

## **UPDATE PROPOSAL OF THE ECUADORIAN CONSTRUCTION STANDARD: GEOTECHNICS AND FOUNDATIONS**

**Alfonso Fernández-Lavín(1), Claudia Chamorro-Zurita(1)**

<sup>(1)</sup>Instituto de Ingeniería de la UNAM. [afernandezl@iingen.unam.mx](mailto:afernandezl@iingen.unam.mx), [chamorroz@iingen.unam.mx](mailto:chamorroz@iingen.unam.mx)

Received: October 2022. Accepted: December 2022  
Published: March, 2023

### **ABSTRACT**

The Ecuadorian Construction Standard (NEC) is the instrument that regulates building construction activity, and its purpose is to guarantee good engineering practices in Ecuador. The country is located in an area of high seismicity, as evidenced by the 7.8 (Mw) earthquake that in 2016 greatly affected several towns on the Ecuadorian coast. Based on these events, the process of updating the NEC is currently being carried out and this article presents some proposals to the chapter on Geotechnics and Foundations. The most important changes that are being considered for the update are analyzed, referring to the conformation of the geotechnical model, the safety verification of the foundations (superficial and deep), soil improvement, retaining structures, construction procedure, and seismic considerations. One of the most important changes being proposed is the inclusion of the load and resistance factor design philosophy (LRFD) for verifying the failure and service states of structures in contact with any type of geomaterial. In addition, the proposal to include the determination of the dynamic parameters of the soil for purposes of site response analysis within the chapter on geotechnics and foundations, including field and laboratory tests, is analyzed, which is not established in the current version of the NEC, whose publication is from the year 2015.

**keywords:** NEC, geotechnics, foundations, updating.

## **PROPUESTA DE ACTUALIZACIÓN DE LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN: GEOTECNIA Y CIMENTACIONES**

### **RESUMEN**

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) es el instrumento que regula la actividad de construcción de edificaciones y que tiene por objeto garantizar las buenas prácticas de la Ingeniería en Ecuador. El país está ubicado en una zona de alta sismicidad como se evidenció en el sismo de 7.8 (Mw) que en 2016 afectó en gran medida a varias poblaciones de la costa ecuatoriana. A partir de estos acontecimientos, actualmente se está llevando a cabo el proceso de

actualización de la NEC y en este artículo se presentan sugerencias al capítulo de Geotecnia y Cimentaciones. Se proponen cambios importantes, referentes a la conformación del modelo geotécnico, la verificación de seguridad de las cimentaciones (superficiales y profundas), mejoramiento de suelos, estructuras de contención, procedimiento constructivo y consideraciones sísmicas. Uno de los cambios que se están proponiendo, es la inclusión de la filosofía de diseño de factores de reducción (LRFD) para la verificación de los estados de falla y servicio de las estructuras en contacto con cualquier tipo de geo material. Además, se analiza la propuesta de incluir la determinación de los parámetros dinámicos del suelo para fines de análisis de respuesta de sitio dentro del capítulo de geotecnia y cimentaciones incluyendo pruebas de campo y laboratorio, lo cual no se establece en la versión de la NEC vigente, cuya publicación es del año 2015.

**Palabras claves:** NEC, geotecnia, cimentaciones, actualización.

## 1. INTRODUCCIÓN

El primer Código Ecuatoriano de la Construcción (CEC) fue publicado en 1951 después del terremoto de 6.4 Mw que, en 1949, afectó la región central del país dejando aproximadamente 6000 víctimas mortales. Esta versión del CEC se enfocó en recomendar medidas sismorresistentes para el reacondicionamiento de las estructuras dañadas. Una nueva versión del CEC se publicó en 1976, como repuesta al terremoto que sacudió a la ciudad de Esmeraldas cuya magnitud fue de 6.6 Mw. En esta actualización, se consideró una única zona sísmica para todo el país. El 4 de agosto de 1998, se registró un sismo de 7.1 Mw frente a la ciudad de Bahía de Caráquez, que causó pérdidas económicas importantes para la región, y se produjeron múltiples daños estructurales en edificios en la provincia de Manabí ([www.igepn.edu.ec](http://www.igepn.edu.ec)). Como respuesta a este terremoto, se actualizó el CEC en 2001 en el que se incluyó una nueva zonificación sísmica del país basado en un estudio probabilístico que dividió al país en cuatro zonas sísmicas (Beauval et al., 2018).

Mediante Registro Oficial del 10 de enero del 2015, el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda llevó a cabo un proceso de actualización de la Normativa Técnica referente a la Seguridad Estructural de las Edificaciones, denominándola Norma Ecuatoriana de la Construcción (MIDUVI, 2015). En esta versión de la NEC 2015, por primera vez se incluyó el capítulo de Geotecnia y Cimentaciones (NEC-SE-GC) en el que se establecieron los requisitos para efectuar estudios geotécnicos que permitieran definir recomendaciones para el diseño geotécnico de cimentaciones nuevas o reforzamiento de existentes (superficiales y profundas), excavaciones y estructuras de contención. La estructura y contenido de la NEC 2015 estuvo basada en la adaptación del reglamento Colombiano de Construcción (NSR-10, 2010).

El 16 de abril del 2016 a las 23:58 UTC (18:58 hora local) en las cercanías de Muisne, Provincia de Manabí, se produjo un terremoto que dejó más de 600 personas fallecidas y alrededor de 3000 millones de dólares en pérdidas; posterior a este evento se observaron 6 réplicas con magnitudes mayores a 6 Mw registradas hasta el mes de julio del mismo año (IG-EPN, 2020). Este movimiento sísmico motivó una nueva actualización de la NEC con el fin de revisar los

parámetros de diseño de edificaciones para prevenir pérdidas económicas y de vidas humanas.

En este artículo, se presenta un análisis del contenido del capítulo de Geotecnia y Cimentaciones de la NEC 2015 y se discuten propuestas que según los autores son necesarias en lo referente a la conformación del modelo geotécnico, la verificación de seguridad de las cimentaciones (superficiales y profundas), mejoramiento de suelos, estructuras de contención, procedimiento constructivo y consideraciones sísmicas.

## **2. ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE LA NEC 2015: GEOTECNIA Y CIMENTACIONES Y LAS PROPUESTAS DE ACTUALIZACIÓN**

El propósito principal de cualquier diseño es proveer soluciones técnicas para construir estructuras seguras a un costo razonable, y asegurar las condiciones de servicio dentro del plazo estimado como vida útil. Con esta premisa, los autores plantean a continuación, una serie de recomendaciones para incluir en los diferentes subcapítulos de la normativa actual referentes a Geotecnia y Cimentaciones.

### **2.1 Capítulo de Generalidades**

En el capítulo de generalidades, aunque se menciona en el acápite 1.2 el término unidades, no se especifica el sistema de unidades a ser utilizado, por esta razón, en la actualización y en concordancia con normativas internacionales, se sugiere usar obligatoriamente el Sistema Internacional de unidades (SI). En el capítulo 1.3, referente al marco normativo se menciona que la NEC 2015 está basada en una adaptación del Reglamento Colombiano de Construcción (NSR-10, 2010) y estudios e investigaciones científicas nacionales e internacionales. Para actualizar el contenido técnico y científico, se recomienda realizar un recuento del estado del arte de la ingeniería geotécnica basado en libros recientemente publicados, artículos en revistas de arbitraje riguroso, documentos técnicos de países como Estados Unidos, Canadá, Europa, Japón, Nueva Zelanda, Australia, entre otros y normativas internacionales; el contenido del nuevo documento debe estar adaptado a la realidad nacional.

### **2.2 Capítulos de Alcances, Objetivos y Justificaciones**

En el alcance de este capítulo se recomienda aclarar que esta normativa está enfocada únicamente al diseño y construcción de edificaciones desplantadas en territorio ecuatoriano, sin restricción de altura o carga. En la NEC 2015 se mencionaba que el alcance del documento incluía edificaciones, puentes, torres, silos y demás obras; sin embargo, su desarrollo estaba enfocado únicamente a edificaciones. Las obras diferentes a las edificaciones deberán tener sus propias normas de diseño y construcción de acuerdo con la necesidad específica de la entidad que los diseña, construye y opera a nivel nacional. Además, es importante mencionar que la NEC no es un manual de diseño, por tanto, su contenido no es exhaustivo y da los parámetros mínimos para el diseño y construcción en cada subcapítulo.

Para los autores, el técnico responsable de realizar este tipo de estudios debe tener solvencia comprobada en el campo de la Ingeniería Geotécnica e incluso los requerimientos mínimos de estos profesionales deberían ser en función de la importancia del proyecto. Además, en el país debería implantarse un sistema de acreditación en el cual una entidad gubernamental sea la encargada de evaluar periódicamente y otorgar las respectivas licencias a los profesionales para que ejerzan su especialidad.

Para definir el alcance de la exploración de campo y ensayos de laboratorio, la NEC 2015 utiliza el concepto de unidad de construcción a la cual define como “una edificación o fracción de un proyecto con alturas, cargas o niveles de excavación diferentes o un grupo de construcciones adosadas, máximo de longitud en planta 40 m”. Se ha observado que este concepto de unidad de construcción ha generado confusión entre los usuarios debido a que únicamente se habla de edificación que tenga una longitud mayor a 40 metros que debe ser dividida en secciones sin considerar un ancho mínimo. Por ejemplo, si un proyecto tiene dimensiones de 55 x 55 metros, se tendría que dividir en tres o cuatro unidades de construcción y en cada una de ellas realizar el número de prospecciones señaladas en el capítulo de Estudios Geotécnicos. Para evitar esto, se sugiere que el número de sondeos sea definido en función del área del proyecto y la densidad de la campaña exploratoria dependa de la importancia del proyecto y del tipo de geo material sobre el cual será implantado.

Tradicionalmente el diseño geotécnico se ha basado en el empleo de factores de seguridad global como filosofía de diseño. En la práctica se define al factor de seguridad como la relación entre la resistencia media y la carga media aplicada y se asume que este valor absorbe todas las incertidumbres que se involucran en el diseño geotécnico. Los valores recomendados de factor de seguridad han sido determinados generalmente de forma empírica y representan de cierto modo un nivel de seguridad para un tipo de cimentación dado. El concepto de factores parciales de seguridad, en cambio, está basado en el principio de la diversificación, ya que las fuentes de incertidumbre no contribuyen en igual proporción en la reducción de la confiabilidad. Estos factores han sido introducidos en el marco del diseño por estado límite y su rol fundamental es disminuir la probabilidad de falla a través de la modificación de los valores característicos de los parámetros mecánicos, cada uno asociado con sus incertidumbres. El diseño LRFD (Load and Resistance Factor Design) está basado en el uso de factores de mayoración que se aplican a las cargas; y, factores de reducción que se aplican a los parámetros de resistencia del suelo de cimentación. En cuanto a la filosofía de diseño, la NEC 2015 se basa en el empleo de Factores de Seguridad. Al respecto, los autores plantean la utilización del método LRFD, que supone una mejor correlación entre el diseño geotécnico y el diseño estructural. Debido a que este concepto sería nuevo para muchos profesionales en el país, se debería considerar un período de transición incluyendo en la actualización ambas filosofías de diseño.

### **2.3 Capítulo de Estudios Geotécnicos**

Para los autores, este es el subcapítulo más importante y requiere una serie de cambios de forma, pero sobre todo de fondo, con el fin de facilitar su comprensión y aplicación.

La NEC 2015 clasifica a las edificaciones, según sus características, en cuatro categorías: baja, media, alta y especial. De manera general, en la categoría baja se incluyen edificaciones de hasta 3 niveles y cargas máximas de servicio en columnas menores que 800 kN y en la categoría especial se contemplan estructuras con más de 20 niveles y cargas máximas de servicio en columnas mayores que 8000 kN. Los autores recomiendan emplear un razonamiento de clasificación que incluya de manera simultánea el tipo de edificación, la carga que está transmitiendo, el número de pisos, el tipo de uso (destino e importancia del proyecto) y el tipo de geo material en contacto con la estructura, de esta manera se tiene una clasificación geotécnica del estudio integral y no solamente de la estructura. De estos cinco parámetros, primará el más desfavorable para seleccionar la clasificación que se muestra en la Tabla 1. Es importante notar que en la Tabla 1 se han incluido a los conjuntos habitacionales y programas masivos de vivienda dentro de la clasificación debido a que en la NEC 2015 no existe una categoría clara para este tipo de desarrollos urbanísticos.

El alcance de las pruebas de campo y laboratorio, necesarias para realizar el estudio geotécnico de un proyecto será definido por la clasificación del estudio geotécnico. Para los proyectos con clasificación I se ejecutarán pruebas de campo con recuperación de muestras alteradas las cuales deberán ser clasificadas en el laboratorio. La información recopilada en campo podrá ser procesada con el uso de correlaciones debidamente justificadas por el profesional a cargo. Los estudios geotécnicos categorizados como II deberán ejecutarse con pruebas de campo y la toma de muestras alteradas e inalteradas para la caracterización esfuerzo-deformación de los diferentes estratos que componen el subsuelo del sector. Además, se deberán ejecutar ensayos adicionales que permitan establecer la velocidad de onda cortante característica de los 30 m superficiales ( $V_{s30}$ ). Para el cálculo de las verificaciones de falla y servicio de los elementos del proyecto, se podrán usar correlaciones específicas para el proyecto, es decir, desarrolladas a partir de los ensayos de campo y laboratorio realizados durante la exploración. Por último, para el caso de los proyectos categorizados como III será necesario efectuar una campaña exploratoria con pruebas de campo específicas que ayuden a identificar zonas críticas del subsuelo (e.g. suelos especiales, heterogeneidades) que serán complementadas con ensayos de laboratorio específicos. Además, será necesario realizar durante los trabajos de campo una investigación detallada del valor del  $V_{s30}$  del sector. La caracterización del geo material deberá ser perfeccionada con muestras inalteradas para efectuar ensayos que permitan establecer las propiedades esfuerzo-deformación de los diferentes estratos, pudiendo complementar esta información con ensayos hechos in situ.

Para todos los casos, una vez finalizada la etapa de investigación de campo y laboratorio, se deberá construir el modelo geotécnico como una conceptualización simplificada donde se representan todas las características del proyecto como ubicación, tipo de estructura y la integración de las informaciones topográficas, geológicas y geotécnicas.

**Tabla 1** Propuesta para la clasificación del estudio geotécnico

Descripción	Cargas máx. (kN)	Geo material		
		Bueno	Regular	Malo o especial
Conjuntos habitacionales y programas masivos de vivienda de hasta tres niveles	< 800	I		III
Estructuras de hasta tres niveles	< 800			
Edificaciones entre cuatro y doce niveles	801 a 4000	II		
Edificaciones entre trece y veinte niveles	4001 a 8000	II	III	
Los demás tipos de estructuras, especiales y esenciales	> 8001	III		

En opinión de los autores, sería importante introducir criterios que permitan profundizar la exploración en caso de encontrar geo materiales blandos o sueltos y criterios que permitan terminar anticipadamente la exploración cuando sean encontrados estratos competentes debidamente identificados como tales. La NEC 2015 menciona que la profundidad mínima de exploración es de 6.00 m, sin embargo, los autores han observado en diversos proyectos, que es necesario definir de una manera más adecuada en la versión actualizada de la NEC este tipo de criterios para contar con información suficiente y representativa del sector investigado.

En la NEC 2015, se establece que el proceso del estudio y diseño geotécnico consiste en una etapa preliminar y otra definitiva, aunque no se detallan los parámetros que definen cuándo un proyecto debe contener un estudio preliminar o si pasa directamente a uno definitivo. Este concepto se podría mantener, sin embargo, el alcance del estudio preliminar debe ser definido en función del tamaño, importancia y lugar de implantación del proyecto. Por un lado, en proyectos pequeños implantados en geo materiales buenos o regulares se podrá llenar un formulario que contenga la información básica del proyecto, de la geología y sismicidad del sector. Esta información se podrá obtener de una inspección preliminar al proyecto y de información recopilada por ejemplo en los GAD municipales. Por otro lado, proyectos importantes o que se encuentren implantados en geo materiales blandos, sueltos o especiales deberán realizar un reconocimiento geológico local, exploración de campo y emitir un informe preliminar basado en trabajos de campo, laboratorio y oficina.

En la nueva versión de la NEC se debería exigir que los equipos para realizar el ensayo de penetración estándar (SPT) estén debidamente calibrados con el propósito de conocer con precisión la energía aplicada por dichos equipos en la realización del ensayo y conocer la verdadera energía aplicada por cada golpe, conforme el procedimiento de la norma ASTM D4633. Además, se deberán especificar los parámetros para identificar suelos especiales como son: suelos orgánicos y turbas, arcillas sensitivas, suelos dispersivos, arcillas expansivas,

suelos colapsables, rellenos antropogénicos efectuados sin control y suelos licuables.

Finalmente, es importante incluir una mejor descripción de la estructura del informe geotécnico. Este documento deberá describir de manera precisa y objetiva las condiciones del subsuelo en donde se implantará el proyecto, basado en la información recolectada y en las características de la estructura proyectada y debe incluir los resultados de la investigación de campo y de los ensayos de laboratorio, de manera clara, concisa, completa y precisa. Asimismo, se indicará explícitamente el tipo de análisis realizado para la determinación de los parámetros mecánicos de esfuerzo-deformación del geo material del suelo, es decir, si se está utilizando valores característicos, moderadamente conservadores (estimación cautelosa) o el caso más desfavorable y reportar parámetros que permitan utilizar las filosofías de diseño tanto de última resistencia (factor de seguridad) como de LRFD (factores de carga y resistencia).

#### **2.4 Cimentaciones Superficiales**

Con el fin de actualizar la filosofía de diseño, en la sección 2.2 de este documento se propone la aplicación de factores de carga y resistencia (LRFD) para el diseño geotécnico de las cimentaciones superficiales y se regula el uso del método del Factor de Seguridad (FS). Es necesario eliminar el enfoque del factor de seguridad Indirecto que consta en la versión 2015 de esta normativa. Además, en la sección 2.3, para el cálculo de las propiedades esfuerzo-deformación, se recomienda preferentemente emplear valores de resistencia mecánica del geo material (cohesión y ángulo de fricción interna) determinados a partir de pruebas de campo y laboratorio. Estos valores serán utilizados en el cálculo de la capacidad de carga última mediante la ecuación general que considera además de los factores de capacidad de carga y de profundidad de desplante, las correcciones por forma, inclinación de la carga, inclinación de la base de la cimentación y la inclinación del suelo de cimentación. Se sugiere utilizar al menos dos grupos de coeficientes o factores en el cálculo de la capacidad de carga, en concordancia con los alcances y limitaciones de su respectiva teoría, el problema a resolver y el criterio del ingeniero geotécnico. Al final, se seleccionará la capacidad de carga última más desfavorable para fines de diseño. Las teorías que se sugieren emplear son aquellas desarrolladas por: Terzaghi (1943), Skempton (1951), Meyerhof (1963), Brinch-Hansen (1970), Vesic (1973) y Salgado et. al. (2004) pero se proporciona libertad de criterio al ingeniero geotécnico para utilizar teorías y métodos alternativos debidamente justificados

Además, es importante establecer lineamientos para considerar diversos casos especiales que se pueden presentar durante el diseño geotécnico de las cimentaciones, como son: la presencia de suelos estratificados, la influencia del nivel freático, la excentricidad de la carga y la proximidad a un talud. Finalmente, se debe incluir el estudio de las deformaciones del suelo de cimentación cuando éstas se vean afectadas por la presencia y rigidez de la propia estructura. Para esto se deberán considerar por una parte el tipo y las características del geo material, y por otra, la forma y dimensiones de la cimentación y la rigidez relativa suelo-estructura y suelo-cimentación tanto en condiciones estáticas como dinámicas.

## 2.5 Mejoramiento de Suelos y cimentaciones compensadas

Los autores recomiendan incluir esta sección dentro de la actualización de la NEC debido a la necesidad de contar con metodologías que ayuden a mejorar las propiedades esfuerzo-deformación para reducir la deformabilidad de un estrato e incrementar su resistencia al corte cuando una cimentación superficial provoque un asentamiento total o diferencial que exceda los límites permitidos; así como también para mitigar los efectos ante cargas cíclicas como son: licuación, ablandamiento cíclico y deformación lateral, cuando el suelo se encuentre en condiciones saturadas y se encuentre en una zona de alta sismicidad.

Generalmente, los métodos contemplados para el mejoramiento del geo material son:

- Compactación superficial con o sin reemplazo, empleo de equipo rotatorio empujado por un tractor para densificar estratos superficiales debido a pasadas consecutivas del equipo sobre el depósito hasta lograr una densidad objetivo.
- Compactación dinámica, empleo de grúas para arrojar desde grandes alturas masas conocidas que compactan al suelo debido al impacto hasta lograr un grado de compactación predefinido.
- Vibro compactación, densificación del suelo por medio de un vibrador eléctrico o hidráulico con frecuencia regulable que se encuentra suspendido en una grúa.
- Geosintéticos, materiales sintéticos fabricados en base de diferentes polímeros para uso geotécnico usado como refuerzo dentro de la masa de suelo.
- Modificación química con mezclas profundas con introducido a través de perforaciones verticales con mezcladores giratorios para formar columnas estabilizadas de suelo con cal, cemento, betún u otro.
- Modificación química con mezclas masivas, implica mezclar grandes masas de suelo con productos químicos para mejorar las propiedades de estratos superficiales.
- Precarga, implica colocar una carga preestablecida sobre un estrato compresible para consolidarlo y mejorar sus propiedades mecánicas. Este procedimiento puede incluir drenes verticales para acelerar el proceso.
- Columnas de grava, introducción de material de relleno en el suelo, que normalmente puede ser agregados de varios tamaños con una gradación específica, para que se formen columnas densas que se entrelazan estrechamente con el suelo circundante.
- Inyecciones de compactación, se inyecta una lechada rígida de suelo-cemento-agua que densifica el suelo contiguo por desplazamiento.

- Inyecciones a presión, aplicación de chorros de alta velocidad y presión en perforaciones previas en donde un producto químico se mezcla con el suelo para formar columnas o paneles.
- Inyecciones de permeación, introducción por gravedad de una lechada química de baja viscosidad para ocupar los poros del suelo y mejorar su resistencia al corte.
- Drenes verticales, para controlar el exceso de presión de poro ocasionado por la acción de una carga estática o dinámica sobre un estrato saturado. Puede usarse para acelerar el proceso de consolidación o disminuir el potencial de licuación de un estrato suelto o blando.

## 2.6 Cimentaciones Profundas

Aunque el diseño de cimentaciones profundas en la NEC 2015 está limitado a pilotes y pilas pre barrenadas únicamente según se presenta en el primer párrafo de este subcapítulo, más adelante se menciona que la capacidad de carga última de un pilote de desplazamiento o pre excavado está definida por la resistencia al fuste sumado a la resistencia en la punta. Dentro de la propuesta de actualización se deberá definir la amplia variedad de cimentaciones profundas que se han desarrollado en los últimos años definidos por el material de construcción, el tipo de desplazamiento, el tipo de carga, entre otros.

En la NEC 2015, únicamente se menciona la referencia bibliográfica de cuatro metodologías para el diseño de pilotes de desplazamiento. Para el caso de pilotes o pilas pre excavados o barrenados menciona la metodología propuesta por Reese and O'Neill (1989). En el documento de actualización se deben incluir una mayor variedad de criterios para el diseño de este tipo de cimentaciones y, sobre todo, se describan las ecuaciones de cada una de ellas para facilidad del usuario. Además, los autores consideran pertinente que se deberá incluir temas importantes, como son: la necesidad de efectuar pruebas de integridad de pilotes y la comprobación de la capacidad movilizada tanto de fuste como de punta del pilote mediante pruebas dinámicas y estáticas. Estas pruebas servirán para efectuar ajustes en el diseño y sobre todo, como retroalimentación acerca de la validez y aplicabilidad en el país de los métodos publicados en diferentes fuentes. Otro tema importante, que se debe considerar para el diseño de cimentaciones profundas, es el uso de pruebas de campo para estimar la capacidad de carga, en especial los ensayos de penetración cono (CPT), presiómetro (PMT) y de penetración estándar (SPT). Por otro lado, se tendrán que incluir las consideraciones básicas para el cálculo de asentamientos e interacción ante cargas laterales. En el primer caso, se deberá describir la necesidad de calcular de una manera correcta los asentamientos de grupos de pilotes de fricción tanto con consideraciones elásticas como por consolidación primaria para garantizar que los asentamientos totales y diferenciales se encuentren dentro de la tolerancia admitida por el proyecto. En el segundo caso, hacer énfasis en la interacción suelo-pilote ante cargas dinámicas especialmente, en el caso de suelos potencialmente licuables y considerar estas interacciones para el diseño estructural del pilote o pila.

## 2.7 Cimentaciones en Roca

De una manera muy resumida, el comportamiento de una cimentación superficial en contacto con roca en la NEC 2015, describe únicamente diferentes modos de falla y parámetros básicos de diseño. Además, se menciona que cuando la calidad de la roca sea pobre, o sea impráctica la recomendación de una cimentación superficial, se podría recomendar la utilización de pilas fundidas in situ, donde la capacidad de carga última de una pila es igual para cimentaciones profundas. Para este caso se menciona la referencia bibliográfica de algunos métodos de diseño, sin incluir la metodología detallada de cada uno de ellos.

El contenido de este capítulo tiene que estar basado en la revisión de los estados de falla y de servicio, al igual que en el caso de las cimentaciones desplantadas en suelo. Se deberán mencionar los criterios de cálculo de capacidad de carga más utilizados en el medio, así como también para el cálculo de asentamientos. Aclarando que muchos de los métodos desarrollados para estos fines se basan en metodologías empíricas cuyo uso debe efectuarse de una manera racional y prudente.

## 2.8 Taludes, Excavaciones y Estructuras de Contención

En la NEC 2015 se encuentran de forma separada los temas correspondientes al diseño de excavaciones, de estabilidad de taludes y de excavaciones, así como las consideraciones para el diseño de estructuras y sistemas de contención. Los autores están de acuerdo en que todos estos temas pueden estar concentrados en un solo capítulo. A continuación, se han dividido estos temas con el fin de analizarlos de una manera más adecuada.

### *Estabilidad de taludes naturales o artificiales*

Para el cálculo de la estabilidad de taludes, se propone usar los métodos de equilibrio límite y el método seleccionado deberá ser capaz de analizar diferentes tipos de superficies de falla, como son: rotacional, traslacional e irregular. También, es importante que sean usados al menos dos métodos diferentes de equilibrio límite con el fin de comparar los resultados entre sí y asegurar un adecuado nivel de seguridad del talud. En caso de que el mecanismo de falla del talud no pueda ser adecuadamente modelado con los métodos de equilibrio límite o cuando se requiera un análisis del comportamiento esfuerzo-deformación, será necesario complementar el estudio de la estabilidad del talud con un análisis más sofisticado basado en el uso de elementos finitos, diferencias finitas u otro.

Para el cálculo de la estabilidad global de un talud ante cargas sísmicas, es necesario usar la aceleración máxima en superficie ( $a_{max}$ ); y, a menos de que se lleve a cabo un análisis de deformación más detallado, se utilizará el coeficiente pseudoestático horizontal,  $k_h$ , y cuando no se consideren los efectos de licuación, el coeficiente pseudoestático vertical,  $k_v$ , será igual a cero.

### *Excavaciones*

Para el diseño de excavaciones, se podrá mantener los criterios presentados en la NEC 2015 referentes a las consideraciones de diseño. Por un

lado, verificar el estado límite de falla (colapso de los taludes o de las paredes de la excavación o del sistema de entibado de las mismas, falla de los cimientos de las construcciones adyacentes y falla de fondo de la excavación por corte o por supresión en estratos subyacentes, y colapso del techo de cavernas o galerías) y por otro lado, verificar el estado límite de servicio (movimientos verticales y horizontales inmediatos y diferidos por descarga en el área de excavación y en los alrededores).

Adicionalmente, se propone incluir recomendaciones para:

- Estabilidad de taludes en excavaciones para edificaciones.
- Falla debido a la cercanía del nivel freático
- Estabilidad de excavaciones entibadas
- Estabilidad de estructuras vecinas
- Expansiones instantáneas y diferidas por descarga
- Afectación por deformación a los terrenos adyacentes

#### *Estructuras de contención*

Referente a este tema, la NEC 2015 presenta una descripción de algunos tipos de estructuras comúnmente utilizadas en el medio y menciona los estados límites de falla que debe ser revisados en el diseño geotécnico (volteo, desplazamiento del muro, falla de la cimentación o del talud que lo soporta y rotura estructural) y los estados límite de servicio (asentamiento, giro y deformación excesiva del muro). Será importante complementar el diseño de las estructuras de contención con las siguientes consideraciones:

- Cálculo de los empujes de tierras
- Empujes por cargas externas
- Tipo de relleno y control
- Revisión de la estabilidad de la estructura
- Cargas, Resistencia y Factores de Seguridad
- Diseño ante cargas sísmicas
- Empujes hidrostáticos
- Secuencia de excavación

Además, será importante incluir una descripción de lo que se entiende por estructuras ancladas, que actúan de manera similar a un muro apuntalado, aunque el puntal en vez de encontrarse fuera del muro se encuentra enterrado; y,

clasificándolas como temporales (se utilizan provisionalmente como sistema de soporte pero que son reemplazados a largo plazo por el apuntalamiento de otra estructura) o permanentes (están diseñados como único sistema de soporte a largo plazo con una vida útil mayor a dos años, y en consecuencia deben tener la protección adecuada contra corrosión a largo plazo). Es importante distinguir a los anclajes activos (se instalan y tensionan de manera controlada de manera que quedan pre esforzados para generar un estado pasivo en el terreno) de los anclajes pasivos (se instalan y no se pre tensionan, sino que operan por el movimiento relativo entre el terreno y el anclaje, requieren de deformaciones para que se produzca la transferencia de carga en la zona activa del anclaje corresponde al terreno que se mueve hacia la excavación). Adicionalmente, se deben describir los estados límite para los anclajes, tanto individualmente como en combinación con el muro. Estas consideraciones deben ser incluidas debido a que en el Ecuador se ha incrementado la necesidad de construir espacios subterráneos para albergar la cimentación de las edificaciones como resultado de la necesidad de ocupar niveles para estacionamientos.

Se deberá aclarar el concepto de estructuras claveteadas, como un arreglo de gravedad en la que el claveteado provoque que el geo material contenido entre la pantalla del muro y el extremo de las varillas del refuerzo se comporte como un solo bloque. En Ecuador, todavía existe una confusión entre los conceptos de un muro anclado y uno claveteado, entre profesionales relacionados a la construcción de este tipo de obras.

En la nueva versión de la NEC, se deberá incluir el concepto de técnicas alternativas para el diseño y construcción de estructuras de contención, que son utilizadas de forma cotidiana en muchas partes del mundo. Aunque en el Ecuador todavía no son utilizadas ampliamente, es importante que se incluyan, entre otras: pantallas continuas de pilotes tangentes, secantes o independientes y muros diafragma (tipo berlin y milán).

## **2.9 Consideraciones Sísmicas**

Debido a que es importante relacionar el análisis de respuesta de sitio con el punto de vista geotécnico, en especial en el análisis del comportamiento dinámico de suelos especiales, los autores recomiendan incluir esta sección dentro de la actualización de la NEC. Este tipo de análisis permite conocer la pérdida de resistencia ante cargas cíclicas para evaluar el comportamiento esfuerzo-deformación y sus repercusiones a las cimentaciones, que incluye, entre otros: el asentamiento total y diferencial, el movimiento lateral, la reducción de la capacidad de carga en la cimentación superficial y para cimentaciones profundas la reducción de la reacción axial y lateral del suelo; para el caso de muros de retención se deberá verificar el incremento en las presiones laterales y flotación de estructuras enterradas.

En Ecuador, posterior al sismo del 16 de abril del 2016, se observó que algunos depósitos de suelos saturados sufrieron licuación parcial o total, produciendo la falla de estructuras en edificaciones y terraplenes. Además, se observaron volcanes de eyección de agua característicos de este fenómeno sobre todo en la provincia de Manabí (GEER, 2016). Por esta razón se plantean los siguientes puntos a tratarse en este subcapítulo:

- Investigación e identificación de suelos licuables con métodos de campo y laboratorio.
- Evaluación del potencial de licuación con métodos empíricos (Seed & Idriss, 1982; Stokoe & Narzian, 1985; Boulanger & Idriss, 2014) o métodos numéricos (Bray & Hutabarat, 2021).
- Efectos de la licuación que se deben considerar en el diseño geotécnico

En este capítulo también se debe describir la importancia de establecer el período dominante de vibrar de un sitio para evitar resonancias dobles (roca-suelo y suelo-estructura). Además, describir modelos lineales y no lineales equivalentes para la respuesta de sitio debido a un sismo y el empleo de métodos basados en la integración numérica directa de la ecuación de movimiento en pequeños pasos de tiempo (por ejemplo, técnica explícita de diferencias finitas). Es importante que se describa de una manera amplia los modelos constitutivos implementados según la finalidad que se persiga en el análisis efectuado (relaciones esfuerzo-deformación, generación de presión intersticial y / o degradación del módulo cíclico) debido a las limitaciones con respecto a su capacidad para modelar ciertos aspectos del comportamiento de los suelos y simular fenómenos complejos de licuación. Se deberán considerar estas limitaciones al momento de analizar los resultados obtenidos y sobre todo incluir en el análisis la influencia de la eyección de agua liberada cuando se produce licuación, pues estos efectos no siempre se incluyen en la modelación efectuada por los programas computacionales.

Se deberá considerar que el análisis en esfuerzos totales no incluye directamente los efectos del exceso de presión de poro, y por lo tanto requiere una interpretación adicional del comportamiento no lineal del suelo y su simplificación para el modelado. La selección de los parámetros utilizados en el modelo geotécnico debe considerar el estado de esfuerzos del terreno y los niveles de deformación angular específicos del proyecto analizado. Los datos de entrada para el uso de modelos numéricos deben ser justificados por el Especialista Geotécnico considerando: la extensión del dominio, las condiciones de frontera, tipo de discretización del medio continuo y modelo constitutivo del suelo.

## **2.10 Asesoría Geotécnica en las Etapas de Diseño y Construcción**

En la NEC 2015 se describe brevemente las consideraciones para el proceso de asesoría geotécnica en las etapas de diseño y construcción. Será importante incluir que los proyectos clasificados como categoría alta o especial deberán contar con el acompañamiento de un especialista geotécnico, quien aprobará durante la ejecución de la obra los niveles y estratos de cimentación, los procedimientos y el comportamiento durante la ejecución de las excavaciones, rellenos, obras de estabilización de laderas y actividades especiales de adecuación y/o mejoramiento del terreno. Para esto, deberá dejar memoria escrita del desarrollo de dichas actividades y los resultados obtenidos.

Con el fin de contar con herramientas de retro análisis para futuras revisiones de la NEC, en proyectos importantes o complejos, se debería incluir la

obligatoriedad de utilizar métodos de instrumentación geotécnica, como los siguientes:

- Referencias superficiales
- Deformímetros (asentómetros)
- Inclínómetros
- Extensómetros lineales
- Piezómetros

### **3. CONCLUSIONES**

La Norma Ecuatoriana de la Construcción es una herramienta muy importante que encarga de definir los parámetros mínimos de diseño de edificaciones en el territorio ecuatoriano. Por esta razón, es necesario que este documento esté en constante actualización y se base en investigaciones desarrolladas tanto en el ámbito nacional como internacional.

En la edición de la NEC 2015, por primera vez se incluyó un capítulo de geotecnia y cimentaciones. En los años que ha llevado en vigencia se han encontrado algunos puntos que pueden ser mejorados y actualizados con el fin de mejorar las prácticas de ingeniería en el país. Los autores presentan en este documento, una serie de observaciones y comentarios referentes a este documento que han surgido como parte de la utilización de la NEC en la práctica profesional.

Un cambio importante que se plantea en este manuscrito se refiere a la inclusión de la filosofía de diseño LRFD. Actualmente, la NEC 2015 está desarrollada únicamente bajo la filosofía que emplea factores de seguridad globales e indirectos para establecer la seguridad de un diseño. Con el fin de buscar una armonía entre el diseño geotécnico y estructural, se propone que ambos campos se desarrollen mediante el uso de coeficientes de mayoración de carga y de reducción de parámetros de resistencia. Esta propuesta de los autores para la actualización de la NEC: Geotecnia y Cimentaciones, está fundamentada en la libertad de criterio del ingeniero geotécnico para realizar las exploraciones de campo y laboratorio necesarias para su proyecto específico y aplicar las teorías más adecuadas con el fin de garantizar la seguridad y funcionalidad de la obra durante la vida útil. Si bien se establecen parámetros mínimos, es el ingeniero geotécnico quien tiene la última palabra ya que la responsabilidad recae directamente sobre él.

## REFERENCIAS

ASTM, (2016). D4633 Standard Test Method for Energy Measurement for Dynamic Penetrometers. ASTM International.

Beauval, C., Marinière, J., Yepes, H., Audin, L., Nocquet, JM., Alvarado, A., Baize, S., Aguilar, J., Singaicho, JC., & Jomard, H. (2018). A New Seismic Hazard Model for Ecuador. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 108 (3A), 1443-1464.

Boulanger, RW. & Idriss, IM. (2014). CPT and SPT based liquefaction triggering procedures. REPORT NO. UCD/CGM-14/01 CENTER FOR GEOTECHNICAL MODELING.

Bray, JD. & Hutabarat, D. (2021). Effective Stress Analysis of Liquefaction Sites and Evaluation of Sediment Ejecta Potential. PEER Report No. 2021/03, Pacific Earthquake Engineering Research Center. Headquarters at the University of California, Berkeley.

Brinch-Hansen, J. (1970). A revised and extended formula for bearing capacity. *The Danish Geotechnical Institute, Copenhagen*, 98, 5-11.

GEER, G. EERA. (2016). Earthquake reconnaissance, April 16th 2016, Muisne, Ecuador. Version 1

IG-EPN, (2020). Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, Informes de los últimos sismos. [igepn.edu.ec/portal/ultimo-sismo/informe-ultimo-sismo](http://igepn.edu.ec/portal/ultimo-sismo/informe-ultimo-sismo)

Meyerhof, GG. (1963). Some Recent Research on the Bearing Capacity of Foundations. *Canadian Geotechnical Journal*, 1, 16-26.

MIDUVI, (2015). Norma Ecuatoriana de la Construcción.

NSR-10, (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Reese, LC. & O'Neill, MW. (1989). New design method for drilled shaft from common soil and rock tests. *Foundation Engineering: Current principles and practices*, ed K. Kulhawy. American Society of Civil Engineers, 2, 1026-1039.

Salgado, R., Lyamin, AV., Sloan, SW., & Yu, HS. (2004). No Access Two- and three-dimensional bearing capacity of foundations in clay. *Géotechnique*, 54 (5), 297-306.

Seed, HB. & Idriss, IM. (1982). Ground motions and soils liquefaction during Earthquakes. Earthquake Engineering Research Institute Monograph, Oakland, California

Skempton, AW. (1951). The bearing capacity of clays. Proceedings of Building Research Congress, Division 1, Part III

Stokoe, KH. & Narzian, S. (1985). Use of Rayleigh waves in liquefaction studies. Measurements and use of shear wave velocity for evaluating dynamic soil properties. Geotechnical Engineering Division, ASCE, 1 (17)

Terzaghi, K. (1943). Theoretical soil mechanics. Wiley, New York.

Vesic, AS. (1973). Analysis of ultimate loads of shallow foundations. J. Soil Mech. Found. Div., 99 (1), 45-76.