de la perforación.
8.1.13 Equipo y método de hincado del muestreador.
8.1.14 Tipo de muestreador y longitud y pérdida interior del barril (anotar el cero de revestimientos).
8.1.15 Tamaño, tipo y longitud de sección de las varillas de muestreo y
8.1.16 Observaciones
8.2 Los datos obtenidos de cada muestra deberán ser registrados en el campo y deberán incluir lo siguiente:
8.2.1 Profundidad de la muestra, y se utiliza, el número de la muestra.
8.2.2 Descripción del suelo.
8.2.3 Cambios de estratos dentro de la muestra.
8.2.4 Penetración del muestreador y longitudes de recuperación, y
8.2.5 Número de golpes por 6 pulg (0.15 m) o incremento parcial.

9.0 PRECISION Y LONGITUD

9.1 Se han observado variaciones a los valores de N de 100% o más cuando se emplean diferentes aparatos de penetración estándar y perforistas en sondajes adyacentes en la misma formación de suelo. La opinión actual, basada en experiencia de campo, indica que cuando se usa el mismo equipo y perforista, los valores de N en el mismo suelo pueden reproducirse con un coeficiente de variación de aproximadamente 10%.

9.2 El uso de equipo defectuoso, tal como un yunque extremadamente masivo o dañado, un malacate oxidado, un malacate de baja velocidad, una soga vieja y aceitosa, poleas masivas o pobremente lubricadas, pueden contribuir significativamente a diferencias en los valores de N obtenidos entre sistemas operador-equipo de perforación.

9.3 La variabilidad en los valores de N producidos por diferentes equipos de perforación y operadores puede reducirse al medir la parte de la energía del martillo entregada a las varillas de perforación por el martillo y ajustando el valor de N en base a energía, comparables. Un método de medición de energía y ajuste en el valor de N se está desarrollando actualmente.

Otro parámetro que se puede determinar a partir del N obtenido y de la clasificación posterior del suelo, es el Grado de Compacidad en caso de suelos arenosos y la Consistencia en caso de suelos arcillosos, esto mediante tablas que relacionan los mencionados valores:

COMPACIDAD (Suelo Granular)	Grado de Compacidad	N (S.P.T.)	Resistencia a la Penetración Estática	φ
Muy suelta	< 0,2	< 4	< 20	< 30
Suelta	0,2 - 0,4	4 – 10	20 - 40	30 - 35
Compacta	0,4 - 0,6	10 - 30	40 - 120	35 - 40
Densa	0,6 - 0,8	30 – 50	120 - 200	40 - 45
Muy Densa	> 0,8	> 50	> 200	> 45

7.5.2 NORMA ASTM ASIGNACIÓN: D1194

MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR CARGA ESTÁTICA PARA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

1.0 INTRODUCCION

El ensayo de carga directa es un ensayo in-situ que permite la estimación de la capacidad portante del suelo mediante métodos empíricos. Este ensayo es sólo una parte de los procedimientos necesarios en la investigación del suelo para el diseño de la cimentación. Este método proporciona información del suelo sólo hasta una profundidad igual a dos veces el diámetro de la placa a partir del nivel de ensayo, y toma en cuenta sólo parte del efecto del tiempo.

2.0 EQUIPO

Para llevar a cabo el ensayo de carga se debe contar con los siguientes equipos y aparatos:

- Carga de reacción: Una plataforma o cajón cargado, de tamaño y peso suficientes para suministrar la carga total requerida en el terreno. Para este fin se puede utilizar un camión cargado, con un peso total mayor o igual a 20 TM.

- Gata hidráulica: De suficiente capacidad para proveer y mantener la carga máxima estimada para las condiciones específicas del suelo, pero no menor de 50 ton. En cualquier caso.

Para registrar la fuerza aplicada por la gata hidráulica se debe contar con un medidor depresión (manómetro), un anillo de carga o una celda de carga electrónica. Estos dispositivos deberían ser capaces de registrar la carga con un error que no exceda de ± 2% del incremento de carga.

- Placa de carga: Se debe disponer de tres placas de acero circulares, con espesores no menores a 1 pulgada y con diámetros variando de 12 a 30 pulgadas (305 a 762 mm), incluyendo el mínimo y el máximo diámetro especificado, o placas de acero cuadradas de áreas equivalentes.

- Dispositivos de registro de asentamientos: Se requiere de 3 extensómetros, capaces de medir el asentamiento de la placa de carga con una precisión de por lo menos 0.01pulgadas (0.25 mm).

- Aparatos diversos: Incluye una columna de acero (tubo) para transmitir la carga de la plataforma a la placa, y otras herramientas y equipos requeridos para la preparación del ensayo y el montaje del equipo (nivel, plomada, etc.).

El montaje del equipo puede variar ampliamente dependiendo de las condiciones de trabajo, requerimientos del ensayo y equipo disponible. Un montaje típico para realizar el ensayo de carga se muestra en la Figura Nº1.

3.0 PROCEDIMIENTO

- Selección del área de ensayo: Una selección representativa de la ubicación del ensayo se realiza en base a los resultados de los sondajes de exploración y de los requerimientos de la estructura. Se debe realizar el ensayo de carga a la profundidad de cimentación propuesta y en las mismas condiciones a las que ésta estará sujeta, a menos que se especifiquen condiciones especiales.

- Pozos de prueba: Se requieren por lo menos tres pozos, los cuales deben estar espaciados por lo menos 5 veces el diámetro mayor de las placas usadas. Se debe nivelar y limpiar cuidadosamente el área donde se colocará la placa de carga, de modo que el área de contacto sea en suelo no disturbado. Previo a la realización del ensayo, proteger el pozo y áreas vecinas contra los cambios de humedad del suelo, a menos que se espere un humedecimiento de éste en un tiempo futuro, como en el caso de estructuras hidráulicas. En este caso, prehumedecer el suelo en el pozo hasta una profundidad no menor que el doble del diámetro o el largo de la placa.

- Plataforma de carga: Soportar la plataforma de carga o cajón en puntos tan distantes del área de ensayo como sea posible, preferiblemente a distancias no menores que 8pies (2.4 m). La carga total requerida deberá estar disponible en el sitio antes de iniciar el ensayo.

- Carga muerta: Pesar y registrar como peso muerto todo el equipo usado, tal como la placa de acero, columna de transmisión de carga y gata hidráulica, etc., que es colocada en el área previa a la aplicación de los incrementos de carga.

- Viga de referencia: Soportar independientemente la viga de referencia, que sostendrá los extensómetros u otros dispositivos de registro de asentamientos, tan lejos como sea posible, pero no menor que 8 pies (2.4 m) desde el centro del área de carga.

- Incrementos de carga: Aplicar la carga al suelo en incrementos iguales y acumulativos, no mayores que 1.0 Ton/ft² (95 KPa), o no más que un décimo de la capacidad portante estimada para el área a ser ensayada. Asegurarse de medir cada carga, y aplicar ésta de manera que el suelo sea cargado en forma estática, sin impactos, fluctuaciones o excentricidades.

- Intervalo de tiempo de carga: Después de la aplicación de cada incremento de carga, mantener la carga constante por un intervalo de tiempo seleccionado no menor que 15minutos. Intervalos de tiempo mayores deben ser determinados manteniendo la carga constante hasta que el asentamiento cese o hasta que la razón de asentamiento sea uniforme. Mantener el mismo intervalo de tiempo seleccionado para cada incremento descarga en todo el ensayo.

Registro del asentamiento: Mantener un registro continuo de todos los asentamientos. Realizar mediciones del asentamiento tan pronto como sean posibles antes y después de la aplicación de cada incremento de carga, y en intervalos de tiempos iguales cuando ésta es mantenida constante. Realizar por lo menos 6 mediciones del asentamiento entre las aplicaciones de carga.

- Término del ensayo: Continuar cada ensayo hasta que la carga pico sea alcanzada o hasta que la relación de incremento de carga a incremento de asentamiento resulte un mínimo. Si existe suficiente carga disponible, continuar el ensayo hasta que el asentamiento total alcance por lo menos el 10% del diámetro de la placa, a menos que una falla bien definida sea observada.

Después de terminar las observaciones para el último incremento de carga, liberar lacara aplicada en aproximadamente tres decrementos iguales. Continuar registrando la

recuperación del suelo hasta que la deformación cese, o por un período no menor que el intervalo de tiempo seleccionado para la carga.

NOTA: El siguiente procedimiento alternativo es también permitido. Aplicar la carga al suelo en incrementos correspondientes a incrementos de asentamientos de aproximadamente 0.5% del diámetro de la placa. Después de la aplicación de cada incremento de asentamiento, medir la carga en intervalos de tiempo fijados; por ejemplo30s, 1, 2, 4, 8 y 15 min. Después de la aplicación de carga, hasta que la variación de ésta cese o hasta que la razón de variación de la carga, en el gráfico de carga Vs. logaritmo de tiempo, sea lineal. Continúe cargando en incrementos de asentamientos seleccionados. El término del ensayo y la descarga se realiza de manera similar a la indicada anteriormente.

4.0 EVALUACION DE LOS RESULTADOS

- Capacidad admisible del terreno: Existen varios criterios para evaluar la capacidad admisible del terreno en base a los resultados del ensayo de carga in-situ. El Comité Francés de Mecánica de Suelos indica que el valor de q_{ad} es el menor valor entre q03, 2/3 q10 y 1/2 q20, donde los subíndices representan los valores de descarga en milímetros. El valor de q_{ad} se toma como la carga correspondiente en la curva esfuerzo deformación, que es producto de la intersección de una recta paralela a la curva de descarga que pasa por los valores de deformación en milímetros indicados y la curva referida. También existe el criterio de Terzaghi y Peck que indica que la carga admisible de un ensayo de carga es la mitad del esfuerzo, que ocasiona un asentamiento de 1centímetro en el ensayo de carga o la mitad del esfuerzo en la falla.

- Cálculo de asentamientos: El asentamiento registrado en una placa de 300 mm, de diámetro puede ser relacionada con los asentamientos esperados de la cimentación. Existen varios métodos empíricos para este fin, una relación sugerida por Terzaghi y Peck (1967) es:

$$S_2 = S_1 \left(\frac{2}{1 + B_1 / B_2} \right)^2$$

Donde:

S2= asentamiento de la cimentación de ancho B2 en cm.
S1= asentamiento de la placa de 300 mm (B1) bajo la carga esperada a ser aplicada por la cimentación.

Otra relación ha sido dada por Bond (1961)

$$S_2 = S_1 (B_2/B_1)^{n+1}$$

donde la notación usada es la misma que para la expresión de Terzaghi y Peck. El coeficiente adimensional "n" depende del suelo y puede ser determinado por la realización de dos o más ensayos de placa con diferentes diámetros y resolviendo la ecuación para "n". El rango de valores de "n" dado por Bond (1961) es:

0.20 a 0.40 para arenas sueltas a compactas.
0.40 a 0.50 para arenas densas.

NOTA: las relaciones anteriores sólo se consideran aplicables para la estimación del asentamiento en suelos no cohesivos, donde la dependencia del tiempo de las relaciones de asentamiento son despreciables.

CALCULO DE LA RIGIDEZ (Kv) Y MODULO CORTANTE (G)

El ensayo de carga directa puede ser utilizado para la estimación de la rigidez vertical del suelo (Kv), mediante la aplicación de cargas cíclicas, tal como se indica en la Fig.Nº2. Este parámetro es muy importante en el diseño de cimentación máquinas; además a partir de este valor se puede obtener el módulo de corte G, mediante la siguiente expresión:

$$G = \frac{K_v (1-\mu)}{\beta_z (BL)^{1/2}}$$

donde :

G = módulo de corte

Kv= rigidez vertical

μ= módulo de Poisson

ßz = coeficiente de forma

B = ancho de la cimentación

L = largo de la cimentación

Para una placa cuadrada se tiene:

$$G = \frac{K_v (1 - \mu)}{2.16\, B}$$

Para extrapolar las rigideces obtenidas usando las placas de áreas pequeñas a las áreas reales del prototipo se pueden utilizar las recomendaciones de Terzaghi para cargas estáticas; es decir.

Suelo cohesivo: $K_{prototipo} = K_1\ C$

Suelo no cohesivo: $K_{prototipo} = K_1(c + 1)^2$

$$\text{donde } C = \frac{\text{Tamaño menor de la cimentacion}}{\text{Tamaño menor de la placa}}$$

7.5.3 GALERÍA DE IMÁGENES

Foto 7.1 Suelo arcilloso de alta plasticidad

Foto 7.2 Vista de proceso ensayo placa de carga

Foto 7.3 Suelo arcilloso sometido a presión

Foto 7.4 Ingeniero tomando las lecturas de deformación

Foto 7.5 Proceso de calibración de deformimetro

Foto 7.6 Vista de deformimetro derecho

7.5.3 GALERIA DE IMÁGENES

Foto 7.7 Vista de camión de carga de reacción

Foto 7.8 Suelo saturado sometido a prueba de carga

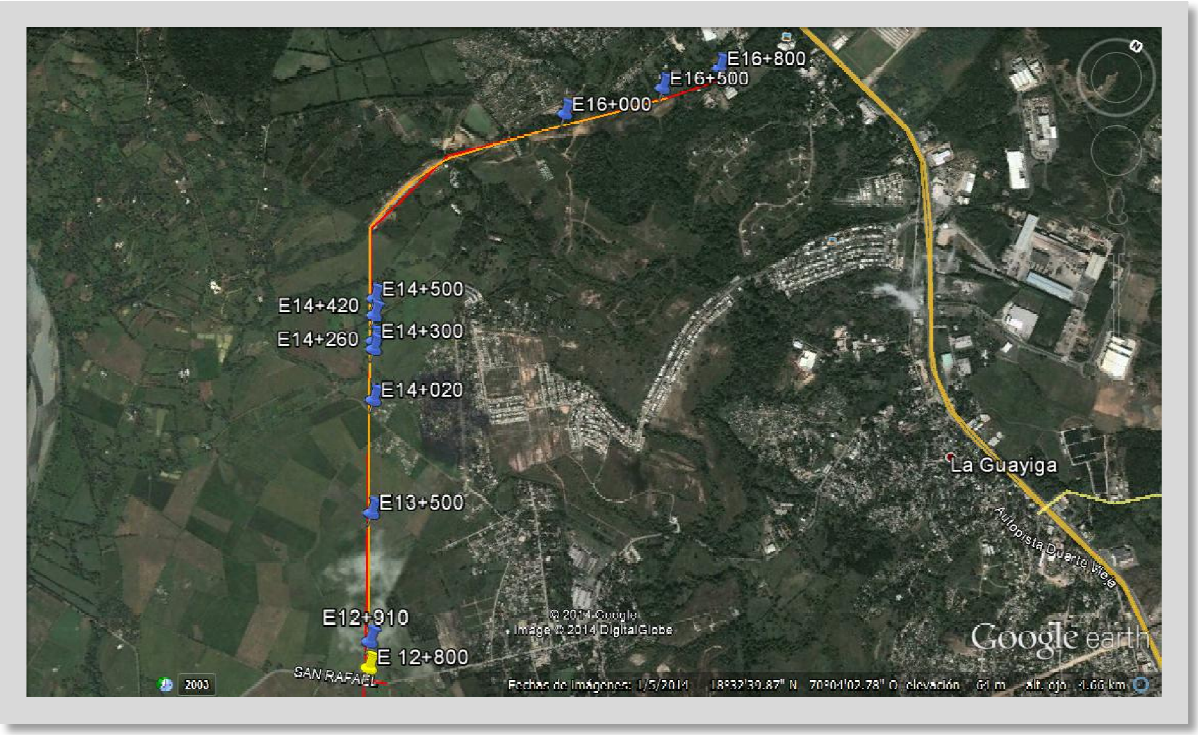
Foto 7.9 Trabajos de excavación para calicata

Foto 7.10 Supervisión de ensayo

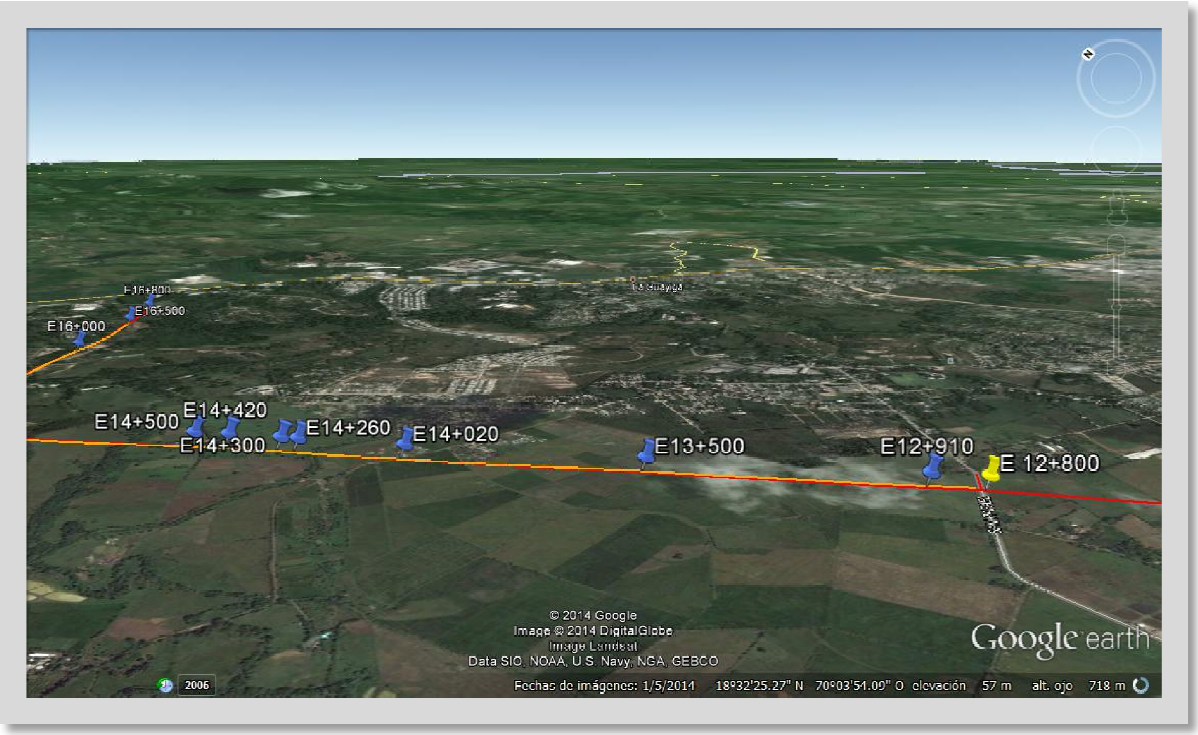
Foto 7.11 Transcurso de ensayo placa de carga

Foto 7.12 Preparación para ensayo placa de carga

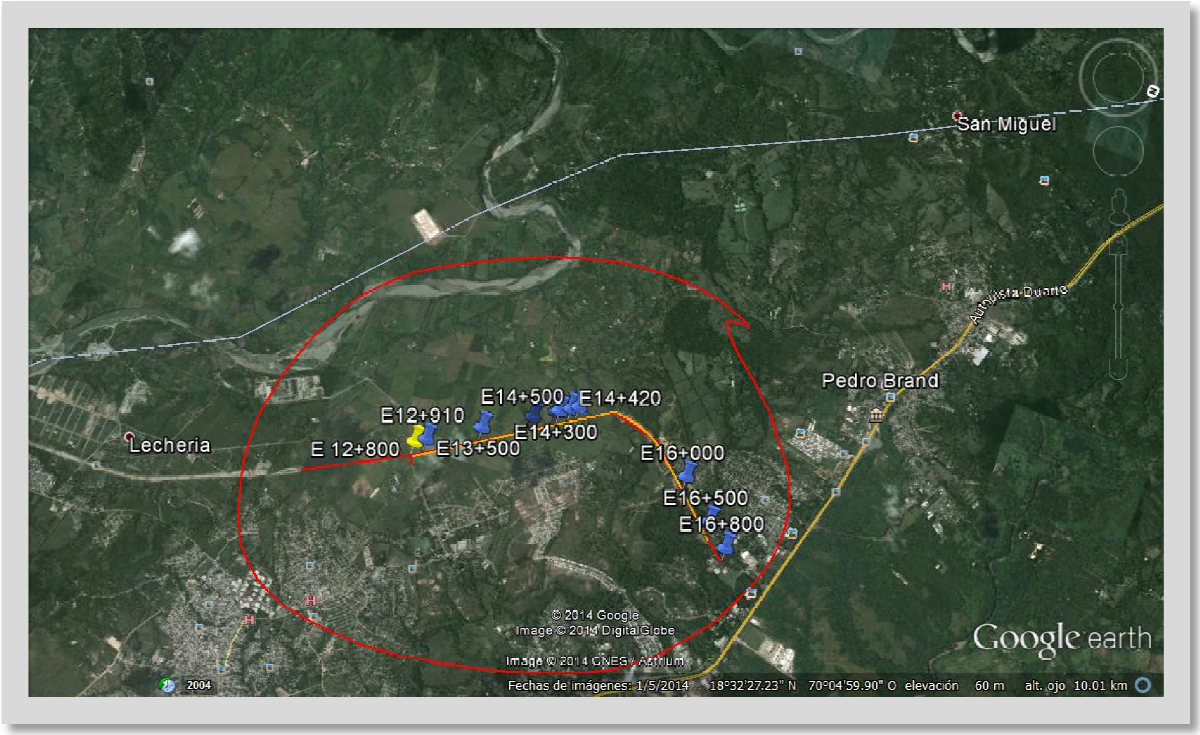
7.5.4 MAPAS



Mapa 7.1 Trazado de puntos de ensayos, Circunvalación Santo Domingo, Cercana Autopista Duarte Km.26.



Mapa 7.2 Vista en perfil de las estaciones de los ensayos.



Mapa 7.3 Vista en planta de área, trazado y estaciones