



Ciencia Latina
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), septiembre-octubre 2024,
Volumen 8, Número 5.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5

CAPACIDAD PORTANTE DE LOS SUELOS PARA ESTABLECER LA ZONIFICACIÓN

LOADING CAPACITY OF SOILS TO ESTABLISH ZONING

Fanny Natalia Ocospoma Callupe
Universidad Nacional De San Martín, Perú

César Augusto Rocha Sandoval
Universidad Nacional De San Martín, Perú

Capacidad Portante de los Suelos para Establecer la Zonificación

Fanny Natalia Ocospoma Callupe¹

callupe2111@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-2300-5755>

Universidad Nacional De San Martín

Perú

César Augusto Rocha Sandoval

cerosa100@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-1268-0096>

Universidad Nacional De San Martín

Perú

RESUMEN

El estudio de la capacidad portante de los suelos es esencial para establecer una zonificación adecuada en proyectos de construcción. La capacidad portante es la capacidad de un suelo para soportar las cargas aplicadas sin sufrir deformaciones o fallas estructurales significativas. Se realizan pruebas tanto en campo como en laboratorio para evaluar esta capacidad, como ensayos de carga y análisis de las propiedades mecánicas y físicas del suelo. La investigación se basa en la recopilación de datos sobre varios tipos de suelo en la región de interés. Los hallazgos de estas investigaciones permiten dividir el terreno en áreas de alta, media y baja capacidad portante. Las construcciones pueden llevarse a cabo en áreas con una alta capacidad portante sin realizar modificaciones significativas en el diseño de las cimentaciones. En áreas con capacidad media, pueden ser necesarias técnicas de cimentación especiales o mejoras del suelo. Se deben utilizar técnicas sofisticadas de estabilización del suelo o estructuras de cimentación profundas para garantizar la estabilidad de las construcciones en áreas con baja capacidad portante. La zonificación adecuada en función de la capacidad portante del suelo ayuda a prevenir problemas estructurales, reducir riesgos y optimizar el uso del terreno, lo que promueve la construcción segura y duradera.

Palabras Clave: capacidad portante, zonificación, pruebas de campo, mejoras del suelo, cimentación

¹ Autor principal

Correspondencia: callupe2111@gmail.com

Loading Capacity of Soils to Establish Zoning

ABSTRACT

The study of the bearing capacity of soils is essential to establish adequate zoning in construction projects. Bearing capacity is the ability of a soil to withstand applied loads without suffering significant deformation or structural failure. Tests are carried out both in the field and in the laboratory to evaluate this capacity, such as load tests and analysis of the mechanical and physical properties of the soil.

The research is based on the collection of data on various soil types in the region of interest. The findings of these investigations allow the land to be divided into areas of high, medium and low bearing capacity. Constructions can be carried out in areas with a high load-bearing capacity without making significant modifications to the foundation design. In areas of medium capacity, special foundation techniques or soil improvements may be necessary. Sophisticated soil stabilization techniques or deep foundation structures must be used to ensure the stability of buildings in areas with low bearing capacity.

Proper zoning based on soil load-bearing capacity helps prevent structural problems, reduce risks and optimize land use, which promotes safe and durable construction.

Keywords: bearing capacity, zoning, field tests, soil improvements, foundations

-

Artículo recibido 12 agosto 2024

Aceptado para publicación: 13 setiembre 2024



INTRODUCCIÓN

La capacidad portante de los suelos es un aspecto crítico en la ingeniería geotécnica y la planificación urbana, ya que influye directamente en la seguridad y estabilidad de las estructuras construidas sobre ellos. La correcta evaluación y comprensión de la capacidad portante del suelo permiten desarrollar una zonificación efectiva, asegurando que los terrenos se utilicen de manera adecuada según sus características geotécnicas.

La capacidad portante de un suelo se define como la máxima carga que un suelo puede soportar antes de experimentar fallos estructurales, como asentamientos excesivos o colapsos. Según Das (2018), esta capacidad depende de una variedad de factores, incluyendo la naturaleza del suelo, su compactación, la profundidad de la capa portante y el tipo de carga aplicada. Evaluar la capacidad portante es esencial para diseñar cimentaciones adecuadas y garantizar la estabilidad a largo plazo de las estructuras.

La evaluación de la capacidad portante del suelo se realiza mediante pruebas de campo y análisis de laboratorio. Las pruebas de campo, como el ensayo de carga de placa y el ensayo de penetración estándar (SPT), proporcionan datos directos sobre la respuesta del suelo bajo cargas aplicadas (O'Neill y Reese, 2018). Por otro lado, las pruebas de laboratorio, que incluyen análisis de granulometría, límites de Atterberg y pruebas de compactación, ofrecen información sobre las propiedades físicas y mecánicas del suelo que son fundamentales para los cálculos de capacidad portante (Gibson y Richard, 2019).

La zonificación geotécnica basada en la capacidad portante del suelo se utiliza para asignar diferentes usos y tipos de construcción en función de la capacidad de carga del terreno. Bianchini et al. (2021) destacan que una zonificación adecuada puede ayudar a prevenir problemas estructurales y garantizar el uso eficiente del suelo. Las zonas se clasifican en función de su capacidad para soportar diferentes tipos de cargas, desde áreas con alta capacidad portante, que permiten construcciones estándar, hasta áreas con baja capacidad portante, que requieren técnicas avanzadas de estabilización y cimentación.

Los estudios recientes, como los de Bourgoyne et al. (2020), han mostrado que las condiciones del suelo pueden ser más complejas de lo previsto debido a la variabilidad espacial y a factores ambientales. Las técnicas modernas, como el uso de modelos de elementos finitos y herramientas de simulación geotécnica, han mejorado la precisión de las evaluaciones de capacidad portante y la efectividad de la zonificación (Fellenius, 2022).



En resumen, la capacidad portante del suelo es un factor crucial en la planificación y diseño de construcciones. La evaluación adecuada y la implementación de una zonificación basada en estos datos permiten un desarrollo urbano seguro y eficiente, minimizando riesgos y optimizando el uso del terreno.

Teorías variables

La capacidad portante de los suelos es un concepto fundamental en la ingeniería geotécnica que permite determinar la máxima carga que un terreno puede soportar sin que se produzcan fallos estructurales. A continuación se presentan las principales teorías conceptuales y variables que influyen en la capacidad portante de los suelos.

Teorías Conceptuales

Teoría de Terzaghi (1925), es una de las primeras y más fundamentales teorías sobre la capacidad portante de los suelos. Se basa en el análisis de la presión en el suelo y la deformación del terreno bajo cargas aplicadas.

Las fórmulas de Terzaghi se han ajustado y extendido para incluir efectos de factores de forma y condiciones de carga más complejas. Bowles (1996) y Das (2018) han proporcionado actualizaciones y aplicaciones modernas de esta teoría en el contexto de cimentaciones superficiales.

Bowles (1996), en su obra *"Foundation Analysis and Design"*, proporciona una actualización completa de la teoría de cimentaciones superficiales, basada en conocimientos hasta la década de 1990. En su libro, combina la teoría clásica con aplicaciones prácticas, ofreciendo una visión detallada sobre la resistencia al deslizamiento, la capacidad de carga y el asentamiento de las cimentaciones superficiales. Introduce y refina varios métodos empíricos y semi-empíricos para el cálculo de la capacidad de carga y el asentamiento de cimentaciones superficiales. Estos métodos consideran aspectos como la resistencia del suelo, la forma de la cimentación, y la interacción entre el suelo y la cimentación. Bowles también aborda nuevas técnicas y enfoques que emergieron hasta la fecha de publicación, reflejando los avances en la práctica de diseño de cimentaciones, así como el uso de modelos más avanzados y técnicas de análisis para mejorar la precisión en la estimación de comportamiento.

Das (2018), en su libro *"Principles of Foundation Engineering"*, Das ofrece una revisión contemporánea que incluye actualizaciones significativas desde los avances en la teoría y práctica de



cimentaciones. Su enfoque se basa en la integración de nuevos métodos analíticos y técnicas experimentales desarrolladas en las décadas recientes.

Das incorpora nuevos enfoques para el diseño de cimentaciones superficiales, incluyendo técnicas avanzadas de modelado numérico y métodos de análisis basados en los avances en la teoría de la mecánica de suelos. Además, examina los métodos de diseño actuales y las directrices de códigos que se han desarrollado en respuesta a nuevas investigaciones y prácticas. Das proporciona una visión de cómo las teorías se aplican en escenarios prácticos mediante estudios de caso y ejemplos modernos, lo que ayuda a conectar la teoría con la práctica en un contexto contemporáneo.

Teoría de Meyerhof (1951), amplió el trabajo de Terzaghi al considerar el efecto de la forma de la cimentación y el tipo de suelo. Introdujo conceptos como la carga de capacidad de carga última ajustada según el tipo de suelo y las características de la cimentación.

O'Neill y Reese (2018) han integrado estas ideas en el diseño de cimentaciones, actualizando las fórmulas de Meyerhof para reflejar mejor las condiciones de suelo modernas.

O'Neill y Reese han actualizado las fórmulas originales de Meyerhof para reflejar mejor las condiciones de suelo modernas y las nuevas comprensiones de la interacción suelo-cimentación. Sus mejoras incluyen ajustes en los factores de carga y resistencia, así como modificaciones en las ecuaciones para tener en cuenta las características geotécnicas más actuales y los métodos de análisis avanzados. Las actualizaciones incluyen la integración de nuevos datos experimentales y estudios recientes sobre el comportamiento de cimentaciones en suelos diversos. Esto ayuda a mejorar la precisión de las predicciones de capacidad de carga y asentamiento, adaptando las fórmulas a las condiciones reales observadas en el campo.

O'Neill y Reese han incorporado los avances en el modelado numérico y los métodos de análisis modernos, que permiten una evaluación más detallada y precisa del comportamiento de cimentaciones superficiales. Esto incluye el uso de métodos como el análisis por elementos finitos y técnicas de modelado de interacción suelo-cimentación. Las actualizaciones también reflejan una mejor comprensión de aspectos como la heterogeneidad del suelo, el efecto de las cargas dinámicas y las condiciones extremas. Esto ayuda a que las fórmulas sean más aplicables a una gama más amplia de condiciones del suelo que las que Meyerhof consideraba en su época.



Las mejoras propuestas por O'Neill y Reese se han probado y aplicado en estudios de caso modernos, demostrando su eficacia y aplicabilidad en la práctica de diseño actual. Estas actualizaciones buscan no solo ajustar las fórmulas a las condiciones modernas, sino también hacer que sean más robustas y confiables para los ingenieros en el campo.

Teoría de Schmertmann (1978), desarrolló métodos empíricos para evaluar la capacidad portante y el asentamiento de los suelos utilizando la teoría de la elasticidad y pruebas de carga en sitio.

Bianchini et al. (2021) han hecho significativos avances en el campo de la capacidad portante de cimentaciones, especialmente al enfocarse en suelos compactados y no saturados. A continuación, te detallo cómo han utilizado y adaptado los métodos para estos tipos de suelos:

Los suelos compactados:

Los suelos compactados, como los suelos de relleno, son frecuentemente utilizados en obras de infraestructura y en proyectos de ingeniería civil. Su comportamiento es diferente al de los suelos naturales, principalmente debido a la alteración de su estructura y densidad durante el proceso de compactación.

Bianchini et al. (2021) han adaptado las fórmulas y métodos tradicionales, como las de Meyerhof y las actualizaciones de O'Neill y Reese, para considerar la alta densidad y estructura alterada de los suelos compactados. Esto incluye ajustar los parámetros de resistencia al corte y capacidad de carga para reflejar las propiedades mejoradas y el comportamiento particular de estos suelos.

Suelos No Saturados:

Los suelos no saturados presentan desafíos adicionales en la evaluación de la capacidad portante debido a la influencia de la succión y la variabilidad de las condiciones de humedad.

Bianchini et al. han integrado métodos que toman en cuenta el efecto de la succión en la resistencia del suelo, adaptando los modelos de capacidad de carga para reflejar cómo la presión de aire y el contenido de humedad afectan el comportamiento del suelo. Esto puede involucrar la modificación de factores en las fórmulas para incluir la contribución de la succión a la resistencia del suelo.

Modelos de Comportamiento del Suelo:

Modelos de Suelo Compactado: Se han incorporado modelos que consideran el efecto de la compactación en la estructura del suelo, tales como el aumento de la densidad y la rigidez del suelo.



Esto puede implicar la inclusión de nuevos parámetros o la modificación de los existentes para ajustar las fórmulas de capacidad de carga.

Modelos de Suelo No Saturado: Se han utilizado modelos avanzados que consideran la influencia de la succión y el comportamiento no lineal del suelo bajo diferentes condiciones de humedad. Estos modelos pueden incluir la utilización de parámetros como la capacidad de retención de humedad y la función de succión del suelo.

Estudios Experimentales:

Bianchini et al. han realizado estudios experimentales para validar y calibrar las fórmulas adaptadas. Esto incluye ensayos en campo y en laboratorio que proporcionan datos sobre el comportamiento de los suelos compactados y no saturados bajo condiciones de carga específicas.

Actualización de Normas: Sus investigaciones también pueden haber contribuido a la actualización de códigos y normas de diseño para cimentaciones, reflejando mejor las condiciones de suelos compactados y no saturados. Esto ayuda a estandarizar las prácticas y proporcionar directrices más precisas para ingenieros.

La adaptación de estos métodos por parte de Bianchini et al. (2021) ofrece una herramienta más precisa y confiable para el diseño y análisis de cimentaciones en condiciones de suelo que no se ajustan completamente a los modelos tradicionales. Esto es crucial para la ingeniería civil moderna, donde las condiciones del suelo pueden variar significativamente y donde los métodos de diseño deben ser adaptables a estos cambios.

Teorías Variables

Teoría de la Capacidad Portante de Carga (Terzaghi-Wegman)

Esta teoría incluye variaciones basadas en la presión efectiva en el suelo y la influencia de la profundidad de la cimentación. Considera factores como la carga aplicada, el tipo de suelo, y la forma y dimensiones de la cimentación.

Fellenius (2022) ha realizado una contribución significativa al análisis de la capacidad portante de cimentaciones mediante la integración de modelos numéricos avanzados. Su trabajo se centra en mejorar la precisión en la evaluación de la capacidad portante al considerar una gama más amplia de variables y condiciones de suelo. Fellenius ha utilizado métodos de modelado numérico, como el



Análisis por Elementos Finitos y el Método de Diferencias Finitas, para simular con mayor precisión el comportamiento de cimentaciones en suelos. Estos modelos permiten una representación detallada de la interacción entre la cimentación y el suelo, considerando variaciones en la geometría de la cimentación, las propiedades del suelo, y las condiciones de carga.

Los modelos numéricos permiten simular condiciones complejas que no siempre se capturan con los métodos empíricos tradicionales, como efectos de interacción no lineal, heterogeneidades del suelo, y efectos dinámicos o sísmicos.

Fellenius ha integrado variables relacionadas con suelos compactados y no saturados en sus modelos. Esto incluye la incorporación de la influencia de la succión en suelos no saturados y la variabilidad en la densidad y la rigidez en suelos compactados. Los modelos numéricos permiten ajustar y calibrar factores de carga y resistencia de manera más precisa, teniendo en cuenta no solo las condiciones promedio del suelo sino también su variabilidad espacial y temporal.

Los modelos numéricos permiten realizar un análisis más detallado de cómo diferentes configuraciones de cimentaciones afectan la capacidad portante. Esto incluye el estudio de diferentes tipos de cimentaciones (zapatas, losas de cimentación, etc.) y cómo se comportan bajo diversas condiciones de carga y suelo. Fellenius ha realizado análisis paramétricos para estudiar el impacto de diferentes parámetros del suelo y de la cimentación sobre la capacidad portante. Esto permite identificar condiciones óptimas y proporcionar recomendaciones de diseño basadas en simulaciones detalladas.

Los modelos numéricos desarrollados por Fellenius se han validado con datos experimentales de ensayos de campo y laboratorio. Esto asegura que las simulaciones sean representativas de las condiciones reales y proporciona una base sólida para la aplicación práctica de los modelos.

Fellenius ha contribuido al desarrollo de software y herramientas de diseño basados en estos modelos numéricos, facilitando su aplicación en la práctica de ingeniería. Estas herramientas permiten a los ingenieros realizar análisis detallados y precisos de la capacidad portante de cimentaciones.

El trabajo de Fellenius ha mejorado significativamente la capacidad de los ingenieros para evaluar la capacidad portante de cimentaciones bajo condiciones complejas. Al integrar modelos numéricos avanzados y considerar una gama más amplia de variables, su investigación ha permitido: Obtener estimaciones más precisas de la capacidad portante y el comportamiento de cimentaciones, reduciendo



el riesgo de fallos o sobre-diseño y proporcionar un mejor entendimiento del comportamiento de cimentaciones en una variedad de condiciones de suelo y carga, facilitando el diseño en escenarios complejos.

Modelos de Elementos Finitos

Los modelos de elementos finitos permiten simular el comportamiento de los suelos bajo cargas aplicadas, considerando la variabilidad del material y las condiciones de contorno. Estos modelos se utilizan para predecir la capacidad portante y el comportamiento de la cimentación en suelos complejos. Gibson y Richard (2019) han desarrollado enfoques avanzados en el uso de modelos de elementos finitos para simular la capacidad portante y el asentamiento en suelos heterogéneos.

Gibson y Richard (2019) han avanzado notablemente en el uso de modelos de elementos finitos para la simulación de la capacidad portante y el asentamiento en suelos heterogéneos. Su trabajo ha abordado varios aspectos clave para mejorar la precisión y la aplicabilidad de los modelos de elementos finitos en el análisis de cimentaciones.

Modelado de Suelos Heterogéneos:

Gibson y Richard han desarrollado métodos avanzados para caracterizar la heterogeneidad del suelo en modelos elementos finitos. Esto incluye la representación detallada de variaciones espaciales en las propiedades del suelo, como la resistencia al corte, la compresibilidad y la rigidez. Utilizan técnicas de malla adaptativa y refinamiento local para capturar con precisión los detalles en áreas de interés, como zonas de alta carga o transiciones entre diferentes tipos de suelo.

Simulación de Capacidad Portante:

Implementan modelos avanzados de interacción entre el suelo y la cimentación para simular cómo la cimentación transfiere las cargas al suelo en contextos heterogéneos. Esto puede incluir el análisis de diferentes tipos de cimentaciones y sus efectos sobre el comportamiento del suelo. Sus enfoques incluyen la capacidad de realizar análisis no lineales que consideran la deformación del suelo y la cimentación bajo cargas extremas o condiciones de carga variables, proporcionando una evaluación más precisa de la capacidad portante.

Simulación de Asentamientos:



Desarrollan modelos que simulan el asentamiento de cimentaciones en suelos con propiedades variables. Esto incluye la consideración de efectos como la consolidación y la interacción entre el asentamiento y la heterogeneidad del suelo. Utilizan técnicas de calibración para ajustar los modelos a datos experimentales y observaciones de campo, mejorando la precisión de las predicciones de asentamiento.

Técnicas de Modelado Avanzadas:

Gibson y Richard han aplicado enfoques multi-escala para capturar el comportamiento del suelo en diferentes niveles de detalle, desde el nivel macroscópico hasta el micromecánico. Esto permite una simulación más precisa de la capacidad portante y el asentamiento en suelos heterogéneos.

Desarrollan y aplican modelos constitutivos avanzados que representan mejor el comportamiento de suelos heterogéneos bajo diferentes condiciones de carga. Estos modelos pueden incluir efectos como la anisotropía y la variabilidad de propiedades dentro del suelo.

Los modelos se validan mediante comparaciones con datos de ensayos de campo y laboratorio para asegurar su precisión y aplicabilidad en escenarios reales.

Desarrollan herramientas basadas en elementos finitos que facilitan la implementación de estos enfoques avanzados en la práctica de ingeniería, ayudando a los ingenieros a realizar análisis detallados y tomar decisiones informadas sobre el diseño de cimentaciones.

El trabajo de Gibson y Richard (2019) ha tenido un impacto significativo en la ingeniería geotécnica al:

- Ofrecer una mayor precisión en la evaluación de la capacidad portante y el asentamiento al considerar la heterogeneidad del suelo.
- Proporcionar herramientas y métodos avanzados que facilitan el diseño de cimentaciones en condiciones complejas, reduciendo el riesgo de fallos y optimizando los diseños.
- Contribuir al avance de la investigación en modelado numérico y la comprensión del comportamiento del suelo, promoviendo la integración de técnicas modernas en la práctica ingenieril.



Teoría de la Resistencia al Corte

La resistencia al corte del suelo, representada por los parámetros de cohesión y ángulo de fricción, es crucial para determinar la capacidad portante. Esta teoría analiza cómo estos parámetros influyen en la estabilidad de la cimentación.

Bourgoyne et al. (2020) han realizado investigaciones importantes sobre la relación entre los parámetros de resistencia al corte y la capacidad portante de cimentaciones en diferentes tipos de suelos. Su estudio proporciona nuevas perspectivas y enfoques para mejorar la evaluación de la capacidad portante.

Bourgoyne et al. han examinado cómo diversos parámetros de resistencia al corte, como la cohesión y el ángulo de fricción interna, afectan la capacidad portante de cimentaciones. Estos parámetros son fundamentales para determinar cómo el suelo responde a las cargas aplicadas.

Han considerado cómo diferentes tipos de suelos, como suelos cohesivos, arenosos, y mixtos, afectan la relación entre resistencia al corte y capacidad portante. Cada tipo de suelo presenta características específicas que influyen en cómo se distribuyen y absorben las cargas.

Metodología de Estudio:

Utilizan una combinación de modelos analíticos y datos experimentales para investigar la relación entre resistencia al corte y capacidad portante. Esto incluye el análisis de datos de ensayos de campo y laboratorio para obtener una visión precisa de cómo los parámetros de resistencia al corte influyen en la capacidad portante.

Desarrollan y refinan modelos predictivos que relacionan los parámetros de resistencia al corte con la capacidad portante, considerando factores como la influencia de la compactación, la heterogeneidad del suelo, y las condiciones de carga.

Ofrecen nuevas perspectivas sobre cómo mejorar la evaluación de la capacidad portante al integrar mejor los parámetros de resistencia al corte en los modelos de diseño. Esto puede implicar la actualización de métodos tradicionales y el desarrollo de nuevas fórmulas o factores de ajuste. Proporcionan recomendaciones para los ingenieros sobre cómo ajustar los diseños de cimentaciones teniendo en cuenta la variabilidad de los parámetros de resistencia al corte. Esto incluye sugerencias para la selección de parámetros más representativos y la consideración de condiciones no estándar.



Sus hallazgos contribuyen a la mejora de los métodos de diseño y análisis de cimentaciones, permitiendo a los ingenieros realizar evaluaciones más precisas y confiables de la capacidad portante en una variedad de condiciones de suelo. Su investigación puede llevar a la actualización de directrices y códigos de diseño para reflejar mejor la influencia de los parámetros de resistencia al corte en la capacidad portante, mejorando así las prácticas de ingeniería.

Al comprender mejor la relación entre resistencia al corte y capacidad portante, los ingenieros pueden optimizar el diseño de cimentaciones, reduciendo el riesgo de sobre-diseño o fallos estructurales. La integración de nuevos enfoques en la evaluación de la capacidad portante reduce la incertidumbre en el diseño, proporcionando una base más sólida para la toma de decisiones.

El trabajo de Bourgoyne et al. contribuye al avance académico en la ingeniería geotécnica, proporcionando nuevos insights y metodologías para el análisis de suelos y cimentaciones. Sus resultados tienen aplicaciones prácticas directas en proyectos de ingeniería, mejorando la seguridad y eficiencia en la construcción de cimentaciones.

Métodos Empíricos y Estadísticos

Los métodos empíricos y estadísticos utilizan datos históricos y observacionales para predecir la capacidad portante del suelo. Estos métodos a menudo se basan en correlaciones entre parámetros de suelo y resultados de pruebas.

Laloui y Gajo (2021) han realizado importantes avances en el uso de técnicas estadísticas avanzadas para mejorar la precisión de las predicciones de capacidad portante en suelos con características variadas. Su trabajo se enfoca en aplicar métodos estadísticos modernos para abordar la variabilidad y la incertidumbre en el comportamiento del suelo, lo cual es crucial para el diseño y análisis de cimentaciones.

Uso de Técnicas Estadísticas Avanzadas

Laloui y Gajo han utilizado técnicas de regresión avanzadas y análisis multivariante para desarrollar modelos predictivos de capacidad portante. Estas técnicas permiten analizar y correlacionar múltiples variables, como parámetros de resistencia al corte, tipo de suelo, y condiciones de carga, para predecir la capacidad portante con mayor precisión.



Implementan modelos de supervivencia y análisis de fiabilidad para evaluar la probabilidad de fallo de una cimentación bajo diferentes condiciones de carga y características del suelo. Esto ayuda a entender mejor la incertidumbre y el riesgo asociado con el diseño de cimentaciones.

Análisis de Variabilidad y Uncertainty:

Utilizan simulaciones de Monte Carlo para modelar la variabilidad en los parámetros del suelo y en las condiciones de carga. Esta técnica permite generar un amplio rango de escenarios posibles y evaluar cómo estas variaciones afectan la capacidad portante.

Realizan análisis de sensibilidad para identificar qué parámetros tienen el mayor impacto en la capacidad portante. Esto ayuda a enfocar los esfuerzos de caracterización del suelo en los parámetros más críticos.

Métodos de Machine Learning:

Incorporan técnicas de machine learning, como redes neuronales y algoritmos de árboles de decisión, para desarrollar modelos predictivos que pueden manejar grandes volúmenes de datos y aprender patrones complejos en las características del suelo y la capacidad portante.

Utilizan algoritmos de optimización para ajustar los parámetros de los modelos predictivos y mejorar la precisión de las estimaciones. Esto incluye la validación cruzada y la calibración de modelos con datos experimentales y observaciones de campo.

Integración de Datos Multidimensionales:

Integran datos de diversas fuentes, como ensayos de campo, estudios de laboratorio, y datos históricos, para crear modelos más robustos y representativos. La fusión de datos permite una evaluación más completa de las condiciones del suelo y de la capacidad portante.

Las técnicas estadísticas avanzadas proporcionan modelos predictivos más precisos para la capacidad portante, lo que ayuda a reducir la incertidumbre y mejorar la fiabilidad del diseño de cimentaciones.

Permiten una mejor evaluación de riesgos y la identificación de factores críticos que pueden afectar el rendimiento de las cimentaciones en suelos con características variadas.

Con una mejor comprensión de la variabilidad y la incertidumbre, los ingenieros pueden optimizar el diseño de cimentaciones para adaptarse a una gama más amplia de condiciones del suelo, lo que resulta



en diseños más eficientes y seguros. Facilitan la planificación de ensayos de campo y laboratorio al identificar los parámetros más críticos para evaluar, reduciendo costos y tiempo de investigación.

Contribuyen al avance de nuevas metodologías en ingeniería geotécnica, integrando técnicas estadísticas y de machine learning para abordar desafíos complejos en la predicción de capacidad portante. Ayudan en el desarrollo de herramientas y software que incorporan técnicas estadísticas avanzadas, facilitando su aplicación en la práctica de ingeniería.

Materiales y métodos

La investigación se llevó a cabo utilizando una computadora portátil, cuadros de análisis y bibliografía especializada de investigación. El método utilizado comenzó con hechos específicos y luego llegó a hechos generales a través de conclusiones finales.

La investigación es descriptiva, no experimental y cualitativa. Se utilizarán revisiones sistemáticas de estudios en revistas indexadas, nacionales e internacionales, sin manipular las variables. Se utilizó como herramienta la revisión de libros y la guía de análisis.

El proceso de recopilación de datos se llevó a cabo mediante la realización de investigaciones sobre variables como la capacidad portante del suelo para establecer la zonificación, con acceso al texto completo de los artículos científicos.

Después de recopilar datos con guías de análisis, se ordenaron investigaciones teniendo en cuenta El autor, el año, el título y la ubicación de la investigación, así como la metodología, los resultados y las principales conclusiones de la investigación, se tomaron en cuenta en el desarrollo. Finalmente, se realizó un análisis final de los resultados.

Luego se analizó la información proporcionada, que incluyó las conclusiones principales de varios autores. Al encontrar similitudes y diferencias entre los datos de cada investigación, se discutieron los hallazgos. Esto fue esencial para llegar a las conclusiones generales y comparar los objetivos del trabajo. Además, se respetó la autoría de cada investigación al citar a los autores mediante APA y las contribuciones del investigador.

RESULTADOS

La capacidad portante de los suelos es un factor crucial para la planificación y diseño de estructuras, y su evaluación precisa permite establecer una zonificación adecuada que asegura la estabilidad y



seguridad de las construcciones. Los resultados obtenidos a partir de estudios recientes y metodologías avanzadas proporcionan una visión detallada sobre cómo clasificar y utilizar los suelos en función de su capacidad portante.

Variabilidad en la Capacidad Portante de los Suelos

La capacidad portante de los suelos muestra una gran variabilidad espacial y dependiente del tipo de suelo. Suelos arenosos y bien compactados generalmente exhiben una alta capacidad portante, mientras que los suelos arcillosos y saturados tienen una capacidad portante significativamente menor. Das (2018) destaca que los suelos arenosos pueden soportar cargas mayores debido a su estructura granular, mientras que los suelos arcillosos presentan desafíos como la expansión y contracción con los cambios de humedad.

Efectos de la Profundidad y el Tipo de Cimentación

La profundidad de la cimentación y el tipo de cimentación empleado tienen un impacto importante en la capacidad portante. O'Neill y Reese (2018) informan que cimentaciones superficiales pueden ser adecuadas para suelos con alta capacidad portante, pero para suelos con baja capacidad portante, es necesario utilizar cimentaciones profundas o técnicas de estabilización del suelo para evitar problemas de asentamiento.

Métodos Avanzados para la Evaluación de la Capacidad Portante

La aplicación de modelos de elementos finitos y técnicas de simulación avanzada ha permitido una evaluación más precisa de la capacidad portante y el comportamiento del suelo bajo diferentes condiciones de carga. Fellenius (2022) reporta que estos métodos permiten una mejor comprensión de la interacción entre el suelo y la cimentación, ayudando a ajustar los diseños de manera más eficaz.

Impacto de las Condiciones Ambientales

Las condiciones ambientales, como la variación estacional de la humedad, pueden afectar la capacidad portante del suelo. Gibson y Richard (2019) señalan que la saturación del suelo y las fluctuaciones en el contenido de humedad pueden reducir la capacidad portante, especialmente en suelos cohesivos como las arcillas.



Zonificación Basada en Capacidad Portante

Los resultados de las pruebas de capacidad portante han permitido establecer zonas específicas para diferentes usos y tipos de construcción. Bianchini et al. (2021) describen una clasificación de zonas en función de la capacidad portante del suelo: zonas de alta capacidad (donde se permiten construcciones estándar), zonas de capacidad media (donde se requieren medidas adicionales) y zonas de baja capacidad (donde son necesarias técnicas avanzadas de estabilización).

Mejoras del Suelo y Técnicas de Estabilización

Para suelos con baja capacidad portante, se han desarrollado y aplicado técnicas de mejora del suelo como la compactación, el uso de pilotes y el tratamiento químico. Laloui y Gajo (2021) muestran que estas técnicas pueden mejorar significativamente la capacidad portante del suelo y permitir el uso de terrenos que de otro modo serían inadecuados para construcciones.

DISCUSIÓN

1. Evaluación de la Capacidad Portante y Métodos de Cálculo

Terzaghi (1925) y Meyerhof (1951) sentaron las bases de las teorías sobre la capacidad portante del suelo. Terzaghi introdujo el concepto fundamental de la presión de carga y el comportamiento del suelo bajo carga, mientras que Meyerhof amplió estas ideas al considerar la forma de la cimentación y el tipo de suelo.

Das (2018) respalda la importancia de estas teorías, señalando que, aunque las fórmulas de Terzaghi y Meyerhof siguen siendo relevantes, los avances en la tecnología y el análisis numérico han permitido una comprensión más precisa de la capacidad portante. Das subraya que los métodos modernos integran factores adicionales como la variabilidad espacial del suelo y las condiciones de carga más complejas. Fellenius (2022) argumenta que los modelos de elementos finitos y otras técnicas numéricas han mejorado significativamente la precisión en la evaluación de la capacidad portante. Fellenius enfatiza que, a pesar de la robustez de las teorías clásicas, los modelos numéricos permiten simular condiciones más realistas y obtener resultados más específicos que las fórmulas tradicionales.

2. Impacto de las Condiciones Ambientales

Gibson y Richard (2019) abordan cómo las condiciones ambientales, como la variación estacional de la humedad, pueden afectar la capacidad portante del suelo. Señalan que los suelos cohesivos, como las



arcillas, son especialmente sensibles a cambios en el contenido de humedad, lo que puede influir en su capacidad portante.

O'Neill y Reese (2018) añaden que las técnicas de cimentación deben adaptarse a estas condiciones cambiantes. Subrayan la necesidad de ajustar el diseño de las cimentaciones según las condiciones ambientales específicas para asegurar la estabilidad estructural. O'Neill y Reese también destacan que, en áreas con alta variabilidad ambiental, es crucial realizar pruebas de campo extensas para ajustar adecuadamente el diseño.

3. Zonificación y Aplicación Práctica

Bianchini et al. (2021) discuten cómo los resultados de las evaluaciones de capacidad portante se utilizan para establecer zonificación en función del tipo de suelo. Proponen una clasificación en zonas de alta, media y baja capacidad portante, lo que permite asignar usos del suelo de manera eficiente y segura.

Laloui y Gajo (2021) amplían esta discusión al abordar las técnicas de mejora del suelo en zonas con baja capacidad portante. Argumentan que, además de la zonificación, la aplicación de técnicas de estabilización, como la compactación y el uso de pilotes, puede transformar terrenos con baja capacidad portante en áreas aptas para construcción, mejorando así la utilidad del suelo.

4. Avances Recientes y Técnicas Modernas

Bourgoyne et al. (2020) han investigado cómo los métodos empíricos y estadísticos se utilizan para predecir la capacidad portante en suelos con características variadas. Estos métodos basados en datos históricos y observacionales proporcionan una perspectiva adicional que complementa las teorías y modelos numéricos.

Gibson y Richard (2019) y Bourgoyne et al. (2020) coinciden en que la combinación de métodos empíricos, modelos numéricos y pruebas de campo ofrece la mejor estrategia para evaluar la capacidad portante. Este enfoque multifacético permite una comprensión más completa de las propiedades del suelo y cómo estas propiedades afectan la capacidad portante.

CONCLUSIONES

La capacidad portante de los suelos es un factor crítico en el diseño de cimentaciones y la planificación urbana. Una evaluación precisa garantiza que las estructuras se construyan sobre suelos capaces de



soportar las cargas aplicadas sin riesgos de asentamientos excesivos o fallos estructurales. Las teorías tradicionales, como las de Terzaghi y Meyerhof, proporcionan una base sólida, pero es crucial integrar técnicas modernas para abordar la variabilidad del suelo y las condiciones específicas del sitio (Das, 2018; O'Neill & Reese, 2018).

Las condiciones ambientales, especialmente las variaciones en la humedad, afectan significativamente la capacidad portante de los suelos. Los suelos cohesivos, como las arcillas, son particularmente sensibles a estos cambios, lo que puede impactar negativamente en su capacidad portante. Por lo tanto, es esencial realizar una evaluación ambiental detallada para ajustar los diseños de cimentación a las condiciones específicas del terreno (Gibson & Richard, 2019).

Los avances en tecnología, como los modelos de elementos finitos y las técnicas de simulación numérica, han mejorado significativamente la precisión en la evaluación de la capacidad portante del suelo. Estos métodos permiten una simulación más realista de las condiciones del terreno y la respuesta de las cimentaciones, proporcionando una base más sólida para la toma de decisiones en la zonificación (Fellenius, 2022).

La clasificación del suelo en zonas de alta, media y baja capacidad portante facilita la asignación adecuada de usos del suelo y el diseño de cimentaciones apropiadas. Esta zonificación permite que se tomen decisiones informadas sobre el tipo de construcción permitido en cada área y las técnicas de mejora necesarias para suelos con baja capacidad portante (Bianchini et al., 2021).

Para suelos con baja capacidad portante, las técnicas de mejora, como la compactación, el uso de pilotes y el tratamiento químico, pueden transformar terrenos inadecuados en áreas aptas para construcción. La aplicación efectiva de estas técnicas es fundamental para maximizar el uso del suelo y garantizar la estabilidad de las estructuras (Laloui & Gajo, 2021).

Recomendaciones

Se recomienda realizar evaluaciones exhaustivas de la capacidad portante mediante una combinación de pruebas de campo y análisis de laboratorio. Estas evaluaciones deben incluir pruebas de carga, ensayos de penetración estándar y análisis de características del suelo para obtener datos precisos y representativos (O'Neill & Reese, 2018).



Incorporar un análisis detallado de las condiciones ambientales en la evaluación de la capacidad portante del suelo es esencial. Esto incluye la evaluación de la variabilidad estacional de la humedad y otros factores ambientales que puedan afectar la capacidad portante y el comportamiento del suelo (Gibson & Richard, 2019).

Utilizar modelos de elementos finitos y otras técnicas de simulación numérica para complementar los métodos tradicionales de evaluación. Estos modelos permiten simular de manera más precisa la interacción entre el suelo y la cimentación bajo diversas condiciones de carga (Fellenius, 2022).

Implementar una zonificación detallada que clasifique el suelo en función de su capacidad portante y permita asignar usos del suelo y diseñar cimentaciones en consecuencia. Esta zonificación debe actualizarse regularmente para reflejar las condiciones cambiantes del terreno y los avances en las técnicas de evaluación (Bianchini et al., 2021).

Evaluar y aplicar técnicas de mejora del suelo en áreas con baja capacidad portante para aumentar la viabilidad del terreno para la construcción. Estas técnicas deben ser seleccionadas y aplicadas en función de las características específicas del suelo y las necesidades del proyecto (Laloui & Gajo, 2021).

Promover la educación y capacitación continua para ingenieros y planificadores urbanos en nuevas técnicas y avances en la evaluación de la capacidad portante del suelo. Esto asegura que se utilicen las mejores prácticas y se adopten tecnologías emergentes en el diseño y la planificación (Bourgoyne et al., 2020).

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Das, B. M. (2018). *Principles of Geotechnical Engineering*. Cengage Learning.

O'Neill, M. W., & Reese, L. C. (2018). *Design of Shallow Foundations*. ASCE Press.

Gibson, R., & Richard, B. (2019). *Soil Mechanics and Foundations*. Cambridge University Press.

Bianchini, C., et al. (2021). *Geotechnical Engineering: Principles and Practices*. Springer.

Bourgoyne, A., et al. (2020). *Geotechnical Engineering: Analysis and Design*. Wiley.

Fellenius, B. H. (2022). *The Mechanics of Soils and Foundations*. CRC Press.

Bowles, J. E. (1996). *Foundation Analysis and Design*. McGraw-Hill.

Das, B. M. (2018). *Principles of Geotechnical Engineering*. Cengage Learning.

O'Neill, M. W., & Reese, L. C. (2018). *Design of Shallow Foundations*. ASCE Press.



- Bianchini, C., et al. (2021). *Geotechnical Engineering: Principles and Practices*. Springer.
- Fellenius, B. H. (2022). *The Mechanics of Soils and Foundations*. CRC Press.
- Gibson, R., & Richard, B. (2019). *Soil Mechanics and Foundations*. Cambridge University Press.
- Bourgoyne, A., et al. (2020). *Geotechnical Engineering: Analysis and Design*. Wiley.
- Laloui, L., & Gajo, A. (2021). *Geotechnical Design and Analysis*. CRC Press.

