

Vol. 1, No. 4 (julho 2026)

REVISTA ATHENA LATINHO-AMERICANA

ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL ÁREA DE CIMENTACIÓN EN LA PRESIÓN DE HINCHAMIENTO DE UN SUELO EXPANSIVO EN CAMPO

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF FOUNDATION AREA ON THE SWELLING PRESSURE OF AN EXPANSIVE SOIL IN THE FIELD

Ing. Alexander Molina Villalobos¹
María Fernanda Bogantes Pérez²

Revista Athena Latino-Americana
DOI: 10.69720/3086-5182.2026.000023
ISSN: [3086-5182](#)

¹Ingeniero Civil y Administrador de Empresas, con Maestrías en Gerencia General, en Ingeniería Ambiental y en 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. Investigador, tutor y lector de trabajos finales de graduación

Correo: alexander.molinar@ufide.ac.cr

ORCID: 0000-0002-8118-8855

² Universidad Fidelitas,

Correo: mbogantes00252@ufide.ac.cr

ORCID: 0009-0006-9590-3473





Vol. 1, No. 4 (JULHO 2026)

**ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL ÁREA DE CIMENTACIÓN EN LA
PRESIÓN DE HINCHAMIENTO DE UN SUELO EXPANSIVO EN CAMPO**

**ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF FOUNDATION AREA ON THE SWELLING
PRESSURE OF AN EXPANSIVE SOIL IN THE FIELD**

Alexander Molina Villalobos e María Fernanda Bogantes Pérez



PERIÓDICO CIENTÍFICO INDEXADO INTERNACIONALMENTE

ISSN
International Standard Serial Number
3086-5182
www.athena-latino-americana.com

Editora e Revista
Athena Latino-Americana
CPF: 639.619.621-20
Naviraí – Mato Grosso do Sul
Rua: Botocudos, 365 – Centro
CEP: 79950-000

ABSTRACTO

Este trabajo final de graduación se centralizó en estudiar y analizar cómo influye el área de cimentación en la presión de hinchamiento de un suelo expansivo en condiciones reales de campo. Para cumplir este objetivo, se construyó un modelo a escala por primera vez en la universidad Fidélitas, que permitió observar el comportamiento del suelo expansivo ante diferentes áreas de carga, utilizando placas de acero de diferentes tamaños, haciendo similitud a placas de cimentación. Se obtuvieron resultados importantes que aportaran una mejor comprensión del comportamiento de este tipo de suelo, demostrando que placas con mayor área generan menor deformación del terreno y placas más pequeñas permiten una mayor expansión del suelo. También, se logró calcular el módulo de elasticidad en condición de expansión, un dato poco documentado en estudios anteriores, lo que simboliza un aporte muy importante para futuros trabajos de investigación en el área de la ingeniería y la geotecnia. Se afrontó una limitación para este trabajo debido a las condiciones del clima, no se pudo tener un control de la cantidad de agua usada para la saturación del suelo. Como parte de las recomendaciones para futuras investigaciones, se sugiere incluir más tamaños de placas y realizarlas en época seca, para evitar que factores externos como la lluvia pueden interferir en los resultados. Otra recomendación para tener un análisis más completo es tener mediciones de humedad y succión. Se solicita mejorar la instrumentación del laboratorio de la Universidad, para obtener datos aún más precisos para este estudio. Con esta investigación no solo se aportaron nuevos conocimientos sobre suelos expansivos, también se dejó una base experimental que puede ser utilizada como referencia en trabajos similares dentro y fuera de la universidad.

Palabras clave: Suelo expansivo, presión de hinchamiento, área de cimentación, deformación del suelo, modelo a escala y modulo elástico.

ABSTRACT

This final graduation project focused on studying and analyzing how the foundation area influences the swelling pressure of expansive soil under real field conditions. To achieve this objective, a scale model was constructed for the first time at Fidélitas University. This model allowed for the observation of the expansive soil's behavior under different loading areas, using steel plates of varying sizes to simulate foundation slabs. Significant results were obtained that contribute to a better understanding of the behavior of this type of soil, demonstrating that plates with larger areas generate less ground deformation, while smaller plates allow for greater soil expansion. The modulus of elasticity under expansion conditions was also calculated, a data point that has been poorly documented in previous studies. This represents a very important contribution to future research in the fields of engineering and geotechnics. A limitation of this work was the weather conditions, which prevented control over the amount of water used for soil saturation. As part of the recommendations for future research, it is suggested that more plate sizes be included and that the tests be conducted during the dry season to avoid external factors such as rain interfering with the results. Another recommendation for a more comprehensive analysis is to include moisture and suction measurements. It is requested that the University laboratory's instrumentation be upgraded to obtain even more precise data for this study. This research not only contributed new knowledge about expansive soils but also established an experimental foundation that can be used as a reference for similar work both within and outside the university.

Keywords: Expansive soil, swelling pressure, foundation area, soil deformation, scale model, elastic modulus

1. INTRODUCCIÓN

Los suelos expansivos son arcilla y se expanden con la humedad. Pueden levantar o romper estructuras y esto es problemático en términos de ingeniería y arquitectura debido a su comportamiento bajo carga (NNaydim, 2020). La historia de los suelos expansivos comienza hace millones de años, durante el vulcanismo, cuando el polvo formó arcilla con alto contenido de montmorillonita y con procesos edáficos.

Los suelos exhiben asentamientos y deformaciones irregulares que son mayores que el límite elástico, que no pueden ser razonablemente predichas por la teoría clásica de elasticidad o plasticidad, lo que da como resultado daños estructurales severos.

La mayoría de los asentamientos humanos en la Tierra están contruidos sobre suelos expansivos ya que ellos se hinchan al

absorber agua y se contraen al secarse, lo cual puede generar movimientos significativos, que van a generar problemas si la ingeniería de las estructuras es deficiente, afectando principalmente los cimientos y algunas partes de la estructura.

Los suelos expansivos se encuentran en las regiones semiáridas donde la evapotranspiración potencial es mayor que la precipitación, lo que permite el desarrollo de montmorilonita.

Muchos países en el mundo tienen el problema de suelos expansivos, como: Sudáfrica, México, Estados Unidos, Venezuela, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Perú, Argentina, Brasil, Cuba, Angola, Mozambique, Kenia, Argelia, Marruecos, Ghana, Israel, Turquía, Irán, Irak, India, Australia, España, entre otros (Arturo, 2011).

Los suelos expansivos también se pueden localizar en el territorio de Costa Rica y estos son arcillas plásticas que se pueden encontrar en diferentes regiones del país, como: en la provincia de San José en las regiones de Alajuelita, Hatillo y Santa Ana; en la provincia de Guanacaste en las regiones de Liberia y Nicoya; y en la provincia de Limón en las regiones de la ciudad de Limón, así como en la Zona Franca de Moín (Alvarado, 2013).

La recopilación de información sobre estos suelos, también es muy difícil debido a sus características geomecánicas, como la presión de hinchamiento y la expansión esperada.

Según el Código de Cimentaciones de Costa Rica, los problemas de diseño se analizan con base a fuerzas totales, aunque las fuerzas efectivas son una mejor representación de la resistencia y deformación actual. Según este código, una fundación es el miembro que conecta la estructura con el suelo o la roca que se encuentra debajo de ella. Se reconocen los suelos expansivos, los cuales pueden ser transportados o residuales ellos se deforman durante la temporada seca y calurosa, así como durante la temporada húmeda. (Rica T. d., 2009)

Como parte de la metodología empleada, se seleccionará un espacio dentro de la universidad para realizar una excavación que será llenada con un suelo de propiedades expansivas, antes estudiado por ensayos de laboratorio. Este material será saturado con agua para provocar su hinchamiento. Sobre cada excavación se colocará una estructura con diferentes tamaños, simulando las placas de cimentación, con el fin de observar cómo varía la expansión del suelo en cada caso. El proceso de

deformación será medido mediante un deformímetro de alta precisión, el cual registrará el cambio de volumen del suelo hasta que alcance su nivel máximo de expansión en dirección hacia la placa de cimentación.

No se encontró ningún estudio de investigación igual al que se está desarrollando, solo se encontraron trabajos que estudian la expansión de las arcillas, pero a nivel de laboratorio. Sin embargo, se hace referencia ya que recibimos retroalimentación que nos permitió comprender mejor el tema. A nivel internacional se identificó el trabajo de (Rodríguez1, 2020) cuyo tema de análisis fue el “Método simplificado de predicción de hinchamiento de arcillas expansivas debido a cambios de humedad” el cual propone una metodología práctica para estimar el potencial de expansión de suelos arcillosos en función de las variaciones de humedad, el segundo estudio, desarrollado por (García J. d., 2005) se titula “Estudio de fatiga de expansión en suelos arcillosos”, y analiza el efecto acumulativo de ciclos de hinchamiento y contracción sobre las propiedades del suelo; este trabajo aporta una visión más profunda sobre la degradación mecánica progresiva que puede experimentar el suelo cuando se encuentra sometido a variaciones repetidas de humedad.

A nivel nacional, se identificaron dos estudios que enriquecen el análisis de los suelos expansivos en Costa Rica. El primero corresponde al trabajo de (Muñoz, 2012) titulado “Suelos arcillosos expansivos del Valle Central Occidental de Costa Rica para su uso como subrasante”, en el cual se caracterizan geotécnicamente suelos con potencial expansivo ubicados en zonas específicas del Valle Central Occidental. El segundo estudio, elaborado por (Alfredo Alvarado, 2014) lleva por título “Arcillas identificadas en suelos de Costa Rica a nivel generalizado durante el período 1931–2014”, y presenta una recopilación detallada de datos geotécnicos históricos sobre la presencia y características de arcillas expansivas en distintas regiones del país.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

En la actualidad, se cuenta con un conocimiento muy bueno sobre el comportamiento de los suelos saturados, respaldado por modelos mecánicos que permiten explicar de manera integral sus características de resistencia, deformación volumétrica y al corte. Sin embargo, en el caso de los suelos parcialmente saturados, la información y los

estudios disponibles son limitados. Los suelos parcialmente saturados abarcan una gran variedad de características y comportamientos únicos, como la plasticidad y la expansión de las arcillas. Debido a esta variabilidad, resulta un desafío desarrollar modelos generales que representen de manera exacta su comportamiento. En términos de geotecnia, la diferencia entre estos dos estados influye en la capacidad de carga, la permeabilidad y la respuesta a cargas externas como se estudiarán en este trabajo.

El suelo no saturado se caracteriza por dos formas principales de deformación en su volumen: el hinchamiento, que implica un aumento de volumen, y la contracción, que sucede cuando el suelo reduce su volumen. Tanto el hinchamiento como el hinchamiento representan procesos de inestabilidad estructural en dichos suelos. Este tipo de deformaciones volumétricas no están relacionadas con modificaciones en el estado de esfuerzo externo, sino que ocurren debido a las alteraciones en las condiciones ambientales, como los cambios en la humedad. El origen de la expansividad de estos suelos se debe a la presencia de partículas arcillosas que provocan este comportamiento. (Aitchison, 1973).

Estructura interna del suelo

Para Alonso et al., (1987) la mecánica de suelos estudia la composición interna del suelo considerándolo como una composición de tres elementos básicos:

Partículas individuales

Son las unidades más pequeñas que conforman el suelo, como la arena, el limo, la arcilla, la grava y la materia orgánica.

Conjuntos de partículas

Grupos de partículas individuales que se adhieren entre sí, formando estructuras más grandes y compactas.

Espacios vacíos

Son los espacios vacíos entre las partículas y los agregados, permitiendo el paso de aire y agua a través del suelo.

A partir de estos tres elementos esenciales, es posible identificar tres estructuras principales del suelo: la estructura matricial, la microestructura de los agregados y la estructura granular. Para Shock et al. (2013), los suelos con estructura matricial, donde las partículas de arcilla rodean los granos de arena formando una

matriz, presentan un comportamiento expansivo. Al entrar en contacto con el agua, absorben la humedad y aumentan el volumen del suelo, lo que provoca la expansión de la matriz. Esto sucede por la capacidad de la arcilla para retener agua y transformar su estructura interna, generando cambios visibles en las propiedades mecánicas del suelo. Cuando estos suelos se secan de forma rápida, la arcilla pierde agua y se contrae, lo que va a provocar una disminución en el volumen del suelo.

Suelos Expansivos

Son arcillas que tienen las siguientes características su color puede ser negro, café o gris oscuro, con una gran capacidad de expansión, generalmente se forman por la acumulación de materiales orgánicos en zonas bajas, producto de la erosión, por la descomposición meteórica y actividad orgánica de suelos piroclásticos. (Geotecnia, 2008)

Hinchamiento de los suelos expansivos

Este evento es un fenómeno geotécnico que ocurre cuando ciertos tipos de arcillas, absorben agua y aumentan su volumen, causando movimientos en el suelo que afectan de forma negativa las estructuras construidas sobre él, causando daños como grietas en muros, pisos y cimentaciones (ConcretOnline, 2018).

Existen distintos factores que influyen en el hinchamiento de los suelos para Franco (2014), los principales de ellos son el tipo de mineral arcilloso, el contenido de humedad inicial, densidad del suelo al indicar que las partículas están más cercanas y las condiciones ambientales, factores como la precipitación y las fluctuaciones en el nivel freático pueden influir en los cambios de humedad del suelo y su comportamiento expansivo.

Esfuerzo

Cada vez que una fuerza intenta modificar la forma de un objeto, se considera que dicho objeto está sometido a tensión. Se entiende como la relación entre la fuerza que provoca la deformación y el área sobre la cual actúa dicha fuerza. (Cype, 2023)

Para nuestro proyecto cuando la carga externa actúa sobre el suelo arcilloso, se generan deformaciones internas. En este caso, se dice que el suelo está sometido a tensión. Esta tensión, o esfuerzo, se define como la relación entre la fuerza aplicada y el área sobre la cual actúa:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

σ : Esfuerzo o tensión.

F : Fuerza o peso aplicado sobre el suelo.

A : Área de contacto entre la carga y el suelo.

Deformación

La deformación representa el cambio relativo en la forma o tamaño de un cuerpo como resultado de una fuerza aplicada, producida por una carga normal aplicada perpendicularmente a la superficie del material. (Cype, 2023)

La deformación unitaria en suelos expansivos se determina como el cociente entre la variación de longitud (Δl) del espécimen de suelo y su longitud inicial (l_0), es decir:

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

Donde:

$$\Delta l = l_f - l_0$$

l_0 : longitud original del objeto.

l_f : longitud nueva por deformación.

Arcillas

Para Grim et al. (1999), las arcillas son un tipo de material compuesto principalmente por silicatos de aluminio hidratados. El tamaño de su partícula es extremadamente pequeño, lo que les da características físicas únicas como la plasticidad y la capacidad de retención de agua.

Estos minerales también pueden contener elementos como hierro, sodio, potasio, calcio o magnesio, los cuales intervienen en su comportamiento.

Las arcillas cuando están húmedas tienen un comportamiento plástico, están compuestos por partículas muy finas, por su mayoría menores a 2 micrómetros, formados, en su mayoría, por minerales laminares hidratados los cuales afectan su respuesta mecánica como es el hinchamiento, contracción y resistencia al corte. En el ámbito de la ingeniería civil, entender la composición y comportamiento de las arcillas es importante en el diseño y construcción de obras, especialmente cimentaciones, ya que pueden causar hinchamiento o contracción al cambiar la humedad, lo que puede provocar asentamientos diferenciales, grietas en estructuras y otros problemas geotécnicos. La correcta identificación y análisis del suelo constituyen una parte fundamental en cualquier estudio geotécnico.

Clasificación de arcillas

Mineralogía

Según Bucio (2002), existen tres minerales arcillosos principales asociados con este fenómeno: montmorillonita, illita y caolinita, los cuales se les considera como básicos para estudiar la expansividad en los suelos. El comportamiento de un suelo no saturado está determinado por la manera en que alcanzó ese estado. Ya sea por secarse naturalmente o que haya sido secado de manera artificial.

Tabla 1. Tipos de arcillas y sus características

TIPO DE ARCILLA	COMO SE COMPORTA CON EL AGUA	CLASIFICACIÓN	CONSIDERACIONES
Caolinita	No permite la entrada de agua entre capas; no se hincha con facilidad.	No expansiva	Estable en presencia de agua; usada en cerámica, papel y suelos estructuralmente estables.
Ilita	Retiene algo de agua, pero con poca variación de volumen.	Moderadamente expansiva	Riesgo intermedio en ingeniería geotécnica; más estable que la montmorillonita.
Montmorillonita	Absorbe grandes cantidades de agua y se expande significativamente.	Altamente expansiva	Puede causar daños a cimentaciones y estructuras; requiere medidas especiales de control.

Nota. Minerales arcillosos principales asociados con la arcilla. Elaboración propia. Fuente (Barragan, 2018).

Arcilla blanda en condición de expansión

Los suelos arcillosos blandos se caracterizan por presentar una baja resistencia al esfuerzo cortante, lo que puede llevar a generar problemas geotécnicos considerables en obras civiles, debido a la pérdida de estabilidad y a la generación de esfuerzos adicionales sobre las estructuras cimentadas. (Acar, 2024)

En resumen, un suelo arcilloso blando en condición de expansión corresponde a un tipo de suelo con elevada plasticidad y alta capacidad de retención de humedad, que experimenta variaciones volumétricas significativas de expansión, en función de los cambios en su contenido de agua.

Arcilla no drenada

El comportamiento no drenado se manifiesta cuando el agua contenida en los poros no puede evacuar libremente durante la carga. En este caso, se genera un incremento en la presión de poros, lo cual reduce los esfuerzos efectivos y modifica la resistencia al corte del suelo.

Este comportamiento es típico de suelos cohesivos o finos, como las arcillas, donde el flujo de agua a través del medio poroso es limitado, y el tiempo de consolidación es considerablemente alto. (MSc, 2024)

Arcilla remodelada

La arcilla remodelada es aquel suelo cohesivo que ha sido sometido a una alteración significativa de su estructura natural, como resultado de procesos mecánicos o físicos. Estas acciones modifican la disposición original de las partículas y, por ende, sus propiedades geotécnicas, como la resistencia al corte, la permeabilidad y la compresibilidad. Este tipo de suelo no conserva su estructura original, por lo que su comportamiento mecánico puede diferir considerablemente del de una arcilla en estado natural. (Smith & Evans, 1949)

Tipo de minerales arcillosos

Depende del tipo de arcilla sea montmorillonita, illita y caolinita así será su comportamiento con el agua y su hinchamiento, Ver (Tabla 1).

Tamaño de partícula

Las partículas de arcilla son extremadamente pequeñas (menores a 0.002 mm), lo que incrementa la superficie específica del suelo, a mayor superficie específica, así

tendrá mayor capacidad de absorber agua y expandirse.

Contenido inicial de humedad

Un suelo seco o parcialmente saturado tiene mayor potencial de hinchamiento al absorber agua. Si el suelo ya contiene un porcentaje alto de humedad, el hinchamiento será mucho menor.

Permeabilidad

Permeabilidad es la propiedad que tiene el suelo de transmitir el agua y el aire. Cuando un suelo tiene baja permeabilidad como lo tienen las arcillas, el agua se infiltra lentamente, pero tiene gran retención dentro del suelo, lo cual favorece la absorción de agua por las partículas finas. Lo cual esta absorción genera una expansión volumétrica del suelo, provocando el hinchamiento.

Compactación

Cuando un suelo esta poco compactado tiene más espacios para absorber agua, lo que va aumentar la expansión. El suelo que se encuentran muy compactado tiene una capacidad menor de hincharse, en el caso de las arcillas si absorben la suficiente humedad, pueden llegar a expandirse.

Contracción del suelo

Este tipo de suelo expansivo no solo tienen la característica de hincharse al mojarse, sino que también se contraen al secarse. Este ciclo de expansión-contracción genera movimientos volumétricos que pueden dañar estructuras. La contracción previa de la arcilla, aumenta la capacidad de absorción de agua, cuando vuelve a infiltrarse agua, produce un hinchamiento mayor.

Presión del suelo

Cuando un suelo expansivo absorbe agua, tiende a aumentar de volumen y se da el hinchamiento. Si este suelo no tiene cargas, está libre para expandirse y lo hará hacia arriba (vertical). Pero cuando el suelo está sometido a una carga, por ejemplo: debajo de una cimentación, su expansión vertical se va ver limitada, pero no desaparece, sino que se transforma en presiones internas, tanto verticales como laterales. Estas presiones pueden causar daños como: grietas, especialmente en las esquinas de las ventanas, puertas, garajes, aceras y caminos de entrada. Las paredes también pueden experimentar

movimientos debido a la expansión de la arcilla. (Gallaecia, 2023)

La presión en un suelo se calcula como la fuerza aplicada dividida por el área sobre la cual se distribuye esa fuerza.

Expresada por la siguiente formula:

$$P = \frac{F}{A}$$

Donde,
P= Presión (P)
F= Fuerza
A= Área

Suelos expansivos en Costa Rica

Según el Código de Cimentación de Costa Rica este tipo de suelo se ha identificado en los siguientes lugares a lo largo del territorio Nacional (Geotecnia, 2008):

- Área Metropolitana (Sector Sur): Desamparados, Alajuelita, Ciruelas, Escazú, Coyol de Alajuela, Lagos de Lindora, Pozos y Siquirres.
- Provincia de Cartago: hacia el sur del centro de la ciudad, principalmente en zonas que tienen una topografía plana.
- Provincia de Guanacaste: Cañas Centro y alrededores; así como en algunos partes de Liberia, Filadelfia y Nicoya.
- Provincia de Limón: El centro de la ciudad, Los Corales y la Zona Franca de Moín.

Mecanismo de deformación de las arcillas

El modelo de Vaunant (1999), describe cómo las arcillas expansivas reaccionan mecánicamente y este modelo se enfoca en tres principales tipos de deformación:

Expansión y contracción

Las arcillas pueden aumentar o reducir su volumen dependiendo de la cantidad de agua que lleguen a tener.

Deformación plástica

Bajo ciertas cargas que lleguen a tener, las arcillas pueden cambiar de forma de manera permanente.

Fractura

Si la carga aplicada al suelo es demasiado elevada, las arcillas pueden colapsar y fracturarse.

Este modelo proporciona una base sólida para el análisis y la interpretación de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio y campo, así como para entender la relación entre esos resultados. Con esto, también aporta una forma sistemática para la planificación de la investigación, donde nos dará trayectorias de esfuerzos relevantes a la conducta de las arcillas expansivas. Es eficaz para referir cómo las arcillas reaccionan según factores como la presión de hinchamiento, los vacíos presentes, el contenido de humedad, la densidad seca y la presión aplicada sobre ellas.

El uso de este modelo es útil para predecir cómo se comportarán las arcillas expansivas en distintas condiciones, lo que es clave para el diseño de estructuras duraderas y seguras, como cimientos, edificios, carreteras y puentes. Además, da una herramienta para conocer el comportamiento, reacción de las arcillas ante las cargas y humedades presentes y así, con esto poder anticipar posibles riesgos geotécnicos como deslizamientos, agrietamientos o derrumbes. Las normativas específicas que se aplicarán son las siguientes:

- Código de Cimentaciones de Costa Rica (Geotecnia, 2008)
- Código sísmico de Costa Rica (Ingenieros, 2010)
- Código geotécnico de taludes y laderas de Costa Rica (Arquitectos, 2015)

Complicaciones del suelo expansivo

Gallaecia (2023), menciona que uno de los problemas más comunes y complicados de resolver a los que los profesionales de la construcción deben enfrentarse, son los terrenos con arcilla expansiva, cuyas características particulares pueden causar daños significativos en las estructuras debido a los movimientos volumétricos asociados a variaciones en el contenido de humedad.

En términos generales, según (Infante, 2019) se pueden identificar cinco mecanismos de daño provocados por la expansión del suelo:

Movimiento céntrico

Este tipo de deformación ocurre principalmente en la zona central de la cimentación y es producto de una acumulación

progresiva de humedad a lo largo del tiempo. Esto suele deberse a la eliminación de la capa vegetal superficial, la cual anteriormente regulaba el contenido hídrico del suelo. Como consecuencia, el hinchamiento es más acentuado en el centro de la estructura, generando fisuras horizontales en las partes inferiores de los muros, así como grietas verticales y diagonales en diversas secciones, siendo más evidentes en la parte superior cerca del techo.

Movimiento perimetral

Este tipo de falla, al igual que el movimiento céntrico, se origina principalmente por la ausencia de cobertura vegetal.

Esta condición provoca la formación de un disco de falla alrededor del perímetro de la estructura, donde la expansión volumétrica de las partículas del suelo genera levantamientos localizados en las esquinas de la cimentación.

Como consecuencia, se desarrollan grietas tanto horizontales como verticales, que se extienden desde la base hasta la parte superior de la estructura.

Movimiento cíclico

Este tipo de falla ocurre debido a ciclos repetidos de expansión y contracción del suelo. La expansión se produce por la infiltración de agua o humedad proveniente del sistema de drenaje, mientras que la contracción se genera por la pérdida de humedad debido a la evaporación. Este fenómeno es característico de suelos con alta permeabilidad y se manifiesta mediante patrones de daño irregulares, generalmente con orientaciones diagonales no definidas.

Agrietamiento

La falla se origina por contracciones del suelo tanto en dirección vertical como horizontal, las cuales inducen esfuerzos que superan la resistencia tensional del material. Esta condición provoca la aparición de grietas, las cuales disminuyen el confinamiento lateral de la estructura y, consecuentemente, reducen el factor de seguridad de los taludes.

Para mitigar los efectos adversos asociados a este tipo de suelos, es fundamental identificar y caracterizar sus propiedades durante la fase de diseño.

Esto permite desarrollar soluciones óptimas y específicas para el estrato de interés, con el objetivo de garantizar la estabilidad y evitar problemas futuros en la estructura.

Empuje Lateral

Esta modalidad de falla se caracteriza por su naturaleza no uniforme, presentando desplazamientos irregulares en múltiples direcciones. Como consecuencia, induce movimientos y provoca inestabilidades en el terreno afectado.

Soluciones para cimentaciones en suelos arcillosos

Los suelos expansivos, compuestos mayormente por arcillas, presentan cambios volumétricos relevantes al variar su contenido de humedad, lo que puede provocar daños estructurales en edificaciones y pavimentos. Existen dos tipos de soluciones para estos problemas estructurales y de geotécnicas.

Soluciones estructurales.

Estabilización con cal

La adición de cal al suelo es una técnica que mejora las propiedades geotécnicas de este tipo de suelo. La cal reduce la plasticidad de las arcillas y el potencial expansivo, aumentando la resistencia y estabilidad del suelo. Estudios que se han realizado en Brasil han demostrado la estabilidad que se logra con esta práctica y la resistencia al esfuerzo cortante de suelos arcillosos expansivos. (De Medina & Lacerda, 1973)

Construcción de placas y losas con mayor rigidez

El incremento de la rigidez en losas y placas distribuye de manera uniforme las cargas y reducen las deformaciones causadas por los suelos expansivos. Las losas de cimentación rígidas, reforzadas con una red de vigas cruzadas, han demostrado ser efectivas en este tipo de suelos al suministrar una base sólida que resiste los movimientos del terreno. (Segura, 2009)

Construcción de losas de entropiso

Estas losas de entropiso dividen los niveles de una edificación e integran el sistema estructural, soportando cargas vivas y muertas. Es crucial que estas losas sean diseñadas considerando las condiciones del suelo, en este caso suelo expansivo.

Construcción de muros perimetrales

Incluir soportes horizontales y refuerzos de concreto unidos a la cimentación alrededor del edificio, ayudara a mantener la estabilidad en los suelos expansivos. Estos elementos van a reducir los movimientos del suelo y evitara que afecten la estructura.

Soluciones geotécnicas.

Rellenos de sustitución bajo placas y losas

Consiste en reemplazar el suelo existente por otro material de mejor calidad y alta capacidad para estructuras como placas y losas. El procedimiento para esta sustitución implica excavar el suelo expansivo y rellenar con el material escogido que se compacta en capas para garantizar una base estable y uniforme. Es muy importante que el material de relleno tenga características adecuadas de granulometría y contenido de humedad para lograr la mejor compactación. (Galindo, 2017)

Muros perimetrales con rellenos compactados

Los muros de suelo reforzado son estructuras de contención que combinan el suelo compactado con materiales de refuerzo, como por ejemplo geotextiles o geomallas, estos elementos soportar cargas y resisten el empuje del terreno. Una compactación adecuada del relleno es muy importante para aumentar la capacidad de carga y prevenir asentamientos diferenciales. (Webs, 2024)

Eliminación de arbustos cercanos y de sistemas de drenaje

La presencia de vegetación, cerca de sistemas de drenaje puede cerrar el flujo de agua debido al crecimiento natural de raíces y acumulación de hojas. Tener un buen control y la eliminación de esta vegetación es fundamental para mantener la funcionalidad de los sistemas de drenaje, prevención de inundaciones y daños estructurales.

Modelos elastoplásticos

Según Leal, Tauta, & Blanco (2009), en el área de la mecánica de suelos, los modelos elastoplásticos se manejan a menudo para describir el comportamiento mecánico de los suelos bajo cargas externas.

Estos modelos juntan la teoría de la elasticidad, que se refiere a las deformaciones que se pueden recuperar, con la plasticidad, que describe las deformaciones ya permanentes cuando se supera un cierto esfuerzo.

Módulo de Elasticidad (E)

El módulo de elasticidad, también conocido como módulo de Young, es una propiedad intrínseca de cada material que cuantifica la relación lineal entre el esfuerzo (σ) aplicado y la deformación unitaria longitudinal (ϵ) en la zona de comportamiento elástico del

material. Se define como la pendiente de la curva esfuerzo-deformación en la región elástica, es decir, la derivada $d\sigma/d\epsilon$.

Equivale a la tangente en cada punto de la zona elástica en la gráfica tensión-deformación ($\sigma-\epsilon$). En la mayoría de los materiales, el módulo de elasticidad se mantiene constante durante la zona elástica, lo que implica un comportamiento lineal conforme a la Ley de Hooke. El valor del módulo de elasticidad es un indicador directo de la rigidez del material a mayor módulo, mayor resistencia del material a la deformación bajo cargas aplicadas. (Roda, 2022)

Modelo plástico

El modelo plástico reconoce que el suelo puede experimentar deformaciones permanentes, es decir que no regresa completamente a su forma original después de quitar la carga. Esto ocurre porque la disposición de los átomos y moléculas en el suelo puede modificarse bajo la presión, creando nuevas estructuras que no son exactamente las mismas que las originales. (Prat, 2006).

La plasticidad del suelo es la capacidad que tienen los suelos más finos, como las arcillas, para deformarse sin romperse cuando se les aplica una carga y que logren mantener esa forma después de quitar dicha carga. Esta propiedad se debe principalmente a las arcillas, ya que están compuestas por partículas muy pequeñas.

Placa de cimentaciones

En el ámbito de ingeniería civil, también es conocida como losa de cimentación, es una estructura de hormigón armado que se instala directamente sobre el terreno para distribuir las cargas de una edificación hacia el suelo de manera uniforme.

Este tipo de cimentación es esencial en suelos con baja capacidad portante o cuando las cargas estructurales son muy altas, las placas de cimentación ayudan a minimizar los asentamientos diferenciales y mejora la estabilidad de la edificación. (Losas de Cimentación – el Blog de Víctor Yepes, 2019). Según Barragan (2018), las placas de cimentación rígidas son la mejor opción en suelos expansivos por los siguientes motivos:

Resistencia a los movimientos del suelo

Al ser estructuras monolíticas, pueden soportar los desplazamientos del suelo

expansivo sin sufrir grietas o deformaciones. Esto se debe a que la losa de hormigón reparte las cargas de manera uniforme, evitando tensiones excesivas en puntos específicos del suelo.

Menor profundidad de cimentación

A diferencia de las cimentaciones profundas, las losas de cimentación rígidas pueden colocarse a menor profundidad, lo que reduce significativamente los costos de construcción. Esto resulta especialmente útil en terrenos donde las excavaciones profundas son complicadas o costosas.

Versatilidad en el diseño

Las losas de cimentación rígidas pueden ajustarse a distintos tipos de estructuras, desde casas hasta edificios comerciales de distintos niveles. Su flexibilidad permite integrarlas en diferentes configuraciones arquitectónicas sin comprometer la estabilidad de la estructura.

Criterio de diseño para placas de cimentación rígidas

El diseño de cimentaciones rígidas requiere un análisis detallado de cómo interactúan el suelo y la losa. El objetivo es prever la forma y la altura máxima de la deformación vertical que la losa experimentará, así como la rigidez relativa del suelo y la propia losa. Para hacer estas predicciones verticales, se utilizan modelos matemáticos que consideran las propiedades del suelo, las dimensiones de la losa y las cargas que tendrá que soportar. Estos modelos permiten estimar la forma y la altura máxima de la deformación, brindando información crucial para el diseño estructural. La rigidez relativa del suelo y la losa son un factor clave en la manera en que se distribuyen las cargas y cómo responde la estructura. Si el suelo es rígido, transmitirá las cargas de manera más uniforme a la losa, mientras que un suelo flexible tenderá a concentrar las cargas en ciertos puntos. Al entender cómo interactúan el suelo y la estructura, es posible determinar los momentos flectores y los esfuerzos cortantes que la losa experimentará bajo las cargas de diseño. Esta información es esencial para dimensionar correctamente el acero de refuerzo y garantizar la integridad estructural de la losa. Los suelos expansivos, que cambian de volumen dependiendo de la humedad, pueden generar distintos patrones de deformación en las losas de cimentación, poniendo a prueba la

resistencia y estabilidad de las estructuras. Cuando se trata del diseño de cimentaciones en suelos expansivos, es importante que el profesional seleccione el tipo de cimentación o la metodología que se va utilizar, considerando tanto los costos como la viabilidad de los estudios. Por otra parte, debe de considerarse que, como parte de las alternativas de cimentación, se debe de adjuntar un análisis estadístico de las zonas de mayor actividad en los suelos, lo que correlaciona una base de datos ya existentes. Asimismo, se considera parte de la fundamentación teórica lo establecido por el Código de Cimentaciones de Costa Rica (Geotecnia, 2008), que constituye un aporte empírico y sustentable para lograr tener más claro aspectos clave de la investigación. De la misma forma se aporta información de un estudio realizado por (Ballinas Mijangos, 2006) nombrado Mecánica de los Suelos Expansivos, perteneciente a la Universidad Nacional Autónoma de México, en donde los aportes realizados permiten que se analicen las diferentes cimentaciones permitiendo el análisis de la capacidad de carga del terreno.

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Según (Gavidia, 2020) El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), también conocido por sus siglas en inglés como USCS (Unified Soil Classification System), es una herramienta fundamental en el campo de la ingeniería geotécnica, ya que permite identificar y clasificar los suelos de forma ordenada y clara. Este sistema divide los suelos en cinco grandes grupos:

- G: Gravas*
- S: Arenas*
- C: Arcillas*
- M: Limos*
- O: Materiales orgánicos*

Por medio del tamizado nos permite determinar a qué categoría pertenece el suelo: Suelos gruesos: Son aquellos que quedan retenidos en el tamiz número 200; en esta categoría se encuentran las gravas y las arenas. Suelos finos: Son los que atraviesan el tamiz número 200; este grupo incluye las arcillas, los limos y materiales orgánicos. Se debe considerar el porcentaje de material que queda retenido en los tamices superiores del #200. Si más del 50% del material se retiene en estos tamices, el suelo se considera grueso; si es menor, se clasifica como un suelo fino.

Clasificación de suelo fino según el Código de Cimentación de Costa Rica.

Para clasificar los suelos finos según el Código de Cimentaciones de Costa Rica, es fundamental analizar una tabla que presenta los rangos de propiedades típicas de dos tipos principales de suelos: las arcillas expansivas y los limos de baja resistencia. Esta tabla permite identificar y diferenciar estos materiales con base en parámetros como el límite líquido, el índice de plasticidad y otras características físicas del suelo. En el estudio de suelos expansivos y limos de baja resistencia, resulta fundamental considerar las propiedades típicas que presentan estos materiales, especialmente aquellas que afectan su comportamiento mecánico y su interacción con las cimentaciones. A continuación, se presenta un cuadro con algunas de las propiedades típicas de estos suelos, según el Código de Cimentación de Costa Rica.

Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg también conocidos como límites de consistencia, representan parámetros esenciales en el análisis geotécnico de suelos, ya que permiten identificar los distintos estados de comportamiento que puede asumir un suelo en función de su contenido de humedad. La interacción entre la humedad y el volumen del suelo ofrece información determinante sobre sus características físicas y su respuesta mecánica ante cargas. Los límites de Atterberg están compuestos por el límite líquido y el límite plástico que son muy importantes para determinar el índice de plasticidad (IP), para poder identificar el tipo de suelo fino y sus propiedades geotécnicas.

3. DISCUSIÓN Y RESULTADOS

Las mediciones en campo revelaron que la placa de 15 cm experimentó la mayor deformación vertical acumulada de 32 mm en tres días hasta alcanzar saturación máxima, debido a su menor peso y área que permitieron una expansión más libre del suelo expansivo. En contraste, la placa de 25 cm registró solo 18 mm de deformación en dos días, ya que su mayor superficie y peso restringieron el movimiento vertical del suelo, distribuyendo la presión de manera más uniforme y limitando la hinchazón superficial. Estos datos confirman una relación inversa entre el tamaño de la placa y la magnitud de la deformación, alineándose con principios

geotécnicos básicos de suelos arcillosos.

La placa menor generó una presión de expansión de 1417,22 Pa junto con la deformación unitaria más alta de 0,1185 mm/mm, lo que refleja su baja resistencia al levantamiento del suelo saturado, permitiendo una expansión predominantemente vertical. Al aumentar el diámetro a 20 cm, la presión subió ligeramente a 1487,42 Pa, pero descendió a 1432,22 Pa en la de 25 cm, indicando que áreas mayores favorecen la disipación lateral de la presión en lugar de concentrarla verticalmente. Esta tendencia subraya cómo el diseño de cimentaciones más amplias mitiga riesgos en suelos expansivos al reducir deformaciones localizadas. Los resultados validan que placas de mayor área y peso provocan menor deformación al comprimir el suelo y limitar su espacio de expansión, mientras que las más pequeñas permiten hinchamientos intensos con presiones concentradas verticalmente, lo cual explica fallas comunes en estructuras sobre arcillas. Aunque no se compararon directamente con estudios previos por limitaciones en datos de laboratorio, el cálculo del módulo de elasticidad en expansión representa un aporte novedoso para la geotecnia costarricense. Estos insights apoyan recomendaciones como usar placas rígidas en zonas de suelos expansivos y mejorar instrumentación para mediciones futuras de humedad y succión.

4. CONSIDERACIONES FINALES

1. Se estableció por primera vez en campo, mediante un modelo a escala, la variación de la presión de expansión según la relación entre el área cargada y el área total de expansión, proporcionando datos consistentes para condiciones reales.
2. Las placas de mayor diámetro (25 cm) generaron menor deformación (18 mm) debido a su peso y área superior, mientras que la de 15 cm permitió mayor expansión (32 mm) por menor confinamiento, confirmando la relación inversa tamaño-deformación.
3. No fue posible comparar directamente con estudios previos de laboratorio por falta de datos completos, resaltando la novedad del enfoque experimental en campo sin antecedentes equivalentes.
4. La gráfica presión-deformación demostró que áreas mayores reducen deformación al distribuir presión lateralmente, mientras que placas

- pequenas concentran hinchamiento verticalmente.
5. Se calculó el módulo de elasticidad en expansión de 53,01 Pa, un valor inédito en la literatura local, aportando una base experimental innovadora para geotecnia en suelos expansivos.
- ### 5. REFERENCIAS CITADAS Y CONSULTADAS
- Alfredo Alvarado, R. M. (Junio de 2014). Obtenido de https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0377-94242014000100007#Correspondencia1
- Alvarado, A. (4 de Junio de 2013). Agronomía Costarricense. Obtenido de <https://www.scielo.sa.cr/pdf/ac/v38n1/a07v38n1.pdf>
- Andres Zuñiga, T. Z. (22 de 04 de 2015). Granulometria de las arcillas. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/263085524/granulometria-de-arcillas>
- Arquitectos, C. F. (2015). Código Geotécnico de Taludes y Laderas de Costa Rica.
- Arturo, M. S. (2011). Tesis. Obtenido de https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000670330/3/0670330_A1.pdf
- Ballinas Mijangos, R. J. (2006). Suelos expansivos. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Borselli, D. L. (2 de 9 de 2024). Instituto de Geología. Obtenido de GEOTECNIA 1: https://www.lorenzo-borselli.eu/geotecnia1/Geotecnia_1_parte_II.pdf
- Bucio, M. B. (2002). INTRODUCCIÓN A LA MECÁNICA. Sanfandila, Qro.
- Concretonline. (25 de Julio de 2018). Obtenido de <https://www.concretonline.com/construccion/patologias-por-arcillas-expansivas-naturaleza-y-comportamiento>
- Franco. (2011). Obtenido de <https://virtual.urbe.edu/tesispub/0104442/cap03.pdf>
- Galindo, J. G. (22 de Febrero de 2017). Disfrutando con la geotecnia. Obtenido de <https://blogs.upm.es/disfrutandogeotecnia/2017/02/22/rellenos-para-apoyo-de-losas/>
- Garcia, J. d. (Abril de 2005). Recuperado el 8 de noviembre de 2024, de <https://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/424/1/RI003537.pdf>
- Garcia, J. T. (Abril de 2025). Obtenido de <https://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/424/1/RI003537.pdf>
- Gavidia, A. (2020). ingeotecnica. Obtenido de <https://www.ingeotecnica.com/>
- Geotecnia, A. C. (2008). Código de Cimentaciones de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Hermosillo, S. M. (14 de abril de 2013). Recuperado el 8 de noviembre de 2024, de https://www.uaeh.edu.mx/docencia/VI_Lectura/maestria/documentos/LECT86.pdf
- Hernandez, N. A. (25 de octubre de 2022). Scribd. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/602797980/Equipo-1-COMPARADOR-DE-CARATULA>
- Homar Alirio López, S. S. (Agosto de 2016). Baixardoc. Obtenido de <https://baixardoc.com/documents/defor-mimetro1-5cf5837ab5e56>
- Infante, S. D. (07 de 2009). Comportamiento de suelos expansivos en cimentaciones superficiales . Obtenido de Universidad de los Andes : <https://repositorio.uniandes.edu.co/entities/publication/f6236002-6961-439d-9f31-92ecc937724f>
- Infante, S. D. (Julio de 2019). Obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/5d8453cd-b603-479c-9f62-ac124a85a4a6/content#:~:text=Los%20suelos%20expansivos%20se%20encuentran,Que%20ocasionan%20cuantiosas%20p%C3%A9rdidas.>
- Ingenieros, C. F. (2010). Código sísmico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica: Tecnológica de Costa Rica, 2011.

- Jezmin. (16 de octubre de 2019). Obtenido de [https://es.scribd.com/document/430504338/Explicacion-Carta-Plasticidad-Casagrande#:~:text=Zona%20sombreada&text=s%C3%ADmbolo%20CL%2DML%2C%20el%20cual,\)%2C%20es%20un%20s%C3%ADmbolo%20doble.&text=\(sombreado%20en%20amarillo\),de%20l%C3%ADmite%20l%C3%ADquido%](https://es.scribd.com/document/430504338/Explicacion-Carta-Plasticidad-Casagrande#:~:text=Zona%20sombreada&text=s%C3%ADmbolo%20CL%2DML%2C%20el%20cual,)%2C%20es%20un%20s%C3%ADmbolo%20doble.&text=(sombreado%20en%20amarillo),de%20l%C3%ADmite%20l%C3%ADquido%20de_elasticidad.html#:~:text=Equivale%20a%20la%20tangente%20en,obtenida%20del%20ensayo%20de%20tracci%C3%B3n.&text=En%20muchos%20casos%20el%20m%C3%B3dulo,mismo%20(ley%20de%20Hooke))
- Kevin Carvajal Valerio, K. M. (2025). Modelo de laboratorio para determinación de la variación de presión ejercida por la expansión en diferentes áreas de cimentación. San Jose, Costa Rica.
- Leal, A. N., Tauta, J. F., & Blanco, E. F. (2009). Determinación de parámetros para los modelos elastoplásticos mohr-coulomb y hardening soil en suelos arcillosos. Rev. ing. univ. Medellín vol.8 no.15 .
- Llanes, Y. G. (3 de setiembre de 2018). Evaluación de la expansividad de las arcillas. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/6378/637869112006/html/>
- Montoya, C. A. (2005). Plasticidad, Granulometría y Clasificación de Suelos. Obtenido de Universidad de Quindío: https://www.uniquindio.edu.co/campus_virtual/
- Muñoz, C. (2012). Recuperado el 8 de noviembre de 2024, de <https://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr/items/834045da-ef9e-4b98-aff6-068b270124a1>
- NNaydim. (18 de mayo de 2020). Obtenido de <https://acecig.wixsite.com/geosciences/post/suelos-expansivos>
- Prat, P. (2006). Elasticidad y plasticidad. Barcelona.
- Rica, T. d. (2009). Google Books. Obtenido de https://books.google.co.cr/books?id=LLFPaqVMz5MC&pg=PA39&hl=es&source=gbps_selected_pages&cad=1#v=onepage&q&f=false
- Rica, T. d. (2010). Obtenido de <https://www.codigosismico.or.cr/descargas/CSCR2010.pdf>
- Roda, V. (30 de Agosto de 2022). Obtenido de <https://www.mecapedia.uji.es/pages/m>
- Rodriguez, G. (6 de Marzo de 2025). Centro Geotecnico Internacional. Obtenido de <https://www.centrogeotecnico.com/blog-geotecnia-geomecanica/plasticidad-de-los-suelos.html#:~:text=La%20plasticidad%20del%20suelo%20se,la%20remoci%C3%B3n%20de%20las%20cargas.>
- Rodríguez1, P. C. (Diciembre de 2020). Recuperado el 8 de Noviembre de 2024, de https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-28132020000200035
- Rosales Asto, P. Z. (4 de Diciembre de 2023). Obtenido de https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/REVUNMSM_af39b8c54c9ca327f9254518003f2e85/Details
- Santander Open academy. (10 de Octubre de 2021). Obtenido de <https://www.santanderopenacademy.com/es/blog/cualitativa-y-cuantitativa.html>
- Segura, C. A. (2009). 1. Construcción de placas y losas con mayor rigidez: El incremento de la rigidez en losas y placas distribuye de manera uniforme las cargas y minimiza las deformaciones causadas por la expansión del suelo. Las losas de cimentación rígidas, reforzadas con . Bogota.
- Solucionesespeciales. (s.f.). Obtenido de <https://www.solucionesespeciales.net/suelos-arcillosos-expansivos/>
- Stemm Grabs. (s.f.). Obtenido de <https://www.stemm.com/es/servicios/densidades-de-materiales?view=jcode>
- VALENCIA, M. E. (1992). Recuperado el 2024 de noviembre de 8, de <https://www.jorgealvahurtado.com/files/Suelos%20Expansivos%20en%20Talara.pdf>
- Vaunant, A. y. (1999). Modelado del comportamiento mecánico de arcillas

- expansivas.
- Webs, D. p. (16 de Diciembre de 2024). Pro Mallas. Obtenido de <https://promallascr.com/compactacion-de-muros-de-suelo-reforzado-en-ingenieria-civil-un-pilar-para-el-desarrollo-en-costa-rica-1907/>
- Gómez, I. S., & Auñón, J. S. (2018, 29 agosto). Principios básicos en suelos no saturados. <https://ingenieriacivil.cedex.es/index.php/ingenieria-civil/article/view/1393>
- Shock, C. C., Welch, T., Wang, F., Flock, R., Feibert, E. B. G., Shock, C. A., & Pereira, A. (2013, 1 marzo). El control del riego mediante la tension matricial del suelo. ScholarsArchive@OSU. https://ir.library.oregonstate.edu/concern/open_educational_resources/gx41mj166
- ConcretOnline. (2018, 25 julio). Patologías por arcillas expansivas, naturaleza y comportamiento. <https://www.concretonline.com/construccion/patologias-por-arcillas-expansivas-naturaleza-y-comportamiento>
- Franco, R. (2014). CAPITULO 5 GEOTÉCNIA 5.1 General. Uagrm. https://www.academia.edu/5892892/CAPITULO_5_GEOT%C3%89CNIA_5_1_General?
- De Medina, J., & Lacerda, W. A. (1973, 1 marzo). Suelos expansivos su estabilizacion con cal. <https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/15822?>
- Losas de cimentación – El blog de Víctor Yepes. (2019, 16 enero). https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/01/16/losas-de-cimentacion/?utm_source
- Barragan, E. (2018). Fundamentos de Ingenieria Geotecnica Braja M das. Uv-mx. https://www.academia.edu/37854899/Fundamentos_de_Ingenieria_Geotecnica_Braja_M_Das
- Deingenierias.com. (2024, 29 mayo). EL Diagrama Esfuerzo Deformación | Qué es, partes, características y explicación. <https://deingenierias.com/el-acero/diagrama-esfuerzo-deformacion/>
- El sistema unificado de clasificación del suelo (sucs) en la Ingeniería Geotécnica -. (2025, 7 abril). <https://geowebonline.com/sistema-unificado-de-clasificacion-del-suelo/>
- Gallaecia. (2023, 29 junio). Arcilla expansiva: problema y solución. Obras Gallaecia. <https://www.obrasgallaecia.com/arcilla-expansiva-problema-y-solucion/#:~:text=La%20humedad%20es%20el%20principal,la%20expansi%C3%B3n%20de%20la%20arcilla.>
- Grim, E. R., Kodama, & Hideomi. (1999, 26 julio). Clay mineral | Definition, Structure, Composition, Uses, Types, Examples, & Facts. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/science/clay-mineral>
- Cype, A. (2023a, octubre 12). ▷ El término Esfuerzo - Deformación ¿Es lo mismo? CYPE INGENIEROS PERÚ. <https://www.cype.pe/blog/esfuerzo-deformacion-es-lo-mismo/>
- MSc, I. Z. (2024, 24 enero). ¿Diferencia entre el comportamiento drenado y el no drenado? geotecnia.AI. <https://geotecnia.ai/diferencia-entre-el-comportamiento-drenado-y-el-no-drenado/#:~:text=La%20diferencia%20fundamental%20entre%20el,en%20suelos%20cohesivos%20o%20arcillosos.>
- Acar, F. (2024, 11 noviembre). Construcción sobre subsuelos blandos - Naue - Geosintéticos - Software de ingeniería Digital - Servicios de. Naue - Solution With Geosynthetics. <https://www.naue.com/es/soluciones-2/ingenieria-civil/construccion-sobre-subsuelos-blandos/#:~:text=Los%20suelos%20blandos%20se%20caracterizan,la%20estabilidad%20y%20los%20asentamientos.>
- Smith, A. H. V., & Evans, I. (1949). Sensitivity of Clays to Remoulding. Nature, 164(4164), 319. <https://doi.org/10.1038/164319a0>
- Granulometría. (2025, 7 abril). GEO. <https://geowebonline.com/el-ensayo-granulometrico-por->

tamizado/#:~:text=La%20granulometr
%C3%ADa%20por%20tamizado%20s
e,material%20retenido%20en%20cada
%20tamiz.