

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v5i1.1610>

## Desarrollo de aplicación móvil para cálculo de asentamientos por consolidación primaria en suelos cohesivos en Costa Rica

Development of a mobile application to calculate settlements due to primary consolidation in cohesive soils in Costa Rica

**Alexander Molina Villalobos**

Alexander.molinav@ufide.ac.cr  
<https://orcid.org/0000-0002-8118-8855>  
Universidad Fidelitas  
San José – Costa Rica

**Edgar Abarca Chinchilla**

eabarca50874@ufide.ac.cr  
<https://orcid.org/0009-0007-1984-8246>  
San José – Costa Rica

**Nohelia Segura Alfaro**

gsegura80024@ufide.ac.cr  
<https://orcid.org/0009-0004-4261-012x>  
San José – Costa Rica

Artículo recibido: 04 de enero de 2024. Aceptado para publicación: 20 de enero de 2024.  
Conflictos de Interés: Ninguno que declarar.

### Resumen

El uso de aplicaciones móviles se ha constituido como un elemento muy importante al hacer más fácil el procedimiento de múltiples tareas, debido a que estas proporcionan variedad de opciones similares a las de una computadora, lo que permite que esta llegue a ser considerada una gran herramienta para muchos profesionales dentro de los ámbitos profesionales. Es con base en esto que se desarrolla la idea de implementar una aplicación móvil que permita realizar cálculos de asentamientos de consolidación primaria en los suelos cohesivos, siendo esta aplicación, de fácil manejo y acceso para los profesionales, lo cual significa un gran apoyo para estos, en su área de trabajo, facilitando la ejecución de sus labores y aprendizajes, proporcionales un ahorro en cuestión de tiempo en los procesos de cálculo. Como parte de la metodología, se revisa la teoría de consolidación unidimensional desarrollada por Terzaghi, debido a que, a partir de ciertos parámetros presentes en ésta, se permite realizar los cálculos de asentamientos de consolidación primaria. Para el desarrollo de la aplicación móvil, esta se implementará por medio de software gratuito, el cual se encuentra disponible en la red, y el cual a su vez hace posible la creación e implementación de aplicaciones disponibles para el celular que permitan el trabajo mediante esta aplicación de diversos proyectos.


*Palabras clave:* asentamientos, consolidación, suelos, cohesivos, deformación, aplicaciones móviles

### Abstract

The use of mobile applications has become a very important element by making the procedure of multiple tasks easier, because they provide a variety of options similar to those of a computer, which allows it to be considered a great tool for many professionals within the professional fields. It is based

on this that the idea of implementing a mobile application that allows calculations of primary consolidation settlements in cohesive soils is developed, this application being easy to use and access for professionals, which means great support for these, in their work area, facilitating the execution of their work and learning, proportional savings in a matter of time in the calculation processes. As part of the methodology, the theory of one-dimensional consolidation developed by Terzaghi is reviewed, because from certain parameters present in it, it is allowed to perform the calculations of primary consolidation settlements. For the development of the mobile application, it will be implemented through free software, which is available on the network, and which in turn makes possible the creation and implementation of applications available for the cell phone that allow the work through this application of various projects.

*Keywords:* settlements, consolidation, soils, cohesive, deformation, mobile applications

Todo el contenido de LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, publicados en este sitio está disponibles bajo Licencia Creative Commons 

Cómo citar: Molina Villalobos, A., Abarca Chinchilla, E., & Segura Alfaro, N. (2024). Desarrollo de la aplicación móvil para cálculo de asentamientos por consolidación primaria en suelos cohesivos en Costa Rica. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades* 5 (1), 564 – 573. <https://doi.org/10.56712/latam.v5i1.1610>

## **INTRODUCCIÓN**

El estudio de asentamientos en suelos es de vital importancia en los procesos de diseño de estructuras, por cuestiones tanto de apariencia, funcionalidad y daño estructural sobre las edificaciones. Sin embargo, tiene la misma relevancia el identificar y conocer cómo podrían mejorarse estos estudios, y acrecentar la factibilidad del análisis mediante el uso de aplicaciones móviles que permitan dar cálculo a estos asentamientos por consolidación primaria.

La finalidad del presente artículo, enfatiza en identificar las principales características de la consolidación y asentamientos en suelos cohesivos, además de conocer cómo por medio de la implementación de una aplicación móvil se puede lograr calcular los asentamientos por consolidación primaria. Uno de los principales problemas geotécnicos, es el fenómeno de asentamientos, los cuales se dificultan su estudio por una serie de variables que se deben de considerar, especialmente por el hecho de que las modificaciones que se realicen en un factor pueden determinar al resto de manera impredecible. Con base en esto es que el análisis de un nuevo mecanismo que pueda incluirse en el estudio de los asentamientos, permite que el profesional mediante la experimentación obtenga alternativas viables que faciliten las mediciones y el predecir los comportamientos del suelo.

La presencia de las primeras aplicaciones móviles se dio alrededor de los años 90's, las cuales comenzaron a presentar un gran alcance y aceptación por parte de la población, considerando que estas eran factibles y atribuibles a las diversas tareas de la humanidad. Con el paso del tiempo y con el desarrollo de propuestas más innovadoras, la tecnología ha ido avanzando cada vez más alrededor del mundo, haciendo muchísimo más sencillo y oportuno gran cantidad de labores por parte de los profesionales. Ante lo cual es factible que dentro del desarrollo de análisis de asentamientos por consolidación primaria, la inclusión de tecnologías móviles venga a representar una clara mejora para el ser humano y en base a esta se puedan considerar modificaciones que permitan mejorar significativa su estudio por parte tanto de estudiantes en la materia como por parte de profesionales como tal. cita

### **Definición de suelos**

Con base en lo que menciona Macías et al. (2018), se puede considerar la definición de suelos, expresando que:

El suelo corresponde a una sustancia que es utilizada en la construcción y se considera la más antigua en términos de uso. Por su parte en términos de ingeniería es el material de mayor dificultad, considerando que su estudio, su comprensión, el análisis y el diseño de este requieren de diversas fases de investigación que les permita la identificación de las distintas características físicas y mecánicas que se requieren para su identificación. (p.20)

El suelo como tal se encuentra expuesto a diversos elementos, se compone de materia orgánica, minerales y otros componentes formados como parte del resultado de la meteorización. En estudios geotécnicos, el suelo corresponde a uno de los parámetros de mayor estudio, considerándolo especialmente para estructuras en contacto con el agua, es claro que esta propiedad es ampliamente influenciada por la distribución de poros y las distintas características de las partículas del suelo. cita

Para Fathi-Moghaddam, Tavakol-Sadrabadi y Tajbakhsh, (2020), con respecto a la definición de suelo, estos autores explican que "El suelo es característico por su densidad y textura, a la vez por este encontrarse diferentes tamaños de partículas, que pueden ser clasificadas por medio de la granulometría". (párr.3)

### **Suelos cohesivos**

Los suelos cohesivos contienen una gran cantidad de pequeñas partículas y de arcilla, lo que provoca que el suelo se apegue a sí mismo. Es claro que entre más cantidad de arcilla posea este suelo, más cohesivo será, y por ende las posibilidades de que se presente un derrumbe son muy bajas. Por otra parte, su resistencia al corte es muy sensible a los contenidos de humedad, por lo que es necesario conocerlos y cuantificarlos con precisión para evitar cualquier tipo de situaciones propias de sus características. cita

### **Clasificación de suelos cohesivos**

De acuerdo con Grupo Grasa (2021), con respecto a la clasificación de los suelos cohesivos, puede tenerse en cuenta que existen dos tipos de suelos cohesivos:

**Suelo de tipo A:** Este tipo de suelo suele ser mayormente arcilloso y, por ende, compacto, así que presenta una elevada fuerza de compresión y mayor estabilidad, sin grietas, lo que permite que sea óptimo para realizar excavaciones sin riesgos de desprendimientos.

**Suelo de tipo B:** Es un tipo suelo cohesivo, pero con limo o grava, por lo que tiene una fuerza de compresión intermedia y sí que se pueden encontrar fisuras. (párr.1)

### **Características de deformación de los suelos cohesivos**

De acuerdo con Código de Cimentaciones de Costa Rica (2009), "las deformaciones del suelo provienen de la variación del volumen o de la forma, causadas por los cambios en las condiciones de esfuerzos" (p.32). Tales deformaciones pueden ocasionar asentamientos o levantamientos (cuando el material de la fundación es de características expansivas o bien cuando sufre una descarga debido a una excavación).

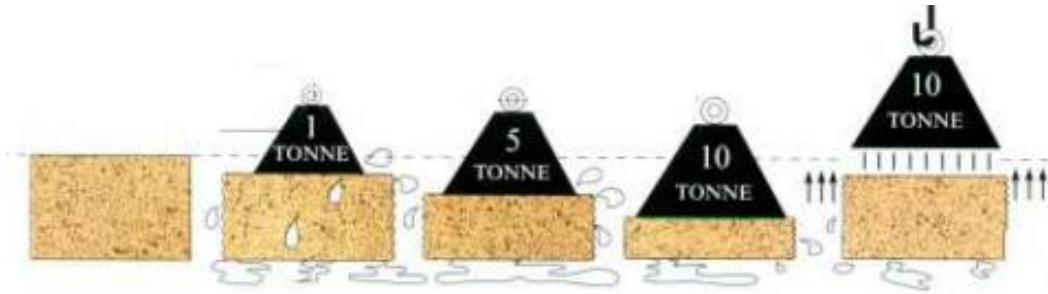
### **Consolidación de suelos**

Cuando un extracto de suelo blando saturado es sometido a un incremento de tensiones totales como parte del resultado de la carga que es aplicada por la construcción de un edificio o un terraplén, suele generarse un exceso de presión del agua en los poros. Esto como parte a que el agua no puede resistir tensiones de corte, el exceso de presión de poros es disipado mediante un flujo de agua hacia el exterior del estrato saturado si la geología permite tal posibilidad de drenaje, es decir, la presencia de estratos permeables ya sea sobre o subyacente o ambos, al estrato blando. La velocidad a la cual se genera este proceso de compresión que involucra la disipación en el tiempo del exceso de presión de poros sobre el flujo de agua que surge hacia el exterior de un estrato saturado blando es considerado consolidación. (Juárez, 2018)



**Figura 1**

*Proceso de consolidación*



**Fuente:** Poliotti y Sierra (s.f.).

En síntesis, la consolidación del suelo hace referencia al proceso en el que el volumen de un suelo saturado, disminuye relacionado a la tensión aplicada, este término fue acuñado por Karl-von Terzaghi, identificado como “el padre de la Mecánica del suelo y la ingeniería geotécnica”

### **Consecuencias de la consolidación de suelos**

Según Angeleone (2019), como parte de las consecuencias de la consolidación de suelos, se pueden considerar:

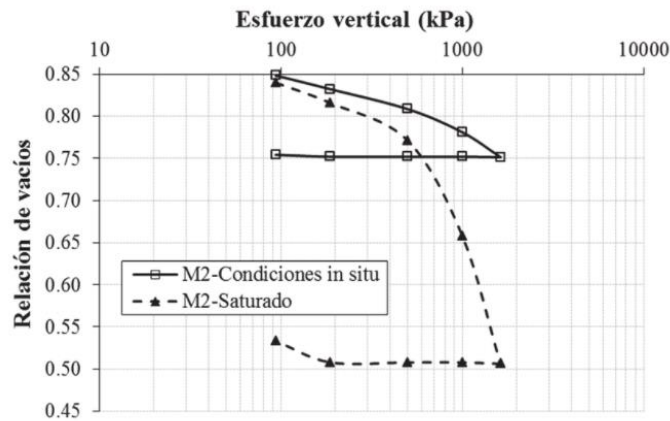
- El incremento del esfuerzo efectivo.
- La reducción del volumen de vacíos.
- La reducción del volumen total.
- Los asentamientos en el terreno.
- Los asentamientos en la estructura.

### **Teoría de la Consolidación de Terzaghi**

De acuerdo a lo que expresa Angeleone (2019), sobre esta teoría, este autor considera que, cuando se aplica una carga en el suelo que presenta baja permeabilidad, de forma inicial esta es transportada por el agua que ya existe en el poroso de un suelo que se encuentra saturado, lo que le puede resultar en un rápido incremento de la presión de agua de los poros. Es claro que este exceso de presión de líquido se disipa conforme el agua se drena de los huecos del suelo y la presión es transferida al esqueleto del suelo, que se comprime de manera gradual lo que termina resultando en asentamientos.

**Figura 2**

*Curva de compresibilidad*



**Fuente:** Diccionario de geotecnia (2020)

### Prueba de Edómetro

El ensayo de consolidación en edómetro o también llamado consolidómetro consiste en un anillo rígido de acero que contiene capas formadas por piedras porosas que hacen posible la salida del agua, colocando la muestra de suelo dentro del anillo. Sobre la placa superior porosa se introduce una placa rígida y, sumergido todo el conjunto emulando las condiciones de saturación, se le aplican unas cargas crecientes en escalones sucesivos que de manera posterior hace decrecer las cargas en uno o varios ciclos. (Juárez y Rico 2018)

### Asentamientos del suelo

Las cargas transferidas desde los cimientos al suelo ocasionan que se deforme, lo que provoca que la estructura se asiente, esta se desplaza horizontalmente y rota, lo que en exceso puede llegar a generar grietas, fisuras u otros daños al suelo. (Juárez, 2018)

### Asentamiento por consolidación primaria

Estos tipos de asentamientos se presentan de forma diferida y son generados por la expulsión de agua de los vacíos del material. Esta finaliza cuando se estabiliza el esfuerzo efectivo generado en el suelo y la presión de poros se disipa. (CCCR, 2009)

Este asentamiento se encuentra asociado a la deformación volumétrica que experimenta la estructura del suelo, cuando este se encuentra saturado y es solicitado por una tensión externa.

### Aplicaciones móviles

De acuerdo con Enríquez y Casas (2014), con respecto a las aplicaciones móviles, estos autores expresan que:

Se considera una aplicación móvil, a aquel software que se encuentra desarrollado para dispositivos móviles. Haciendo referencia a que este puede acceder desde cualquier lugar y momento a los datos, las aplicaciones y los dispositivos. Estos dispositivos se encuentran dominados por distintas plataformas tecnológicas, que además incluyen diferentes sistemas operativos, los cuales cada uno

presenta sus particularidades en base al manejo por parte del usuario, como así también al momento de desarrollar una aplicación. (p.12)

Los sistemas operativos para móviles son de mayor simplicidad que los sistemas operativos de un equipo de cómputo y además se encuentran más orientados a la conectividad inalámbrica. Es de importancia reconocer que el desarrollador de aplicación móviles, logre efectuar una correcta planificación y diseño de esta aplicación, considerando la complejidad de los dispositivos.

### **METODOLOGÍA**

Se utilizó un enfoque cuantitativo, del cual se realiza una búsqueda exhaustiva en fuentes de internet, así como en artículos científicos, revistas informativas electrónicas, libros, documentos y demás.

La población participante, corresponde a 50 estudiantes y profesionales en ingeniería civil que se especializan principalmente en el área de geotécnica. Como se mencionó anteriormente, la idea principal es desarrollar una aplicación móvil que permita realizar un cálculo aproximado del asentamiento que pueda llegar a ocurrir en un suelo, se realiza con el fin de poder agilizar los distintos trámites y trabajos que se dan a la hora de desarrollar un proyecto, ya que en la actualidad para obtener este dato se requiere de realizar pruebas de laboratorio, como lo es la prueba de consolidación, para poder obtener un aproximado del asentamiento que podría sufrir una masa de suelo cohesivo, lo cual puede llegar a tardar hasta 30 días aproximadamente, tiempo en el cual se podría ir adelantando otro tipo de actividades, por lo que el desarrollo de una aplicación la cual nos brinda un dato aproximado de este asentamiento en cuestión de segundos, introduciendo una serie de datos los cuales se pueden llegar a obtener de estudios de suelos que se deben realizar comúnmente.

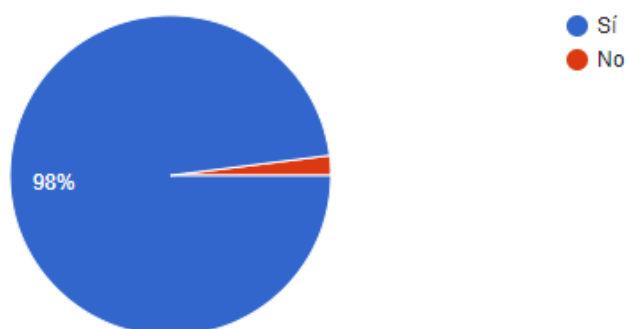
### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En base a la encuesta aplicada, se pueden considerar los aspectos de mayor importancia en el análisis de la información:

#### **Gráfico 1**

*¿Considera importante contar con una aplicación móvil que le facilite el desarrollo de su trabajo?*

50 respuestas

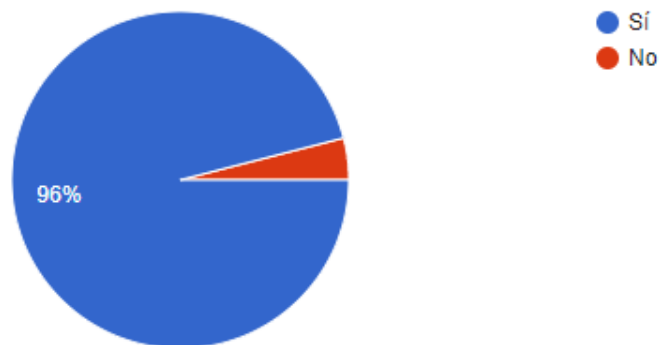


**Fuente:** Elaboración propia, 2023.

## Gráfico 2

¿Cree necesario la implementación de una aplicación móvil en el área de ingeniería civil?

50 respuestas



**Fuente:** Elaboración propia, 2023

Según los resultados de la figura 4 y 5, se puede observar que la mayoría de la población considera importante que existan aplicaciones móviles referentes al área de ingeniería civil.

Por otra parte, mediante la investigación de la teoría de consolidación primaria se logra la obtención de una ecuación, formulada de tal manera que se puedan llegar a sustituir la ecuación propuesta en la teoría de consolidación de Terzaghi para consolidación primaria, la cual mediante el desarrollador APP inventor se logra programar de manera exitosa para realizar el cálculo preliminar de asentamientos que puedan llegar a ocurrir en suelos cohesivos, lo que nos permite la elaboración una aplicación móvil, la cual nos brinda un dato preliminar del posible asentamiento que puede llegar a sufrir este tipo de suelo.

Se realizaron 4 pruebas con los datos de estudios de suelos realizados previamente en diferentes zonas de Costa Rica para ser introducidos en la versión demo de la aplicación app. asentamientos, verificando los resultados brindados por la aplicación desarrollada con los resultados obtenidos con la misma ecuación programada en otras aplicaciones como Excel o calculadoras científicas, esto con el fin de comprobar la correcta programación de la ecuación alterna a la propuesta por Terzaghi.

## DISCUSIÓN

Tomando en cuenta los resultados obtenidos en la encuesta, se logra determinar que gran parte de la población conformada por estudiantes y profesionales en el área de ingeniería civil utiliza con frecuencia las aplicaciones móviles y además muestran interés en poder contar con aplicaciones móviles específicamente en el área laboral, que permita agilizar su trabajo obteniendo resultados óptimos, por lo cual se considera de suma importancia el seguir implementando la idea de desarrollar aplicaciones móviles que sean una herramienta para la ejecución de actividades laborales.

Además, luego de aplicar las 4 pruebas, se logra obtener el resultado del asentamiento aproximado en cada una de las pruebas, que se calcula al completar todos los pasos de la aplicación, en donde se logra verificar y demostrar la correcta programación y funcionamiento del sistema y de la aplicación, además de obtener un resultado acertado del asentamiento, expresado en metros lineales.



## CONCLUSIÓN

Se revisa la teoría de consolidación unidimensional de Terzaghi, la cual hace posible el cálculo de los asentamientos, teoría que hasta el día de hoy es la que mayormente se toma como base para investigaciones posteriores. Una de las suposiciones que Terzaghi propuso, es que el suelo se encuentra totalmente saturado por ende, se llega a la conclusión de que al momento de que se realicen los cálculos de asentamientos en la aplicación móvil, se considere una saturación del 100% del suelo, para de esta manera tomar en cuenta en el valor del asentamiento el efecto de las fuerzas de tensión superficial, las cuales dan una resistencia adicional a los suelos arcillosos volviéndose más rígidos, y dichas fuerzas son de suma importancia considerarlas para los suelos cohesivos.

Se determina que las deformaciones de los suelos cohesivos de Costa Rica, provienen de la variación del volumen o de la forma, y que son causadas por cambios que se dan en las condiciones de esfuerzos, y debido a ello se da la posibilidad de formarse un asentamiento.

Además de ello, se identificaron algunas de las propiedades de deformabilidad necesarias para la estimación de los asentamientos.

Se desarrolla una fórmula equivalente a la teoría de consolidación unidimensional propuesta por Terzaghi, debido a que se buscó poder utilizar una ecuación en la que no fuera necesario tener la curva de compresibilidad para realizar el cálculo del asentamiento, ya que este ensayo puede tardar hasta un mes para obtener el resultado; por lo tanto, la ecuación que se desarrolló, permite calcular los asentamientos sin la necesidad de dicho dato, necesitando únicamente los resultados obtenidos del estudio de suelos realizado en el terreno.

Se diseña e implementa una aplicación móvil eficiente y útil, con la capacidad de realizar los cálculos para obtener los asentamientos en suelos cohesivos. Además, se demostró el interés de los estudiantes y profesionales en ingeniería civil por contar con una aplicación móvil que les permita reducir el tiempo en cálculos y poder ahorrar tiempo.


## REFERENCIAS

Angeleone, S. (2019). Consolidación de Suelos. StuDocu. <https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad-tecnologica-de-la-paz/gestion-de-la-calidad/teoria-de-consolidacion/27291672>

Macías, D. Carvajal, D. Cobos, B. Fienco, J. Peraltay J. Zambrano, TOMO I: Mecánica de suelos, Alicante: 3 Ciencias, 2018.

Fathi-Moghaddam, M., Tavakol-Sadrabadi, M., y Tajbakhsh, M. (2020). Effect of lime and rice husk ash on horizontal saturated hydraulic conductivity of sandy loam soils. *Geotechnical and Geological Engineering*, 38, 2027-2037. <https://doi.org/10.1007/s10706-019-01146-y>

Juárez Badillo, E., y Rico Rodríguez, A. (2018). Mecánica de suelos. Tomo II: Teoría y aplicaciones de la mecánica de suelos. Limusa, México.

Todo el contenido de **LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades**, publicados en este sitio está disponibles bajo Licencia [Creative Commons](#) .