

Geotecnia enfocada a cimentaciones de edificaciones de 3 pisos en la ciudad de Machala

Cabrera P.*; Ordóñez J.**; Carrión L.**; Lima R.***

*Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ingeniería Civil, Machala, Ecuador
e-mail: jcabrera@utmachala.edu.ec

**Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ingeniería Civil, Machala, Ecuador
e-mail: jlordonez@utmachala.edu.ec

***Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ingeniería Civil, Machala, Ecuador
e-mail: locarrion@utmachala.edu.ec

****Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ingeniería Civil, Machala, Ecuador
e-mail: rlima@utmachala.edu.ec

RESUMEN:

El presente estudio se realizó con el objetivo de obtener información geotécnica de parte de la zona sur-este de la ciudad de Machala, y en base a tal información definir la alternativa técnica adecuada de cimentación para una edificación de tres plantas del tipo residencial. Para el procedimiento de exploración del suelo se implementó la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC respecto a “Geotecnia y cimentaciones”, en la cual define que para una edificación de tres plantas y según las cargas de servicio es necesario analizar el suelo a una profundidad de 6m (NEC – 2015). El estudio tuvo en general una cobertura 160 Ha de superficie, se realizó en cuatro sectores: Ciudadela “San Ramón”, terreno en Avenida Colón Tinoco y Alejandro Castro Benítez, Ciudadela “García Guillen” y Lotización “Francisco Abad Vallejo”, se realizó una perforación en cada sector mencionado, formando los cuatro puntos de exploración un polígono, esto pretendiendo estimar la secuencia de los estratos de los sectores y definir una carta estratigráfica georreferenciada que sirva para prever el tipo de suelo existente en determinado punto dentro del polígono analizado.

La exploración se realizó con el equipo SPT, obteniendo muestras inalteradas durante la exploración y que fueron ensayadas en laboratorio. Los resultados del estudio de suelos presentaron que bajo estas zonas el terreno sería del tipo arcilloso, limoso, arenas finas, con rango de carga admisible entre 2 a 6 Ton/m², nivel freático entre 1 a 2 m respecto al nivel del suelo natural. Por lo cual, fue necesario mejorar el suelo de soporte y para la cimentación se eligió definitivamente un sistema ortogonal de vigas de cimentación con zapatas de un metro.

Palabras clave: Perforaciones, Ensayos, Estratos, Capacidad de carga, Mejoramiento de suelo, Estudio geotécnico, cimentación superficial.

ABSTRACT:

The present study was carried out with the objective of obtaining geotechnical information from part of the south-east zone of the city of Machala, and based on such information define the appropriate technical foundation alternative for a three-story residential building. For the procedure of exploration of the soil the Ecuadorian Standard of the Construction NEC with respect to "Geotechnics and foundations" was implemented, in which it defines that for a building of three plants and according to the service loads it is necessary to analyze the soil at a depth of 6m (NEC - 2015). In general, the study covered 160 hectares, it was carried out in four sectors: "San Ramón" Citadel, land in Colón Tinoco Avenue and Alejandro Castro Benítez, "García Guillen" Citadel and "Francisco Abad Vallejo" Lotization, drilling in each mentioned sector, the four exploration points forming a polygon, this aiming to estimate the sequence of the strata of the sectors and define a georeferenced stratigraphic chart that serves to predict the type of soil existing at a certain point within the analyzed polygon.

The exploration was carried out with the SPT equipment, obtaining unaltered samples during the exploration and which were tested in the laboratory. The results of the soil study showed that under these areas the land would be of the clay, silty, fine sand, with a permissible load range between 2 to 6 Ton/m², water table between 1 and 2 m with respect to the natural soil level. Therefore, it was necessary to improve the support floor and for the foundation an orthogonal foundation beam system with one-meter footings was definitely chosen.

Keywords: Perforations, Tests, Strata, Load capacity, Soil improvement, Geotechnical study, surface foundation.

Introducción

Una solución frente al crecimiento horizontal de la urbe y la demanda de espacios residenciales, es ganar espacio con el crecimiento vertical de las edificaciones, en todos los sectores de la ciudad, con esto se acortaría distancias que tendrían que trasladarse a diario un cierto grupo de personas a sus actividades diarias, ya que podría residir lo más cerca, minimizando el impacto al ambiente y congestiónamiento de tráfico entre sectores urbanos (Castiblanco, Aguilera & Sarmiento, 2019, pág. 21).

Es el caso de la zona de estudio de este artículo, ubicada al sur-este de Machala con un área aproximada de 160Ha, la cual cuenta con la infraestructura necesaria cercana para su desarrollo como colegios, escuelas, hospital del IESS, súper mercados etc., y además se muestra activa comercialmente y una parte de esta zona está en vías de expansión, por esta razón se da la demanda de espacios residenciales y la planificación a futuro del buen uso de espacios, para aquello es necesario una planificación para ganar espacio a través del diseño de edificaciones en sentido vertical, siendo necesario obtener información geotécnica de la zona en estudio para aquello.

Para el crecimiento vertical de la urbe, la Norma Ecuatoriana de la Construcción recomienda realizar estudios de suelos para la conformación de edificaciones a partir de 3 plantas, he aquí la importancia de la información geotécnica del suelo (NEC, 2015, pág. 17). Además, en el proceso de desarrollo de la ciudad aparte de las edificaciones, siempre se presentan proyectos varios para obras de ingeniería, así, en la zona de estudio se podría dar la construcción de cualquiera de ellas requiriendo un estudio de suelos que determinen las acciones a tomar para su cimentación, haciendo pertinente la información descrita en este estudio geotécnico.

El alcance de la información geotécnica obtenida en esta zona de estudio de acuerdo a la clasificación de la NEC, es para edificaciones de categoría baja, es decir, hasta 3 niveles y cargas máximas de servicio en columnas menores a 800 KN, requiriendo entonces de una profundidad mínima de sondeos de 6m y de 3 sondeos como mínimo en el terreno de la construcción. (NEC, 2015, págs. 17,23).

En el contexto de este trabajo se abordarán los siguientes aspectos que intervienen en la planificación del diseño de una cimentación para este caso.

- Determinar el tipo de suelos que existen en la zona mediante ensayos de laboratorio y obtener resultados.
- Interpretar la geotécnica como elemento de análisis y diseño de cimentaciones para viviendas de 3 plantas al Sur-Este de la ciudad de Machala.
- Analizar el tipo de cimentación y desplante para una vivienda de 3 plantas.

Materiales y Métodos

Presentación geográfica de zona considerada para el estudio: Sur-este de Machala.



Fig. 1. Ubicación de la zona de estudio en la ciudad de Machala.



Fig. 2. Zona específica de estudio – Polígono.

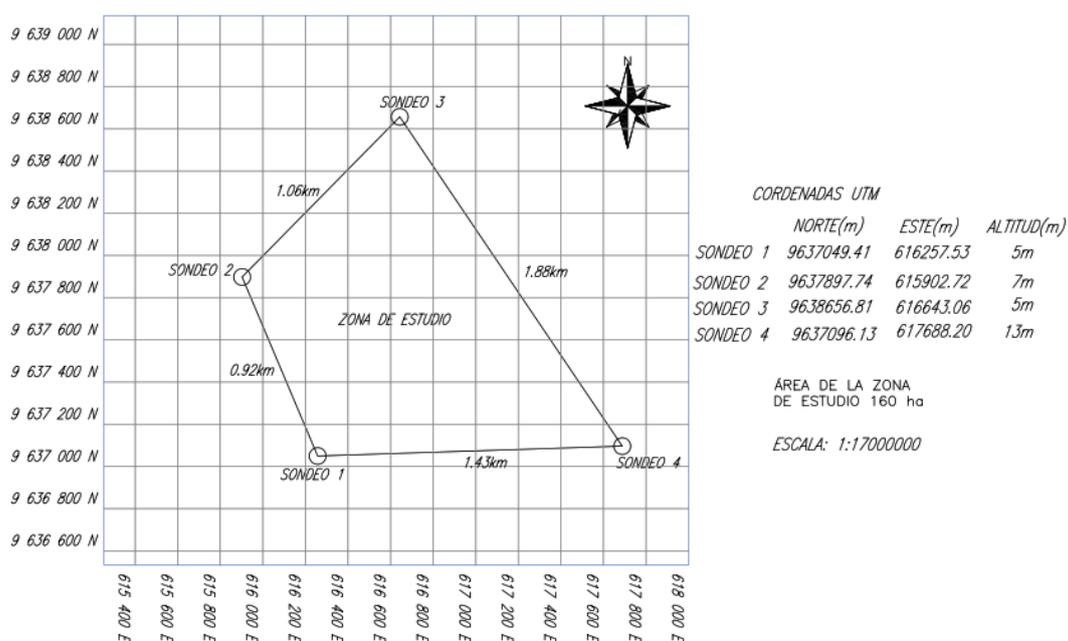


Fig. 3. Coordenadas UTM de los sondeos que delimitan la zona de estudio.

Los 4 sondeos que forman el polígono se ubican en la siguiente dirección:

- Sondeo 1: Barrio San Ramón
- Sondeo 2: Av. Alejandro Castro Benítez y Colón Tinoco
- Sondeo 3: Ciudadela García Guillén, Av. Calle vehicular este 121 e/ San Juan De La Cruz y Calle vehicular sur
- Sondeo 4: Lotización Francisco Abad Vallejo

Normativa Vigente.

Para los estudios geotécnicos de los suelos se lleva a cabo ensayos en campo y laboratorio, para ello, la Norma Ecuatoriana De La Construcción NEC-SE-GC-Geotécnia-y-Cimentaciones 2015 establece lo siguiente (Tabla 1 y 2):

Conference Proceeding UTMACH 2020 Vol.4 , nº1

ISSN: 2588-056X

TECDES 2019

URL: <http://investigacion.utmachala.edu.ec/proceedings/index.php/utmach/issue/archiv>

Tabla 1. Clasificación de las unidades de construcción por categorías, NEC-SE-GC-Geotécnia-y-Cimentaciones 2015.

Clasificación	Según los niveles de construcción	Según las cargas máximas de servicio en columnas (kN)
Baja	Hasta 3 niveles	Menores de 800
Media	Entre 4 y 10 niveles	Entre 801 y 4 000
Alta	Entre 11 y 20 niveles	Entre 4 001 y 8 000
Especial	Mayor de 20 niveles	Mayores de 8 000

Tabla 2. Número mínimo de sondeos y profundidad por unidad de construcción, NEC-SE-GC-Geotecnia-y-Cimentaciones 2015.

CATEGORÍA DE LA UNIDAD DE CONSTRUCCIÓN			
Baja	Media	Alta	Especial
Profundidad Mínima de sondeos: 6 m.	Profundidad Mínima de sondeos: 15 m.	Profundidad Mínima de sondeos: 25 m.	Profundidad Mínima de sondeos: 30 m.
Número mínimo de sondeos: 3	Número mínimo de sondeos: 4	Número mínimo de sondeos: 4	Número mínimo de sondeos: 5

El alcance de nuestro estudio es para una edificación de 3 plantas con una carga máxima de servicio en columnas (columna más cargada) menor a 800kN, entonces de acuerdo a la tabla 1 y 2 encaja en un edificio de categoría baja, definiendo lo siguiente:

- Profundidad del sondeo = 6m
- Número de sondeos = 3

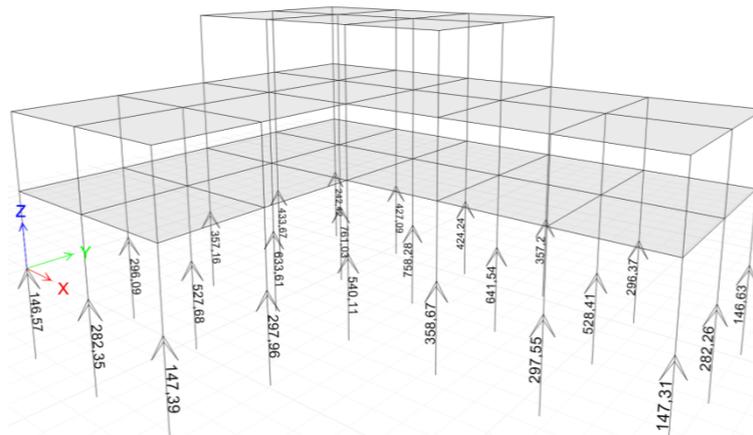


Fig. 4. Cargas máximas de servicio en columnas (KN)

Pero en nuestro caso, se realizó una perforación (Fig. 5) en cada sector ya mencionado, formando un polígono como se indica en la Fig. 3, con el objetivo de definir la secuencia de los estratos de los sectores estudiados y definir una carta estratigráfica.



Fig. 5. Perforación de 6 metros de profundidad (sondeo # 3)

Los ensayos en campo y laboratorio fueron ejecutados de acuerdo al conjunto de normas técnicas NTE INEN y de la Sociedad Americana para Ensayos y Materiales (ASTM), mencionadas en la tabla 3, que forman parte integrante del Reglamento.

Tabla 3. Normas para ensayos en campo y laboratorio.

Número	Ensayo		Norma		
1	Obtencion de muestras para probetas de ensayo. Metodo para tu de pared delgada(Shelby)		NTE INEN 687	ASTMD 1587	
2	Peso unitario			BS - 1377	
3	Humedad natural		NTE INEN 690	ASTM D - 2216	
4	Limites de Atterberg	Limite liquido	NTE INEN 691	ASTM D - 423	AASHTO T - 89
		Limite plastico	NTE INEN 692	ASTM D - 424	AASHTO T - 90
5	Analisis granulometrico			ASTM D - 422	AASHTO T - 88
6	Clasificación de los suelos	SUCS		ASTM D 2487	
		AASHTO			
7	Compresion simple			ASTM D - 2166	
	Compresion triaxial UU			ASTM D - 4767	ASTM D - 2850
8	Ensayo SPT(Correlaciones)			ASTMD 1586	

Para el análisis de la estructura tipo de tres pisos, en lo referente a la definición de la acción sísmica, se requirió precisar el tipo de suelo que direcciona la construcción del espectro de diseño en aceleraciones (Tabla 4), por ello, considerando las características físico-mecánicas obtenidas de los ensayos de las muestras de suelo, se puede decir que el suelo asociado al sitio de emplazamiento de la estructura sería del tipo E.

Tabla 4. Caracterización sísmica del sitio, NEC-SE-DS: Peligro Sísmico.

TIPO DE PERFIL	DESCRIPCIÓN	DEFINICIÓN
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_s < 180 \text{ m/s}$
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blanda	$IP > 20$ $W \geq 40\%$ $S_u < 50 \text{ Kpa}$

Métodos

En el estudio de suelos, se busca el estrato firme para cimentar, y una técnica de localizarlo, en el campo, es con el ensayo de penetración estándar (SPT) (Rodríguez, 2019, pág. 45).

El SPT se usa para obtener un valor estimado de la resistencia del suelo por medio de un índice de resistencia dinámica, que es el número de golpes con un martillo necesarios para penetrar una toma muestra de 45cm. El número de golpes(N) en el SPT no es un valor definitivo de la resistencia del suelo, es por esta razón, que varios investigadores han trabajado en correlaciones para obtener datos geotécnicos como densidad relativa, ángulo de fricción, carga admisible entre otros. (Zapata & Rogério, 2016, pág. 229).

Descripción del ensayo de penetración estándar (SPT) Normalizado por ASTM D-1586.- Consiste en contar el número de golpes (N) necesarios para introducir en un estrato de suelo un muestreador de 45cm de longitud, a diferentes profundidades (comúnmente cada 2m). el muestreador es golpeado a energía constante con un martillo de 140lb(63,5kg) al caer de una altura de 30plg. (76cm). Este ensayo se aplica en suelos arenosos y arcilla blanda, no es recomendable en gravas y arcillas consolidadas, ya que podría afectarse el equipo (Calderón & Arguello, 2014).

Equipos.

- Martillo de 63,5kg, con una altura de caída de 760mm.
- Barras y brazos de perforación.
- Muestreador o tubo partido: largo(50cm), diámetro exterior(51mm), diámetro interior(35mm).
- Trípode de carga.
- Flexómetro.
- Parafina sellante.
- Tarjetas de identificación.

Ejecución.

- Primero, se realiza un sondeo a profundidad establecida, y posteriormente se ingresa al fondo el muestreador normalizado introduciéndolo inicialmente 15cm en la capa a penetrar, a manera de eliminar la zona superficial alterada.
- Se hace una marca en la barra y se cuenta el número de golpes (N) necesarios para penetrar el muestreador una longitud de (30cm) en dos series. Utilizando un martillo de 63,5kg que cae de 760mm, que equivale a una energía de 0.5 kj por golpe, aproximadamente.
- Entonces el # de golpe total será: $N = N1 + N2$, en donde N1 corresponde al # golpes necesarios para penetrar los primeros 15 cm y N2 es el # golpes necesarios para los 15 cm restantes del muestreador.
- Finalmente se abre el muestreador y se toma muestra alterada por el golpeteo, pero útil para los ensayos de contenido de Humedad, granulometría, límites de Consistencia y peso Específico, etc.
- Culmina el ensayo cuando se da 50 golpes y no penetra 5cm o 100 golpes y no penetra 30cm, considerándose como rechazo (roca o suelo muy bueno).

Estas exploraciones se la combinan con la extracción de muestras inalteradas en tubos shelby cada 2m durante la exploración (Fig. 5) para hacer los ensayos de compresión simple o triaxiales y obtener una aproximación de la resistencia del suelo y con fines comparativos por la determinada con el ensayo SPT.



Fig. 6. Extracción de muestra inalterada en tubos Shelby (Sondeo #1).

Clasificación de los suelos.

Las propiedades físicas de los suelos varían de un lugar a otro. Esta característica ha hecho indispensable el desarrollo de sistemas de clasificación que permiten catalogar a los suelos en grupos de propiedades físicas semejantes, con el objeto de poderlos estudiar y adoptarlos a los diversos usos. La determinación de las propiedades de un suelo puede ser complejas, costosas y requerir mucho tiempo, debido a lo cual se divide a los suelos en grupos con comportamiento semejante, es decir se los clasifica (Armijos, 2010, pág. 47).

La clasificación de suelos actualmente es en base a dos sistemas que son la AASHTO y la SUCS mediante los resultados de 2 ensayos llevados a cabo en laboratorio, granulometría y límites de atterberg (Cruz & Guerrero, 2018, pág. 380; Manco, Moscote, Rojas & Rudas, 2018, pág. 19).

Desplante de una cimentación.

El desplante de una cimentación no es una medida reglamentada, depende del criterio ingenieril en base a los siguientes aspectos:

- En cierto caso se trata de evitar el nivel freático.
- En el caso de requerir un estrato más resistente.
- Evitar las arcillas expansivas en casos que se encuentre en el estrato cerca de la superficie.
- Debe estar a la misma profundidad de las cimentaciones colindantes, en el caso de profundizar más se debería tomar los respectivos trabajos de seguridad.
- En el caso de cimentaciones compensadas, el peso del suelo excavado es igual al peso de la estructura. Reduciendo así cargas.
- Está en función de los requerimientos y magnitud de la edificación.
- Del costo del cemento.

Crespo (2004), define una expresión (1) para estimar el desplante de una cimentación para suelos cohesivos en función del índice de plasticidad (IP) y el peso específico (γ_n) del suelo natural (Ton/m³) (pág. 270).

$$D_f = \frac{(0,83 - 0,017 * IP)IP - 4}{\gamma_n} \quad (1)$$

Interpretando la ecuación (1), nos dice que los suelos con baja plasticidad (IP) su peso específico es mayor ósea absorben poca agua, como sabemos la resistencia de un suelo aumenta a mayor peso específico ósea menor relación de vacíos y menos propenso a asentamientos. En otras palabras, en suelos densos con baja plasticidad resultan desplantes menores de un metro, pero hay que considerar lo mencionado por la NEC (2015) que indica que la profundidad (D_f) entre la superficie del contrapiso y el fondo de la zapata debe ser de al menos 1 metro, mientras que la menor dimensión de la zapata debe ser también de al menos 1 metro con un espesor mínimo de zapata de 25 cm (pág. 34).

Pero no siempre el terreno está presente en la obra de manera tan exclusiva; así ocurre en varias estructuras. Pero éstas necesitan ir cimentadas, aspecto siempre decisivo y a veces predominante. Por otra parte, hay estructuras que forman una unidad con el suelo, como son los muros de contención, muelles o diques secos. Por todo aquello consideramos que la Geotecnia como toda ciencia, tiene algo de arte que se fundamenta en la experiencia, los métodos experimentales, los ensayos de laboratorio, y el “saber hacer” del geotécnico experimentado (Ingeopres, 2016).

Capacidad de carga del suelo.

Los resultados del ensayo de penetración se han correlacionado con diversos parámetros geotécnicos. Con respecto a las arenas, Ralph Peck, encuentra a partir de la teoría y ecuación de Terzaghi, las relaciones entre la capacidad de carga admisible del suelo q_{adm} , en función del ancho del cimiento B, la profundidad de desplante D_f , y el número de golpes “N” del SPT (Rodríguez, 2019), ver Ec. (2):

$$q_{admisible} = \frac{1,6 * B}{3} \left[(N_q - 1) \frac{D_f}{B} + 0,5 * 1,6 * N_g \right] \quad (2)$$

De donde, N_q y N_g se obtienen de una gráfica desarrollada por Peck, con lo que el número de golpes N, queda relacionado con el ángulo de resistencia al cortante del suelo, y la capacidad de carga admisible del suelo.

Luego, para zapatas cimentadas en arenas y para un ancho de cimentación $B \geq 1,2$ m, la capacidad de carga admisible se determina mediante la siguiente expresión:

$$q_{adm} = 0,1095 N \text{ (Kg/cm}^2\text{)} \quad (3)$$

Haciendo un desarrollo similar, la Capacidad de Carga admisible en arcillas en función del "N" del SPT basados en la ecuación de Terzagui y correlaciones de Terzagui y Peck (1948):

$$q_{adm} = 0,125 N \text{ (Kg/cm}^2\text{)} \quad (4)$$

Ambas expresiones para q_{adm} , están relacionadas para un Factor de Seguridad de 3.

En Teoría de la capacidad de carga última de Terzaghi, una cimentación es superficial si su profundidad, $D_f = B$, pero investigadores posteriores sugirieron que las cimentaciones con D_f igual a tres o cuatro veces su ancho se podían definir como cimentaciones superficiales. Terzaghi sugirió que para una cimentación continua o corrida, la superficie de falla en el suelo ante carga última se puede suponer como del modo de falla por corte general (Braja, 2012). Donde el valor de q_{adm} está definida por:

$$q_u = C' * N_c + \gamma * D_f * N_q + \frac{1}{2} * \gamma * B * N_\gamma \quad \dots \text{cimentación continua} \quad (5)$$

De donde:

C' = Cohesión.

$q = \gamma D_f$, Esfuerzo del suelo sobre la cimentación.

γ = Peso específico del material.

D_f = Desplante de la cimentación.

N_c, N_q, N_γ , Factores de carga conforme al ángulo de fricción del suelo.

Considerando a su vez, que la carga admisible efectiva es $q_{adm} = q_u / FS$.

Para las cimentaciones que presentan el modo de falla por corte local, Terzagui sugirió las siguientes modificaciones en las ecuaciones, así:

$$q_u = \frac{2}{3} * C' * N'_c + \gamma * D_f * N'_q + \frac{1}{2} \gamma * B * N'_\gamma \quad \dots \text{cimentación continua} \quad (6)$$

$$q_u = 0,867 * C' * N'_c + \gamma * D_f * N'_q + 0,4 \gamma * B * N'_\gamma \quad \dots \text{cimentación cuadrada} \quad (7)$$

Teniendo en cuenta que, los factores de capacidad de carga N_c, N_q y N_γ se los determina mediante expresiones que están en función del ángulo de fricción interna del suelo ϕ' , mientras que los factores modificados N'_c, N'_q y N'_γ requieren ajustes en el cálculo de ϕ' . Así, considerando una profundidad de desplante de 2m y el tipo de suelo respectivo, interesa definir valores de estos factores para ϕ' entre 5° y 6° y para posibles acciones de mejoramiento de suelo ángulos de fricción de 25° y 32° .

Tabla 8. Resultados de campo y laboratorio del Sondeo #3.

REGISTRO DE PERFORACIÓN													SONDEO 3: CDL. GARCÍA GUILLÉN											
DATOS				CLASIFICACIÓN				LÍMITES					GRANULOMETRÍA				"qu"	P. UNT.	SPT	W	L. L.	X	L. P.	NÚMERO DE GOLPES
PROF. mts.	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	ESTRATI GRAFÍA	N.F. mts.	SUCS	AASHTO	W %	L. L. %	L. P. %	I. P. %	% Pasante tamiz N° 4	% Pasante tamiz N°40	% Pasante tamiz N°200	Kg/cm ²	Ton/m ³	N/ple	●	○	X	I. P.	●				
0	RELLENO(0,40m)																							
1	Arcilla inorgánica de alta compresibilidad, plasticidad alta, contenido de humedad, color café oscuro de consistencia firme.		-1	CH	A-7	45,32	58,40	26,56	31,84	100,00	99,70	95,44		1,46	2									
2	Arcilla orgánica de baja compresibilidad, mediana plasticidad de consistencia media y contenido de humedad, color gris oscuro			OL	A-6	48,67	38,50	25,64	12,86	100,00	99,98	97,19	0,13	1,57	2									
3	Limo arenoso de baja plasticidad con contenido de humedad, color gris oscuro.			ML	A-4	34,12	28,80	23,50	5,30	100,00	98,39	54,33		1,61	2									
4	Arena limosa con contenido de humedad, color gris oscuro.			SM	A-4	36,24	25,00	22,03	2,97	100,00	98,75	45,45	0,22	1,88	3									
5	Limos inorgánicos de baja plasticidad con contenido de humedad, color café claro.			ML	A-4	40,05	27,80	24,17	3,63	100,00	98,69	62,01		1,91	3									
6	Limos inorgánicos de baja plasticidad con contenido de humedad, color café claro.			ML	A-4	39,64	27,40	24,62	2,78	100,00	98,26	61,29	0,30	1,93	4									

Tabla 9. Resultados de campo y laboratorio del Sondeo #4.

REGISTRO DE PERFORACIÓN													SONDEO 4: LOTIZACIÓN FRANCISCO ABAD VALLEJO											
DATOS				CLASIFICACIÓN				LÍMITES					GRANULOMETRÍA				"qu"	P. UNT.	SPT	W	L. L.	X	L. P.	NÚMERO DE GOLPES
PROF. mts.	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	ESTRATI GRAFÍA	N.F. mts.	SUCS	AASHTO	W %	L. L. %	L. P. %	I. P. %	% Pasante tamiz N° 4	% Pasante tamiz N°40	% Pasante tamiz N°200	Kg/cm ²	Ton/m ³	N/ple	●	○	X	I. P.	●				
1	Limos inorgánicos de compresibilidad y mediana plasticidad, con mediano contenido de humedad, color café claro			ML	A-4	23,54	37,00	28,47	8,53	100,00	99,96	84,35		1,7	5									
2	Arcilla orgánica de baja compresibilidad, mediana plasticidad de consistencia firme y contenido de humedad, color café oscuro.		-2	OL	A-6	29,69	38,70	26,25	12,45	99,73	99,42	89,92	0,42	1,8	4									
3	Arena fina con limos inorgánicos no plasticos y medio de contenido de humedad, color café claro			SM	A-3	23,31	0,00	0,00	0,00	100,00	79,59	27,44	0,45	1,78	5									
4	Arena fina con limos inorgánicos no plasticos y medio de contenido de humedad, color café claro			SM	A-3	22,78	0,00	0,00	0,00	100,00	79,02	26,72		1,82	6									
5	Arena fina con limos inorgánicos no plasticos y medio de contenido de humedad, color café claro			SM	A-3	23,39	0,00	0,00	0,00	100,00	79,44	27,01		1,84	7									
6	Arena fina con limos inorgánicos no plasticos y medio de contenido de humedad, color café claro			SM	A-3	23,06	0,00	0,00	0,00	100,00	78,44	25,87		1,86	8									

Nota: el "qu" mencionado en los registros de las 4 perforaciones representan la resistencia a la carga última natural del suelo respectivamente.

Además, en base a la clasificación SUCS del suelo encontrado a cada metro de perforación de a cada sondeo, se ordenaron entre sí para estimar la secuencia de los estratos, definiendo una estratigrafía la cual se la geo referenció, ya que de esta manera aproximada se podría interpolar una ubicación dentro de la zona y tener una aproximación del tipo de suelo con fines de proyección de estudios constructivos Fig. (7).

Desde luego, que para una adecuada caracterización geotécnica de la zona sur-este de la ciudad de Machala, es necesario disponer de una mayor densidad de sondeos que evidencien la tendencia de los estratos de suelo con mejor detalle.

Una vez que se calculó con las expresiones anteriores (6 y 7) los valores de q_{adm} , para una profundidad de desplante asumida de 2m y considerando zapatas cuadradas de 2mx2m y otra alternativa mediante vigas de cimentación con zapatas continuas de ancho de 1m, se presentaron los siguientes resultados:

Tabla 10. Resultados de q_{adm} para tipo de cimentación y número de sondeo.

DATOS / RESULTADOS	SONDEO #			
	1	2	3	4
N.F. (m)	2	1	1	2
I.P. (%)	22,9	12,93	12,86	12,45
qu (Comp. Simple, T/m2)=	2,5	2,9	1,3	4,2
y (T/m3)	1,56	1,68	1,48	1,7
y sat. (T/m3)	1,6	1,76	1,57	1,8
ϕ (Ensayo triaxial), (°) =	5	5	5	6
Df calc. (m) =	3,765	2,188	2,436	2,034
Df elegido (m) =	2	2	2	2
Ancho de zapata, B cuadrada (m) =	2	2	2	2
Ancho de zapata, B continua (m) =	1	1	1	1
Tipo de Falla estimado =	Corte local	Corte local	Corte local	Corte local
C' (qu (c.s.)/2) T/m2 =	1,25	1,45	0,65	2,1
q= y.Df ó q= y.Df1 + Df2 (ysat-yw)	3,2	2,44	2,05	3,6
yw = 1 T/m3	1	1	1	1
qu (c. cuadrada) T/m2 =	11,85	11,91	6,68	18,20
qadm. (c. cuadrada) T/m2 =	3,95	3,97	2,23	6,07
qu (c. continua) T/m2 =	10,12	9,94	5,79	15,21
qadm. (c. continua) T/m2 =	3,37	3,31	1,93	5,07

Según se puede observar en la Tabla 10, la capacidad de carga admisible del terreno presenta un rango de 2 a 6 T/m2, mientras que la estructura de tres pisos genera esfuerzos en el suelo alrededor de los 20 T/m2 en zapatas aisladas, h=0,3m.

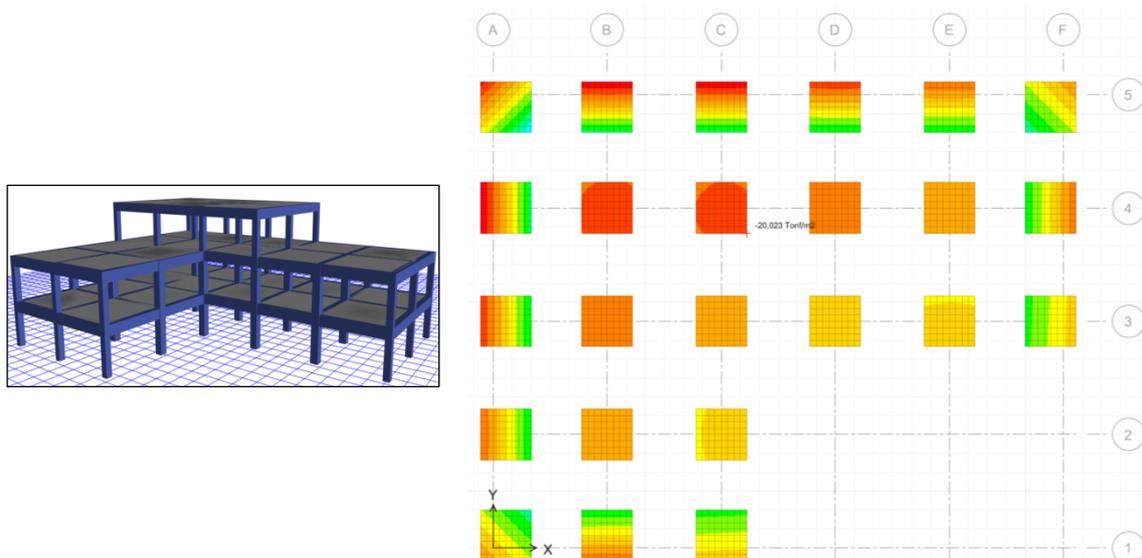


Fig. 8. Esfuerzos en el suelo por cargas de servicio en zapatas aisladas.

Para la otra alternativa de cimentación, es decir, mediante vigas de cimentación con zapatas de 0,30 m, ancho de base y altura de vigas de 1,00 m, se tienen esfuerzos de compresión de mínimo 5,4 hasta 10 T/m² descalificando esta opción, así, lo que sigue sería analizar la subestructura del edificio mediante el aumento del ancho B hasta el punto de considerar el uso de una losa de cimentación, pero en este caso, se elige mantener las mínimas dimensiones exigidas por la NEC y optar por analizar más bien las dimensiones del mejoramiento de suelo requerido, como una opción práctica para controlar las acciones que origina la estructura hacia sus cimientos.

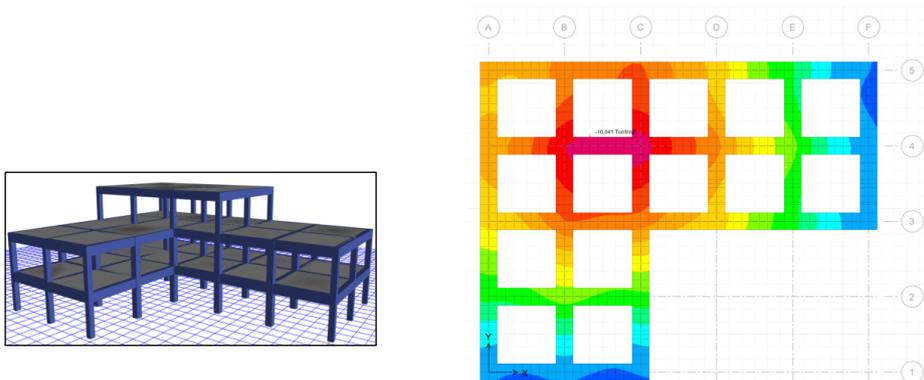


Fig. 9. Esfuerzos en el suelo por cargas de servicio en vigas de cimentación.

Cuando nos referimos a la utilización de un tipo de cimentación continua, es debido también a que el suelo natural de esta zona es de media compresibilidad (Skempton 1944) y en estos casos es recomendable su uso, rigidizadas con vigas en una o más direcciones para evitar los asentamientos diferenciales o mantenerlos dentro de ciertos límites (Crespo, 2004). Un suelo tiene ese tipo de compresibilidad si el índice respectivo se encuentra entre: $0,20 < C_c < 0,39$, aplicando para cada sondeo se tiene:

Tabla 11. Compresibilidad del suelo según sondeo a 2 metros de profundidad.

SONDEO	Límite Líquido (LL)	Índice de compresibilidad (Cc)	
		Cc = 0,009 (LL-10)	
1	49,80	0,358	Media
2	36,00	0,234	Media
3	38,50	0,257	Media
4	38,70	0,258	Media

Considerando entonces, los esfuerzos generados por las vigas de cimentación de la edificación de tres pisos, se propone que la excavación total sea de 1,70 m considerando una altura total de las vigas de cimentación de 1,0m, replantillo de hormigón clase B de 0,10m, y dos capas de material compactado de dos clases: a) abajo 0,20m de piedra bola con características por ejemplo de $\gamma=2,5$ T/m³, $C=0$ y $\phi=32^\circ$, b) arriba 0,40m de material Sub-base 3 de una cantera certificada con valores de $\gamma=1,9$ T/m³, $C=0$ y $\phi=25^\circ$. Con ello constituimos artificialmente un perfil de suelo estratificado, donde la superficie de falla a carga última se puede extender a través de los dos estratos de suelo y la determinación de la capacidad de carga admisible

en estos suelos estratificados se puede realizar mediante un procedimiento propuesto por Meyerhof y Hanna (1978) y Meyerhof (1974).

$$q_u = \left(1 + 0,2 \frac{B}{L}\right) 5,14c_2 + \gamma_1 H^2 \left(1 + \frac{B}{L}\right) \left(1 + \frac{2D_f}{H}\right) \frac{K_s \tan \phi'_1}{B} + \gamma_1 D_f \quad (8)$$

De donde “ q_u ” debe cumplir con:

$$q_u \leq q_t = \gamma_1 D_f N_{q(1)} F_{qs(1)} + \frac{1}{2} \gamma_1 B N_{\gamma(1)} F_{\gamma s(1)} \quad (9)$$

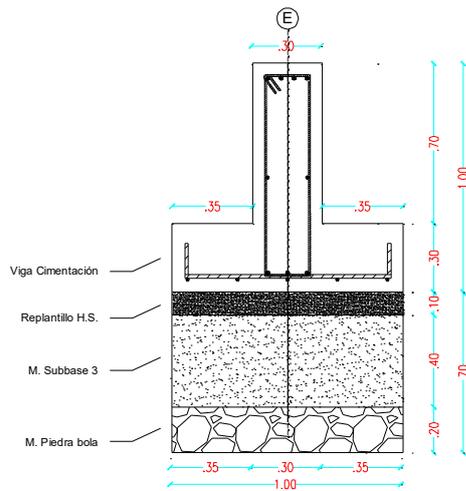
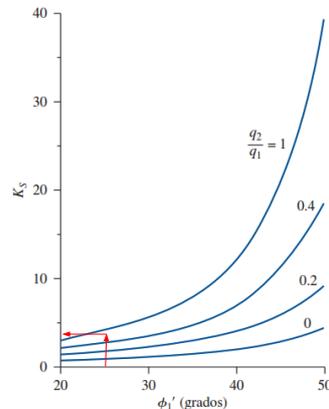


Fig. 10. Sección transversal de vigas de cimentación propuestas.

Si la profundidad H de 0,7 m es relativamente pequeña comparada con el ancho B de 1m de la cimentación, podría ocurrir una falla de corte por punzonamiento en el estrato superior de suelo, seguida por una falla general por corte en el estrato inferior de suelo (arcilla natural). Finalmente, desde la Tabla 12., un $q_{adm} = 10 \text{ T/m}^2$.

Tabla 12. Capacidad de carga de la cimentación sobre el suelo estratificado.

CIMENTACIÓN: Continua		
$B =$	1,00 m	
$D_f =$	1,00 m	
$H =$	1,70 m	
Estrato Superior: Grava		Estrato Inferior: Arcilla
$\gamma_1 =$	18,62 KN/m ³	$\gamma_2 =$ 15,68 KN/m ³
$\phi'_1 =$	25	$\phi'_2 =$ 5
$c'_1 =$	0 KN/m ²	$c'_2 =$ 12,25 KN/m ²
$N_{\gamma} =$	10,88	$N_c =$ 6,49
$N_q =$	10,66	
$q_2/q_1 =$	0,78	
$K_s \approx$	3,9	
$\tan \phi'_1 =$	0,466	
$q_u =$	294,58 KN/m ²	→ → 30,06 Ton/m²
Por otro lado:	$q_t =$ 299,78 KN/m ²	
Considerando:	294,6 ≤ 299,8	OK



Conclusiones

Conference Proceeding UTMACH 2020 Vol.4 , n°1

ISSN: 2588-056X

TECDES 2019

URL: <http://investigacion.utmachala.edu.ec/proceedings/index.php/utmach/issue/archiv>

Los suelos de la zona sur-este de la ciudad de Machala presentan una tendencia, al menos a nivel de desplante, de estar conformados por mezclas de arcillas de mediana y alta plasticidad con presencia de nivel freático incluso desde el primer metro de sondeo.

La cantidad de edificios de hasta tres niveles con respecto a la totalidad de edificaciones construidas en el sur-este de esta ciudad es elevada, entregando así tal nivel de cargas ante los cuales el comportamiento de suelo es insuficiente si consideramos una cimentación superficial del tipo zapatas aisladas ($Esfuerzo\ inducido = 20T/m^2 > Esfuerzo\ admisible = 6T/m^2$). Es decir, se descarta la opción de este tipo de cimentación para estructuras tipo edificio de tres pisos en adelante.

Considerando que el dueño de este tipo de obras siempre tiene presente la economía en el presupuesto, se analizó la alternativa de vigas de cimentación pero con las provisiones mínimas respecto a dimensiones que describe la Norma Ecuatoriana de la Construcción para cimentaciones directas, es decir D_f y $B \geq 1m$, esto con la finalidad de identificar si es posible con esas dimensiones que los esfuerzos inducidos por la estructura sean menores a los esfuerzos admisibles del subsuelo natural durante la aplicación de la cargas de servicio o trabajo, lo cual para este análisis suelo-estructura no se ratificó ($Esfuerzo\ inducido = 10T/m^2 > Esfuerzo\ admisible = 6T/m^2$).

Finalmente, según los datos y resultados obtenidos, lo que se debe considerar en el proceso de construcción de edificios de tres niveles con dimensiones mínimas de vigas de cimentación, es un trabajo de mejoramiento de suelo colocando capas compactadas de materiales granulares con propiedades mecánicas específicamente seleccionadas de $H_{min.} \geq 0,60$ m por debajo del replantillo conformado para la construcción de la cimentación. Con ello, en este caso tenemos un equilibrio de tensiones en el terreno aplicando un "FS" de 3 y validando así el diseño de la subestructura ($Esfuerzo\ inducido = 10T/m^2 > Esfuerzo\ admisible\ con\ mejoramiento = 10T/m^2$).

Recomendaciones.

En la cuantificación de la capacidad de carga del suelo es esencial considerar su variación por causa del abatimiento del nivel freático, ya que este no es constante y para medir su nivel más alto en la zona requiere de estudios de monitoreo anual.

Para complementar la investigación realizada, se propone efectuar un análisis de asentamientos diferenciales para validar la propuesta de vigas de cimentación incluyendo el tipo de mejoramiento del suelo.

Se recomienda una mayor recopilación de datos que enriquezcan los resultados de estratigrafía del suelo. Incluyendo además estudios indirectos de suelo a través de una prospección geofísica.

Referencias Bibliográficas

Armijos Molina, M. (2010). *Fundamentos de mecánica de suelos*. Machla.

ACI-318-14 (2014). *Requisitos de reglamento para concreto estructural y comentarios*.

ASTM INTERNATIONAL. (2011). *ASTM D 2487-11 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes* (Unified Soil Classification System).

ASTM INTERNATIONAL. (2011). *ASTM D 1586 Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils*.

Bowles, J. (1982). *Foundation Analysis and Design*. New York: McGraw-Hill Book Co.

Braja M., D. (2012). *Fundamentos De Ingeniería De Cimentaciones*. México: CENSAGE Learning.

Calderón Goyeneche, L. A., & Arguello Romero, D. (2014). Estados del arte del uso del ensayo SPT-T y las correlaciones obtenidas para los parámetros del modelo Mohr-Coulomb. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.

Castiblanco Prieto, J., Aguilera Martínez, F., & Sarmiento Valdés, F. (enero 2019). Principios, criterios y propósitos de desarrollo sustentable para la redensificación en contextos urbanos informales. *Revista De Arquitectura(Bogota)*, 21(1), 21-33.

Crespo Villalaz, C. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones* (5ta edición ed.). Mexico: Limusa: Limusa S.A.

Cruz Velasco, L. G., & Guerrero Castro, C. C. (julio-diciembre 2018). Estudio experimental de clasificación de los suelos derivados de cenizas volcánicas en el suroccidente Colombiano con el método SUCS, AASHTO y un nuevo método de clasificación de suelos. *Ingeniería y desarrollo: Revista de la división de Ingeniería de la universidad del norte*, 36(2), 378-397.

Ingeopres: Actualidad técnica de ingeniería civil, m. g. (2016). Editorial La ingeniería geotécnica, ¿una técnica o un arte? . *Revista Ingeopres*(248), 5.

Manco Jaraba, D. C., Rojas Martínez, E. E., Rudas Muños, A., & Moscote Daza, Y. P. (julio-septiembre 2018). Estudio sedimentológico en la cuenca de la quebrada San Pedro localizado en el municipio de Curumaní, departamento del Cesar, Colombia. *Revista Ingenierías USBMed*, 9(2), 19-26.

NEC, M. d. (2015). *Geotécnia y Cimentaciones*. Quito, Ecuador: Dirección e Comunicacioón socila, MIDUVI.

NEC, M. d. (2015). *Guia practica de la construcción para no profecionales: Aplicando la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015*. Quito, Ecuador: Imprenta Activa.

Rodríguez Serquén, W. (2019). *Fundamentos de ingeniería Geotecnia, suelos y cimentaciones*. Lambayeque: Universidad Pedro Ruiz Gallo de Lambayeque.

Terzagui, K. (1955). *Evaluation of Coefficients of Subgrade Reaction*.

Terzagui, K., & Peck, R. (1967). *Soil Mechanics in Engineering Practice*. New York.

Vesic, A. (1971). *Beams on Elastic Subgrade and the Winkler's Hypothesis*. 5th International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering París.

Winkler, E. (1867). *Die Lehre von Elastizitat und Festigkeit* (Sobre Elasticidad y Resitencia). Praga.

Zapata Galvis, J., & Rogério Esquivel, E. (2016). Evaluación de tenciones internas y externas en la toma muestra SPT. *Revista Dyna*, 83(195), 229-236.