

Aspectos geotécnicos relevantes para el diseño de la cimentación de una nave industrial en Poza Rica, Veracruz

Alejandro García-Elías¹, Armando Aguilar-Meléndez¹, Alejandro Cordova¹, Carlos A. Antonio¹, Jesús E. Leyton¹, Israel Hernández-Romero², J. R. Laguna-Camacho³

Facultad de Ingeniería Civil¹, Facultad de Ciencias Químicas², Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica³
Universidad Veracruzana
Poza Rica, Ver., México

[alejagarcia, armaguilar, acordova, ishernandez, jlaguna]@uv.mx, [zs10004155, zS10004143]@estudiantes.uv.mx

Abstract— In the city of Poza Rica there are large regions with soil of clays and silts, that have a low load capacity, and in some cases also there are expansive clays [1]. Occasionally, the buildings that have been built on these soils, suffer some kind of damage. In this project a procedure used to execute a geotechnical study is described. The data obtained from the study can be used to do a reasonable design, of the foundation for an industrial building. Undisturbed samples of soils were obtained in the site of study. According to the results, the liquid limit is 41.98%. At the same time a cohesion value of 1.95 ton/m² for the soil was obtained.

Keyword— *Clay, silt, index properties, mechanical properties, theory of Skempton, theory of One-Dimensional Consolidation.*

Resumen— En la ciudad de Poza Rica existen grandes zonas con arcillas y limos con baja capacidad de carga, y en algunos sitios existen también arcillas expansivas [1]. En ocasiones las obras construidas sobre esos suelos sufren daños. En el presente trabajo se describe el procedimiento empleado para realizar un estudio geotécnico, con la finalidad de obtener datos del suelo, que permitan hacer un adecuado diseño de la cimentación de una nave industrial. Se obtuvieron muestras inalteradas del sitio de estudio, y se les realizaron pruebas. De acuerdo con los resultados obtenidos, el suelo estudiado se caracteriza por tener un límite líquido de 41.98%. Mientras que sus propiedades mecánicas indican un valor de cohesión de 1.95 ton/m².

Palabras claves— *Arcilla, limo, propiedades índice y mecánicas, teoría de Skempton, teoría de consolidación unidimensional.*

I. INTRODUCCIÓN

Las obras civiles deben cumplir con condiciones de funcionamiento y seguridad establecidas comúnmente en normas de diseño. En dichas normas suelen indicarse valores límite para garantizar el adecuado comportamiento de la estructuras, incluyendo a su cimentación. Por otra parte, para conseguir que la cimentación tenga un adecuado comportamiento estructural, es indispensable conocer las propiedades del suelo sobre el que se apoyará dicha cimentación [2]. Las cimentaciones deben ser dimensionadas en base a las propiedades índice y mecánicas del suelo, y a las cargas de la estructura, las cuales son de distinto tipo de acuerdo a la utilidad que se busca.

En el presente trabajo se realizó un estudio geotécnico con el objetivo de generar la información requerida, para diseñar la cimentación de la estructura de una nave industrial.

En función de los datos generales del proyecto, que permiten cuantificar la carga que debe transmitir la cimentación para la nave industrial, se identificó que una solución probable para la cimentación era mediante zapatas aisladas. Por otra parte, la magnitud de las cargas y la experiencia en el estudio de los suelos de la zona, fueron considerados para proponer el tipo de estudios geotécnicos que convendría

realizar [3]. Para hacer una propuesta de la cimentación es necesario estimar la capacidad de carga del suelo, y los asentamientos que podrían presentarse, una vez construida la nave industrial.

A. Región de estudio

El 13 de noviembre de 1951 por decreto se creó el municipio de Poza Rica, ubicado en la región del Totonacapan al oriente de la República Mexicana, siendo, por su desarrollo industrial, uno de los principales municipios de la zona norte del estado de Veracruz. Dicho municipio se ubica en la margen derecha del río Cazones a una altitud de 54 metros sobre el nivel del mar. La ciudad de Poza Rica, abarca la mayor parte de la superficie del Municipio de Poza Rica. Se localiza a 35 kilómetros de la costa; a los 20° 29' 28'' de latitud norte y a los 97° 25' 55'' de longitud oeste del meridiano de Greenwich [4].

Como parte del estudio geotécnico se extrajeron muestras inalteradas en el terreno previsto para construir la nave industrial. Dicho terreno se localiza en la calle Ejército Mexicano s/n, en la colonia "Las Cruces", en Poza Rica, Ver. (Ver figuras 1 y 2).

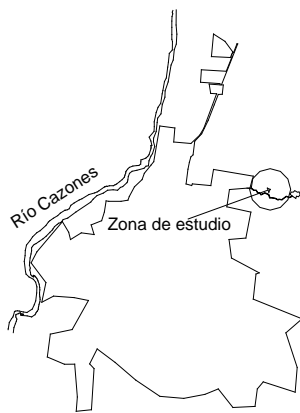


Fig. 1. Ciudad de Poza Rica de Hidalgo, Ver.

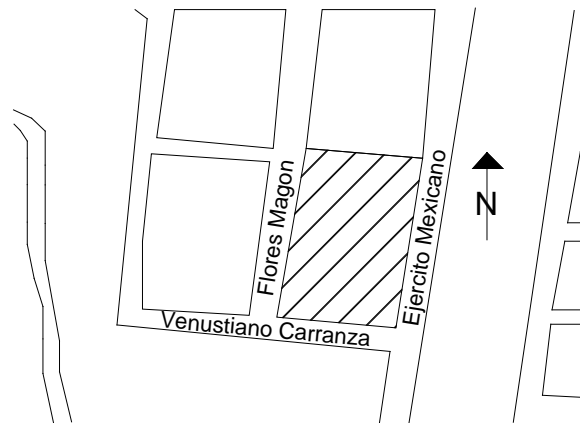


Fig. 2. Croquis de la ubicación del terreno del que se extrajeron las muestras inalteradas del suelo.

B. Descripción geológica

Dentro de los límites del distrito petrolero de Poza Rica, afloran rocas que varían en edad del cretácico superior al mioceno inferior. Las rocas que afloran en la ciudad de Poza Rica corresponden a las formaciones Escolín y Coatzintla de la edad del Mioceno Inferior. La formación Escolín, litológicamente está constituida por arcillas y lutitas en la base, sobre las que descansan las areniscas y areniscas conglomeráticas; en la cima se encuentra un conglomerado. La formación Coatzintla está constituida por lutitas de color gris, gris plomo y gris claro, con escasas areniscas de grano fino a medio, y algunos conglomerados variando su espesor de 100 a 480 metros.

También se tienen suelos que representan depósitos o material no consolidado, constituido por arcillas, limos, arenas y gravas, que forman un relleno en las partes bajas. Su espesor es variable dependiendo de las áreas de depósito y el grado de madurez de los mismos [5].

II. MARCO TEÓRICO

Los muros o columnas transmiten la carga sobre la cimentación, y la cimentación es el conjunto de elementos estructurales cuya misión es transmitir las solicitaciones de la edificación al suelo. De manera que la superficie de contacto de la cimentación con el suelo, dependerá en gran medida de la capacidad de carga del suelo.

Como la cimentación transmite las cargas de la estructura al suelo subyacente, éste no debe rebasar la capacidad de carga del suelo, y las deformaciones deberán ser admisibles para la estructura. Por lo tanto, para diseñar una correcta cimentación habrá que tener en cuenta las características geotécnicas del suelo, y además dimensionar el propio cimiento, de modo que sea suficientemente resistente [3].

A. Cimentación superficial

Terzaghi (1943) fue el primero en estudiar y presentar una teoría para evaluar la capacidad de carga última, de las cimentaciones superficiales. Dicha teoría establece que una cimentación es superficial si la profundidad D_f de la cimentación, es menor o igual al ancho de la misma. Sin embargo, investigadores posteriores a Terzaghi han propuesto que la cimentación con D_f igual a 3 ó 4 veces el ancho de la cimentación, se define como cimentación superficial [6].

B. Teorías de capacidad de carga

En el caso de las evaluaciones para la capacidad de carga en los suelos, se tienen las soluciones de Prandtl, de Hill, teoría de Terzaghi, Skempton y de Meyerhof, principalmente. En este trabajo se emplea la Teoría de Skempton, debido a la naturaleza del suelo y a las recomendaciones de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones (NTCDyCC), para suelos cohesivos.

Terzaghi en su teoría aplicada a suelos cohesivos, no toma en cuenta la profundidad en el estrato de apoyo D para fijar el valor de N_c . Así, de acuerdo con Terzaghi, los dos cimientos mostrados en la figura 3 tendrían la misma capacidad, en lo referente a la influencia de la cohesión, es decir, al valor de N_c .

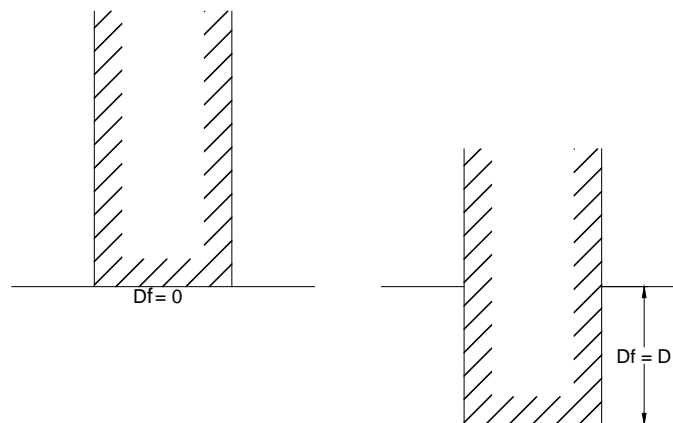


Fig. 3. Influencia de la profundidad de desplante en el valor de N_c en suelos puramente cohesivos, de acuerdo con Terzaghi

Desde luego, según Terzaghi, la capacidad de carga no sería la misma en los dos cimientos, a causa del diferente valor del término γD_f ; pero también puede considerarse en forma intuitiva que el valor N_c , que Terzaghi no diferencia, podrá ser distinto en ambos casos.

Definitivamente, si se piensa en términos de superficies de falla, el cimiento más profundo tendría una superficie de mayor desarrollo, en la cual la cohesión trabajará más, a lo que deberá corresponder un mayor valor de N_c . Skempton realizó investigaciones tratando de cuantificar estas ideas y encontró, en efecto, que el valor de N_c no es independiente de la profundidad de desplante; también encontró, de acuerdo con la intuición, que N_c crece al aumentar la profundidad de desplante del cimiento. Sin embargo, el crecimiento de N_c no es infinito, de manera que N_c permanecerá constante a una cierta profundidad de desplante en adelante.

Luego entonces Skempton propone adoptar para la capacidad de carga en suelos puramente cohesivos, una expresión de forma totalmente análoga a la de Terzaghi, representada por la ecuación 1.

$$q_c = cN_c + \gamma_s D_f \quad (1)$$

La diferencia es que ahora N_c ya no vale siempre 5.7, sino que varía con la relación D/B , en donde D es la profundidad de entrada del cimiento en el suelo resistente, y B es el ancho del mismo elemento [7]. Y considerando las recomendaciones de las NTCDyCC el valor de N_c se calculará mediante la ecuación 2.

$$N_c = 5.14(1 + 0.25 D_f/B + 0.25 B/L) \quad (2)$$

Para $D_f/B < 2$ y $B/L < 1$; donde D_f , es la profundidad de desplante y L la longitud del cimiento; en el caso de que D_f/B y B/L no cumplan con las desigualdades anteriores, dichas relaciones se considerarán iguales a 2 y a 1, respectivamente.

C. Teorías sobre cálculo de asentamientos

Debe tenerse presente que los suelos son susceptibles de cambiar antes, durante y después de la construcción. La mayoría de los daños en las edificaciones, vinculados a los asentamientos de la cimentación, se presentan cuando surgen condiciones de suelo no previstas; principalmente, por investigaciones inapropiadas del suelo y por no haberse identificado el comportamiento del mismo [8].

En la actualidad la Teoría de la Elasticidad se sigue utilizando, ya que permite resolver muchos problemas de deformación bajo muy diversas condiciones del medio elástico, desde luego, siempre que se hagan respecto a esa hipótesis de comportamiento. Desafortunadamente, la naturaleza de los suelos se aleja de tal hipótesis, y salvo muy contados casos aún son discutibles las soluciones presentadas de los suelos, sin embargo, resultan útiles estos resultados pues dan una idea de la magnitud de los desplazamientos, y con ello es posible buscar soluciones más apropiadas [7].

En el presente proyecto se tomó como base la teoría de Consolidación Unidimensional de Terzaghi, para la valoración de la deformación en los suelos, así como las normas técnicas complementarias para el cálculo de los asentamientos diferidos. Por ello, se empleó la ecuación 3 para calcular asentamientos.

$$\Delta H = \sum_0^H [\Delta e / (1 + e_0)] \Delta z ; \quad (3)$$

ΔH = asentamiento en metros, del estrato compresible.

e_0 = relación de vacíos inicial.

Δe = variación de la relación vacíos bajo el incremento de esfuerzo efectivo vertical ΔP , inducido a la profundidad Z por la carga superficial. Esta variación se estimará a partir de pruebas de consolidación unidimensional, realizadas con muestras inalteradas representativas del material existente a esa profundidad.

ΔZ = espesores de estratos elementales dentro de los cuales los esfuerzos pueden considerarse uniformes [9].

La fórmula puede representarse de otra forma muy común, considerando:

$$a_v = \Delta e / \Delta P \text{ y } m_v = a_v / (1 + e) \quad (4)$$

Lo que resulta entonces:

$$\Delta H = a_v / (1 + e) \times \Delta P \times H = m_v \times \Delta P \times H \quad (5)$$

La ecuación no. 5 es la que se utilizará en posteriores cálculos para asentamientos, debido a la simplicidad del mismo, y porque los valores de m_v son tomados directamente de la prueba de consolidación.

III. METOLOGÍA EXPERIMENTAL

A. Extracción de muestras

El muestreo consiste en obtener una porción del material en el que se pretende edificar, o bien del material que ya forma parte de la subestructura. Para realizar la obtención de las muestras se tomó en cuenta la normativa de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT), en el libro Métodos de Muestreo y Pruebas de Materiales (MMP). Particularmente, se empleó la norma denominada M.MMP.1.01/03, referente a muestreo de materiales para terracerías como parte del tema de suelos y materiales para terracerías. En las figuras 4 y 5, es posible observar las muestras obtenidas para el presente estudio.



Fig. 4. Extracción de la muestra no. 1 en el sitio de estudio.



Fig. 5. Preparación de la muestra no. 2 para la extracción.

B. Pruebas de laboratorio

Las tres muestras inalteradas extraídas en la zona de estudio, se transportaron al laboratorio de Mecánica de Suelos, ubicado en la Avenida Venustiano Carranza s/n, Col. Revolución, Poza Rica de Hidalgo, Veracruz, para su respectivo análisis.

Propiedades índice. Son las que nos permiten conocer al suelo de forma cualitativa, para lo cual en este estudio se realizaron las pruebas de: contenido de humedad, peso volumétrico, límites de consistencia o límites de Atterberg y densidad de sólidos. En todo momento se siguió lo descrito en el libro MMP de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (STC), Al respecto en la figura 6 es posible observar parte del equipo de laboratorio, empleado durante la realización de las pruebas. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla no.1.

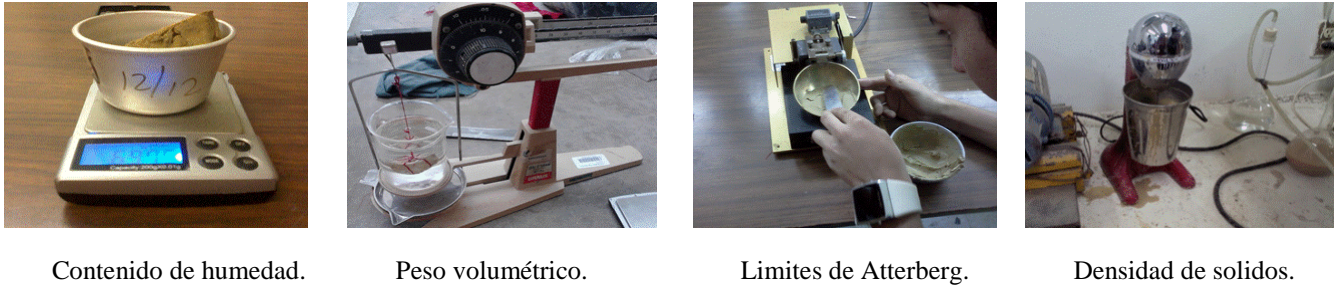


Fig. 6. Fotos que muestran parte del equipo empleado para la realización de las pruebas, para obtener las propiedades índice a los suelos.

Propiedades mecánicas. Estas están relacionadas directamente con el comportamiento de los suelos bajo condiciones de carga. Particularmente, en el área de geotecnia es importante saber el esfuerzo cortante, el ángulo de fricción interna, la deformación y permeabilidad de los suelos, para ser considerados en el diseño de cualquier estructura sobre el suelo. Para ello se tuvo que ensayar pruebas triaxiales rápidas siguiendo el procedimiento de la norma ASTM D 2850-03a (Reapproved 2007). Mientras que para la prueba de consolidación unidimensional se consideró lo descrito en la norma ASTM D4546-03. En las figuras 7 y 8 es posible observar los principales equipos empleados para realizar dichas pruebas. Los resultados obtenidos se muestran también en la tabla no.1.

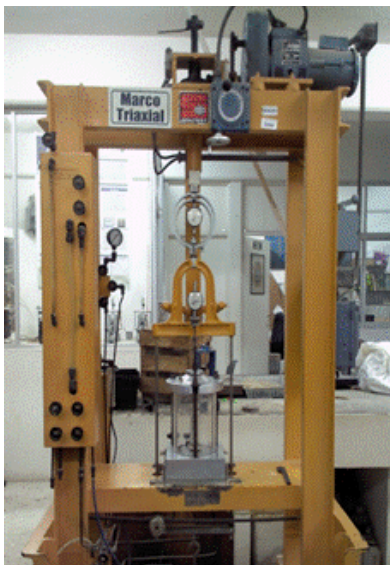


Fig. 7. Marco triaxial.



Fig. 8. Banco de consolidación unidimensional.

Tabla I. Resultados de las pruebas de laboratorio

Propiedades índice		Propiedades mecánicas	
Humedad natural	21.674 %	Cohesión	1.95 ton/m ²
Peso volumétrico	2.215 gr/cm ³	Ángulo de fricción interna	0 ⁰
Límite líquido	41.98 %	<i>m_v</i> = Coeficiente de compresibilidad volumétrica	0.00447 m ² /ton
Límite plástico	33.33 %	<i>k</i> = Permeabilidad	1.50x10 ⁻⁸ cm/s
Índice plástico	8.56 %		
Suelo	ML		
Densidad de solidos	2.424		

IV. DISEÑO DE CIMENTACIÓN

Una vez concluidos los estudios del suelo, se realizó el diseño de la cimentación para la nave industrial que cubre un área de 25 x 16 m. Dicha nave tiene columnas a cada 5 m en el sentido largo. Las cargas de la estructura fueron determinadas con el apoyo del software Staad ProV8i [10], mediante el cual se obtuvieron las reacciones indicadas en la figura 9.

De acuerdo con los resultados obtenidos, la mayor carga concentrada en toda la estructura es de 9.87 ton. Por ello, la carga (P) considerada en el presente estudio para el diseño de la cimentación fue igual a 10 ton.

Después de realizar repetidas iteraciones para determinar la cimentación más adecuada para la estructura, se llegó a la propuesta cuyos datos principales se indican en la tabla 2 y la figura 10.

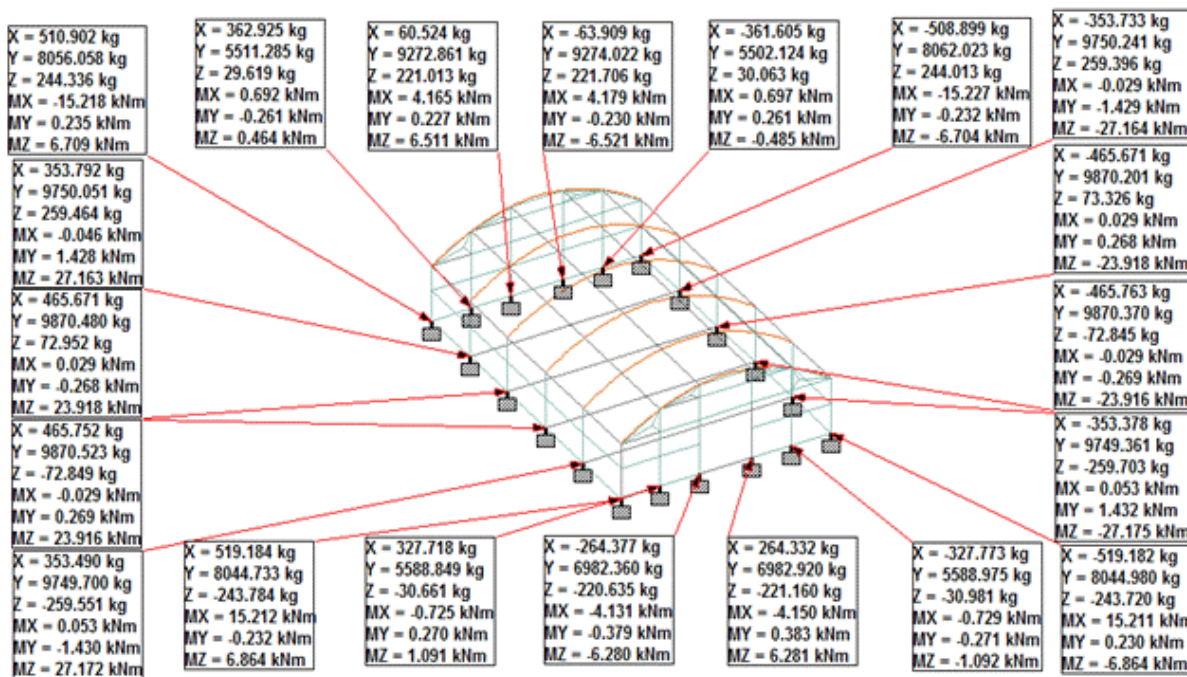


Fig. 9. Fuerzas y momentos actuantes en las zapatas.

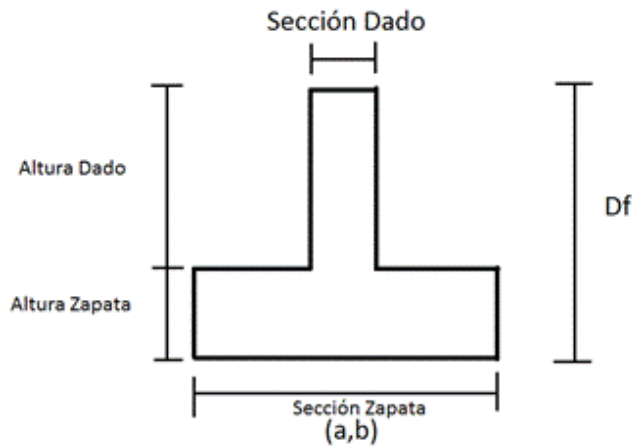


Fig. 10. Zapata aislada.

Tabla II. Sección de zapata aislada

Sección de dado	0.30 m
Altura de dado	0.70 m
Sección zapata (a,b)	1.50 m
Altura zapata	0.30 m
Profundidad de desplante (Df)	1.0 m

A. Esfuerzo transmitido al suelo

El esfuerzo de trabajo se calculará con la ecuación 6, debido a que las excentricidades se considerarán despreciables por ser muy pequeñas.

$$\sigma_{trabajo} = W_{total} / (a \times b) \tag{6}$$

Sabiendo que:

$$P = 10 \text{ ton}$$

$$\gamma_{suelo} = 2.215 \text{ ton}/m^3$$

$$\gamma_{concreto} = 2.4 \text{ ton}/m^3$$

$$W_{dado} = (0.30m \times 0.30m \times 0.70m)(2.4 \text{ ton}/m^3) = 0.1512 \text{ ton}$$

$$W_{zapata} = (1.5m \times 1.5m \times 0.3m)(2.4 \text{ ton}/m^3) = 1.620 \text{ ton}$$

$$W_{suelo} = ((1.5m \times 1.5m) - (0.30 m \times 0.30m))(0.70m)(2.215 \text{ ton}/m^3) = 3.349 \text{ ton}$$

$$W_{total} = P + W_{dado} + W_{zapata} + W_{zapata} = 10 + 0.1512 + 1.620 + 3.349 = 15.120 \text{ ton}$$

Al sustituir los valores en la ecuación 6, para conocer el esfuerzo que se está transmitiendo al suelo se obtiene lo siguiente:

$$\sigma_{trabajo} = 15.120\text{ton} / (1.5m \times 1.5 m) = 6.720 \text{ ton}/m^2$$

B. Capacidad de carga del suelo

A partir de las propiedades del suelo en estudio, se procede a calcular la capacidad de carga utilizando la ecuación 1 de Skempton, considerando desde luego un factor de resistencia, por lo que la expresión queda como se indica en la ecuación 7.

$$q_c = cN_cF_r + \gamma_s D_f \tag{7}$$

donde:

$$q_c = \text{Capacidad de carga del suelo en ton}/m^2.$$

c = Cohesión del suelo en ton/m^2 .

N_c = Factor de capacidad de carga.

F_r = Factor de resistencia =0.35.

γ_{suelo} = Peso volumétrico del suelo ton/m^3 .

D_f = Profundidad de desplante del cimiento en metros.

Considerando la ecuación 2 para el cálculo de N_c , se tiene que:

$$N_c = 5.14(1 + (0.25 (1.5/1.5)) + (0.25 (1.5/1.5))) = 7.28$$

Obtenido lo anterior se evalúa la capacidad de carga del suelo, utilizando la ecuación 7, lo que permite obtener lo indicado enseguida:

$$q_c = (1.95)(7.28)(0.35) + (2.215)(1) = 7.18 ton/m^2$$

En esta etapa es necesario comparar el esfuerzo de trabajo con la capacidad de carga del suelo, y revisar cuál de las dos condiciones siguientes se presenta: Si $\sigma_{trabajo} > q_c$ entonces el suelo falla por capacidad de carga; mientras que si $\sigma_{trabajo} < q_c$, entonces el suelo pasa por capacidad de carga. Para este estudio el suelo pasa por capacidad de carga, ya que $7.18 ton/m^2 > 6.72 ton/m^2$.

C. Revisión por asentamiento

Para el caso del presente trabajo se tomó en cuenta la ecuación 5, y los resultados de la prueba de consolidación unidimensional.

$$\Delta H = m_v \times \Delta P \times H$$

donde:

ΔH = Asentamiento de la cimentación en metros.

m_v = Coeficiente de compresibilidad volumétrica = $0.00447 m^2/ton$.

ΔP = Esfuerzo promedio en ton/m^2 .

H = Espesor del estrato compresible (m).

En el caso del esfuerzo promedio éste se calculó con la expresión sugerida por Braja M. Das (ecuación 8).

$$\Delta P = (\sigma_i + 4\sigma_m + \sigma_f)/6 \quad (8)$$

donde:

ΔP = esfuerzo promedio en ton/m^2 .

σ_i = esfuerzo inicial en ton/m^2 .

σ_m = esfuerzo medio en ton/m^2 .

σ_f = esfuerzo final en ton/m^2 .

Conociendo el valor de $\sigma_i = 6.72 \text{ ton/m}^2$, se calcula los valores de σ_m y σ_f , con la ayuda del nomograma de Boussinesq, resultando los valores de $\sigma_m = 1.243 \text{ ton/m}^2$ y $\sigma_f = 0.672 \text{ ton/m}^2$, con un estrato compresible de 2.60 m. Con los valores anteriores se está en condiciones de evaluar el esfuerzo promedio, resultando:

$$\Delta P = (6.72 + (4 \times 1.243) + 0.672)/6 = 2.06 \text{ ton/m}^2$$

Finalmente el asentamiento que se tendrá es de:

$$\Delta H = 0.00447 \text{ m}^2/\text{ton} \times 2.06 \text{ ton/m}^2 \times 2.60 \text{ m} = 0.023 \text{ m} \approx 2.39 \text{ cm}.$$

De acuerdo las NTCDyCC, en su apartado de límites máximos para movimientos y deformaciones originados en la cimentación. El asentamiento permisible para las cimentaciones aisladas es de 5 cm. Por lo que se determina que el asentamiento obtenido en la cimentación propuesta es aceptable.

D. Revisión por asentamiento diferencial

Los asentamientos diferenciales son los desplazamientos relativos de las diferentes partes de una estructura, a causa de un asentamiento irregular de la misma, provocados por un desequilibrio de esfuerzos en el suelo.

En este proyecto se diseñó una cimentación tipo, considerando una carga de 10 ton, ya que como se muestra en la figura 9, la carga mayor que se presenta en la estructura es ligeramente menor a esas 10 ton. Además, las cargas en el resto de los apoyos tienen valores muy cercanos a las 10 ton, pero siempre menores al valor de 10. Por lo tanto, es de esperar que en todos los apoyos se tenga un asentamiento muy similar, por lo que de manera simplificada podría decirse que el asentamiento diferencial esperado, es cercano a cero. Por lo tanto, la cimentación propuesta no generará problemas de asentamientos diferenciales en la nave industrial.

V. CONCLUSIONES

De acuerdo con los análisis de laboratorio realizados a las muestras de suelo obtenidas, se determinó que el tipo de suelo que se presenta en el terreno del proyecto, es un suelo ML "limo de baja compresibilidad".

La propuesta es una cimentación a base de zapatas aisladas, porque de acuerdo con la teoría de Skempton, el suelo estudiado tiene una capacidad de carga suficiente, para soportar los esfuerzos que la cimentación transmite al suelo en todos los apoyos. Adicionalmente, es posible afirmar que con las dimensiones de la zapatas propuestas no se presentarán asentamientos excesivos, o que estén fuera de lo permitido por las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones.

Finalmente, después de haber realizado todos los cálculos necesarios para establecer cuál es una cimentación apropiada, podemos concluir que: la subestructura propuesta a base de zapatas aisladas es la más indicada para este proyecto, en función de las propiedades y de la respuesta que el suelo tendrá, durante y después de la ejecución de la obra.

RECONOCIMIENTOS

Se agradece el apoyo de los integrantes y colaboradores del CA Estructuras UV-CA-215, y de los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Civil que apoyaron la realización del presente proyecto. Al mismo tiempo, se agradece el valioso apoyo de la Facultad de Ingeniería Civil, de la Universidad Veracruzana en Poza Rica.

REFERENCIAS

- [1] García-Elías, A., Córdova, A., Sánchez, J., Aguilar-Meléndez, A. (2012). Mejoramiento del esfuerzo de expansión en arcilla expansiva con Extracto Compuesto de Puluxnu. Memorias XXVI Reunión Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica, Noviembre 14 a 16, 2012 – Cancún, Quintana Roo
- [2] Córdova, A., Zaleta, M., Aguilar-Meléndez, A., García-Elías, A., Sánchez, J. (2012). Aspectos relevantes en la determinación de la cimentación para un tanque de 3000 barriles, en el Estado de Veracruz. Congreso Internacional de Investigación Academia Journals.com en Ciencias y Sustentabilidad. ISSN 2169-6160 Online Vol. 2, 2013. ISBN 978-1-939982-00-1 Online
- [3] Montoya, Javier-Pinto Vega, F. (2010). Cimentaciones. Universidad de los Andes. Lima Perú, pp. 2,3.
- [4] Petróleos mexicanos (1977), Poza Rica-Apuntes para su Historia, Petróleos Mexicanos, pp. 5-10..
- [5] Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros- XX Congreso Geológico Internacional (1956), Geología entre México, D.F. y Huauchinango, Pue. Campos Petroleros de Poza Rica, Ver. y Nueva Faja de Oro, Ver., Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, pp. 10-20.
- [6] Braja M. Das (2001), Fundamentos de ingeniería Geotécnica, Editorial Thomson, pp. 393.
- [7] Juarez Badillo-Rico Rodriguez (2003), Macanica de suelos, tomo II, Editorial Limusa, pp. 65, 357-378.
- [8] Manuel Delgado Vargas (1999), Ingeniería de cimentaciones, Editorial Alfaomega, pp. 299.
- [9] Gaceta Oficial del Distrito Federal (2004), Normas Tecnicas Completarias para el Diseño y Contruccion de Cimentaciones, Inpresa por “Corporación Mexicana de Impresión”, S.A. de C.V, pp.25
- [10] Bentley (2013). Staad ProV8i. 3D Structural Analysis &Design Engineering Software.