

v.2, n.10, 2025 - Outubro

REVISTA O UNIVERSO OBSERVÁVEL

**DESARROLLO DE APLICACIÓN MÓVIL ACADÉMICA PARA EL CÁLCULO
DE CAPACIDAD SOPORTANTE DE PILOTES EN CIMENTACIONES
PROFUNDAS PARA ARCILLAS**

**DESENVOLVIMENTO DE UM APLICATIVO MÓVEL ACADÊMICO PARA
O CÁLCULO DA CAPACIDADE DE CARGA DE ESTACAS EM FUNDAÇÕES
PROFUNDAS PARA ARGILAS**

Ing. Alexander Molina Villalobos¹
Jafet Asdrúbal Mora Ruiz²

Revista O Universo Observável

DOI: 10.69720/29660599.2025.000199

[ISSN: 2966-0599](https://doi.org/10.69720/29660599.2025.000199)

¹Resumen trayectoria académica: Ingeniero Civil y Administrador de Empresas, con posgrados en Gerencia General, Ingeniería Ambiental y Geotecnia así como Doctor en Ciencias Empresariales. Miembro activo del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos así como del Colegio de Profesionales en Ciencias Económicas. Profesor Catedrático de la Universidad Fidélitas. Tutor y lector de trabajos finales de graduación. Profesor de cursos de Mecánica de Sólidos, Geotecnia y Mecánica de suelos desde 1995

CORREO: alexander.molinav@ufide.ac.cr

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8118-8855>

²Facultad de ingeniería Escuela de ingeniería civil

CORREO: jmora20925@ufide.ac.cr

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-6529-9143>



v.2, n.10, 2025 - Outubro

DESARROLLO DE APLICACIÓN MÓVIL ACADÉMICA PARA EL CÁLCULO DE CAPACIDAD SOPORTANTE DE PILOTES EN CIMENTACIONES PROFUNDAS PARA ARCILLAS

DESENVOLVIMENTO DE UM APLICATIVO MÓVEL ACADÊMICO PARA O CÁLCULO DA CAPACIDADE DE CARGA DE ESTACAS EM FUNDAÇÕES PROFUNDAS PARA ARGILAS

Alexander Molina Villalobos e Jafet Asdrúbal Mora Ruiz



PERIÓDICO CIENTÍFICO INDEXADO INTERNACIONALMENTE

ISSN
International Standard Serial Number
2966-0599

www.ouniversoobservavel.com.br

Editora e Revista
O Universo Observável
CNPJ: 57.199.688/0001-06
Naviraí – Mato Grosso do Sul
Rua: Botocudos, 365 – Centro
CEP: 79950-000

ABSTRACTO

El estudio de los diferentes suelos es una etapa fundamental en cualquier proyecto de ingeniería civil, esto debido a que los resultados obtenidos de este van a poder determinar si el suelo es factible para la edificación y determinar el tipo de cimentación que se debe utilizar con el fin de mitigar riesgos y asegurar la estabilidad de las diferentes estructuras. Dentro de las variedades de suelos que presenta el país se encuentran los terrenos arcillosos que presentan una elevada plasticidad para la retención de agua y por ende su comportamiento de expansión, estos aspectos significan un desafío significativo a la hora del desarrollo de construcciones civiles, por lo que se requiere un estudio minucioso antes de comenzar cualquier obra de edificación. Un fenómeno significativo en este contexto es la licuación de suelos, que sucede principalmente en suelos no unidos como arcillas saturadas, que pierden su resistencia y actúan como líquidos en situaciones de terremoto. Este fenómeno supone un peligro significativo, dado que puede causar errores en el dimensionamiento los cimientos, deslizamientos, pérdida de soporte y otras formas de inestabilidad estructural. Es crucial reconocer los terrenos susceptibles a la licuación para implementar tácticas de edificación seguras y sostenibles. Este proyecto sugiere la creación de una aplicación móvil enfocada en el cálculo de la capacidad de soportar pilotes en cimentaciones profundas, particularmente en suelos compuestos arcilla, empleando el método de dimensionamiento definido en el Código de Cimentaciones de Costa Rica. Esta herramienta satisface la demanda de disponer de soluciones prácticas, exactas y asequibles que respalden tanto a alumnos como a expertos en ingeniería civil en la elaboración segura y eficaz de los cimientos. La implementación se basará en técnicas analíticas reconocidas a nivel internacional, además de considerar datos obtenidos a través de pruebas geotécnicas como el SPT (Ensayo de Penetración Estándar).

Palabras clave: Plasticidad, Construcción, licuación, cimentación, suelos.

ABSTRACT

The study of the different soils is a fundamental stage in any civil engineering project, this because the results obtained from it will be able to determine if the soil is feasible for the building and determine the type of foundation that should be used in order to mitigate risks and ensure the stability of the different structures. Among the varieties of soils that the country presents are clay soils that present a high plasticity for water retention and therefore their expansion behavior, these aspects mean a significant challenge when it comes to the development of civil constructions, so a thorough study is required before starting any building work. A significant phenomenon in this context is soil liquefaction, which occurs mainly in unbonded soils such as saturated clays, which lose their strength and act as liquids in earthquake situations. This phenomenon poses a significant danger, as it can cause foundation sizing errors, slippage, loss of support, and other forms of structural instability. Recognizing land susceptible to liquefaction is crucial to implementing safe and sustainable building tactics. This project suggests the creation of a mobile application focused on the calculation of the capacity to support piles in deep foundations, particularly in clay composite soils, using the sizing method defined in the Costa Rican Foundation Code. This tool meets the demand for practical, accurate and affordable solutions that support both students and civil engineering experts in the safe and efficient development of foundations. The implementation will be based on internationally recognized analytical techniques, in addition to considering data obtained through geotechnical tests such as the SPT (Standard Penetration Test).

Keywords: Plasticity, Construction, liquefaction, foundations, soils.

INTRODUCCIÓN

Los avances tecnológicos están en su auge y cada día se crean nuevas herramientas y aparatos útiles en muchas carreras, incluida la ingeniería civil. En la ingeniería civil, los ingenieros a cargo pueden realizar sus tareas, como modelar estructuras y monitorear las actividades de una obra con un cronograma. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo final de graduación es desarrollar una aplicación móvil para calcular la capacidad soportante de pilotes en cimentaciones profundas. Proporciona una solución accesible, práctica y precisa que beneficiará tanto a estudiantes, docentes y profesionales en formación, contribuyendo a una educación de mayor calidad y a una mejora de las

prácticas profesionales en el país. Cabe resaltar que en la ingeniería civil, es indispensable realizar el cálculo de la capacidad soportante de pilotes en cimentaciones profundas especialmente en suelos compuestos por arcillas, esto con el fin de asegurarse la durabilidad, la seguridad y la estabilidad de las construcciones. De acuerdo con Canales (2018): Una buena exploración del suelo producirá obtener las capacidades admisibles de carga de los pilotes trabajados, conjuntamente con la metodología de hincado de pilotes y pruebas de carga, estudios esenciales para mejorar la estabilidad estructural de las cimentaciones, en suelos malos y en suelos regulares (p.33).

La cita enfatiza la necesidad de realizar una

exploración completa del suelo para garantizar la seguridad y la estabilidad de las cimentaciones profundas, especialmente las que se utilizan por pilotes. Esta exploración del suelo y el cálculo de las capacidades de carga admisibles y la utilización del método adecuado son cruciales en el diseño y construcción de cimentaciones profundas.

Con los datos proporcionados de diferentes ensayos como por ejemplo el de penetración estándar (SPT) o ensayo de penetración estándar, métodos geofísicos, hasta perforaciones exploratorias con recuperación de testigos o saca núcleos se pretende crear una aplicación que permita obtener el cálculo de la capacidad soportante de pilotes en cimentaciones profundas para arcilla. Utilizando método de dimensionamiento de pilotes propuesto en el Código de Cimentaciones de Costa Rica. Con la creación de esta aplicación móvil se pretende obtener una variedad de ventajas significativas en términos de accesibilidad, precisión y costo, ya que esta va a fomentar la innovación, la calidad y la eficiencia de los proyectos de ingeniería civil relacionados con el cálculo de la capacidad soportante de pilotes en cimentaciones profundas, esto tomando en cuenta los contextos geotécnicos de Costa Rica. Esta herramienta tecnológica no solo ayuda a las personas estudiantes y profesionales en formación, sino que también hace que la ingeniería civil sea más segura y eficiente.

REFERENCIAL TEÓRICO

Suelos expansivos

Los suelos expansivos son aquellos que presentan la capacidad de aumentar de volumen al absorber agua y reducirlo al perderla, fenómeno conocido como hinchamiento y contracción (Hua Chen, 2012).

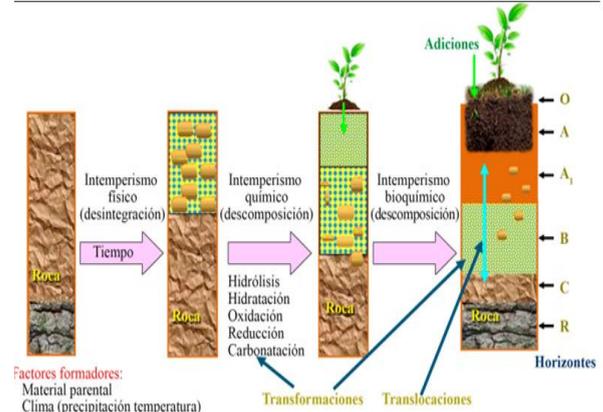
Este comportamiento está ligado principalmente a su composición mineralógica y estructura interna. Minerales arcillosos en especial los Montmorillonita que por su estructura tienen una capacidad de retener grandes cantidades de agua, lo cual provoca que se dé un crecimiento de volumen del material y a su vez un drástico cambio en la reducción de volumen cuando el agua que ha retenido se seca. Este tipo de suelo formalmente se forman en climas áridos y semiáridos, debido a que la meteorización química suele ser limitada, permitiendo la acumulación de minerales arcillosos con propiedades expansivas.

Las cimentaciones construidas sobre este tipo de suelo están expuestas a considerables esfuerzos de levantamiento debido a la expansión.

Estas fuerzas harán que los cimientos se agrieten y se deterioren. Si el suelo contiene arcillas que son altamente plásticas, parcialmente saturadas, estos pueden compactar fuertemente por desecación. Este

suelo al tener acceso al agua y al ser sometido a bajos esfuerzo van a absorber el agua, por lo tanto, se expandirán.

Figura 1. Desecación de suelo expansivo



Nota: Esquema que representa los procesos y factores de la formación de un suelo. Fuente: Montaña, Navarro, Patricio, Chimal, de la Cruz, 2018, p.4.

La figura muestra los factores formadores del suelo, la desintegración, la descomposición que contribuyen a la formación del suelo. Además se ilustran las diferentes capas que conforman el suelo.

Por lo que es importante a la hora de realizar un proyecto tener presente la magnitud de este, y determinar como indica el Código de Cimentaciones de Costa Rica (2001) “un marco geológico-geotécnico, esto se puede realizar a través de un estudio de suelos para la cimentación de una obra” (p.20). Lo anterior con el fin de determinar si el suelo es apto para la construcción o es inestable o con la presencia de fallas geológicas, si está cerca de sectores propensos a inundaciones, si presenta problemas con las ondas sísmicas, para realizar construcciones seguras, con recomendaciones realistas y un diseño estructural adecuado.

Clasificación del Suelo

La clasificación del suelo es un proceso fundamental para la ingeniería civil, esto debido a que ayuda a identificar y caracterizar los diferentes tipos que se presentan en cada región y las propiedades que lo conforman, cada sistema de clasificación del suelo tiene sus propios criterios y objetivos.

De acuerdo con Zapata (2018) un sistema de clasificación de suelos proporciona:

Un lenguaje común para expresar en forma concisa las características generales de los suelos, que son infinitamente variadas sin una descripción detallada; consiste en categorizar y agrupar a los suelos junto con otros que posean características semejantes en cuanto a propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas similares (p.4).

De acuerdo con el tamaño de las partículas, se

pueden distinguir los siguientes tipos de suelos: Gravas, arenas, limos, arcillas. A continuación se adjunta una figura que muestra los diferentes tipos de suelo mencionados anteriormente:

Figura 2. Muestras de Suelo



Nota: Diferentes muestras de tipos de suelos. Fuente: Montaña, Navarro, Patricio, Chimal, de la Cruz, 2018, p.5

Gravas

Dentro de las características de este tipo de suelo Cevallos (2021) que:

Su tamaño tiene más de 2 mm de diámetro y son acumulaciones sueltas de fragmentos de roca. Cuando son acarreadas por el agua sufren desgastes en sus aristas y pueden aparecer como redondeadas. Como material suelto se encuentran en los ríos y en depresiones de terrenos rellenados por el acarreo o transporte de las aguas lluvias (p.23).

Los suelos de grava poseen propiedades mecánicas y de drenaje que lo hacen una opción preferida en muchas aplicaciones de ingeniería civil y para la construcción, a estos se les puede dar una variedad de usos que van desde las cimentaciones hasta sistemas de drenaje y construcción de carretera, gracias a que posee una alta permeabilidad y resistencia al corte.

Arenas

Este tipo de suelo es explicado por Cevallos (2021) como

Sus partículas varían desde 0.05 mm hasta los 2 mm de diámetro, son materiales de grano fino procedentes de la denudación de las rocas o de su trituración artificial. La existencia y el origen de las arenas es similar al de las gravas, las dos suelen

encontrarse en el mismo depósito. Las arenas cuando están limpias no se contraen al secarse, no son plásticas, son menos compresibles que las arcillas y si se aplica una carga en la superficie, se comprimen o densifican casi instantáneamente (p.24).

Los suelos arenosos tienen la capacidad de soportar cargas moderadas, además presentan una alta permeabilidad y resistencia a los cortes, lo que lo hacen ideal para una variedad de usos, que pueden ser cimentaciones, así como drenajes y construcción.

Limos

Este es explicado por Cevallos (2021) como Son suelos finos con poca o ninguna plasticidad, su diámetro está comprendido entre 0.005 mm y 0.05 mm con colores que varían de gris claro a gris oscuro, pudiendo ser limo inorgánico el que se produce en las canteras por trituración de gravas, o limo orgánico el que suele encontrarse en los ríos, el mismo que es de características plásticas (p.24).

Los suelos limosos son suelos con propiedades intermedias entre las arenas y la arcilla, sus características van a influenciar su uso en la ingeniería civil, por lo que es indispensable conocerlas para diseñar soluciones adecuadas en las cimentaciones, drenaje y estabilidad de estructuras.

Arcilla

Para este tipo de suelo Cevallos (2021) menciona que dentro de sus características se encuentran:

Son partículas sólidas que tienen la propiedad de volverse plásticas al ser mezcladas con agua y su diámetro es menor a 0.005 mm, químicamente son silicatos de aluminio hidratado, aunque contienen también silicatos de hierro o de magnesio hidratado, la estructura de sus minerales son generalmente cristalinas ya que sus átomos se disponen en forma laminar (p.24). Cabe mencionar que los suelos arcillosos afectan el uso y manejo en proyectos de ingeniería civil, es indispensable prestar atención a la hora de realizar diseños de cimentación y estabilidad de estructuras, esto debido a la alta plasticidad y la capacidad de estos terrenos para retener agua y su comportamiento expansivo.

Suelos finos y gruesos

Cabe mencionar que estos tipos de suelos se pueden agrupar en dos grandes grupos que son suelos gruesos y suelos finos, cada uno de estos presenta una serie de diferencias importantes

Tabla 1. Diferencias de suelos gruesos y finos

SUELOS GRUESOS (>1mm)	SUELOS FINOS (<1mm)
Sus partículas componentes son visibles a simple vista	Sus partículas componentes no son visibles a simple vista
La forma de las partículas puede ser angular o redondeada	La forma de las partículas puede ser laminar, angular o redondeada
No poseen minerales arcillosos	Pueden poseer minerales arcillosos
Suelos no cohesivos	Suelos cohesivos
Muy alta permeabilidad: $k > 10^{-2} \text{ cm/seg}$	Permeabilidad: Alta (arenas finas), media a baja (limos), muy baja o nula (arcillas) $k < 10^{-2} \text{ cm/seg}$
El tamaño de los vacíos es mayor, pero el volumen total de vacíos es menor: $e < 0,85$	El tamaño de los vacíos es menor, pero el volumen total de vacíos es mayor: arcilla blanda $e > 1,2$; montmorillonita $e > 5$
Si se aplica una sobrecarga importante, el asentamiento del suelo es instantáneo	Si se aplica una sobrecarga importante, se tienen asentamientos diferidos en el tiempo

Nota: Diferencias más importantes a destacar entre suelos de granos gruesos y suelos de granos finos. Fuente: Montaña, Navarro, Patricio, Chimal, de la Cruz, 2018, (p.5)

Estudios de Suelos

Un estudio de suelos consiste en un análisis detallado de las características y propiedades que este presenta en área determinada, esto con el fin de valorar su aptitud para diferentes usos, en este caso para la construcción, este tipo de estudios es fundamental para poder entender la capacidad que tiene el suelo para soportar estructuras y el comportamiento que puede tener ante factores como la erosión y la retención de agua. De acuerdo al Código de Cimentaciones de Costa Rica (2001) los estudios de suelos involucra “la aplicación de procedimientos y técnica que consiste en la evaluación de las características físico-mecánicas de los suelos con el fin de ofrecer las recomendaciones geotécnicas necesarias para la factibilidad técnica, diseño, construcción o mantenimiento de una obra civil” (p.22).

Los estudios de suelos van desde los más simples hasta los más complejos, este estudio puede dividirse en las siguientes tres etapas según el Código de Cimentaciones de Costa Rica (2001), los cuales se muestran a continuación.

Tipo de Estudio y Características

Estudios preliminares Incluye los estudios de reconocimiento y validez técnica, la intención principal era de tener un conocimiento a nivel requerido con el fin de realizar estudios más detallados para el diseño y construcción

1. Estudios para el diseño de construcción
Debe procurarse una investigación directa con el detalle que la obra lo exija intervienen aquí aspectos como el costo tipo de obra su magnitud ubicación e importancia estructural para lo cual exploración y obtención de parámetros para los análisis deberá considerar aspectos mínimos
2. Estudios de comprobación Ese tipo de estudio tendrá como objetivo verificar diferentes aspectos asociados con parámetros o condiciones específicas para evaluar (Código de Cimentaciones de Costa Rica, 2001, pp.23-24)

Como se puede observar son varias las diferencias que se encuentran presentes en cada uno de los suelos, su conocimiento permite tener un panorama más amplio sobre cada uno de ellos a la hora de ser tratado. El estudio de suelos se realiza a través de diferentes pruebas de laboratorio, dentro de estos ensayos se encuentran la American Society of Testing Materials (ASTM), a continuación se muestra una tabla que muestra los tipos de ensayos y sus objetivos mencionados por el Código de Cimentaciones de Costa Rica (2001):

3. Tipos de ensayos de laboratorio y sus objetivos principales

Propiedad	Ensayos de laboratorio de suelos	
	Ensayo	Objetivo principal
CLASIFICACION	Humedad natural Peso Volumétrico Granulometría Límites de consistencia	Clasificar el suelo de acuerdo con sistemas internacionales. Obtener correlaciones con otras propiedades de más difícil obtención.
RESISTENCIA	Compresión uniaxial Compresión triaxial Corte directo Veleta	Medir la resistencia al corte, y calcular resistencia última a la falla
COMPRESIBILIDAD Y EXPANSION	Consolidación Expansión Bajo Carga Expansión libre	Medir parámetros de deformación, calcular asentamientos y expansión en suelos arcillosos (cohesivos)
OTROS	Permeabilidad Resistencia al desgaste Compactación CBR pH, etc.	Orientados a evaluar determinados aspectos particulares

Nota: Tipos de estudios de suelos que se pueden realizar y los objetivos que persiguen cada uno de estos. Fuente: Código de Cimentaciones de Costa Rica, 2001, pp.23-24.

Los tipos de ensayos van a depender de las características propias de los suelos por investigar y de los criterios del ingeniero de suelos, de ahí la importancia de realizarlos antes de empezar una construcción o algún trabajo en este.

Fenómeno de Licuación

El fenómeno de licuación de suelos representa un problema en la ingeniería, esto especialmente en las zonas sísmicas, por lo que es crucial conocer y comprender cuales son las condiciones que favorecen la licuación con el fin de construir estructuras seguras y duraderas, aplicar medidas de mitigación adecuadamente va a permitir reducir significativamente los riesgos asociados con la licuación y proteger tanto las estructuras como las vidas humanas en eventos sísmicos.

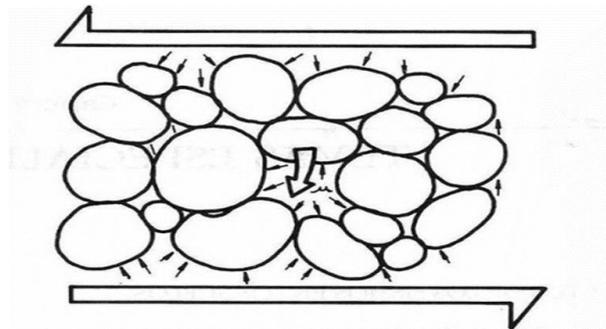
El Código de Cimentaciones de Costa Rica (2001) lo define el fenómeno de licuación como:

Un fenómeno por medio del cual los depósitos no arcillosos, principalmente arenas y limos pierden temporalmente su resistencia y se comportan más bien como un líquido viscoso en lugar de un sólido. Esta licuación se genera en un suelo sin cohesión, flojo y saturado cuando las ondas sísmicas causan el colapso de los paquetes de granos aumentando la presión de poros hasta anular las tensiones efectivas (p.140).

Lo anterior deja ver que este fenómeno provoca en el suelo principalmente en los materiales granulados que pase de un estado sólido a un estado licuado, esto se da debido a un aumento exponencial de la presión del poro.

Los suelos sueltos medianamente compactos sin drenaje, arenas limosas o gravas confinadas son los más propensos a sufrir este tipo de cambios de estado porque el material se ablanda durante este proceso, lo que aumenta las deformaciones cíclicas.

Figura 3. Ejemplo de un suelo granulado durante el proceso de licuación



Nota: Esquema de un conjunto de granos de una arena saturada. Fuente: Código de Cimentaciones de Costa Rica, 2001, p.141.

En los suelos granulares saturados y densos, cuando se someten a un esfuerzo de corte, experimentan deformaciones debido a la dilatación. Este fenómeno se denomina aumento de volumen unitario por la rotación de los planos de corte. Por otra parte Pascal (2020) indica que:

La licuefacción provoca el fallo de las cimentaciones, rotura de taludes y deslizamientos, los suelos susceptibles a perder parte de su resistencia ante oscilaciones dinámicas son las arenas finas y flojas, así como las arenas y limos mal graduados.

Otras de las condiciones necesarias para que tenga lugar este comportamiento del suelo son niveles freáticos altos cerca de la superficie (p.3).

De acuerdo a la cita anterior se puede mencionar que la licuefacción es un fenómeno en el que los suelos, particularmente las arenas finas, flojas y mal graduadas, pierden su capacidad de soportar cargas y se comportan como líquidos en situaciones específicas, como terremotos y altos niveles de agua subterránea. Esto puede causar daños significativos a la estructura, roturas de taludes y deslizamientos, lo que requiere un estudio y tratamiento adecuado del suelo en zonas que son susceptibles a terremotos.

Tipos de fallas en la licuación

Existen varios tipos de fallas por licuación producen una serie de condiciones que son esenciales para la planificación de la ingeniería civil y la gestión de riesgos en áreas que son propensas a terremotos.

Los suelos pueden experimentar una variedad de fallas durante un evento de licuefacción, que pueden tener un impacto significativo tanto en el terreno como en las estructuras.

A continuación se muestra los tipos de inestabilidad estructural que se presentan en la licuación:

Tabla 4. Tipos de inestabilidad estructural originada por el fenómeno de licuación

Tipos de inestabilidad estructural	Estructuras más frecuentemente afectadas
Pérdida de capacidad de soporte	Estructuras superficiales y enterradas
Inestabilización de taludes	Estructuras construidas sobre o taludes en su base Presas tierra y fundaciones
Movimiento de suelos licuables adyacentes a depresiones topográficas	Pilas de puentes Líneas de ferrocarril Carreteras Líneas vitales
Flujo lateral en terreno horizontal	Estructuras especialmente con losas sobre el terreno Líneas vitales Carreteras Ferrocarriles
Subpresión en exceso en estructuras causada por alta presión de poros	Tanques enterrados Líneas vitales
Formación de subsidencias por volcanes arena	Estructuras sostenidas sobre el terreno
Incremento de esfuerzos laterales en suelo licuado	Muros de retención Estructuras portuarias

Nota: Inestabilidad de los suelos por licuación. Fuente: Código de Cimentaciones de Costa Rica, 2001, p.143.

Cuatro tipos de fallas se presentan principalmente en el fenómeno de la licuación: rupturas, deslizamientos o corrimientos laterales, oscilación amplificada del terreno, pérdida de la capacidad de soporte y flujo. Además, generalmente se producen asentamientos del terreno y eyecciones de arena en la superficie.

Desplazamiento lateral

Para Silva (2019) los desplazamientos laterales involucran “el desplazamiento de grandes bloques de suelo superficiales como consecuencia de la licuefacción de un estrato inferior. Cuando los estratos más profundos se licuan, los estratos superficiales del suelo se mueven lateralmente en bloques sólidos. Este desplazamiento ocurre debido a la acción de las fuerzas gravitacionales y de las fuerzas de inercia generadas por el terremoto” (p.25).

En áreas sísmicamente activas y con suelos particulares, el desplazamiento lateral por licuefacción es un riesgo geotécnico importante. La planificación urbana y la ingeniería civil en la gestión de riesgos naturales requieren una comprensión de este fenómeno.

Este tipo de fallas suelen desestabilizar las fundaciones de los edificios, cortar tuberías y comprimir estructuras como puentes que se encuentran sobre la falla. La deformación permanente del suelo también es uno de los factores más perjudiciales del desplazamiento lateral.

Falla de flujo

Cuando una masa de suelo licuado se desplaza rápidamente cuesta abajo debido a la pérdida de resistencia y cohesión del suelo, ocurre un tipo de desastre geotécnico conocido como fallas de flujo.

Este fenómeno puede ser muy dañino, especialmente en zonas montañosas y con pendientes pronunciadas.

Para Silva (2019) estas son:

Estas son fallas asociadas a superficies inclinadas, como taludes. Las fallas de flujo y los deslizamientos son las fallas del terreno más catastróficas causadas por la licuefacción. Estas fallas comúnmente producen desplazamientos de decenas de metros, de grandes masas de suelo y en algunos casos, las masas de suelo han viajado varios kilómetros hacia abajo en terrenos con pendiente, con velocidades considerables (p.26).

Por lo que se puede mencionar que las fallas de flujo son desastres naturales que pueden arruinar zonas habitadas y desarrolladas. La reducción de riesgos y la protección de vidas y propiedades requieren la comprensión de sus causas y la implementación de medidas preventivas. En los flujos, los materiales del suelo se desplazan rápidamente cuesta abajo en un estado licuado, generalmente en arenas limpias o arenas limosas sueltas y saturadas, en terrenos con pendientes relativamente pronunciadas, generalmente mayores de 3 grados.

Oscilaciones del Terreno

Las vibraciones o sacudidas que experimentan los suelos durante un evento sísmico u otras perturbaciones se conocen como oscilaciones del terreno. Estas pueden tener un impacto significativo en las estructuras construidas sobre el terreno, así como en la estabilidad general del suelo y sus propiedades geotécnicas.

En relación con el tema Silva (2019) indica que “cuando el terreno es plano o la pendiente demasiado suave para permitir el desplazamiento lateral, la licuefacción de un estrato profundo puede desacoplar los estratos de suelo superiores, permitiendo la oscilación de los suelos superficiales en forma de ondas” (p.27).

Lo anterior demuestra que en la ingeniería las oscilaciones que se dan en los terrenos se consideran un factor importante que se debe tomar en cuenta, sobre todo en aquellas áreas propensas a terremotos y diferentes eventos sísmicos, por lo que es fundamental conocer las causas y efectos que se presentan para así reducir los riesgos y proteger la vida humana y la infraestructura.

Como resultado de la falla, el suelo de la superficie oscilará de acuerdo con la forma de las ondas sísmicas. Las oscilaciones pueden estar acompañadas de aperturas o cierres en las fisuras que se han creado, lo que provoca la extracción de material licuado en forma de volcanes o conos alineados. Estos volcanes tienen la capacidad de causar fracturas en estructuras como pavimentos y tuberías, las cuales se distinguen por su rigidez.

Pérdida de la Capacidad de Soporte

La pérdida de la capacidad de soporte del suelo es un riesgo importante para la construcción y la ingeniería civil, especialmente en áreas propensas a terremotos. Para garantizar la estabilidad y la seguridad

de las estructuras y la infraestructura, es fundamental comprender las causas y los efectos de este fenómeno, así como implementar medidas de mitigación adecuadas.

De acuerdo con Silva (2019) “cuando el suelo que soporta un edificio u otra estructura se licua y pierde resistencia, pueden producirse grandes deformaciones, lo que permite el asentamiento o volcamiento de las estructuras” (p.28). Esta cita indica la importancia de comprender y mitigar los riesgos que pueden presentarse con licuación del suelo, tomando en cuenta que en este fenómeno el suelo pierde resistencia que pueden traer consecuencias catastróficas en las estructura, asentamientos entre otros.

Factores que inciden en el desarrollo de la licuación

Dentro de los principales factores que inciden en la licuación se encuentran según Palacios, Lara y Perucca (2021) son los siguientes:

1. Edad de los materiales sedimentarios: los suelos y depósitos sedimentarios jóvenes presentan baja cohesión y por lo tanto son más susceptibles a la licuación que los suelos y depósitos más antiguos.
2. Profundidad del nivel freático: la licuación disminuye notablemente con un nivel freático por debajo de los 3 m, solo en condiciones particularmente inestables se genera licuación con el nivel freático ubicado por debajo de esta profundidad.
3. Tamaño y forma del grano: el tamaño arena de medio a fino es vulnerable a la licuación. Las arenas uniformemente graduadas, de grano muy grueso a medio tienen mayor probabilidad de licuarse, mientras que las arenas limosas finas y las gravas lo hacen bajo cargas cíclicas más severas.
4. Origen de los sedimentos: los sedimentos de grano fino depositados en ambientes lacustres y fluviales y ocasionalmente sedimentos marinos y costeros (playas) son más licuables.
5. Potencia de los sedimentos: son necesarios espesores mínimos de 3 m de arenas o de alternancia de limos y arenas para facilitar el proceso de licuación.
6. Amplitud de onda y duración de la vibración del terreno: la probabilidad de licuación aumenta con la magnitud (sismos con magnitudes mayores a 5) y la duración del sismo.
7. Peso del recubrimiento y profundidad del suelo: en general, la licuación se da a profundidades menores de 9 m y ocasionalmente a más de 15 m (p.2).

En áreas más susceptibles es indispensable evaluar el riesgo de licuefacción y comprender estos factores, cuando se realizan estudios del suelo y al diseñar infraestructuras para garantizar la seguridad y estabilidad en áreas propensas a la licuefacción, los ingenieros y planificadores urbanos deben tener en cuenta estos aspectos.

Ensayos SPT (Standard Penetration Test)

El ensayo de penetración dinámica SPT permite cuantificar la resistencia a la penetración del terreno a partir del parámetro N30 o NSPT. Este ensayo se lleva a cabo en el interior de un sondeo, durante la ejecución de este. Permitiendo a su vez, obtener muestras alteradas del terreno sobre las que se pueden realizar ensayos de laboratorio (Laina, 2017, p.31).

El ensayo SPT es una herramienta para evaluar las propiedades del suelo, aunque presenta algunas limitaciones los datos que proporcionan son indispensables para el diseño y análisis de las cimentaciones, por lo que debe darse una correcta interpretación y aplicación de los resultados que arroje, para que puedan contribuir a la seguridad y eficiencia de los proyectos en construcción.

Ensayo CPT (Cone Penetration Test)

De acuerdo con Laina (2017) el ensayo de penetración estática consiste en “hincar en el suelo una punta cónica a presión y velocidad constante con el fin de medir el esfuerzo necesario a penetración, denominado qc. En los conos de tipo móvil, además se mide el rozamiento lateral local, denominado fs, mediante un manguito especial colocado encima de la base del cono” (p.71).

Este ensayo es indispensable para el diseño de cimentaciones y el análisis de la estabilidad del suelo, proporciona datos continuos y precisos sobre la resistencia del suelo, la fricción lateral y la presión del agua intersticial. El CPT es ampliamente utilizado debido a su rapidez, eficiencia y capacidad para proporcionar información detallada sobre el subsuelo, a pesar de algunas limitaciones.

Cimentaciones Profundas

Para el Código de Cimentaciones de Costa Rica (2001) las cimentaciones profundas son:

Un elemento columnar que transmite la carga de la estructura hacia estratos que se encuentran a determinada profundidad. Esta transferencia de la carga puede realizarse por fricción entre el fuste del pilote y el suelo que la rodea, en cuyo caso se cataloga al pilote como de fricción o flotante, o la carga puede transmitirse directamente a la punta, en cuyo caso se habla de un pilote de punta (p.74).

Las cimentaciones profundas garantizan la estabilidad y seguridad en las estructuras construidas, principalmente sobre suelos con baja capacidad de carga superficial, diseñando una adecuada investigación sobre

los suelos donde se va a construir y utilizando las técnicas de construcción avanzadas las cimentaciones profundas proporcionan una solución robusta para una amplia gama de desafíos en la ingeniería civil.

El Código de Cimentaciones de Costa Rica (2001), menciona que:

Las cimentaciones profundas consisten de pilares y pilotes. Las características básicas que los diferencian son el método constructivo y sus dimensiones. Las cimentaciones profundas se utilizan cuando los esfuerzos inducidos en el terreno por las cargas aplicadas son mayores de la capacidad de soporte de las capas superficiales o cuando los asentamientos potenciales de una cimentación exceden los valores permisibles para el tipo de estructura considerado (p.74).

Lo anterior destaca la importancia de las cimentaciones profundas en la ingeniería civil, destacando cómo su método constructivo y dimensiones permiten la construcción segura y estable de estructuras en una variedad de condiciones del suelo, asegurando la integridad estructural y minimizando los riesgos de asentamientos y fallas de cimentación.

Concepto de Pilotes

Con relación al tema el Código de Cimentaciones de Costa Rica (2001), indica que los pilotes son “elementos de madera, acero u hormigón para cuya intervención interviene, en la inmensa mayoría de los casos, una etapa de hincado a bases de golpes de un martillo” (p.75).

En la ingeniería civil los pilotes son indispensables ya que estos garantizan la estabilidad y la capacidad de carga de las estructuras que se construyen sobre suelos de baja capacidad. Estos brindan soluciones versátiles y efectivas para una amplia gama de aplicaciones geotécnicas, que van a asegurar la durabilidad de las edificaciones e infraestructuras por medio de una variedad de tipos y métodos de instalación.

2.5.2 Tipos de pilotes

De acuerdo al proceso constructivo así son el tipo de pilotes que se deben utilizar, a continuación se muestran los diferentes tipos de pilotes de acuerdo a las condiciones del suelo.

Pilotes Hincados

Para Chacón (2020) los pilotes hincados son:

Elementos estructurales prefabricados, los cuales mediante un proceso de hincado se logra atravesar el suelo para transmitir las cargas de una estructura a un estrato resistente. Este procedimiento se inicia con la caída libre de la masa que golpea el elemento estructural hasta alcanzar el rechazo del suelo y/o profundidad especificada según especificaciones técnicas. En este caso se supone que el pilote ha alcanzado una capacidad resistente tanto por fricción como por punta (p.15).

En proyectos de ingeniería civil, los pilotes hincados son una solución útil y versátil para la cimentación profunda. Los ideales para una amplia gama de aplicaciones, desde edificios altos hasta infraestructuras industriales y marinas, ya que pueden transferir grandes cargas a capas profundas de suelo o roca.

Pilotes excavados

Con relación a este tipo de pilote Chacón (2020) menciona que:

Los pilotes excavados son elementos que debido a su proceso constructivo se les conoce como elementos in situ. Este método constructivo consiste en realizar una excavación de gran diámetro, colocar una armadura y posterior vaciado de concreto de alta resistencia y de fluidez en un rango de 7 pulgadas a 8.5 pulgadas. Para llevar a cabo los procedimientos constructivos de perforación de pilotes excavados es necesario mencionar la perforadora y sus accesorios (p.16).

En las cimentaciones profundas los pilotes excavados son una opción útil especialmente cuando los métodos de hincado no son adecuados debido a problemas de vibración, ruido o tipo de suelo. Estos pilotes ofrecen una solución robusta y adaptable para una amplia gama de proyectos de construcción a través de técnicas como la barrena continua y la perforación convencional.

Micropilotes

Son aquellos elementos de sección circular y diámetro de hasta 0.30 m, los cuales nos permiten transferir las cargas de la estructura a grandes profundidades. Los micropilotes son 14 diseñados para resistir fuerzas de compresión de entre magnitudes de 5 toneladas hasta 50 toneladas (Chacón, 2020, p.19).

Los micropilotes funcionan bien para cimentaciones profundas, especialmente en condiciones de espacio limitado y suelos difíciles. Su capacidad para ser inyectados con lechada de cemento mejora la capacidad de carga y la estabilidad del suelo circundante, lo que los hace una opción útil para una variedad de aplicaciones en la ingeniería civil, incluido el refuerzo de cimentaciones existentes, la estabilización de taludes y la construcción en áreas urbanas densamente pobladas.

de la Capacidad de Soporte de los pilotes

Existen varios métodos para calcular la capacidad de soporte de los pilotes, entre ellos se pueden mencionar:

Calculo estático

El Código de Cimentaciones de Costa Rica (2001) indica que:

La capacidad de carga última de un pilote (Q_{ult}), es la suma de la fricción generada entre el fuste y el suelo que le rodea ($Q_{fricción}$) y la carga resistida en

la base o punta (Q_{punta}). En forma de ecuación esto es: $Q_{ult} = Q_{fricción} + Q_{punta}$. La capacidad admisible del pilote podrá ser obtenida mediante la metodología de resistencia última o esfuerzos de trabajo (p.79).

Es importante mencionar que el cálculo estático de la capacidad soportante de los pilotes es fundamental en el diseño de cimientos profundos, por lo que es necesario utilizar los métodos adecuados para suelos arcillosos y arenosos, con el fin de asegurar que los pilotes puedan proporcionar el soporte, estabilidad y seguridad de las estructuras.

Correlaciones

Existen distintas correlaciones para calcular la capacidad de carga de un pilote. Estas tienen grandes limitaciones y deben ser usadas con sumo cuidado. Estas correlaciones son particularmente adecuadas cuando se han desarrollado y basadas en la experiencia local. Sirven principalmente para estimaciones preliminares (Código de Cimentaciones de Costa Rica, 2001, p.84).

Las correlaciones en el cálculo de la capacidad soportante de pilotes ofrecen una forma práctica y efectiva de estimar parámetros importantes del suelo utilizando resultados de ensayos de campo y laboratorio. Estas correlaciones permiten una aproximación razonable de la capacidad de carga de pilotes en diferentes tipos de suelos, lo que garantiza la seguridad y estabilidad de las estructuras soportadas.

Prueba de carga

Una prueba de carga se ejecuta, por lo general, con el objetivo de verificar un diseño particular. En otros casos se ejecuta para establecer parámetros de diseño más realistas que permitan una mejor utilización de la fundación y un ahorro potencial en el sistema de fundación (Código de Cimentaciones de Costa Rica, 2001, p.84).

Por otra parte las pruebas de carga en pilotes van a permitir verificar la capacidad soportante de las cargas de pilotes utilizando cimentaciones profundas. Estas pruebas brindan datos empíricos que pueden confirmar o ajustar los cálculos teóricos, garantizando así la seguridad y estabilidad de las estructuras soportadas por estos elementos.

Métodos dinámicos

En cuanto a este método el Código de Cimentaciones de Costa Rica (2001) menciona que “la capacidad de carga última de un pilote puede ser estimada basándose en la resistencia a la penetración del usando las conocidas formulas dinámicas de hincá” (p.85).

Dentro de los métodos dinámicos para el cálculo soportante de pilotes se encuentran la prueba de carga dinámica, la prueba de integridad de pilotes, entre otros que son herramientas indispensables en la

ingeniería para realizar cimentaciones profundas.

Mejoramiento del Suelo

El mejoramiento del suelo es una técnica de la ingeniería que va a permitir mejorar las propiedades del suelo con el fin de que este pueda soportar las estructuras de una manera segura, por lo que el método correcto depende del tipo de suelo, la estructura que se va a realizar y los objetivos del proyecto.

Para Reyes (2020) este mejoramiento del suelo puede entenderse como.

Las soluciones intermedias que se fundamentan en la modificación de parámetros iniciales del suelo con la finalidad de mejorarlos para que posteriormente pueda sobrellevar de manera más eficiente, rápida, fácil y económica las cargas y/o solicitaciones transmitidas por la estructura en comparación a una cimentación profunda (p.36).

Para lograr este mejoramiento se utilizan una serie de tratamientos que actualmente son utilizados:

Vibro compactación

Para Reyes (2020) esta técnica consiste en “la introducción de un equipo vibrador al terreno a una profundidad deseada de manera que el terreno circundante se densifique por efecto de la transmisión de energía vibratoria y desplazamiento del terreno” (p.39).

Una parte del proceso de aplicación del vibrador es crear un hueco en forma anular como resultado de la reducción del volumen. Luego, se rellena con arena limpia u otro material de banco. Para completar el proceso, se nivela el área y se puede densificar con un compactador de superficie.

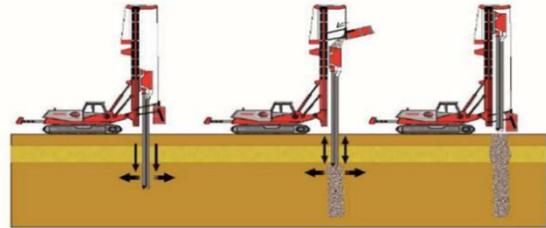
Columnas de grava

Según Reyes (2020) este método:

Consiste en una malla de inclusiones granulares de alta capacidad drenante y mecánica a través de la penetración en el terreno de un vibrador, con separaciones de 1.5 a 3.5 m. Por lo general estos elementos tienen un diámetro que varía entre 0.6 y 0.8m (Universidad de Navarra, 2003). Estas inclusiones constituyen un método de mejora en suelos arenosos blandos mediante la rigidización ocasionada por la inclusión de las columnas en los orificios creados por el vibrador (p.40).

Este método beneficia significativamente la capacidad de carga, reducen los asentamientos y reducen la licuación. Su uso en proyectos de cimentaciones profundas y suelos problemáticos garantiza la estabilidad y seguridad de las estructuras, lo que lo convierte en una opción útil en la ingeniería geotécnica contemporánea.

Figura 13. Columnas de Grava



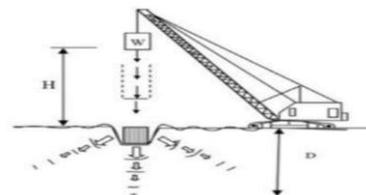
Nota: Procedimiento de instalación de columnas de grava. Fuente: Reyes, 2020, p.43.

Compactación dinámica

De acuerdo a Reyes (2020) este es un método que “a través de impactos de gran intensidad en la superficie ha sido utilizado a lo largo de los años en suelos granulares sueltos, y también en suelos de finos (limosos y arcillosos). A través de estos impactos se produce la densificación y/o compactación del suelo como consecuencia del reacomodo de partículas y reducción de porosidad” (p.43).

La compactación dinámica es una técnica útil y versátil para mejorar el suelo. Este método es prioritario cuando se trabaja en suelos granulares y rellenos heterogéneos. Esto debido a que ofrece beneficios significativos en términos de aumento de la capacidad de carga, reducción de asentamientos y mejora de la estabilidad del suelo.

Figura 14. Compactación



Nota: Ejecución de la metodología de compactación. Fuente: Reyes, 2020, p.45.

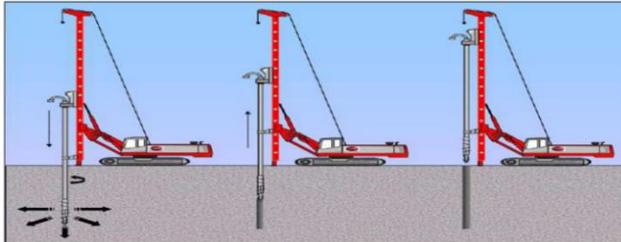
Columnas de mortero

Este método es definido por Reyes (2020) como “una alternativa constructiva ante la presencia de terrenos sueltos y altamente deformables, además de una baja capacidad portante, riesgo de rotura y asentamientos no son compatibles con la estructura analizada” (p.46).

Esta técnica mejora la capacidad de carga del suelo además de su estabilidad, esta es indispensable

para suelos blandos y cohesivos, así como en proyectos que requieren un refuerzo del terreno, se debe además tener en cuenta las limitaciones y planificación de este procesos para garantizar los mejores resultados.

Figura 15. Columna de mortero



Nota: Esquema de instalación de columnas de mortero. Fuente: Reyes, 2020, p.45.

Aplicaciones Móviles

Cuando se piensa en el desarrollar de una aplicación móvil, se considera primero que esta sea de alta calidad, esto debido a que es una de las principales característica que las personas usuarias suelen considerar importantes para su aceptación, también, debe ser una aplicación fácil de usar pero que a su vez proporcione los objetivos que se buscan.

El desarrollo de aplicaciones móviles es un campo dinámico y en constante evolución, impulsado por la creciente demanda de aplicaciones innovadoras y eficientes. La comprensión de las plataformas, el proceso de desarrollo, las herramientas y las tendencias actuales es crucial para crear aplicaciones exitosas que satisfagan las necesidades de las personas usuarias.

Respecto al tema Bohórquez (2017) menciona que las aplicaciones móviles son:

También llamadas Apps, existen desde hace tiempo y en cantidad considerable en el mercado de las tecnologías, se encuentran las más sencillas como, por ejemplo, alarmas o calendarios, hasta las de uso específico e información personalizada como gestión de cuentas bancarias o académicas (p.57).

La cita anterior resalta la evolución y la variedad de las aplicaciones móviles, se enfatiza su relevancia y presencia en el mundo moderno. Las aplicaciones móviles no solo han cambiado la forma en que se interactúa con la tecnología, sino que además se ha aumentado significativamente las capacidades y servicios disponibles para las personas usuarias.

Algunas de las principales características que presentan las aplicaciones móviles según Bohórquez (2017) son:

1. Consulta de información en cualquier momento y lugar.
2. Utilidad para diversas actividades: ocio, académicas.
3. Interacción con otras aplicaciones que estén

instaladas en el teléfono móvil, lo que ofrece un servicio más completo, por ejemplo, Google maps y la ubicación de lugares, reseñas.

4. Interacción en tiempo real con servicios y personas (redes sociales, servicios bancarios.).
5. Integración de servicios y funcionalidades (p.57).

Las aplicaciones móviles son una herramienta esencial para diversas profesiones y con fines educativos, estas permiten mejorar la accesibilidad, la eficiencia y la calidad de vida moderna, su impacto es profundo y facilita las tareas cotidianas hasta lograr una transformación.

Sistemas Operativos

Los sistemas operativos son la columna vertebral de cualquier dispositivo, estos administran los recursos y facilitan la interacción entre el usuario y el hardware. Para elegir un sistema operativo es importante primeramente tomar en cuenta los dispositivos, las aplicaciones y las necesidades de cada usuario.

Dentro de los principales sistemas operativos se pueden encontrar: **iOS**

Según Bohórquez (2017) estos incluyen:

Incluye en los dispositivos Apple (iPhone, iPod y iPad). Está basado en la arquitectura de MAC OS X. En el nivel más alto, iOS actúa como un intermediario entre el hardware y las aplicaciones que aparecen en pantalla. Su arquitectura está basada en capas, las capas más bajas contienen los servicios fundamentales y las tecnologías en las que se apoyan todas las aplicaciones y las capas más altas contienen servicios y tecnologías más sofisticados (p.60).

Android

De acuerdo a Bohórquez (2017) este se basado en:

Linux, se trata de una plataforma de código abierto. En principio, se diseñó para dispositivos móviles y utiliza una adaptación del lenguaje de programación Java. El primer teléfono con Android apareció en el año 2007, en el teléfono G1 de Google desarrollado en colaboración con T-Mobile (p.61).

MIT APP Inventor

La Guía de iniciación a APP INVENTOR (2015) menciona que esta es una App Inventor parte de una idea conjunta del Instituto Tecnológico de Massachusetts y de un equipo de Google Education. Se trata de una herramienta web de desarrollo para iniciarse en el mundo de la programación. Con él pueden hacerse aplicaciones muy simples, y también muy elaboradas, que se ejecutarán en los dispositivos móviles con sistema operativo Android.

Para utilizar este método, se requiere una computadora (PC) con conexión a internet, una cuenta de Google y, como recomendación, un navegador web como Chrome o Firefox.

Como crear una app en Inventor

De acuerdo con Rodríguez (2022) se deben seguir los siguientes pasos:

Opción a): Debes Instalar la app AI2 Companion en el móvil o Tablet Android, búscala en el Play Store. Esta aplicación permite probar la app mientras que la estamos creando, viendo los cambios instantáneamente.

Figura 16. Instalación de la App

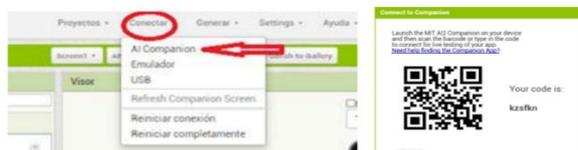


Nota: Pantalla de inicio para instalar la app de MIT. Fuente: Rodríguez, 2022, p.7.

Seguidamente, en app Inventor debemos seleccionar AI Companion dentro de la opción Conectar del menú superior. Al seleccionar AI Companion debe aparecer en la pantalla un código QR para escanear y un código de texto.

A continuación debemos abrir la aplicación AI2 Companion en el teléfono o Tablet. Con el teléfono o Tablet escaneamos el código o escribiremos el código de texto que nos ha salido y pulsamos “connect with code”. Opción b) Esta opción permite descargar la aplicación creada en el ordenador como un fichero con extensión .apk. Hay dos posibilidades, descargarla directamente al teléfono desde un código QR o bien descargarla al ordenador. La segunda posibilidad permite compartirla y usarla en más dispositivos, enviando el fichero con extensión .apk por correo electrónico o dejándola en un repositorio como drive de google.

Figura 17. Extensión de la App



Nota: QR para ingresar a la app de MIT. Fuente: Rodríguez, 2022, p.7.

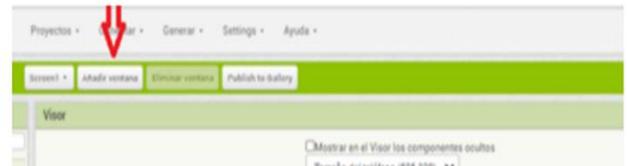
En ambos casos, para que pueda instalarse una aplicación con extensión .apk en un teléfono móvil o Tablet sin usar el Play Store, hay que cambiar en los ajustes o configuración unos parámetros que dependerán

de la marca y modelo del dispositivo

Una vez probada, La siguiente tarea será crear la segunda pantalla que queremos que se abra cuando pulsemos el botón de vídeo o web.

Para ello, pulsaremos Añadir Ventana, arriba a la izquierda. Le daremos nombre a la nueva pantalla, yo la llamaré “Ventana Video”

Figura 18. Creación de la segunda ventana



Nota: Opciones para crear la siguiente ventana. Fuente: Rodríguez, 2022, p.7.

DISCUSIÓN Y RESULTADOS

El desarrollo e implementación de la aplicación móvil Geopilotes ofrece una solución innovadora y accesible para calcular la capacidad soportante de pilotes en cimentaciones profundas de arena y arcilla.

La utilización de fórmulas basadas en el Código de Cimentaciones de Costa Rica y la programación en MIT App Inventor permiten que esta herramienta esté orientada tanto para el aprendizaje como para la práctica profesional de la ingeniería civil. La facilidad en su descarga, compatibilidad multiplataforma (Android e iOS hasta la versión 13) y el bajo peso de la app hacen que sea accesible para un amplio espectro de usuarios.

Durante el proceso de validación, se realizaron diversas pruebas funcionales, incluyendo la verificación de la interfaz, el ingreso de datos, el cálculo automático y la comparación de resultados con el software Mathcad. Estas acciones confirmaron la precisión de los resultados generados por la aplicación, alineándose con los procedimientos matemáticos establecidos en la normativa local, lo que brindó confianza en la fiabilidad de la herramienta desarrollada para contextos educativos y profesionales.

En la primera prueba práctica, se observó que la capacidad total de carga obtenida por la aplicación refleja una influencia mayor de la fricción lateral frente a la resistencia en la punta del pilote.

Este hallazgo es relevante, ya que destaca la importancia de considerar el comportamiento del suelo en diferentes estratos y profundidades, lo cual puede impactar directamente en los enfoques de diseño y dimensionamiento de cimentaciones profundas. Los resultados de la segunda prueba demuestran que la aplicación no solo es efectiva en la obtención de la capacidad admisible del grupo de pilotes, sino que también permite evaluar la eficiencia grupal. Esto es crucial para garantizar la seguridad estructural, prevenir fallas y optimizar los diseños. Además, se resalta el valor

pedagógico de la herramienta, ya que facilita que estudiantes experimenten con casos prácticos y comprendan el proceso de diseño en condiciones realistas, fortaleciendo competencias para su desempeño profesional futuro.

CONSIDERACIONES FINALES

Es esencial realizar cálculos exactos de la capacidad de soporte de pilotes en cimentaciones profundas para asegurar la seguridad y estabilidad de las estructuras. Un diseño correcto previene averías debido a asentamientos excesivos o desplome de la base, disminuyendo riesgos tanto en construcciones como en infraestructuras vitales.

La capacidad para soportar pilotes depende de las propiedades del terreno, siendo especialmente significativa en suelos de arcilla. Aunque en terrenos arenosos la resistencia se basa en la fricción lateral, en terrenos arcillosos la cohesión del material tiene un impacto. Entender estas diferencias facilita la elección del tipo de pilote y método de instalación más apropiados para cada situación.

Los cálculos manuales de la capacidad de carga de pilotes requieren la aplicación de fórmulas complejas, coeficientes de corrección y diversas variables. Por lo que una aplicación automatiza de estos cálculos, puede minimizar las equivocaciones humanas y garantizar resultados más exactos y fiables. Se concluye, además, que una valoración minuciosa de la capacidad de carga facilita la optimización de la cantidad, clase y ubicación de los pilotes, lo que favorece un aprovechamiento eficaz de los materiales y la disminución de gastos en proyectos de edificación.

Esto es fundamental para optimizar la relación entre costo y beneficio en la elaboración de cimientos profundos. El uso de una aplicación académica móvil para calcular la capacidad de soportar pilotes en cimientos profundos en terrenos de arcilla facilita la obtención de resultados exactos y fiables.

La automatización de cálculos complejos disminuye la posibilidad de equivocaciones manuales, garantizando que las construcciones proyectadas satisfagan los estándares de seguridad y estabilidad. La creación de esta aplicación es una valiosa para medir la capacidad de soporte de pilotes y contribuye a mejorar el diseño estructural de cimentaciones profundas. En esta situación, los cálculos muestran una eficacia elevada en la distribución de carga y un diseño seguro con un margen significativo de resistencia. Si se necesita una mejora, se podría contemplar la disminución del número de pilotes o la modificación del factor de seguridad.

Para las personas estudiantes de ingeniería civil, una aplicación como estas es un instrumento de enseñanza interactivo. Permite entender las nociones de capacidad de carga, fricción lateral, eficiencia grupal y factor de seguridad, posibilitando la experimentación

con diversos parámetros y la visualización de los impactos en los cálculos.

Además, se concluye que la disponibilidad de una herramienta digital ofrece a las personas estudiantes la oportunidad de practicar y experimentar con cálculos en cualquier instante y sitio, esto va a hacer que se fomente un aprendizaje más activo e independiente, promoviendo la autoevaluación y el fortalecimiento de habilidades esenciales para el desempeño profesional.

REFERENCIAS CITADAS Y CONSULTADAS

- Álvarez, A, Guzmán, E, Higuera, J y López, J. (2021). Metodología de la Investigación. Elementos para elaborar un proyecto de investigación. https://www.researchgate.net/publication/379197457_Descripcion_de_poblacion_muestra_y_muestreo/link/667b36351846ca33b8519fd3/download?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19
- Barbachán, E. (2021). Investigación Tecnológica Y Protocolo De Desarrollo. Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle. <https://revistaseiddec.com/index.php/ITEES/articledownload/61/59>
- Babativa, C. (2017). Investigación cuantitativa. Fundación Universitaria del Área Andina. <https://core.ac.uk/download/pdf/326424046.pdf>
- Bohórquez, B. (2017). Propuesta Metodológica De Una Aplicación Móvil Para La Gestión De La Investigación: Uso En Diferentes Niveles De Agregación. [Tesis de grado. Pontificia Universidad JAVERIANA]. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/36188/1.pdf?sequence=4>
- Chacón, D. (2020). Diseño Geotécnico De Cuatro Obras Asociadas A: Cimentaciones Profundas Hincadas, Pantallas De Tablestacas Ancladas, Micro Túneles Y Respuesta Dinámica De Rellenos De Reclamación. [Tesis en licenciatura. Universidad de Costa Rica]. Kérvá. https://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/82344/TFIA_A81649_Danny%20Chacon%20R.pdf?sequence=1
- Canales, C. (2018). Evaluación de la estabilidad estructural de las cimentaciones superficiales aplicando la metodología de pilotes prefabricados en el Jr. Tacna N°920 distrito de Puquio-Ayacucho. 2018. [Tesis en licenciatura.

- Universidad Cesar Vallejo]. UCV.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/31013>
- Cepeda, D. (2020). Análisis comparativo de cimentación profunda de un centro comercial con pilotes excavados y micropilotes. [Tesis en licenciatura. Pontificia Universidad Católica Del Perú]. PUCP.
https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/16596/C%20C3%89PEDA_ALCAZAR_DIEGO_ANALISIS%20COMPARATIVO_CIMENTACION.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Cevallos, L. (2021). Correlación entre el CBR, DCP y las propiedades índice y mecánicas de los suelos de las parroquias: Chiquicha, el Rosario, Salasaca, García Moreno y Benítez Del Cantón Pelileo, Provincia De Tungurahua. [Tesis en licenciatura. Universidad Técnica de Ambato]. UTA.
<https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/33524>
- Código de Cimentaciones de Costa Rica. (2001). Asociación Costarricense de Geotecnia.
<https://toaz.info/doc-view-3>
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos. (1996). Código Cimentaciones Costa Rica. La Gaceta.
<https://pjenlinea3.poder-judicial.go.cr/biblioteca/uploads/Archivos/Articulo/CODIGO%20DE%20CIMENTACIONES%20DE%20CR232.pdf>
- Condori, P. (2020). Universo, población y muestra. Curso Taller.
<https://www.aacademica.org/cporfirio/18.pdf>
- Díaz, R. (2020). Métodos Cualitativos Para La Obtención De La Información. [Seminario de Investigación. Universidad Salazar Virtual].
[https://salazarvirtual.sistemaeducativosalazar.mx/assets/5e7b851534030/tareas/7981595fd700b9ba6c6cd74a43a109e0Actividad%203_U2%20D%C3%ADaz_Alegr%C3%ADa_Rusbe1%20F%C3%A9lix%20\(1\).pdf](https://salazarvirtual.sistemaeducativosalazar.mx/assets/5e7b851534030/tareas/7981595fd700b9ba6c6cd74a43a109e0Actividad%203_U2%20D%C3%ADaz_Alegr%C3%ADa_Rusbe1%20F%C3%A9lix%20(1).pdf)
- Guía de iniciación a APP INVENTOR. (2015). App Inventor.
<https://codeweek.eu/docs/spain/guia-iniciacion-app-inventor.pdf>
- Haro, P. (2018). Desarrollo e Implementación de una aplicación móvil para el servicio de pedidos de la empresa “CONFECCIONES ADONAI” desarrollada en App inventor en el periodo 2018. [Tesis de grado. Instituto Tecnológico Superior Particular San Gabriel].
<https://sanguabrielriobamba.edu.ec/tesis/sistem>
<as/tesis015.pdf>
- Juárez, E. (2024). Cimentaciones Profundas. SCRIBD.
<https://es.scribd.com/presentation/609587324/CIMENTACIONES-CIMENTACIONES-PROFUNDAS>
- Laina, C. (2017). Evaluación De La Susceptibilidad De Los Suelos A Licuefacción. [Tesis en máster. UNED].
https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Laina/publication/327014264_EVALUACION_DE_LA_SUSCEPTIBILIDAD_DE_LOS_SU_ELOS_A_LICUEFACCION/links/5b72c21992851ca6505d1c1f/EVALUACION-DE-LA-SUSCEPTIBILIDAD-DE-LOS-SUELOS-A-LICUEFACCION.pdf
- Landero, D. (2021). Investigación Experimental y No Experimental. Instituto de Estudios Superiores de Chiapas Universidad Salazar.
<https://salazarvirtual.sistemaeducativosalazar.mx/assets/6102aa6750ff4/tareas/9252cbda265c7f789a59cbc8557cc217investigacion%20experiemntal.pdf>
- Montaño, M, Navarro, C, Patricio, C, Chimal, E y de la Cruz, J. (2018). El suelo y su multifuncionalidad: ¿qué ocurre ahí abajo? Revista Científica. Vol. 25, núm. 3, pp.1-18.
<https://www.redalyc.org/journal/104/10455646009/10455646009.pdf>
- Palacios, S, Lara, G y Perucca, L. (2021). Susceptibilidad a la licuación de suelos y sedimentos en el valle Ullum-Zonda (31°30' S-68°25' O), Precordillera, Andes Centrales, Argentina. Andean Geology 48 (2): 333-349.
<https://www.scielo.cl/pdf/andgeol/v48n2/0718-7106-andgeol-48-02-0333.pdf>
- Pascal, A. (2020). Análisis del fenómeno de licuefacción en suelos y sus implicaciones sanitarias. Revista de Investigaciones. Volumen 15 Número 1, pp. 125-131.
https://www.researchgate.net/publication/340800491_Analisis_del_fenomeno_de_licuefaccion_en_suelos_y_sus_implicaciones_sanitarias
- Reyes, A. (2020). Mejoramiento De Suelos Granulares Mediante El Uso De Columnas De Grava. [Tesis en licenciatura. Pontificia Universidad Católica del Perú]. PUCP.
<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/17367>
- Rodríguez, M. (2022). Tutorial creación fácil de apps para Android con APP INVENTOR. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática Universidad de Granada.

<https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/76901/Tutorial%20creaci%C3%B3n%20de%20apps%20para%20Android%20con%20APP%20INVENTOR.pdf?sequence=1>

- Silva, B. (2019). Evaluación Del Potencial De Licuefacción De Suelos En Las Zonas Costeras Del Centro Poblado Lagunas Y Centro Poblado Cherrepe, Distrito Lagunas, Provincia De Chiclayo, 2017. [Tesis en licenciatura. Universidad Católica Santo Toribio De Mogrovejo]. USAT. <https://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/2466>
- Universidad de Guanajuato. (2022). Tipos, Alcances y Diseños De Investigación. Maestría en Docencia Universitaria para la Educación Digital. <https://blogs.ugto.mx/mdued/lectura-tipos-alcances-y-disenos-de-investigacion/>
- Useche, M, Artigas, W, Queipo, B y Perozo, E. (2019). Técnicas e instrumentos de recolección de datos cuali-cuantitativos. Universidad de La Guajira. <https://repositoryinst.uniguajira.edu.co/bitstream/handle/uniguajira/467/88.%20Tecnicas%20e%20instrumentos%20recolecci%C3%B3n%20de%20datos.pdf?sequence=1>
- Zapata, R. (2018). Geología y Geotecnia. Tipos De Suelos: Caracterización De Suelos Arcillosos Y Limosos. [Tesis en licenciatura. Universidad Nacional de Rosario]. UNR. <https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/TIPOS%20DE%20SUELO.pdf>