



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, 13 de Octubre de 2023

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Jose Daniel Gutierrez Garcia, con C.C. No. 1 075 321 912,

Anderson David Medina Rivera, con C.C. No. 1003 813098,

_____, con C.C. No. _____,

_____, con C.C. No. _____,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado o _____

titulado Desarrollo de software para la correccion y
Correlacion de los resultados del ensayo SPT con
Parametros Geotecnicos.

presentado y aprobado en el año 2023 como requisito para optar al título de

Ingeniero Civil;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales "open access" y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: Isabel Gutierrez

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: Anderson D. Medina R

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: Desarrollo de software para la corrección y correlación de los resultados del ensayo SPT con parámetros geotécnicos.

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Gutiérrez Garcia	José Daniel
Medina Rivera	Anderson David

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Herrera Rodríguez	Mauricio

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Suarez Quesada	Luis Ángel
Gil Hernández	Jackson Andrés

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero Civil

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: ingeniería Civil

CIUDAD: Neiva AÑO DE PRESENTACIÓN: 2023 NÚMERO DE PÁGINAS: 108

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas Fotografías___ Grabaciones en discos___ Ilustraciones en general___ Grabados___
Láminas___ Litografías___ Mapas___ Música impresa___ Planos___ Retratos___ Sin ilustraciones___ Tablas
o Cuadros

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento:

MATERIAL ANEXO:

Manual de usuario.

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. <u>Propiedades Físicas.</u>	<u>Physical Properties.</u>	6. _____	_____
2. <u>Soelos</u>	<u>Soils</u>	7. _____	_____
3. <u>Ensayos</u>	<u>Tests</u>	8. _____	_____
4. <u>Correlaciones</u>	<u>Correlations.</u>	9. _____	_____
5. <u>Correcciones</u>	<u>Corrections</u>	10. _____	_____

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

El Ensayo de Penetración Estándar (SPT) es una prueba geotécnica dinámica que evalúa las propiedades del suelo al medir la capacidad de resistir la penetración de una cuchara metálica a diversas profundidades, expresada en el número de golpes requeridos para que la cuchara penetre entre 15 mm y 45 mm. En Colombia, se usa ampliamente para caracterizar el suelo, empleando correlaciones de literatura para determinar el esfuerzo final del suelo, velocidad de onda de corte, módulo de corte, elasticidad y otras propiedades. Estas correlaciones consideran correcciones por la eficiencia del martillo, el diámetro de perforación, el tipo de muestreador, la longitud de varillaje, el nivel freático y esfuerzos de confinamiento.

Debido a la complicación inherente de aplicar múltiples correlaciones y correcciones en el campo de la geotecnia, han surgido soluciones de software costosas y de difícil acceso. El objetivo principal de este proyecto es desarrollar una hoja de cálculo que simplifique significativamente este proceso. Esta hoja de cálculo tiene la capacidad de estructurar y consolidar las

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



correlaciones, requisitos y directrices proporcionados por diversos autores, lo que facilita de manera considerable el cálculo y la comprensión de las propiedades geomecánicas.

La hoja de cálculo automatiza la recopilación de datos de campo, análisis de información, presentación de resultados corregidos y cálculo de correlaciones propuestas por autores internacionales. Su utilidad y aplicabilidad dependerán de las necesidades de cada proyecto. En resumen, esta hoja de cálculo facilita la evaluación del suelo y simplifica un proceso previamente complejo, ofreciendo una alternativa más accesible a los costosos programas de procesamiento de datos geotécnicos.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

The Standard Penetration Test (SPT) is a dynamic geotechnical test that evaluates soil properties by measuring the ability to resist penetration by a metal grab at various depths, expressed in the number of blows required for the grab to penetrate between 15 mm and 45 mm. In Colombia, it is widely used to characterize the soil, using literature correlations to determine soil ultimate stress, shear wave velocity, shear modulus, elasticity, and other properties. These correlations consider corrections for hammer efficiency, drilling diameter, sampler type, rod length, water table and confining stresses.

Due to the inherent complication of applying multiple correlations and corrections in the geotechnical field, costly and difficult to access software solutions have emerged. The main objective of this project is to develop a spreadsheet that significantly simplifies this process. This spreadsheet has the ability to structure and consolidate correlations, requirements and guidelines provided by various authors, which considerably facilitates the calculation and understanding of geomechanical properties.

The spreadsheet automates the collection of field data, analysis of information, presentation of corrected results and calculation of correlations proposed by international authors. Its usefulness and applicability will depend on the needs of each project. In summary,

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



this spreadsheet facilitates soil evaluation and simplifies a previously complex process, offering a more accessible alternative to expensive geotechnical data processing programs.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre presidente Jurado:

Firma:

Nombre Jurado:

Firma:

Nombre Jurado:

Firma:

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



***Desarrollo de software para la corrección
y correlación de los resultados del ensayo
SPT con parámetros geotécnicos***

José Daniel Gutiérrez García

Anderson David Medina Rivera

Universidad Surcolombiana de Colombia
Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Civil
Neiva, Colombia

2023

Desarrollo de software para la corrección y correlación de los resultados del ensayo SPT con parámetros geotécnicos

José Daniel Gutiérrez García

Anderson David Medina Rivera

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Civil

Director:

Ing. Mauricio Herrera Rodríguez

M. Eng – Geotecnia

Línea de Investigación:

Geotecnia

Universidad Surcolombiana de Colombia
Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Civil
Neiva, Colombia

2023

Agradecimientos

A mi estimado director de tesis, Mauricio Herrera Rodríguez, le agradezco profundamente su guía experta y apoyo constante. Al comité de carrera, por su revisión crítica y valiosas sugerencias.

A mi familia, cimiento de mi vida, por su inquebrantable apoyo. A Dios, fuente de inspiración y fortaleza en este viaje académico. Estoy agradecido por todas las bendiciones y oportunidades que me ha brindado. Este logro es el resultado del esfuerzo conjunto de todos ustedes.

Resumen

El Ensayo de Penetración Estándar (SPT) es una prueba geotécnica dinámica que evalúa las propiedades del suelo al medir la capacidad de resistir la penetración de una cuchara metálica a diversas profundidades, expresada en el número de golpes requeridos para que la cuchara penetre entre 15 mm y 45 mm. En Colombia, se usa ampliamente para caracterizar el suelo, empleando correlaciones de literatura para determinar el esfuerzo final del suelo, velocidad de onda de corte, módulo de corte, elasticidad y otras propiedades. Estas correlaciones consideran correcciones por la eficiencia del martillo, el diámetro de perforación, el tipo de muestreador, la longitud de varillaje, el nivel freático y esfuerzos de confinamiento.

Debido a la complicación inherente de aplicar múltiples correlaciones y correcciones en el campo de la geotecnia, han surgido soluciones de software costosas y de difícil acceso. El objetivo principal de este proyecto es desarrollar una hoja de cálculo que simplifique significativamente este proceso. Esta hoja de cálculo tiene la capacidad de estructurar y consolidar las correlaciones, requisitos y directrices proporcionados por diversos autores, lo que facilita de manera considerable el cálculo y la comprensión de las propiedades geomecánicas.

La hoja de cálculo automatiza la recopilación de datos de campo, análisis de información, presentación de resultados corregidos y cálculo de correlaciones propuestas por autores internacionales. Su utilidad y aplicabilidad dependerán de las necesidades de cada proyecto. En resumen, esta hoja de cálculo facilita la evaluación del suelo y simplifica un proceso previamente complejo, ofreciendo una alternativa más accesible a los costosos programas de procesamiento de datos geotécnicos.

Palabras clave: SPT, propiedades físicas y mecánicas, suelos, ensayos, correlaciones, correcciones.

Abstract

The Standard Penetration Test (SPT) is a dynamic geotechnical test that evaluates soil properties by measuring the ability to resist penetration by a metal grab at various depths, expressed in the number of blows required for the grab to penetrate between 15 mm and 45 mm. In Colombia, it is widely used to characterize the soil, using literature correlations to determine soil ultimate stress, shear wave velocity, shear modulus, elasticity, and other properties. These correlations consider corrections for hammer efficiency, drilling diameter, sampler type, rod length, water table and confining stresses.

Due to the inherent complication of applying multiple correlations and corrections in the geotechnical field, costly and difficult to access software solutions have emerged. The main objective of this project is to develop a spreadsheet that significantly simplifies this process. This spreadsheet has the ability to structure and consolidate correlations, requirements and guidelines provided by various authors, which considerably facilitates the calculation and understanding of geomechanical properties.

The spreadsheet automates the collection of field data, analysis of information, presentation of corrected results and calculation of correlations proposed by international authors. Its usefulness and applicability will depend on the needs of each project. In summary, this spreadsheet facilitates soil evaluation and simplifies a previously complex process, offering a more accessible alternative to expensive geotechnical data processing programs.

Key words: SPT, physical and mechanical properties, soils, tests, correlations, corrections.

Contenido

<i>Resumen</i>	III
<i>Abstract</i>	IV
<i>Contenido</i>	V
<i>Tabla de figuras</i>	VII
<i>Tabla de tablas</i>	VIII
1 Capítulo	9
1.1 Introducción	9
1.2.1 Objetivo General	10
1.2.2 Objetivos Específicos	11
2 Capítulo	14
2.1 Antecedentes y fundamentos teóricos	14
2.2 Marco Teórico	17
2.2.1 Procedimiento de realización del ensayo SPT	18
2.2.2 Aplicabilidad del ensayo de SPT	21
2.2.3 Correcciones aplicables al valor N, producto del ensayo de SPT	22
2.2.3.1 Corrección por energía	24
2.2.3.2 Corrección por nivel freático	27
2.2.3.3 Corrección por presión efectiva de sobrecarga (suelos granulares)	28
2.2.4 Clasificación de suelos	29
2.2.5 Aplicaciones del ensayo en cimentaciones	31
2.3 Marco Legal	33

3	Capítulo	35
3.1	<i>Metodología.....</i>	35
3.2	<i>Conformación de la base de datos.....</i>	37
3.3	<i>Determinación de la conveniencia en la utilización de correlaciones.....</i>	66
3.4	<i>Diseño hoja de datos de entrada.....</i>	67
3.5	<i>Diseño hoja de procesamiento de datos, correcciones y cálculo de correlaciones.....</i>	69
3.5.1	<i>Base de datos de consulta.....</i>	69
3.5.2	<i>Formulación.....</i>	70
3.6	<i>Salida de datos.....</i>	73
3.7	<i>Depuración de datos atípicos en resultados.....</i>	74
4	Capítulo.....	76
4.1	<i>Resultados.....</i>	76
4.1.1	<i>Análisis comparativo con NovoSPT 3.0.....</i>	77
4.2	<i>Análisis de resultados.....</i>	96
5	Capítulo.....	99
5.1	<i>Conclusiones y recomendaciones.....</i>	99
5.1.1	<i>Conclusiones.....</i>	99
5.1.2	<i>Recomendaciones.....</i>	100
6	Bibliografía	102

Tabla de figuras

Figura 1. Elementos de equipo ensayo SPT.....	19
Figura 2. Correcciones aplicadas al ensayo SPT.....	23
Figura 3. Tipos de cimentación	32
Figura 4. Metodología planteada.....	35
Figura 5. Diseño de hoja de ingreso de datos	68
Figura 6. Condiciones para la determinación de la consistencia del suelo	72
Figura 7. Elementos de diagrama de caja y bigotes (Acedmia Balderix, 2023)	74
Figura 8. Diseño hoja de salida de datos	75
Figura 9. Gráfico de caja y bigotes vs desviación estándar para N1(60).....	80
Figura 10. Datos de entrada ejercicio de ejemplo	81
Figura 11. Datos de entrada hoja de cálculo desarrollada	82
Figura 12. Comparación de resultados propiedad esfuerzo final de apoyo de pilotes.....	91
Figura 13. Comparación de resultados propiedad esfuerzo final de fuste de pilotes	91
Figura 14. Comparación de resultados propiedad velocidad de onda de corte	92
Figura 15. Comparación de resultados propiedad módulo de rigidez	92
Figura 16. Comparación resultados propiedad módulo de elasticidad.....	93
Figura 17. Comparación de resultados propiedad ángulo de fricción	93
Figura 18. Comparación de resultados propiedad densidad relativa	94
Figura 19. Comparación de resultados propiedad resistencia al corte no drenado.....	94
Figura 20. Comparación de resultados propiedad resistencia a la penetración del cono dinámico.....	95
Figura 21. Comparación de resultados propiedad presión limite.....	95
Figura 22. Comparación de resultados propiedad modulo presiometrico.....	96

Tabla de tablas

Tabla 1 Ventajas y desventajas del ensayo de penetración estándar.....	18
Tabla 2. Aplicabilidad del ensayo SPT, de acuerdo con los parámetros del suelo (Atala Abad, 2011).....	22
Tabla 3. Factor de corrección para la eficiencia del martillo (Ameratunga et al, 2019) ...	25
Tabla 4. Factor de corrección por diámetro de perforación. (Ameratunga et al, 2019)	26
Tabla 5. Factor de corrección por variación del tipo de muestreador. (Ameratunga et al, 2019)	26
Tabla 6. Factor de corrección por variación de longitud de varilla. (Ameratunga et al, 2019)	26
Tabla 7. Factores de corrección por presión efectiva de sobrecarga. (Ameratunga et al, 2019)	28
Tabla 8. Sistema de clasificación de suelos SUCS.....	30
Tabla 9. Marco legal aplicado al proyecto	34
Tabla 10. Descripción de diseño metodológico.....	36
Tabla 11. Listado de correlaciones incluidas en la hoja de calculo.....	38
Tabla 12. Delimitaciones del ensayo de penetración estándar (SPT), para aplicación de correcciones a los resultados del ensayo	65
Tabla 13. Parámetros para determinar en el procesamiento de datos, de acuerdo con el tipo de suelo	66
Tabla 14. Tabla de resultados para cada propiedad	72
Tabla 15. Parámetros geotécnicos evaluados por NovoSPT 3.0.....	76
Tabla 16. Valores de N1(60) por autor generados por software libre SPT.....	77
Tabla 17. Valores de N1(60) por autor generados por el software comercial NovoSPT 3.0	78
Tabla 18. Valores caja y bigotes software libre	78
Tabla 19. Desviaciones estándar por profundidad software NovoSPT 3.0	79
Tabla 20. Desarrollo ejercicio predeterminado por software NovoSPT 3.0 y comparación con la hoja de cálculo desarrollada.....	83

1 Capítulo

1.1 Introducción

La exploración geotécnica es vital en la Ingeniería Civil para el éxito de las obras, ya que ayuda a comprender cómo el suelo interactúa con las estructuras y garantiza su calidad y durabilidad. El caso del Km 6+000 en la Autopista Medellín - Bogotá ilustra su importancia. Desde 2008 hasta 2013, se invirtieron más de 30.000 millones de pesos en intentos de solución, como muros de contención y tensores, debido a problemas de hundimiento de la plataforma vial. Sin embargo, esto no resolvió el problema, y en mayo de 2012, los movimientos en masa causaron daños y conflictos legales con la comunidad. Se destacó la necesidad de una investigación más profunda en geología y geotecnia para encontrar una solución definitiva, evitando inversiones en soluciones temporales y mitigando las afectaciones a la comunidad (Ordoñez Carmona & Giraldo Ramirez, 2013).

El colapso de una vivienda en la vía Medellín – Santa Elena, estudiado por los ingenieros Rodrigo Osorio y Gloria Sierra, es otro ejemplo de la importancia de los estudios geotécnicos previo al diseño y construcción de una estructura. Mediante la investigación realizada, se pudo concluir que la ausencia de estudios geotécnicos y diseño estructural, tanto para la construcción inicial como para su posterior ampliación, son la causa principal del deterioro y posterior colapso de la estructura, dado que no se realizó diseño de cimentaciones ni cálculo de asentamientos (Osorio & Sierra, 2008).

El Ensayo de Penetración Estándar (SPT) es fundamental en la ingeniería geotécnica para obtener muestras y estimar propiedades del suelo. Su historia se remonta a 1902 con el coronel Charles R. Gow y se popularizó gracias a Terzaghi en 1947. Terzaghi demostró su utilidad en el diseño de zapatas superficiales y profundas, y su éxito se basó en la correlación entre el número de golpes (N_{spt}) y la densidad relativa (D_r) del suelo,

adoptado por organismos como el US Corps of Engineers y el US Bureau of Reclamation (Carmona Alvarez, 2014).

A pesar de más de 50 años de uso, el Ensayo de Penetración Estándar (SPT) tiene limitaciones, como la falta de correlaciones generales y la interpretación teórica compleja. Sin embargo, investigaciones en la década de 1980 demostraron que se puede entender como un sistema mecánico donde la energía del martillo se convierte en trabajo del suelo, lo que podría mejorar su confiabilidad en la caracterización geotécnica (Carmona Alvarez, 2014).

Esto llevó al desarrollo de correlaciones para estimar propiedades del suelo. Las primeras correlaciones se presentaron en el libro "Mecánica de Suelos en la Práctica de Ingeniería" de Terzaghi y Peck en 1948, y se incluyeron correlaciones entre el número de golpes y la consistencia de limos y arcillas, así como la densidad relativa de arenas, con mayor confiabilidad en datos para arenas que para limos y arcillas (Terzaghi & Peck, 1973).

El proyecto tiene por objeto desarrollar un software libre integrado a una base de datos, el cual permite ingresar y procesar datos del *ensayo de penetración estándar (SPT)*, considerando variables como profundidad, tipo de suelo y tipo de infraestructura; lo cual obtendrá datos detallados sobre las propiedades físicas y mecánicas del suelo en estudio, siguiendo correlaciones establecidas previamente por diversos autores. Este enfoque permite optimizar significativamente la eficiencia y precisión en la obtención de resultados, aplicado a la ingeniería civil y a la geotécnica brindando herramientas avanzadas para la toma de decisiones.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Desarrollar un software libre de ayuda para la correlación entre parámetros de resistencia al corte del suelo y los resultados del *ensayo de Penetración Estándar (SPT)*.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar una revisión bibliográfica sobre las correlaciones disponibles entre el *ensayo SPT* y parámetros geotécnicos (ángulo de fricción, módulo de elasticidad, cohesión, entre otros).
- Realizar la programación del software considerando la revisión bibliográfica realizada sobre las correlaciones existentes entre los parámetros geotécnicos y los resultados del *ensayo SPT*.
- Validar el correcto funcionamiento del software a través de otros programas o ejecución en libros.

1.3 Alcance

El presente proyecto tiene como propósito crear una hoja de cálculo, de fácil manejo e interpretación, compuesta por *tres elementos* principales. El *primero* de ellos es una hoja de datos de entrada, donde se ingresen todos los resultados obtenidos en el ensayo de campo; el *segundo* es una hoja de procesamiento de datos donde se aplican las correcciones por sobrecarga, nivel freático, tipo de instrumento de penetración y energía efectiva aplicada durante el ensayo; la *tercera*, compuesta por una hoja de procesamiento de datos y aplicación de correlaciones existentes en la literatura, diferenciadas por autor; y, *por último*, una hoja de salida de datos donde el usuario puede elegir el tipo de correlación requerida y visualizar los resultados obtenidos, acorde al tipo de suelo en estudio.

Teniendo en cuenta lo anterior, es oportuno indicar que la conveniencia del uso de esta hoja de cálculo depende del propósito del tipo de diseño a implementar, por lo cual es responsabilidad del usuario conocer el alcance de la correlación a utilizar y el tipo de suelo hacia el cual se encuentra dirigida.

Este proyecto busca agilizar el procesamiento de resultados de ensayos de penetración estándar (SPT) para reducir los tiempos de estudio y diseño de proyectos de infraestructura, adaptándolos a los tipos de suelo estudiados. Esto acelera la ejecución de proyectos sin perturbar la vida de las comunidades locales y ofrece soluciones adecuadas a las condiciones geotécnicas del suelo de fundación. Estas herramientas son especialmente valiosas en áreas de difícil acceso y presupuesto limitado, beneficiando a las comunidades al permitir la construcción de infraestructuras económicas que mejoran la calidad de vida, promueven la economía local y facilitan la movilidad de manera segura y duradera.

Este proyecto busca influir en la toma de decisiones de políticas estatales para optimizar las inversiones en infraestructura, reduciendo la carga financiera de las comunidades y fomentando la industria de herramientas informáticas y estudios geotécnicos adaptados a las condiciones locales. Esto agilizará la planificación y construcción de proyectos, beneficiando a la sociedad al mantener sus dinámicas sociales y económicas sin deudas abrumadoras. Además, el uso de un software de código abierto permite la inclusión de nuevas correlaciones, lo que puede impulsar la competitividad en el mercado y mejorar la accesibilidad a soluciones de infraestructura más asequibles. En resumen, este proyecto tiene un impacto significativo en las políticas públicas al promover la eficiencia en la inversión y estimular el desarrollo de la industria geotécnica local.

Por último, en el campo de la ingeniería civil, este proyecto tiene como propósito incentivar la investigación en el área de geotecnia para el diseño de estructuras, mediante una mejor y más efectiva comprensión de los requerimientos del suelo y las propiedades que contiene, con lo cual se logrará proponer estrategias constructivas más efectivas y con mayor duración. Lo anterior, a través del refuerzo y mejoramiento de los suelos de fundación y la generación de una distribución de cargas en áreas significativas, que disminuyan las deformaciones permanentes ocasionadas por los esfuerzos verticales en zonas puntuales. Así mismo, la fricción que genera este tipo de materiales con materiales granulares de altas capacidades mecánicas puede aumentar las densidades del terreno, brindando superficies idóneas para el soporte de cargas estáticas y cíclicas en periodos de diseño aceptables, lo cual se logra mediante la disminución de los daños en las cimentaciones y la ocurrencia de fenómenos asociados, como es el caso de la socavación.

En consecuencia, se generó un banco de correlaciones a partir del *ensayo de penetración estándar (SPT)*, mediante el cual se elaboró un software que permite el ingreso de los datos derivados del ensayo y los procesa, entregando los valores de las propiedades físicas y mecánicas de un suelo, de acuerdo con la correlación de cada autor, dependiendo de variables como el tipo de suelo, la profundidad y el tipo de infraestructura. Cabe resaltar, que estas correlaciones se generaron a partir de estudios realizados en otros países, estudios que dependieron en su momento del tipo de suelo, características de transporte y requerimientos constructivos diferentes a los nuestros, lo cual implica considerar en todos los casos factores de seguridad, que mitiguen la incertidumbre en la interpretación de los ensayos de cada correlación.

En Colombia se han realizado pruebas instrumentadas de este tipo de ensayos, las cuales permitieron calibrar las variables de los equipos utilizados en los ensayos, a fin de generar modelos de interpretación para la obtención de diversos parámetros geomecánicas

aplicados a dos proyectos diferentes. El primero en la instalación portuaria ubicada a 5 km del municipio de Tolú y el otro ubicado al lado del club de la policía en la ciudad de Bogotá (Carmona Alvarez, 2014). Los resultados obtenidos fueron comparados con ensayos de laboratorio tipo CPTU y parámetros retrocalculados a partir de pruebas PDA, lo que condujo a una correspondencia y equivalencia de los parámetros obtenidos a partir del nuevo modelo de interpretación del ensayo SPT en nuestro país.

2 Capítulo

2.1 Antecedentes y fundamentos teóricos

La literatura indica que el ensayo de SPT es un ensayo in situ de penetración por medio de golpeo a partir del cual se pueden correlacionar parámetros geotécnicos del suelo y extraer muestras alteradas de suelo a diferentes profundidades, lo cual constituye uno de sus principales usos (Carmona Alvarez, 2014). Las ventajas de este ensayo radican en que las correlaciones que pueden generarse por diferentes métodos, acorde a la tipología del material extraído del suelo, de las cuales se concluyen las correcciones del número de golpes y por consecuencia el ángulo de fricción equivalente (Carmona Alvarez, 2014). La metodología de este ensayo indica que las variaciones resultantes se deben tener en cuenta para calcular las correcciones de los parámetros de energía y presión por confinamiento, que generarán por último los valores finales para las correlaciones entre el número de golpes y el ángulo de fricción.

La ejecución del *ensayo de penetración estándar (SPT)*, resulta de gran conveniencia para las exploraciones geotécnicas y posterior cálculo de las correlaciones posibles, a través de diferentes métodos, ya que permite estimar las diferencias que se puedan presentar en los suelos teniendo en cuenta que cada uno de los métodos difiere en las consideraciones de uso, materiales a utilizar y valores estandarizados; información que permitirá al usuario definir cuál es el método más aproximado para los diseños geotécnicos, de acuerdo con las condiciones del suelo y los requerimientos constructivos.

Un proyecto de grado titulado estudio de resultados *ensayo de penetración estándar (SPT)* para el factor de corrección (CN) y el ángulo de fricción (ϕ) del suelo usando diferentes tipos de correlaciones, la relación con la zonificación geotécnica de Bogotá debe servir como complemento para la estratigrafía de los ensayos de penetración estándar de la KR 7a entre CL 38 y AC 170, unificando los diferentes sistemas evaluadores (Carmona Alvarez, 2014).

Así las cosas, la finalidad de estudiar los ensayos de penetración estándar de forma localizada es mejorar la interpretación de los valores y métodos utilizados que inciden en los diseños definitivos y el método constructivo más apropiado de trabajo.

En Colombia también se han realizado estudios acerca de la aplicación de este ensayo para diferentes obras de tipo civil, como es el caso de la investigación realizada por el Ing. Juan Camilo Viviescas sobre la evaluación de la variabilidad de las propiedades de resistencia al esfuerzo cortante para flujos de lodos y residuales (saprolito) del Valle de Aburrá a partir de ensayos de penetración estándar (SPT). En esta investigación el autor plantea que, debido a la variabilidad inherente de las propiedades mecánicas de resistencia al corte de los suelos, principalmente las asociadas a la cohesión y ángulo de fricción, se genera una tendencia creciente a la implementación de los análisis por confiabilidad en el diseño geotécnico para la toma de decisiones basadas en las probabilidades de ocurrencia de eventos (Viviescas, 2016).

El autor de este estudio, tomo como precedente que la mayor parte de los parámetros de resistencia al corte en la región, son usualmente obtenidos por medio de correlaciones empíricas a partir del número de golpes utilizado a través del *ensayo de penetración estándar (SPT)*, generó una base de datos con información de diferentes proyectos realizados en suelos Residuales (Saprolitos) y depósitos tipo Flujo de Lodos, a fin de conformar una base de datos lo suficientemente amplia para realizar un análisis estadístico que permita evaluar la posibilidad de obtener la función de distribución de probabilidad de los parámetros estudiados (Viviescas, 2016).

Con este análisis estadístico concluyeron que las correlaciones del ángulo de fricción a partir del N que presenta la función de distribución de probabilidad normales, son aquellas que presentan raíces cuadradas en su planteamiento matemático para el Flujo de Lodos y constantes para los suelos Residuales, pero con valores muy diferentes a los obtenidos directamente de los laboratorios, por lo que se requiere una calibración de las correlaciones para este tipo de suelos, con el fin de determinar realmente la función de distribución de probabilidad del ángulo de fricción (Viviescas, 2016).

Por último, la investigación presenta una relación directa en esfuerzos totales con la función obtenida del N_{60} en comparación con las obtenidas de los resultados de laboratorio (compresiones simples, cortes directo CU y CD y triaxiales CU), debido a que el SPT es un ensayo rápido y que no permite el drenaje, lo que lo hace compatible con estos parámetros (Viviescas, 2016).

Simplificando lo anterior, la aplicación de las correlaciones a partir de los resultados del ensayo SPT, requieren primero el análisis del suelo de origen, a fin de determinar su conveniencia.

Otro estudio sobresaliente es el trabajo de investigación realizado por la Ing. Paola Condori, quien empleo el ensayo de STP y DPL a fin de establecer las características, propiedades físicas y geotécnicas de la asociación casa huerta el bosque, buscando con ello determinar la resistencia o capacidad portante del suelo a través de la comparación del ensayo DPL y el método de densidad (calicata). Los cuales difieren en tipo de penetración que realiza, siendo el primero directo y el segundo ligero. Al final del estudio los resultados indicaron que el ensayo SPT y DPL presentan una diferencia porcentual del 12% aproximadamente, y que los resultados obtenidos por el ensayo DPL son más conservadores para un tipo de suelo arenoso, por lo cual la autora recomienda más este ensayo (Condori Huerta, 2022).

En Colombia, principalmente en infraestructura vial se han realizado diversos estudios sobre las relaciones existentes entre el ensayo de CBR (California Bearing Ratio), y el ensayo de resistencia a la penetración estándar SPT, como método de clasificación y evaluación de la capacidad de un suelo para ser utilizado como subbase o material de base en proyectos de infraestructura vial. Para estos fines se realizaron ensayos bajo condiciones controladas de humedad y densidad, los resultados obtenidos fueron utilizados para establecer una correlación entre los ensayos de CBR de campo y el ensayo SPT, a fin de establecer parámetros de resistencia del suelo en condiciones normales.

Ejemplo de esto es el proyecto realizado por el Ing. Jairo Puentes en su trabajo de grado *Correlación entre los resultados obtenidos del ensayo de CBR de campo y el ensayo de resistencia a la penetración estándar SPT en condiciones normales, en suelos cohesivos localidad de Suba Ciudad de Bogotá D.C.*, en el cual analiza los datos de un suelo clasificado como CH (Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas gruesas), mediante los ensayos de CBR y SPT, bajo condiciones normales en la localidad de Suba de la ciudad de Bogotá D.C. (Puentes Morales, 2019)

Los métodos de análisis utilizados por el autor se distribuyen principalmente en la aplicación de métodos numéricos y estadísticos, distribuciones bidimensionales que siguen una dependencia estadística. Como resultado, se obtuvieron tendencias que apuntan a una ley de tipo funcional que explica el comportamiento global de la distribución y una gráfica de distribución condensada en algunas zonas, donde el autor estableció una ecuación de regresión para relacionar las dos variables de la distribución.

Como conclusiones de este trabajo el autor indica que no es fiable al 100% estimar un CBR para suelos cohesivos tipo CH, a través de la creación de una guía y método comparativo de estudios realizados con la misma tendencia (Puentes Morales, 2019), la cual ha sido utilizada entre otras para realizar los siguientes estudios: “Aproximación a la zonificación del CBR en la localidad de chapinero”, “Propuesta de correlación entre

propiedades geotécnicas de materiales de edad triásica en las cordilleras béticas (Andalucía, España).” e “Instrucción para el diseño de firmes de la red de carreteras de Andalucía, España.”

También en proyectos de infraestructura vial se han realizado investigaciones a fin de correlacionar el ensayo de SPT con el ensayo de cono dinámico DCP, como el caso de la investigación realizada por el Ing. Javier Sánchez Aldana *Correlación entre el ensayo de penetración estándar SPT y el ensayo de cono dinámico DCP en la vía que desde Simijaca - Cundinamarca conduce a Buenavista – Boyacá*, lo anterior en suelos característicos de la vía que de Simijaca Cundinamarca conduce a Buenavista Boyacá (Sanchez Aldana, 2019).

Con esto, los valores de cualquiera de los dos ensayos pueden ser evaluado en función del otro, ampliando el campo de acción de los equipos. La importancia actual sobre el estudio y análisis de los suelos genera una variedad de investigaciones tales como su resistencia, solucionando inquietudes básicas de la forma en que se deben tratar y utilizar los suelos de subrasante en la estructura de pavimentos para carreteras (Sanchez Aldana, 2019).

Así las cosas, se puede concluir que el *ensayo de penetración estándar SPT* presenta mayor confiabilidad y uso en proyectos de exploración geotécnica para la construcción de estructuras y en menor medida para la conformación de infraestructura vial.

2.2 Marco Teórico

El ensayo de penetración estándar (SPT), como se indicó anteriormente es utilizado para determinar la capacidad de carga de un suelo a partir de la aplicación de golpes a diferentes profundidades in situ, simultaneo a la recolección de muestras para su caracterización (principal aplicación de su uso). Este ensayo se desarrolla mediante el conteo del número de golpes obligatorios para penetrar el suelo con una masa a una establecida altura, midiendo así la resistencia de los estratos del suelo a la penetración inducida.

Con los resultados obtenidos se pueden establecer correlaciones empíricas entre las pertenencias del suelo y la firmeza a la penetración, que indican algunas de las propiedades físicas y mecánicas de los suelos, entre las que se encuentran densidad relativa, resistencia a la compresión no limitada, cohesión, ángulo de resistencia al corte de suelos, entre otros (ABC Geotechnical Consulting, 2014).

La metodología más reconocida y aplicada en nuestro país es la descrita a través de la norma ASTM D1586, la cual fue propuesta alrededor del año 1927, y posee como principal ventaja su fácil aplicación y economía (Atala Abad, 2011).

Sin embargo, es oportuno resaltar que sobre este ensayo se tienen bastantes consideraciones y se enmarca un número amplio de ventajas y desventajas Tabla 1, como las citadas a continuación:

Tabla 1 Ventajas y desventajas del ensayo de penetración estándar

Ventajas	Desventajas
Es un ensayo sencillo y económico	Los resultados pueden ser alterados por cualquier variabilidad mecánica o del operador o de cualquier perturbación en la perforación.
Por medio de este ensayo se pueden obtener muestras para inspección visual y ensayos de caracterización.	Requiere un tiempo considerable para su realización, de acuerdo con la profundidad necesaria.
La conducta real del suelo se estima a través de los valores del ensayo.	Las muestras recolectadas son alteradas.
Este procedimiento puede ser empleado en capas densas y rellenos, así como en diversas condiciones del suelo.	Los resultados no pueden ser representados y la aplicación de esta prueba en gravas, cantos rodados y suelos cohesivos es confinada.

Adicional a lo anterior, este ensayo es recomendado principalmente para suelos donde sea predominante la fracción de arenas, siendo poco adecuado para suelos que se encuentren constituidos por arcillas blandas y limos (Calvo Barriga, 2013).

2.2.1 Procedimiento de realización del ensayo SPT

La norma ASTM D1586 indica que los instrumentos para la realización del *ensayo de penetración estándar SPT*, deben ser los siguientes (relacionados en la Figura 1):

1. Masa de 63,5 kg.
2. Altura de caída 76 cm.
3. Muestreador de diámetro externo, 50 mm o 2”.
4. Saca muestras de diámetro interno, 35 mm o 1 3/8 “.

5. Variante con diámetro interno 38 mm y tubo porta muestras, diámetro interno final 35mm.
6. Mecanismo de liberación del martinete mediante soga y malacate.
7. Barras de sondeo.
8. Cabeza de golpeo.

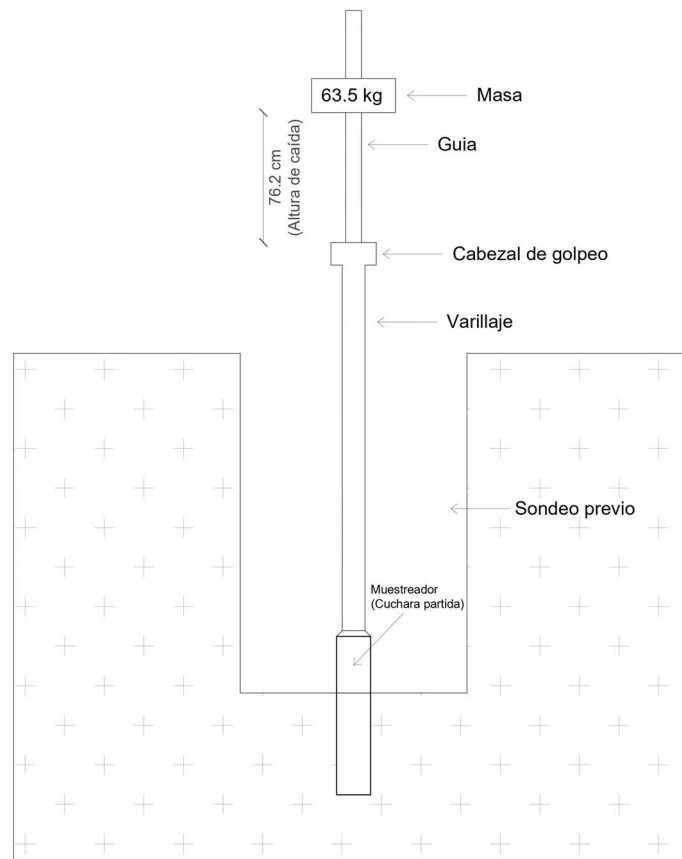


Figura 1. Elementos de equipo ensayo SPT

Una vez dispuesto el equipo de perforación y cuando este alcance la cota o estrato deseado a explorar (de acuerdo con los requerimientos de diseño), se debe limpiar la zona garantizando que el suelo inferior a estudiar se encuentra inalterado (Ordoñez Moscoso & Salinas Lotero, 2019); (ASTM international, 1992). Posterior a esto, se realizan los pasos listados a continuación:

- Conectar el muestreador a la tubería de perforación, bajar el muestreador de manera suave dentro de la excavación para evitar su caída e introducción en el suelo a muestrear.

- Se coloca el martillo en posición y se instala el cabezote en la parte superior de la tubería de perforación.
- Se deja en reposo el peso muerto del muestreador, tubería y cabezote, sobre el fondo de la excavación y se aplica un golpe de asentamiento.
- Se coloca una marca en el extremo superior de la tubería de perforación en tres incrementos sucesivos de 15 cm cada uno, de manera que el avance del muestreador ante el impacto del martillo pueda ser observado fácilmente.
- Se hinca el muestreador con golpes del martillo con masa de 63.5 kg, a una altura de caída de 0.76 m, contando el número de golpes aplicado a cada incremento de 15 cm, hasta que se dé una de las siguientes condiciones, con lo cual se rechaza o finaliza el ensayo:
 - 1) *Numero de Golpes (N) mayor a 50 golpes en cualquiera de los tramos de 15 cm.*
 - 2) *Numero de Golpes (N) es igual a 100 golpes para los 30 cm.*
 - 3) *No se registra avance después de 10 golpes*
 - 4) *Que el muestreador avance los 45 cm completos, sin presentarse cualquiera de las 3 condiciones anteriores. Se considera terminado el ensayo.*
- Por último, se registra el número de golpes necesario para cada incremento o fracción correspondiente. Se considera que los primeros 15 cm son de penetración de asentamiento, la suma de golpes del segundo y tercer tramo se conoce como “resistencia a la penetración” o valor de “Nspt”
- La elevación y caída del martillo, deberá obtenerse usando cualquiera de los siguientes métodos

En cuanto a los sistemas de elevación y caída del martillo, se considera lo siguiente:

- El sistema semiautomático o automático, debe levantar los 63.5 kg y dejarlos caer sin ningún obstáculo a los 0.76 m, con una tolerancia de ± 2.5 cm
- Debe contener un malacate o cilindro de rotación, que hale un cable atado al martillo. Si se trata de un cilindro de rotación, este debe estar libre de polvo, aceite o grasa y deberá tener un diámetro dentro del intervalo de 150 a 250 mm; si por el contrario contiene un malacate, este deberá operarse a una velocidad mínima de 100 rev/min.
- No deberá emplearse más de $2 \frac{1}{4}$ de vueltas de cable sobre el cilindro del malacate durante la ejecución del ensayo.

Con la ejecución de este procedimiento, se cuenta el número de golpes de martillo precisos para estimular una profundidad de 150 mm, repitiendo lo anterior, el muestreador se promueve una vez más en 150 mm y se registra el número de golpes.

N = Numero de golpes precisos para una penetración de 150 mm más allá de la unidad de asiento de 150 mm.

La prueba debe interrumpirse o tomarse como rechazo cuando el número de golpes para la unidad de 150 mm despunta los 50, el número de penetración estándar se debe moralizar para corrección de dilatación y corrección de sobrecarga, por lo cual se debe anotar también la longitud hincada en el tramo en el que se han alcanzado los 50 golpes, el ensayo SPT en este punto se considera finalizado cuando se alcanza este valor (Carmona Alvarez, 2014).

También puede darse el caso, de que el varillaje baje por su propio peso debido a la baja/nula consistencia del terreno por lo que se daría por concluido si el ensayo baja 60 cm. En este caso $N=0$ puesto que no ha sido necesario ningún golpe (Geotecnia Facil, 2022).

2.2.2 Aplicabilidad del ensayo de SPT

De acuerdo con los trabajos realizados en campo, la información recolectada durante diferentes años y las investigaciones realizadas en laboratorio, varios autores coinciden en que los resultados del ensayo son más confiables para suelos granulares (arenas), pese a que existen correlaciones entre el N y las propiedades de suelos finos (limos y arcillas); por lo cual, los valores en este tipo de suelos deben ser utilizados con prudencia de acuerdo con el tipo de infraestructura a diseñar y los requerimientos de construcción (Carmona Alvarez, 2014); (Atala Abad, 2011). La aplicabilidad del ensayo SPT en relación con los parámetros del suelo Tabla 2. Las referencias de aplicabilidad son señaladas en orden descendente, siendo A (aplicabilidad alta), B (aplicabilidad Moderada), C (aplicabilidad Limitada) y N (aplicabilidad Nula).

Sin embargo, es oportuno resaltar que el *ensayo de penetración estándar* es una técnica de gran utilidad mediante la cual se puede obtener información sobre las características del suelo en estudio, teniendo en cuenta que presenta mayor fiabilidad en suelos arenosos, presentando limitaciones en otros tipos de suelo.

Tabla 2. Aplicabilidad del ensayo SPT, de acuerdo con los parámetros del suelo (Atala Abad, 2011)

Parámetros del Subsuelo	Aplicabilidad del ensayo SPT	Símbolo
Tipo de suelo	B	-
Perfil estratigráfico	B	-
Densidad Relativa	B	pr
Angulo de Fricción	C	ϕ
Resistencia al Corte	C	τ
Presión Neutra	N	K
Relación de sobre consolidación	N	Kc
Módulos (E y G)	N	Me y Mg
Compresibilidad	C	B
Consolidación	N	c
Permeabilidad	N	©
Curva (s-e)	N	-
Resistencia a la licuación	A	-

2.2.3 Correcciones aplicables al valor N, producto del ensayo de SPT

Dadas diferentes condiciones de la ejecución del ensayo, el equipo utilizado, la experiencia de los operadores, las características del sondeo y el tipo de suelo objeto del estudio, los valores de N producidos por el ensayo se pueden ver alterados por diferentes causas, entre las cuales se resaltan las siguientes:

- Preparación y calidad del sondeo en la etapa de excavación y posterior sondeo del suelo, por lo cual se debe realizar de forma que se garantice que el suelo se encuentra inalterado, a fin de representar fielmente el terreno y se determinen de manera correcta sus propiedades (Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021). Este factor es atribuido directamente a la experiencia del operario.
- La longitud de varillaje y el diámetro del sondeo, debe considerarse ya que conforme aumenta la profundidad del sondeo, se necesita emplear un mayor número de varillas, lo cual aumenta el peso transmitido al muestreador (Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021).
- En cuanto a los dispositivos de golpeo se pueden utilizar dos tipos (automáticos o manuales), compuesto por un cilindro y polea. En la actualidad, es mayormente recomendado emplear dispositivos automáticos, ya que ofrecen altura y energía estandarizada en cada golpe aplicado, lo cual disminuye la incertidumbre en los resultados obtenidos. Caso contrario ocurre por el método manual, donde los resultados se ven afectados por el estado, número de vueltas y longitud de la cuerda, energía y pericia del operador (Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021).
- Adicional a lo anterior, los resultados del ensayo SPT pueden afectarse por el estado del muestreador (si presenta abolladuras u óxido generará mayor fricción al atravesar el suelo). También, el nivel freático, mala contabilización del conteo de golpes o tiempo transcurrido entre la excavación y el sondeo, son variables que impactan de manera considerable los resultados obtenidos. (Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021).

Por lo anterior, se requiere aplicar correcciones al número de golpes obtenidos durante el muestreo, las cuales se dirigen a la energía, el nivel freático, y la presión de confinamiento o sobrecarga efectiva. (Ordoñez Moscoso & Salinas Lotero, 2019).

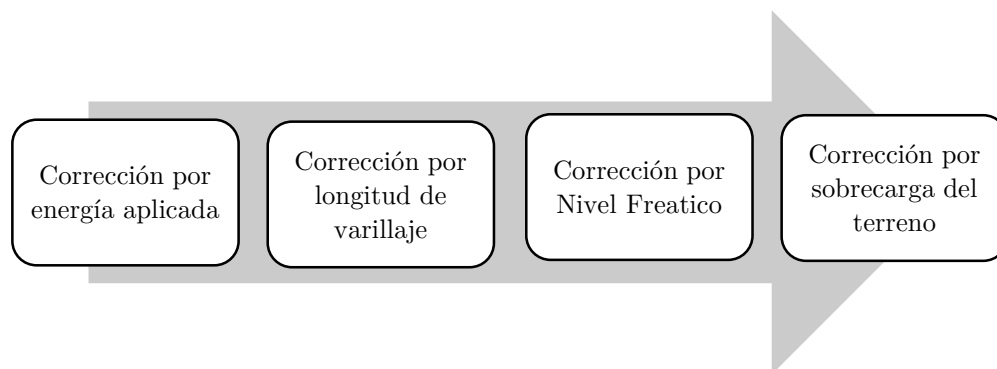


Figura 2. Correcciones aplicadas al ensayo SPT

2.2.3.1 Corrección por energía

Se deben contemplar diversos factores que contribuyen a la variación sobre la cantidad de golpes en el *ensayo de penetración estándar* (N) a una determinada profundidad para perfiles de suelos similares, como es la eficiencia del martillo, el diámetro de perforación, el método de muestreo y el factor de longitud de la varilla (Das, 2013).

La eficiencia del martillo se expresa como se muestra en la ecuación 4-1:

$$Er(\%) = \frac{\text{Energía real del martillo}}{w * h} * 100 \quad (4-1)$$

En esta ecuación w, corresponde al peso del martillo (63.5Kg) y h, a la altura de caída (0.76m).

En la aplicación, la magnitud de Er varía en un intervalo de 40% al 90%, de acuerdo con las condiciones externas como el equipo empleado, el estado de este, la experiencia del operario, entre otros. Por tal motivo, se ha acogido una práctica habitual expresando el valor de N como N60, es decir, a una relación de energía media del 60% (Ameratunga, Sivakugan, & Das, 2016).

Así las cosas, según Ameratunga, la corrección de los procedimientos de campo tomando como base las observaciones de ejecución de este, estandarizando el número de penetración alrededor de la energía motriz real de entrada y su disipación al interactuar con el suelo (Ameratunga, Sivakugan, & Das, 2016), se puede expresar como se muestra en la ecuación 4-2:

$$N(60) = \frac{N * \eta_H * \eta_B * \eta_S * \eta_R}{60} \quad (4-2)$$

En esta ecuación N60 indica el valor de N corregido para condiciones in situ con energía de 60%, N el número de penetración medido, η_H la eficiencia del martillo (%), η_B la corrección por diámetro de perforación, η_S la corrección por muestreador y η_R la corrección por longitud de varilla.

Tomando como referencia las recomendaciones propuestas por Seed et al (1985) y Skempton (1986), los coeficientes teóricos de corrección por eficiencia del martillo varían de acuerdo con su tipo y mecanismo de liberación Tabla 3.

Tabla 3. Factor de corrección para la eficiencia del martillo (Ameratunga et al, 2019)

País	Tipo de Martillo	Mecanismo de Liberación del Martillo	η_H
Japón	Donut	Caída Libre	78
	Donut	Cuerda y Polea	67
Estados Unidos	Seguridad	Cuerda y Polea	60
	Donut	Cuerda y Polea	45
Argentina	Donut	Cuerda y Polea	45
China	Donut	Caída Libre	60
	Donut	Cuerda y Polea	50

Es importante destacar que la energía de trabajo del martillo está influenciada por varios factores, como el tipo y estado del equipo utilizado, el número de vueltas de la sogá y la fricción generada en el martillo en equipos manuales, así como la ejecución adecuada del proceso. Por lo tanto, la tabla anterior representa un intento de generalizar la energía manejada en cada país; sin embargo, es importante tener en cuenta que esta energía puede variar en función de los factores mencionados anteriormente.

En Colombia, las correlaciones de energía y eficiencia del equipo se dictan a través de la norma INVIAS E - 111, la cual se remite directamente a la norma ASTM D 6066, la cual presenta métodos para convertir los valores “N” medidos según una energía normalizada. Así las cosas, esta norma indica que la resistencia a la penetración se ajusta a una relación de energía de 60% de la varilla de perforación usando un sistema de martillo con una entrega de energía estimada o midiendo la energía de las líneas de esfuerzo sobre tuberías de perforación (Invias E-111-13, 2013).

En el contexto de este proyecto y en conformidad con la normativa colombiana, se establece un valor del 60% como energía de referencia para los equipos de golpe conformados por martillo de cuerda y polea, mientras que para los equipos automáticos se fija en un 80%. Además, en caso de contar con información sobre la energía puntual manejada, se ofrece la opción de proporcionar un valor específico.

En cuanto a los coeficientes de corrección por diámetro de perforación se contemplan variaciones entre 60mm hasta los 200 mm Tabla 4.

Tabla 4. Factor de corrección por diámetro de perforación. (Ameratunga et al, 2019)

Diámetro (mm)	η_B
60 – 120	1
150	1.05
200	1.15

Los coeficientes de variación por tipo de muestreador dependen del tipo de equipo utilizado Tabla 5.

Tabla 5. Factor de corrección por variación del tipo de muestreador. (Ameratunga et al, 2019)

Variable	η_S
Muestreador estándar	1.0
Muestreador con revestimiento para arena densa y arcilla	0.8
Muestreador con revestimiento para arena suelta	0.9

Los coeficientes de variación por diámetro de perforación dependen de la longitud de la varilla en metros Tabla 6.

Tabla 6. Factor de corrección por variación de longitud de varilla. (Ameratunga et al, 2019)

Longitud de la varilla (m)	η_R
>10	1.0
6 – 10	0.95
4 – 6	0.85

Longitud de la varilla (m)	ηR
0 - 4	0.75

Así las cosas, se pueden encontrar hasta cuatro posibles números de penetración estándar, dependiendo de la literatura empleada para trabajar con las diferentes correlaciones disponibles (Ameratunga, Sivakugan, & Das, 2016), estos son los siguientes:

- N (número de penetración obtenido en campo).
- N60 = Valor N de campo corregido a una relación de energía media de 60%.
- N1 = Valor N de campo corregido a una sobrecarga efectiva estándar $\sigma = 100$ Kn/m². Este efecto de sobrecarga en el terreno se determina de acuerdo con las propiedades de los suelos granulares en confinamiento, los cuales varían de acuerdo con la profundidad de exploración, siendo una relación directamente proporcional entre la profundidad y el número de golpes, acorde con la energía empleada por el equipo.
- (N1)60 = N60 corregido a una sobrecarga efectiva estándar $\sigma = 100$ Kn/m².

Así mismo, para una determinada relación de energía media se puede convertir aproximadamente a un valor N para otra relación de energía (Ameratunga, Sivakugan, & Das, 2016), como se señala en la ecuación 2.3.

$$NER1 * ER1 = NER2 * ER2 \quad (4-3)$$

En la ecuación anterior NER1 es igual al número de golpes con una energía ER1 y NER2 es igual al número de golpes con una energía ER2.

2.2.3.2 Corrección por nivel freático

Cuando el ensayo se ejecuta por debajo del nivel freático, el valor de N debe ser corregido a estas condiciones, por lo cual el procedimiento va orientado principalmente a suelos de poca permeabilidad granulares como arenas finas o finos como limos y arcillas (Terzaghi & Peck, 1973).

$$NNF = \frac{15 + (N60 - 15)}{2} \quad (4-4)$$

La ecuación 2.4 es aplicable a valores de N mayores a 15, donde N_{NF} es el valor de N corregido por nivel freático y N el valor medido, su cálculo es posterior a la corrección por energía.

2.2.3.3 Corrección por presión efectiva de sobrecarga (suelos granulares)

En suelos granulares la presión de sobrecarga efectiva afecta el valor N, dado que esta presión varía a medida que aumenta la profundidad, por lo cual es necesario realizar correcciones (Ameratunga, Sivakugan, & Das, 2016), como se muestra en la ecuación 2.5.

$$N1(60) = Cn * N60 \quad (4-5)$$

En la ecuación N. 2.5 N1 es el valor de N corregido a un valor estándar de ($\sigma = 100$ Kn/m²), Cn es el factor de corrección, Pa la presión atmosférica (100 kN/m²) y σ_o corresponde a la presión efectiva de sobrecarga.

Existen varias expresiones empíricas para el factor de corrección Cn, de las cuales las más citadas son las expresadas por Liao y Whitman (1986) y Skempton (1986) (tabla 7), y su aplicación es anterior a la corrección por energía.

Tabla 7. Factores de corrección por presión efectiva de sobrecarga. (Ameratunga et al, 2019)

Autor	Ecuación	Adicional
Liao and Whitman (1986)	$Cn = \left[\frac{1}{\frac{\sigma}{P}} \right]^{0.5}$	
Skempton (1986)	$Cn = \frac{2}{1 + \frac{\sigma}{p}}$	Para arena fina normalmente consolidada
	$Cn = \frac{3}{2 + \frac{\sigma}{p}}$	Para arena gruesa normalmente consolidada
	$Cn = \frac{1.7}{0.7 + \frac{\sigma}{p}}$	Para arena sobre

Autor	Ecuación	Adicional
		consolidada
Tokimatsu y Yoshimi (1983)	$C_n = \frac{1.7}{0.7 + \frac{\vartheta}{p}}$	Para todo tipo de suelo
Seed et al (1975)	$C_n = 1 - 1.25 \log \frac{\vartheta}{p}$	
Peck et al (1974)	$C_n = 0.77 \log \left[\frac{20}{\frac{\vartheta}{p}} \right]$	$\left(\text{for } \frac{\vartheta}{p} \geq 0.25 \right)$
Bazaraa (1967)	$C_n = \frac{4}{1 + 4 \frac{\vartheta}{p}}$	$\left(\text{for } \frac{\vartheta}{p} \leq 0.75 \right)$
	$C_n = \frac{4}{3.25 + \frac{\vartheta}{p}}$	$\left(\text{for } \frac{\vartheta}{p} > 0.75 \right)$

Diferentes estudios afirman que los resultados en las ecuaciones anteriores son aproximadamente iguales, teniendo en cuenta las incertidumbres en la realización del ensayo y la incertidumbre del suelo mismo en su composición. Sin embargo, recomiendan la ecuación de Liao and Whitman, por ser aplicable para todos los cálculos (Ameratunga, Sivakugan, & Das, 2016).

2.2.4 Clasificación de suelos

Una de las principales aplicaciones del *ensayo de penetración estándar SPT*, es la recolección de muestras alteradas a diversas profundidades, teniendo en cuenta las variabilidades que existen entre los suelos, y la conveniencia de que estos sean agrupados de acuerdo con el orden de rendimiento bajo un conjunto de condiciones físicas. La clasificación del suelo proporciona pautas generales de manera empírica para hacer uso de la experiencia de campo y evaluar los requerimientos de este, a fin de mejorarlo u obtener los mejores beneficios de este.

De acuerdo con el sistema empleado los suelos se pueden clasificar a partir de su granulometría, la textura que presenta, el método AASHTO y el sistema unificado de

clasificación de suelos (SUCS), siendo este último el mayormente utilizado para exploraciones geotécnicas.

El sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS), fue desarrollado originalmente por Casagrande en el año de 1948. Este sistema se basa tanto en el tamaño del grano como en las características de plasticidad del suelo. Este sistema divide el suelo en tres grandes grupos, suelos de grano grueso, granos finos y orgánicos, y otros materiales de suelo misceláneos.

Los suelos de grano grueso son aquellos con más del 50% del material de más de 0.075 mm de tamaño y se clasifican en gravas (G) y arenas (S), las cuales se dividen en cuatro categorías según la gradación, el limo o el contenido de arcilla.

Los suelos de grano fino son los que más del 50% pasa el tamaño del tamiz de 0,075 mm y se clasifican en tres subdivisiones limo (M), arcilla (c), sales orgánicas y arcillas (O). Adicional a esto, a partir de su naturaleza y plasticidad se añaden con el símbolo L, M y H para indicar plástico bajo, plástico mediano y plástico alto respectivamente.

Los suelos de grano fino se dividen en tres subdivisiones de acuerdo con su compresibilidad (baja, media y alta).

Tabla 8. Sistema de clasificación de suelos SUCS

Divisiones mayores		Símbolo del grupo	Nombre del grupo	
Suelos granulares gruesos el 50% o más se retuvo en el tamiz No. 200 (0,075mm)	Grava <50% de la fracción gruesa que pasa por el tamiz N. 4 (4,75mm)	grava limpia menos del 5% pasa el tamiz N. 200	GW	Grava bien gradada, grava fina a gruesa
			GP	Grava pobremente gradada
		Grava con más de 12% de finos pasantes del tamiz N. 200	GM	Grava limosa
			GC	Grava arcillosa
	Arena ≥ 50% de fracción gruesa que pasa el tamiz N. 4	Arena limpia menos del 5% pasa el tamiz N. 200	SW	Arena fina a gruesa
			SP	Arena pobremente gradada
		Arena con más de 12% de finos pasantes del tamiz N. 200	SM	Arena limosa
			SC	Arena arcillosa
	Inorgánico	ML	Limo	

Divisiones mayores		Símbolo del grupo	Nombre del grupo	
Suelos de grano fino más del 50% de la muestra pasa el tamiz No. 200 (0,075 mm)	Limos y arcillas limite liquido <50		CL	Arcilla
		Orgánico	OL	Limo orgánico, arcilla orgánica
	Limos y arcillas limite liquido ≥ 50	Inorgánico	MH	Limo de alta plasticidad, limo elástico
			CH	Arcilla de alta plasticidad
		Orgánico	OH	Arcilla orgánica, limo orgánico
			Pt	Turba

En la Tabla 8 anterior se relaciona la clasificación de los suelos a partir de su granulometría, límites de consistencia y contenido de humedad, lo que genera tres grandes grupos el primero conformado por gravas, el segundo por arenas y el tercero por limos y arcillas. Modificado de: [(ASTM international, 1985). Classification of Soils for Engineering Purposes: Annual Book of ASTM Standards, D 2487-83, 04.08, American Society for Testing and Materials, pp. 395-408.][(Liu & Evett, 2007), Soils and Foundations (7 edition), Prentice Hall.]

2.2.5 Aplicaciones del ensayo en cimentaciones

Se conoce como cimentación al conjunto de elementos estructurales que tienen por objeto soportar la estructura a construir y con ella, las cargas vivas y muertas contempladas. De acuerdo con la estimación de cargas, los requerimientos constructivos y las condiciones del suelo de fundación se pueden contemplar dos tipos de cimentación: superficial y la profunda. La cimentación debe resistir las cargas y sujeta la estructura frente a acciones horizontales como el viento y el sismo, conservando su integridad. La interacción entre el suelo y la estructura depende de la naturaleza del propio suelo, de la forma y tamaño de la cimentación y de la flexibilidad de la estructura (Piqueras, Concepto y clasificación de las cimentaciones, 2008).

De acuerdo con la literatura y los Manuales de Diseño Colombianos, las cimentaciones se diseñan para no alcanzar los estados límites últimos (estabilidad global, hundimiento, deslizamiento, vuelco o rotura del elemento estructural) o de servicio (capacidad funcional,

estética). Así las cosas, se denomina capacidad portante a la máxima presión que transmite una cimentación sin alcanzar el estado último, mientras la presión admisible es aquella que no se alcanza en ningún estado límite, ya sea último o de servicio, presentando un coeficiente de seguridad respecto a la capacidad portante (Piqueras, Concepto y clasificación de las cimentaciones, 2008).

Teniendo en cuenta que este ensayo permite conocer la estratigrafía de un suelo a diferentes profundidades, se considera de gran importancia para el diseño de obras de cimentación la realización del *ensayo de penetración estándar SPT*, ya que, a través de la recolección de muestras alteradas y la aplicación de correlaciones, indica la profundidad del suelo a la que puede ser construida la cimentación y por ende el tipo de esta.

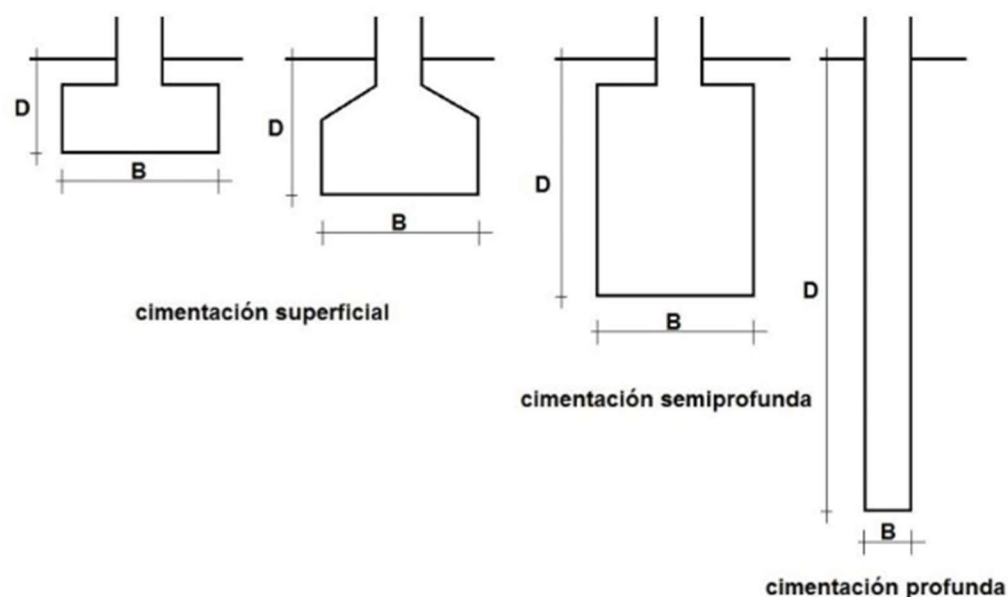


Figura 3. Tipos de cimentación

Siendo superficial cuando el contacto entre la cimentación y el terreno es menor a 3.0 m, semiprofunda cuando este contacto se encuentra entre 3.0 m y 6.0 m (pozos), y profunda cuando es superior a los 6.0 m (pilotes).

Un ejemplo de aplicación del ensayo es el descrito en el proyecto de grado capacidad portante con fines de cimentación mediante los ensayos SPT y corte directo en el distrito de Aguas Verdes-Tumbes, la cual se encuentra en Perú, hacía el occidente de Ecuador. La investigación planteo como objetivos la determinación de la capacidad portante del suelo con fines de cimentación, lo cual fue realizado mediante el cálculo de la resistencia del suelo en diversas profundidades, partiendo de la hipótesis de que “la capacidad portante de los suelos de fundación del Distrito de Aguas Verdes-Tumbes mediante los

Ensayos Especiales de SPT es menor que un 80% a los Ensayos Especiales de Corte Directo” (Fernandez Galvez, 2015).

Según el Ing. Víctor Yepes Piquera El *ensayo de penetración estándar o SPT (Standard Penetration Test)* es quizás uno de los ensayos más frecuentes que se utiliza cuando se realizan sondeos de reconocimiento y representa una importante fuente de datos acerca de la resistencia del terreno. Entre las principales ventajas de este ensayo es que permite visualizar el terreno donde se ha realizado la prueba y permite su identificación, e incluso conocer la humedad del terreno si es cohesivo (Yepes Piqueras, 2008).

Otra ventaja es que es de bajo costo y de alta representatividad, principalmente en suelos granulares y mixtos. La descripción del ensayo se encuentra recogida en la norma UNE 103-800-92. El valor que se obtiene se denomina *resistencia a la penetración estándar N60spt*.

Existen numerosos estudios que permiten relacionar de forma empírica el valor N60SPT con las propiedades geotécnicas del terreno in situ. Sin embargo, gran parte de las correlaciones corresponden a terrenos arenosos, pues la presencia de gravas oscurece la interpretación de los resultados e incluso puede impedir la realización del ensayo. Por lo que, es un ensayo especialmente indicado para terrenos con una amplia fracción arenosa y lo es menos cuando existe una mayor proporción de finos o de gravas (Yepes Piqueras, 2008).

2.3 Marco Legal

El marco legal aplicable al presente proyecto Tabla 9 abarca diferentes esfuerzos realizados el estado, a nivel de políticas que contengan los lineamientos mínimos de realización e incorporación de técnicas para *ensayos de penetración estándar (SPT)*. A continuación, se resaltan los de mayor incidencia en el presente proyecto, ya que el restante de documentos aplicados conforma manuales y guías.

Tabla 9. Marco legal aplicado al proyecto

Ámbito de la norma	Tipo de Norma	Artículos vinculantes al estudio	Sentido de aplicación
Nacional	Manual de Normas de Ensayo de Materiales para Carreteras (INV – 111 – 13)	Todos	Ensayo normal de penetración (SPT) y muestreo de suelos con tubo partido.
Internacional	ASTM D6066	Todos	Práctica estándar para determinar la resistencia a la penetración normalizada de las arenas para la evaluación del potencial de licuefacción.

3 Capítulo

3.1 Metodología

En el presente capítulo se presenta la metodología implementada para generar un software de corrección y correlación de los resultados del ensayo SPT, la cual sigue la secuencia de actividades expuesta en la Figura 4 y Tabla 1, a través de la cual se genera una hoja de cálculo que toma como datos de entrada los resultados de campo obtenidos a través del *ensayo de penetración estándar (SPT)*, posteriormente realiza las correcciones descritas en el Capítulo 2 del presente documento y finalmente en la salida de datos permite al usuario obtener los resultados de diversas correlaciones (existentes en la literatura), que describen las propiedades físicas y mecánicas de un suelo.

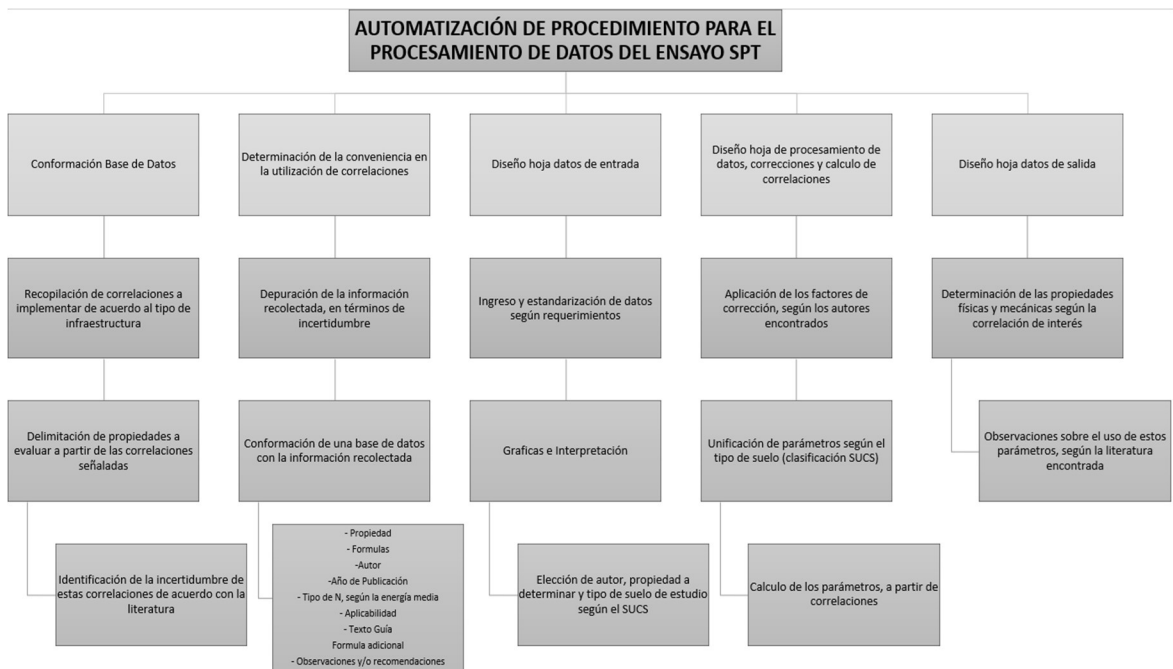


Figura 4. Metodología planteada

Tabla 10. Descripción de diseño metodológico

Fase	Acciones que desarrollar por fase	Técnicas e instrumentos que contempla utilizar
Conformación de base de datos	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión de la literatura vinculada al ensayo de SPT • Identificación de las variables a contemplar • Identificación de las correcciones al ensayo. • Incorporación de las correlaciones a implementar. 	Literatura y uso de herramientas informáticas, páginas de internet, revistas científicas y demás.
Determinación de la conveniencia en la utilización de correlaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación de las correlaciones a incluir de acuerdo con el tipo de recomendación • Conformación y organización de la información en una base de datos, destacando propiedad, formula, autor, año de publicación, aplicabilidad y observaciones encontradas en la literatura. 	Literatura y uso de herramientas informáticas, páginas de internet, revistas científicas y demás.
Diseño hoja de datos de entrada	<ul style="list-style-type: none"> • Ingreso y estandarización de la hoja de ingreso de datos. • Delimitación de las condicionales de uso de la hoja de calculo <ul style="list-style-type: none"> • Formulación de las Gráficas para Interpretación • Despliegue de datos para elección de autor, parámetro a determinar y clasificación del suelo de estudio. 	Uso de herramientas informáticas
Diseño hoja de procesamiento de datos, correcciones y cálculo de correlaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicación de los factores de corrección, según cada autor. • Cálculo de los parámetros, de acuerdo con las correlaciones encontradas. • Unificación de los datos según la clasificación SUCS. 	Uso de herramientas informáticas
	<ul style="list-style-type: none"> • Verificación del funcionamiento, mediante la comparación de los resultados del ejemplo predefinido del software comercial con los generados por nuestro software libre. • Identificación de las diferencias entre los resultados obtenidos para las correcciones del ensayo. • Identificación de las diferencias entre los resultados obtenidos para las correlaciones incluidas en la base de datos. • Recomendaciones de acuerdo con los datos más conservadores entregados por el método. 	Literatura y uso de herramientas informáticas, páginas de internet, revistas científicas y demás.
Diseño hoja de datos de salida	<ul style="list-style-type: none"> • Determinación de las propiedades físicas y mecánicas, según la correlación de interés. • Observaciones sobre el uso de estos parámetros, según la literatura encontrada. 	Uso de herramientas informáticas

3.2 Conformación de la base de datos

Para llevar a cabo el desarrollo del software que permitirá la correlación entre las características mecánicas del suelo y los resultados del *Ensayo de Penetración Estándar (SPT)*, es necesario realizar una base de datos que contenga un amplio número de correlaciones que brinden información sobre las propiedades físicas y mecánicas de un suelo, a través de los resultados obtenidos del *ensayo de penetración estándar (SPT)*, para así generar una hoja de cálculo que permita ejecutar estas correlaciones de manera sencilla y practica; el primer paso realizado fue consolidar esta información Tabla 11, relacionar las propiedades y el uso común que se genera a partir de cada una de ellas, en campañas de exploración geotécnica.

Tabla 11. Listado de correlaciones incluidas en la hoja de calculo

NUMERO	PROPIEDAD	PROPIEDAD	FORMULAS PRINCIPAL	AUTOR	AÑO	APLICABILIDAD	UNIDAD	TEXTO GUIA
1	Dr	Densidad relativa	$Dr(\%) = 20,4 \left(\frac{N}{0,7 + \bar{p}} \right)^{0,5}$	Meyerhof	1957	ESTIMACIONES MUY BUENAS PARA ARENAS LIMPIAS Y MEDIANAMENTE FINAS	%	(Ameratunga, Sivakugan, & Das, 2016)
3	Dr	Densidad relativa	$Dr = \left[\frac{N_{160}}{60 + 25 \log D_{50}} \right]^{0,5} * 100$	KULHAWY Y MAYNE	1990	Para Arenas envejecidas normalmente consolidadas	%	(Ameratunga, Sivakugan, & Das, 2016)
6	Dr	Densidad relativa	$Dr = 100 * \sqrt{\frac{N_{60}}{\left(\frac{12 * \bar{\rho}}{47,88} + 17\right)}}$	Gibbs and Holtz	1957	Dirigida a Arenas y gravas	%	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021)
7	Dr	Densidad relativa	$Dr = 12,4 * \sqrt{N_{60}}$ $Dr = 13,48 * \sqrt{N_{60}}$	Jamiolkowski et al., Skempton	1986	Dirigida a Arenas gruesas	%	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021)
8	Dr	Densidad relativa	$Dr = 25 * \bar{\rho}^{-0,12} * N_{60}^{0,46}$	Yoshida et al.	1988	Dirigida a arenas y gravas	%	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021) (Ameratunga, Sivakugan, & Das, 2016)

NUMERO	PROPIEDAD	PROPIEDAD	FORMULAS PRINCIPAL	AUTOR	AÑO	APLICABILIDAD	UNIDAD	TEXTO GUIA
9	Dr	Densidad relativa	$Dr = 100 * \sqrt{\frac{N1}{39}}$ $Dr = 100 * \sqrt{\frac{N1_{60}}{51}}$ $Dr = 100 * \sqrt{\frac{N1_{60}}{26}}$	Cubrinovski & Ishihara	1999	*Para todas las arenas y gravas *Dirigida a Arenas limpias y gravas *Para Arenas limosas y gravas	*% *% *%	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021)
10	Dr	Densidad relativa	$Dr = 100 * \sqrt{\frac{N1}{46}}$ $\phi \approx 28^\circ + \frac{N1_{60} - 3}{36} * 12,5^\circ$	Idriss & Boulanger	2003	Dirigida a Arenas y gravas	%	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021)
11	f	Angulo de fricción	$\phi \approx 40,5^\circ + \frac{N1_{60} - 39}{21} * 4,5^\circ$	Peck et al.	1953	Para suelos de grano grueso con condiciones estáticas y normalmente consolidadas.	°	(Srbulov, 2014)
13	f	Angulo de fricción	$\phi \approx \sqrt{20 - N1_{60}} + 20$	Hatanaka and Uchida	1996	Para suelos sin cohesion	°	(Srbulov, 2014)
14	f	Angulo de fricción	$\phi \approx \sqrt{12 * N_{60}} + 22,8$ $\phi \approx \sqrt{12 * N_1} + 22,4$	Ayuthaya		*Para todo tipo de suelo *Para todo tipo de suelo	°	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021)
15	f	Angulo de fricción	$\phi \approx \sqrt{12 * N_{60}} + 22$ $\phi \approx \sqrt{12 * N_1} + 23,4$	Chonburi		*Para todo tipo de suelo *Para todo tipo de suelo	°	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021)
16	f	Angulo de fricción	$\phi = 27 + \sqrt{0,3 * N_{60}}$	Peck et al.	1953	Para todo tipo de suelo	°	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021)

NUMERO	PROPIEDAD	PROPIEDAD	FORMULAS PRINCIPAL	AUTOR	AÑO	APLICABILIDAD	UNIDAD	TEXTO GUIA
17	f	Angulo de fricción	$\phi = \sqrt{12 * N_{60}} + 20$ $\phi = \sqrt{12 * N_{60}} + 15$ $\phi = \sqrt{12 * N_{60}} + 25$	Dunham	1954	*Para suelos redondos y bien graduados o para suelos angulares y uniformemente graduados. *Para suelos redondos y uniformemente graduados *Para suelos angulares y bien graduados	<ul style="list-style-type: none"> ◦ ◦ ◦ 	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021).
18	f	Angulo de fricción	$\phi = 28 + 0,15 * Dr$	Meyerhof	1959	Para suelos sin cohesión. Dr. de la ecuación debe ser calculado con la ecuación de Yoshida (1988).	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021)
19	f	Angulo de fricción	$\phi = \sqrt{20 * N_{60}} + 15$	Ohsaki et al.	1959	Para todo tipo de suelo	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021)
20	f	Angulo de fricción	$\phi = 53,881 - 27,6034 * e^{-0,0147 * N1}$	Peck, Hanson & Thornburn	1974	Para todo tipo de suelo. No recomendable para poca profundidad.	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021).
21	f	Angulo de fricción	$\phi = 27,1 + 0,3 * N1 - 0,00054 * N1^2$ $\phi = 27,1 + 0,3 * N1 - 0,00054 * N_{60}^2$	Wolff	1989	*Para todo tipo de suelo. *Para todo tipo de suelo.	<ul style="list-style-type: none"> ◦ ◦ 	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021)
22	f	Angulo de fricción	$\phi = \sqrt{15 * N_{60}} + 15$	JRA	1990	Para suelos sin cohesión donde $N_{60} > 5$.	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021)

NUMERO	PROPIEDAD	PROPIEDAD	FORMULAS PRINCIPAL	AUTOR	AÑO	APLICABILIDAD	UNIDAD	TEXTO GUIA
23	f	Angulo de fricción	$\phi = 30 + \frac{N60}{3}$ $\phi = 28 + \frac{N60}{4}$	Terzaghi, Peck & Mesri	1996	* Para Arenas finas *Para Arenas gruesas	°	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021)
25	Su	Resistencia al corte no drenado	$Su = 205 * N60$	Meyerhof	1956	Recomendada en Arcillas y limos	Kpa	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021). (Fleming, Weltman, Randolph, & Elson, 2009)
26	Su	Resistencia al corte no drenado	$Su = 6,3 * N60$	Terzaghi & Peck	1967	Recomendada en Arcillas y limos	Kpa	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021). (Fleming, Weltman, Randolph, & Elson, 2009)
27	Su	Resistencia al corte no drenado	$Su = 12,5 * N60$ $10N$	Sanglerat	1972	*Recomendada en Arcillas *Recomendada en Arcillas limosas y limos	Kpa	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021) - (Nassaji & Kalantari, 2011)
29	Su	Resistencia al corte no drenado	$Su = 6 * N1$	Peck et al.	1974	Recomendada en Arcillas y limos	Kpa	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021)
30	Su	Resistencia al corte no drenado	$Su = 4,5 * N60$	Stroud	1974	Dirigida a Arcillas poco sensibles o sobreconsolidadas.	Kpa	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021) (Schnaid, 2009)

NUMERO	PROPIEDAD	PROPIEDAD	FORMULAS PRINCIPAL	AUTOR	AÑO	APLICABILIDAD	UNIDAD	TEXTO GUIA
31	Su	Resistencia al corte no drenado	$Su = 4 * N60$	Stroud & Butler	1975	Recomendada en Arcillas y limos con N60>5	Kpa	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021) (Fleming, Weltman, Randolph, & Elson, 2009)
32	Su	Resistencia al corte no drenado	$Su = 7 * N60$	Reese, Touma & O'Neill	1976	Recomendada en Arcillas y limos	Kpa	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021) (Fleming, Weltman, Randolph, & Elson, 2009)
33	Su	Resistencia al corte no drenado	$Su = 150 * \frac{N60}{60}$ $Su = 275 * \frac{N60}{60}$ $Su = 500 * \frac{N60}{50}$ $Su = 500 * \frac{N60}{29}$ $Su = 12,5 + 7,5 + 3,75$	Sowers	1979	*Recomendada en Arenas arcillosas (SC) y limos (M) *Recomendada en Arcillas (CL) *Recomendada en Arcillas (CH) *Recomendada en Arcillas (CH) *Para Suelos altamente plasticos *Para Arcillas medianamente plasticas *Para Arcillas con poca plasticidad	*Kpa *Kpa *Kpa *Kpa *Kpa *Kpa *Kpa	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021) (Nassaji & Kalantari, 2011),Iran.
34	Su	Resistencia al corte no drenado	$Su = 12 * N_{60}$	Nixon	1982	Recomendada en Arcillas y limos	Kpa	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021) (Nassaji & Kalantari, 2011)
35	Su	Resistencia al corte no drenado	$Su = 2,5 * N_{60}$	Bowles	1988	Recomendada en Arcillas y limos	Kpa	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021)
36	Su	Resistencia al corte no drenado	$Su = 1,39 * N60 + 74,2$	Ajayi & Balogun	1988	Recomendada en Arcillas y limos	Kpa	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021)

NUMERO	PROPIEDAD	PROPIEDAD	FORMULAS PRINCIPAL	AUTOR	AÑO	APLICABILIDAD	UNIDAD	TEXTO GUIA
37	Su	Resistencia al corte no drenado	$Su = 10,5 * N60$ $Su = 15N60$	Decourt	1989 1990	*Dirigida a Arcillas y limos. *Recomendada en Arcillas	*Kpa *Kpa	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021) (Schnaid, 2009) (Nassaji & Kalantari, 2011)
38	Su	Resistencia al corte no drenado	$Su = 7,5 * N60$	Ghahramani & Behpoor	1989	Recomendada en Arcillas y limos con $N60 < 25$	Kpa	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021) (Behpoor & Ghahramani, 1989)
39	Su	Resistencia al corte no drenado	$Su = 6 * N60$	Kulhawy & Mayne	1990	Recomendada en Arcillas y limos	Kpa	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021) (Hettiarachchi & Brown, 2009)
40	Su	Resistencia al corte no drenado	$Su = 4,1 * N60 + 42,09$	Hatef & Keshavarz	2004	Recomendada en Arcillas y limos	Kpa	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021)
41	Su	Resistencia al corte no drenado	$Su = 4,1 * N60$	Hettiarachchi & Brown	2009	Recomendada en Arcillas y limos	Kpa	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021) (Hettiarachchi & Brown, 2009) (Nassaji & Kalantari, 2011)
42	Vs	Velocidad de onda de corte	$Vs = 19 * N60^{0,6}$	Kanai et al.	1966	Para Todo tipo de suelo	m/s	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021) (Dikmen, 2009)
43	Vs	Velocidad de onda de corte	$Vs = 31,7 * N60^{0,54}$	Shibata	1970	Para Todo tipo de suelo	m/s	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021)
44	Vs	Velocidad de onda de corte	$Vs = 76 * N60^{0,33}$	Imai & Yoshimura	1970	Para Todo tipo de suelo	m/s	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021) (Dikmen, 2009) (Alfaro Castillo, 2007)
45	Vs	Velocidad de onda de corte	$Vs = 84 * N60^{0,31}$	Ohba & Toriuma	1970	Para Todo tipo de suelo	m/s	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021) (Dikmen, 2009) (Alfaro Castillo, 2007)

NUMERO	PROPIEDAD	PROPIEDAD	FORMULAS PRINCIPAL	AUTOR	AÑO	APLICABILIDAD	UNIDAD	TEXTO GUIA
46	Vs	Velocidad de onda de corte	$Vs = 87,2 * N60^{0,36}$	Ohta et al	1972	Recomendada en Arenas	m/s	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021)
47	Vs	Velocidad de onda de corte	$Vs = 92,1 * N1^{0,337}$	Fujiwara	1972	Para Todo tipo de suelo	m/s	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021) (Dikmen, 2009)
48	Vs	Velocidad de onda de corte	$Vs = 81,4 * N60^{0,39}$ $Vs = 59 * N60^{0,47}$	Ohsaki & Iwazaki	1973	*Recomendada en Arenas y gravas *Para Todo tipo de suelo	*m/s *m/s	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021) (Dikmen, 2009)
49	Vs	Velocidad de onda de corte	$Vs = 89,9 * N60^{0,341}$	Imai et al.	1975	Para Todo tipo de suelo	m/s	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021) (Dikmen, 2009)
50	Vs	Velocidad de onda de corte	$Vs = 91 * N60^{0,337}$ $Vs = 80,6 * N60^{0,331}$ $Vs = 80,2 * N60^{0,292}$	Imai	1977	*Para Suelos del período cuaternario y aluviones del Pleistoceno. *Arenas *Recomendada en Arcillas	*m/s *m/s *m/s	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021) (Dikmen, 2009)
51	Vs	Velocidad de onda de corte	$Vs = 15 * N60$	Schmertmann	1978	Recomendada en Arenas	m/s	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021)

NUMERO	PROPIEDAD	PROPIEDAD	FORMULAS PRINCIPAL	AUTOR	AÑO	APLICABILIDAD	UNIDAD	TEXTO GUIA
52	Vs	Velocidad de onda de corte	$Vs = 100 * N60^{0,3333}$ $Vs = 80 * N60^{0,3333}$	JRA	1980	*Recomendada en Arcillas *Recomendada en Arenas	*m/s *m/s	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021) (Kramer, 1996)
53	Vs	Velocidad de onda de corte	$Vs = 56 * N60^{0,5}$	Seed & Idriss	1981	Para Todo tipo de suelo	m/s	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021)
54	Vs	Velocidad de onda de corte	$Vs = 100,5 * N60^{0,29}$	Sykora & Stokoe	1983	Recomendada en Arenas	m/s	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021)
55	Vs	Velocidad de onda de corte	$Vs = 125 * N60^{0,3}$	Okamoto et al.	1989	Recomendada en Arenas del Pleistoceno	m/s	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021)
56	Vs	Velocidad de onda de corte	$Vs = 144,43 * N60^{0,31}$ $Vs = 105,64 * N60^{0,32}$ $Vs = 57,4 * N60^{0,49}$	Lee	1990	*Recomendada en Arcillas *Recomendada en Limos *Recomendada en Arenas	*m/s *m/s *m/s	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021) (Dikmen, 2009)
57	Vs	Velocidad de onda de corte	$Vs = 121 * N60^{0,27}$	Yokota et al.	1991	Para todo tipo de suelo	m/s	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021)

NUMERO	PROPIEDAD	PROPIEDAD	FORMULAS PRINCIPAL	AUTOR	AÑO	APLICABILIDAD	UNIDAD	TEXTO GUIA
59	Vs	Velocidad de onda de corte	$Vs = 32,8 * N1^{0,50}$ $Vs = 107,6 * N1^{0,36}$	Athanasopoulos	1995	*Recomendada en Arcillas *Todo tipo de suelo	*m/s *m/s	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021)
60	Vs	Velocidad de onda de corte	$Vs = 22 * N60^{0,85}$	Jafari et al.	1997	Para todo tipo de suelo	m/s	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021)
61	Vs	Velocidad de onda de corte	$Vs = 63,8 * N1^{0,292}$	Kiku et al.	2001	Para todo tipo de suelo	m/s	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021) (Dikmen, 2009) (Wair & DeJong, 2012)
63	Vs	Velocidad de onda de corte	$Vs = 99,783 * N1^{0,383}$ $Vs = 91,44 * Z^{0,291} * N1(60^{0,298})$	Alfaro	2007	*Para todo tipo de suelo *Para todo tipo de suelo	*m/s *m/s	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021) (Alfaro Castillo, 2007)
64	Vs	Velocidad de onda de corte	$Vs = 58 * (N1^{0,39})$ $Vs = 73 * (N1^{0,33})$ $Vs = 60 * (N1^{0,36})$ $Vs = 44 * (N1^{0,48})$	Dikmen	2008	*Para todo tipo de suelo *Recomendada en Arenas *Recomendada en Limos *Recomendada en Arcillas	*m/s *m/s *m/s *m/s	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021)

NUMERO	PROPIEDAD	PROPIEDAD	FORMULAS PRINCIPAL	AUTOR	AÑO	APLICABILIDAD	UNIDAD	TEXTO GUIA
65	Es	Modulo de elasticidad de Young	$Es = \frac{100 * (43 + 11,8 * N60)}{1000}$ $Es = \frac{100 * (24 + 5,3 * N60)}{1000}$ $Es = \frac{100 * (12 + 5,8 * N60)}{1000}$ $Es = \frac{100 * (52 + 3,3 * N60)}{1000}$ $Es = \frac{100 * (71 + 4,9 * N60)}{1000}$ $Es = \frac{100 * (39 + 4,5 * N60)}{1000}$ $Es = \frac{100 * (38 + 10,5 * N60)}{1000}$	Mezenbach	1961	*Recomendada en Arenas y gravas *Recomendada en Arenas limosas *Recomendada en Limos *Recomendada en Arenas finas por encima del nivel del agua *Recomendada en Arenas finas por debajo del nivel del agua *Recomendada en Arenas Medianas *Recomendada en Arenas gruesas	*Mpa *Mpa *Mpa *Mpa *Mpa *Mpa *Mpa	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021) (Som & Das, 2015)
66	Es	Modulo de elasticidad de Young	$Es = (44 * N60)^{0,75} \frac{95,76}{1000}$	Chaplin	1963	Recomendada en Arenas	Mpa	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021)
67	Es	Modulo de elasticidad de Young	$Es = \frac{7,5 * \frac{8}{9} * N60 * 95,76}{1000}$	Farrent	1963	Recomendada en Arenas	Mpa	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021)
68	Es	Modulo de elasticidad de Young	$Es = \frac{5 * (N60 + 15) * 95,76}{1000}$ $Es = \frac{3,33(N60 + 5) * 95,76}{1000}$ $Es = \frac{4(N60 + 12) * 95,76}{1000}$	Webb	1969	*Recomendada en Arenas *Recomendada en Arenas arcillosas *Para Todo tipo de suelo	*Mpa *Mpa *Mpa	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021) (Sivakugan & Das, 2007)
69	Es	Modulo de elasticidad de Young	$Es = 350 * \log N60 * \frac{98,067}{1000}$	Trofimenkov	1974	Recomendada en Arenas	Mpa	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021)

NUMERO	PROPIEDAD	PROPIEDAD	FORMULAS PRINCIPAL	AUTOR	AÑO	APLICABILIDAD	UNIDAD	TEXTO GUIA
70	Es	Modulo de elasticidad de Young	$Es = 7 * \sqrt{N60}$	Denver	1982	Recomendada en Arenas	Mpa	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021)
71	Es	Modulo de elasticidad de Young	$Es = 4,8 + 1,25 * N60$	Skempton	1986	Para Todo tipo de suelo	Mpa	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021)
73	Es	Modulo de elasticidad de Young	$Es = \frac{5 * N60 * 100}{1000}$ $Es = \frac{10 * N60 * 100}{1000}$ $Es = \frac{15 * N60 * 100}{1000}$	Kulhawy & Mayne	1990	*Recomendada en Arenas con finos *Recomendada en Arenas normalmente consolidadas *Recomendada en Arenas sobreconsolidadas	*Mpa *Mpa *Mpa	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021) (Ameratunga, Sivakugan, & Das, 2016)
74	Es	Modulo de elasticidad de Young	$Es = \frac{(75 + 8 * N60) * 100}{1000}$	Papadopoulos	1992	Recomendada en Arenas	Mpa	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021) (Chai, Shen, Long, & Chung, 2012) (Sivakugan & Das, 2007)
75	Es	Modulo de elasticidad de Young	$Es = \frac{6000 * N60}{1000}$ $Es = \frac{18500 * \log N60}{1000}$ $Es = \frac{250 * (N60 + 15)}{1000}$ $Es = \frac{1200 * (N60 + 6)}{1000}$ $Es = \frac{2750 * N60}{1000}$	Bowles	1996	*Para Arenas normalmente consolidadas *Para Arenas normalmente consolidadas *Recomendada en Arenas saturadas *Para Arenas con gravas *Dirigida a Arenas normalmente consolidadas	*Mpa *Mpa *Mpa *Mpa *Mpa	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021)
76	Es	Modulo de elasticidad de Young	$Es = \frac{400 * N1}{1000}$ $Es = \frac{700 * N1}{1000}$ $Es = \frac{1000 * N1}{1000}$ $Es = \frac{1200 * N1}{1000}$	AASHTO	1996	*Recomendada en Limos *Recomendada en Arenas *Dirigida a Arenas gruesas *Recomendada en Gravas	*Mpa *Mpa *Mpa *Mpa	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021)

NUMERO	PROPIEDAD	PROPIEDAD	FORMULAS PRINCIPAL	AUTOR	AÑO	APLICABILIDAD	UNIDAD	TEXTO GUIA
77	Gmax	Modulo de corte o rigidez	$G_{max} = 9810 * N_{60}^{0,78}$	Imai & Yoshimura	1970	Para suelos mixtos	Kpa	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021) (Anbazhagan, Parihar, & Rashmi, 2012)
78	Gmax	Modulo de corte o rigidez	$G_{max} = 11960 * N_{60}^{0,62}$	Ohba & Toriumi	1970	Para Arenas y arcillas aluviales	Kpa	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021) (Anbazhagan, Parihar, & Rashmi, 2012)
79	Gmax	Modulo de corte o rigidez	$G_{max} = 11960 * N_{60}^{0,78}$ $G_{max} = 11770 * N_{60}^{0,8}$ $G_{max} = 13730 * N_{60}^{0,71}$ $G_{max} = 6370 * N_{60}^{0,94}$ $G_{max} = 1159 * N_{60}^{0,76}$	Ohsaki and Iwasaki	1973	*Dirigida a todo tipo de suelo *Para todo tipo de suelo *Dirigida a suelos cohesivos *Para Arenas y Gravas *Para Arenas	*Kpa *Kpa *kpa *Kpa *Mpa	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021) (Anbazhagan, Parihar, & Rashmi, 2012)
80	Gmax	Modulo de corte o rigidez	$G_{max} = 15490 * N_{60}^{0,668}$	Hara et al.	1974	Dirigida a suelos aluviales y diluviales	Kpa	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021)
81	Gmax	Modulo de corte o rigidez	$G_{max} = 100 * 120 * N_{60}^{0,668}$	Wroth et al.	1979	Para todo tipo de suelo	Kpa	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021).

NUMERO	PROPIEDAD	PROPIEDAD	FORMULAS PRINCIPAL	AUTOR	AÑO	APLICABILIDAD	UNIDAD	TEXTO GUIA
82	Gmax	Modulo de corte o rigidez	$G_{max} = 1000 * N_{60}$	Randolph,	1981	Dirigida a todo tipo de suelo	Kpa	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021)
83	Gmax	Modulo de corte o rigidez	$G_{max} = 14120 * N_{60}^{0,68}$ $G_{max} = 17260 * N_{60}^{0,607}$ $G_{max} = 12260 * N_{60}^{0,611}$ $G_{max} = 24,61 * N^{0,555}$ $G_{max} = 17,36 * N^{0,631}$	Imai and Tonouchi	1982	*Dirigida a todo tipo de suelo *Para Arcillas aluviales *Para Arenas aluviales *Dirigida a Arcillas diluviales *Para Arenas diluviales	*Kpa *Kpa *kpa *Mpa *Mpa	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021) (Anbazhagan, Parihar, & Rashmi, 2012)
84	Gmax	Modulo de corte o rigidez	$G_{max} = 6220 * N_{60}$	Seed et al.	1983	Dirigida a todo tipo de suelo	Kpa	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021)
85	Gmax	Modulo de corte o rigidez	$G_{max} = 6500 * N_{60}$	Seed, Idriss & Arango	1983	Dirigida a todo tipo de suelo	Kpa	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021)
86	Gmax	Modulo de corte o rigidez	$G_{max} = 15560 * N_{60}^{0,68}$	Kramer	1996	Para suelos no cohesivos	Kpa	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021)
87	Gmax	Modulo de corte o rigidez	$G_{max} = 24280 * N_{60}^{0,55}$ $G_{max} = 29170 * N_1^{0,57}$ $G_{max} = 13860 * N_1(60)^{0,68}$	Anbazhagan and Sitharam	2010	*Para Limos arenosos *Dirigida a Arenas limosas con arcillas *Para Arenas, arcillas y limos	*Kpa *Kpa *Kpa	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021)
88	Gmax	Modulo de corte o rigidez	$G_{max} = 15090 * N_1^{0,74}$	Anbazhagan, Parihar & Tashmi	2012	Dirigida a Arenas y gravas	Kpa	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021)

NUMERO	PROPIEDAD	PROPIEDAD	FORMULAS PRINCIPAL	AUTOR	AÑO	APLICABILIDAD	UNIDAD	TEXTO GUIA
89	E _{max}	Módulo de rigidez axial máximo	$E_{max} = 2 * N_{60}$ $E_{max} = 16 * N_{60}$	Stroud	1989	Dirigida a suelos de grano grueso: *Arenas normalmente consolidada *Arenas y gravas sobreconsolidadas	*Mpa *Mpa	(Srbulov, 2014)
97	,	Consistencia	Según resultados	Terzaghi and Peck	1948	*Arcillas y limos *Arenas y gravas		(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021)
101	q _u	Esfuerzo final de apoyo de pilotes	$q_u = 200 * NSPT$ $q_u = 250 * NSPT$ $q_u = 300 * NSPT$	Lord et al.	2002	Para Arenas: *perforados y pilotes CFA * Pilotes hincados in situ *Pilotes preformados hincados	Kpa	(Srbulov, 2014)
106	f	Angulo de fricción	$\phi = \sqrt{18N_{70}} + 15$ $\phi = 0,36N_{70} + 27$	Bowles	1996	Dirigido para arenas. *Para carreteras y puentes *Para edificios	°	(Ameratunga, Sivakugan, & Das, 2016)
107	f	Angulo de fricción	$\phi = 3,5 * \sqrt{N_{160}} + 22,3$	Hatanaka and Uchida	1996	Dirigida a suelos sin cohesion	°	(Zekkos, Bray, & Kiureghian, 2004)
110	E	Modulo de elasticidad de Young	$E = 40 + C(N - 6)Kg/cm^2 \text{ for } N > 15$ $E = C(N - 6)Kg/cm^2 \text{ for } N < 15$ $E \approx 4000 + 100C(N - 6)kN/m^2 \text{ for } N > 15$ $E \approx 100C(N + 6)kN/m^2 \text{ for } N < 15$	BEGEMANN	1974	*Recomendada en Limos *Para Gravas	*kN/m2 *kN/m2	(Ameratunga, Sivakugan, & Das, 2016)
124	V _s	Velocidad de onda de corte	$V_s = 61,4N^{0,5}$	Seed & Idriss	1981	Para todo tipo de suelo	m/s	(Srbulov, 2014) (Dikmen, 2009)

NUMERO	PROPIEDAD	PROPIEDAD	FORMULAS PRINCIPAL	AUTOR	AÑO	APLICABILIDAD	UNIDAD	TEXTO GUIA
125	Vs	Velocidad de onda de corte	$V_s = 145N^{0,178}$	Pitilakis et al.	1999	Recomendada en Arenas	m/s	(Srbulov, 2014)
126	Vs	Velocidad de onda de corte	$V_s = 132N^{0,271}$	Pitilakis et al.	1999	Recomendada en Arcillas	m/s	(Srbulov, 2014)
130	qu	Capacidad de carga en zapatas	$qu = K1 * NrKPa$	Poulos / basado en Decourt (1995)	2014	Para Arenas, limos y arcillas. qu: Capacidad portante ultima para zapatas superficiales. Nr: Valor medio de SPT (N60) dentro de la profundidad de la mitad del ancho de la zapata. K1: Factor de correlacion. Tabla 4.11.	Kpa	(Ameratunga, Sivakugan, & Das, 2016)
131	qu	Esfuerzo final de apoyo de pilotes	$fb = K2 * Nb * KPa$	Poulos / basado en Decourt (1995)	2014	Para Arenas, limos arenosos, limso arcillosos y arcillas. Fb: Capacidad de resistencia ultima base de pilote Nb: Valor SPT cerca de la punta del pilote K2: Facto de correlacion. Tabla 4.11.	Kpa	(Ameratunga, Sivakugan, & Das, 2016)
132	qu (fs)	Esfuerzo final de fuste de pilotes	$fs = \alpha * [2,8Ns + 10]kPa$	Poulos / basado en Decourt (1995)	2014	Para todo suelo, cambios especificos para arcillas y granulares	Kpa	(Ameratunga, Sivakugan, & Das, 2016)
133	qu (fs)	Esfuerzo final de fuste de pilotes	$fs = \alpha * [2,8Ns + 10]kPa$ $fs = \alpha + \beta N$	Poulos et al	1989	Pilotes con desplazamiento impulsados (hincados) - Arenas, arcillas y limos: * Sin cohesion * Sin cohesion y con cohesion * Cohesivo	Kpa	(Ameratunga, Sivakugan, & Das, 2016)
135	qu (fs)	Esfuerzo final de fuste de pilotes	$fs = \alpha + \beta N$	Poulos et al	1989	Pilotes perforados (Arenas, arcillas y limos): * Sin cohesion * Cohesivos	Kpa	(Ameratunga, Sivakugan, & Das, 2016)

NUMERO	PROPIEDAD	PROPIEDAD	FORMULAS PRINCIPAL	AUTOR	AÑO	APLICABILIDAD	UNIDAD	TEXTO GUIA
140	qc	Resistencia a la penetracion del cono dinamico	$qc = 0,49xN60 - 1,59$ $qc = 0,19xN60 + 5,26$	Ajayi and Balogum	1988	*Para todo tipo de suelo *Para todo tipo de suelo	*Mpa *Mpa	(D'Appolonia & Brissette, 1970)
144	qc	Resistencia a la penetracion del cono dinamico	$qc = 0,23xN60$ $qc = 0,18xN60 + 5,26$	Chang	1988	*Para todo tipo de suelo *Para todo tipo de suelo	*Mpa *Mpa	(D'Appolonia & Brissette, 1970)
151	f	Angulo de friccion	$\phi = \sqrt{20Ncor} + 17degrees$	Hatanaka and Uchida	1996	Para suelos sin cohesion	°	(Chai, Shen, Long, & Chung, 2012)
154	E	Modulo de elasticidad de Young	$Me = 5(N + 15)$	Bowles	1988	Recomendada en ARENAS NORMALMENTE CONSOLIDADAS	*Mpa	(Som & Das, 2015)
159	qd	Resistencia a la penetracion del cono dinamico	$N = 0,286 qd$	J. FRED & D. PAUL	1990	Recomenda en arcillas y arenas	*Kg/cm ²	(Triggs & Simpson)
160	qu	Esfuerzo final de apoyo de pilotes	$qp = 40Npt \frac{L}{D} \leq 400N$	Meyerhof	1976	Pilotes hincados / NPT = Valor medio de SPT N en la punta del pilote / L penetracion del pilote en la capa de suelo / D diametro del pilote / suelos granulares o cohesivos	Kpa	(Yves, 2011)
161	qu	Esfuerzo final de apoyo de pilotes	$qp = 12Npt \frac{L}{D} \leq 120N$	Meyerhof	1976	Pilotes perforados / NPT = Valor medio de SPT N en la punta del pilote / L penetracion del pilote en la capa de suelo / D diametro del pilote / suelos granulares o cohesivos	Kpa	(Yves, 2011)
162	qu (fs)	Esfuerzo final de fuste de pilotes	$fs = 2Na$	Meyerhof	1976	Pilotes hincados / Na = valor medio de SPT N a lo largo del fuste del pilote / suelos granulares o cohesivos	Kpa	(Yves, 2011)

NUMERO	PROPIEDAD	PROPIEDAD	FORMULAS PRINCIPAL	AUTOR	AÑO	APLICABILIDAD	UNIDAD	TEXTO GUIA
163	qu (fs)	Esfuerzo final de fuste de pilotes	$fs = Na$	Meyerhof	1976	Pilotes de bajo desplazamiento (Hincados) / Na = valor medio de SPT N a lo largo del fuste del pilote / suelos granulares o cohesivos	Kpa	(Yves, 2011)
164	qu (fs)	Esfuerzo final de fuste de pilotes	$fs = 1,9N$	Yves Robert		Pilotes hincados en arenas o arcillas	Kpa	(Yves, 2011)
165	qu	Esfuerzo final de apoyo de pilotes	$qp = 115NPT$	Yves Robert		Pilotes perforados / suelos granulares o cohesivos	Kpa	(Yves, 2011)
166	qu	Esfuerzo final de apoyo de pilotes	$qp = 190NPT$	Yves Robert		Pilotes hincados / suelos granulares o cohesivos	Kpa	(Yves, 2011)
168	ks	Modulo de reaccion de la subrasante	$Ks = 3,143 * N160^{0,4892} * 9,807$	M. REZA and N. SEYED	2006	Suelos con grava densos a medios / para placas menores a 30 cm (cimentaciones)	MN/m ³	(Moayed & Naeini, 2006)
170	f	Angulo de friccion	$\phi = 0,3N + 27$	P.C. Varghese	2005	Dirigida a arenas	°	(Peck, Hanson, & Thornburn, 1974)
172	qu	Resistencia al corte no confinado no drenado	$E = N/7,5$	Terzaghi & peck		Recomendada en arcillas	Kg/cm ²	(Peck, Hanson, & Thornburn, 1974)
175	E	Modulo de elasticidad de Young	$E = 220 + 11(N)$	D'Appolonia	1970	*Para ARENA NORMALMENTE CONSOLIDADA	*Kg/cm ²	(Peck, Hanson, & Thornburn, 1974)
177	E	Modulo de elasticidad de Young	$(0,00231839 * N160^2 - 0,489236 * N160^2 + 34,619 * N160 + 278904) * \frac{100}{1000}$	Schultze and Muhs	1967	Recomendada en arenas	Mpa	(Peck, Hanson, & Thornburn, 1974)
178	E	Modulo de elasticidad de Young	$Es = \frac{500x(N60)}{1000}$	Stroud	1988	Dirigida a arcillas	Mpa	(Peck, Hanson, & Thornburn, 1974)

NUMERO	PROPIEDAD	PROPIEDAD	FORMULAS PRINCIPAL	AUTOR	AÑO	APLICABILIDAD	UNIDAD	TEXTO GUIA
181	Δ	Asentamientos en zapatas	$\Delta = \left(\frac{0,722q}{N-3} \right) \left(\frac{2B}{B+0,3} \right)^2$	Hence		Para Arenas. q: KN/m ² B: mts	mm	(Peck, Hanson, & Thornburn, 1974)
182	Δ	Asentamientos en zapatas	$\Delta = \left(\frac{1,6q}{N} \right)$	Meyerhof		Dirigida a arenas donde B < 1,25m q: KN/m ² B: mts	mm	(Peck, Hanson, & Thornburn, 1974)
183	Δ	Asentamientos en zapatas	$\Delta = \frac{2,84q}{N} * \left[\frac{B}{B+0,3} \right]^2$	Meyerhof		Para arenas donde B > 1,25 m. q: KN/m ² B: mts	mm	(Peck, Hanson, & Thornburn, 1974)
184	Δ	Asentamientos en zapatas	$\Delta = \frac{2,84q}{N}$	Meyerhof		Dirigida a arenas. q: KN/m ² B: mts	mm	(Peck, Hanson, & Thornburn, 1974)
187	qu	Capacidad de carga en zapatas	$q_{net} = q_{25} = 34,6(N-3) * \frac{B+0,3^2}{2B}$ $q_{net} = q_{25} = 8,6(N-3) * \frac{B+0,3^2}{2B}$	Teng, W.C.		Para arenas con asentamientos de 25 mm. q: KN/m ² B: mts.	Kpa	(Peck, Hanson, & Thornburn, 1974)
188	qu	Capacidad de carga en zapatas	$qa = 10,5NB \quad \text{for } B > 1$	Hanson and Thornburn		ARENAS	Kpa	(Peck, Hanson, & Thornburn, 1974)
189	Vs	Velocidad de onda de corte	$Vs = 59,44xN60^{0,109} xZ^{0,426}$ $Vs = 78,1xN60^{0,116} xZ^{0,35}$	Akin, Kramer and Topal	2011	*Para suelos aluviales *Recomendada en Arcillas aluviales *Para Suelos del plioceno *Arcillas del plioceno	*m/s *m/s *m/s *m/s	(Akin, Krammer, & Topal, 2011)
194	E	Modulo de elasticidad de Young	$E(MPa) = 0,17 * N30$	L.BEHPoor, A.GHAHRAMAI		Para Arcillas y Limo Arcillas	Mpa	(Behpoor & Ghahramani, 1989)

NUMERO	PROPIEDAD	PROPIEDAD	FORMULAS PRINCIPAL	AUTOR	AÑO	APLICABILIDAD	UNIDAD	TEXTO GUIA
196	Su	Resistencia al corte no drenado	$Su = 5 + 7,5N$	Japanese Road Association	1980	Para Suelos Cohesivos. valida para $N60 < 5$	Kpa	(See Sew & Yean Chin, 2000)
199	f	Angulo de friccion	$\phi = \sqrt{18N70} + 15$ $\phi = 0,36N70 + 27$ $\phi = 4,5N70 + 20$	Shioi and Fukui	1982	*Suelos granulares. Para carreteras y puentes. *Suelos granulares. Para construcciones. * Formula general. Suelos granulares.	°	(Bowles, 1997)
202	D10	Diametro efectivo	$D10 = 0,001N^{0,0858}$	Muayed M. Ismail	2008	Dirigida a cualquier tipo de suelo con $N < 35$	mm	(Ismail, 2008)
203	Vs	Velocidad de onda de corte	$Vs = 19N^{0,85}$ $Vs = 27 * N60^{0,73}$ $Vs = 22 * N60^{0,77}$	Jafari et al.	2002	Para Suelos de grano fino	m/s	(Jafari, Shafiee, & Razmkhah, 2002)
210	Gmax	Modulo de corte o rigidez	$Gmax = 325 * N60^{0,68}$	Imai and Tonouchi	1982	Para todo tipo de suelo	Kips/ft ²	(Sitharam, Anbazhagan, & Divya, 2007)
211	Gmax	Modulo de corte o rigidez	$Gmax = 118 * N60^{0,68}$	Anbazhagan P, Sitharam T.G y Divya C.	2007	Dirigida a Todo tipo de suelo	MN/m ²	(Sitharam, Anbazhagan, & Divya, 2007).
212	Es	Modulo de elasticidad de Young	$Es = 7,5 + 0,8N$	Anagnostopoulos	1990	Para Todo tipo de suelo, especialmente en cimentaciones superficiales.	Mpa	(Day, 2009)
216	Su	Resistencia al corte no drenado	$Cu \approx 0,12N$	Bowles	1988	Recomendada en Arenas gruesas y finas	Ksf	(U.S. Army Corps of Engineers, 1992)
221	f	Angulo de friccion	$\phi = \sqrt{15,4N60} + 20^\circ$	Hatanaka and Uchida	1996	Para suelos sin cohesion	°	(Sabatini, Bachus, Mayne, Schneider, & Zettler, 2002)
223	Vs	Velocidad de onda de corte	$Vs = 97N^{0,314}$	Imai and Tonouchi	1982	Para todo tipo de suelo	m/s	(Dikmen, 2009)

NUMERO	PROPIEDAD	PROPIEDAD	FORMULAS PRINCIPAL	AUTOR	AÑO	APLICABILIDAD	UNIDAD	TEXTO GUIA
224	Vs	Velocidad de onda de corte	$Vs = 116,1 * (N60 + 0,32)^{0,2}$	Jinan	1987	*Para todo tipo de suelo	m/s	(Dikmen, 2009)
225	Vs	Velocidad de onda de corte	$Vs = 76,55 * N^{0,445}$	Athanasopoulos	1995	Recomendada en Arcillas	m/s	(Dikmen, 2009).
226	Vs	Velocidad de onda de corte	$Vs = 51,5 * N^{0,516}$	Iyisan	1996	Para todo tipo de suelo	m/s	(Dikmen, 2009)
227	Vs	Velocidad de onda de corte	$Vs = 23,291 * Ln(N) + 405,61$	Ulugergerli and Uyank	2007	Para todo tipo de suelo	m/s	(Dikmen, 2009)
228	Vs	Velocidad de onda de corte	$Vs = 53xe^{(0,011*N60)}$	Ulugergerli and Uyank	2007	Para todo tipo de suelo	m/s	(Dikmen, 2009)
235	EPMT	Módulo presiométrico	$Epmt = 1,33 * N60^{0,77} \quad R^2 = 0,82$	I. Bozbey and E.Togrol	2009	Recomendada en Suelos arenosos. R^2=0,82	Mpa	(Bozbey & Togrol, 2010)
236	PL	Presión límite	$Pl = 0,33 * N60^{0,51} \quad R^2 = 0,74$	I. Bozbey, E. Togrol	2009	Recomendada en suelos arenosos	Mpa	(Bozbey & Togrol, 2010)
237	EPMT	Módulo presiométrico	$Epmt = 1,61 * N60^{0,71} \quad R^2 = 0,72$	I. Bozbey and E.Togrol	2009	Para suelos Arcillosos. R^2=0,72	Mpa	(Bozbey & Togrol, 2010)
238	PL	Presión límite	$Pl = 0,26 * N60^{0,57} \quad R^2 = 0,67$	I. Bozbey, E. Togrol	2009	Recomendada en Suelos Arcillosos	Mpa	(Bozbey & Togrol, 2010)
240	Su	Resistencia al corte no drenado		Hara et al.	1974	Recomendada en Arcillas y limos	Kpa	(Hettiarachchi & Brown, 2009)

NUMERO	PROPIEDAD	PROPIEDAD	FORMULAS PRINCIPAL	AUTOR	AÑO	APLICABILIDAD	UNIDAD	TEXTO GUIA
			$Cu/Pa = 0,29 * N60^{0,72} \quad R^2 = 0,67$					
243	Ko	Coefficiente de tensión horizontal	$Ko = \frac{0,073Npa}{\vartheta} + \varepsilon$	Kulhawy and Mayne	1990	Para Arcillas. La desviación típica de ε para esta correlación es 0.43	Kpa	(Kok-Kwang & Kulhawy, 1999)
244	EPMT	Módulo presiométrico	$Epmt = 1930N60^{0,63}$ $Epmt = 0,908 * N60^{0,66}$	Ohya et al.	1982	*Recomendada en Arcillas *Recomendada en Arcillas	Kpa	(Balachandran, Liu, Cao, & Peaker, 2015)
247	Gmax	Modulo de corte o rigidez	$Gmax = 29,12 * N^{0,60}$	Anbazhagan and Sitharam	2010	Para Todo Tipo de suelo	MN/m2	(Anbazhagan & Sitharam, 2010)
248	Gmax	Modulo de corte o rigidez	$Gmax = 19,43 * N^{0,51}$	Anbazhagan and Sitharam	2010	Para Todo Tipo de suelo	MN/m2	(Anbazhagan & Sitharam, 2010)
251	Gmax	Modulo de corte o rigidez	$Gmax = 46,041 * N60^{0,46}$	Anbazhagan and Sitharam	2010	Dirigida a Todo Tipo de suelo	MN/m2	(Anbazhagan & Sitharam, 2010)
255	Gmax	Modulo de corte o rigidez	$Gmax = 144 * N60^{0,68}$	Imai and Tonouchi	1982	Para todo Tipo de suelo	Kg/cm2	(Anbazhagan & Sitharam, 2010)
258	Es	Modulo de elasticidad de Young	$Es = 768N$	M Gunaratne	-	Recomendada en suelos granulares	Kpa	(Day, 2009)
259	Gmax	Modulo de corte o rigidez	$Gmax = 5,654 * N60^{0,34}$	Seed	1986	Dirigida a todo tipo de suelos	Kpa	(Day, 2009)

NUMERO	PROPIEDAD	PROPIEDAD	FORMULAS PRINCIPAL	AUTOR	AÑO	APLICABILIDAD	UNIDAD	TEXTO GUIA
262	qu	Capacidad de carga en zapatas	$qn_{all} = 30N55 * \frac{s}{25,4}$	Parry	1977	Para zapatas corridas en suelos sin cohesion cuando $Df < B$. Df: Desplante B: Base de zapata S: asentamiento en mm.	Kpa	(Day, 2009)
263	f	Angulo de friccion	$\phi = 25 + 28 \left(\frac{N55}{q} \right)^{0,5}$	M. Gunaratne		Dirigida a arenas. q: Sobrecarga efectiva (tension efectiva de sobrecarga).	°	(Day, 2009)
264	qu	Capacidad de carga en zapatas	$qa = 30N55$	M. Gunaratne		Para suelos sin cohesion. N55: Medido a una profundidad de 0,75b por dabajo de la base de la zapata. B: anchura minima de la zapata. $B > 2240/(300L)$	Kpa	(Day, 2009)
265	qu	Capacidad de carga en zapatas	$qa = \frac{N}{0,08} * \left(1 + \frac{1}{3,25B} \right)^2 * \left(1 + \frac{0,33Df}{B} \right) * \left(\frac{s}{25,4} \right)$ $qa = \frac{N}{0,08} * \left(\frac{s}{25,4} \right)$ $qa = \frac{N}{0,08} * \left(\frac{s}{25,4} \right)$	M. Gunaratne		Para suelos cohesivos. qn: Capacidad portante admisibel (Kpa) B: Ancho de la zapata S: asentamiento (mm) Df: Profundidad de la zapata (m) For $0 \leq D_f \leq B$ and $B > 1.2$ m $P/A \leq q_{n,all}$ $B < 1.2$ m	Kpa	(Day, 2009)
266	qu	Esfuerzo final de apoyo de pilotes	$qpu = 300N$	Meyerhof	1976	Limos no plasticos	Kpa	(Day, 2009)
269	qu (fs)	Esfuerzo final de fuste de pilotes	$fs = 0,026N < 2,0$ tsf	Quiros and Reese	1977	Arenas	Tsf	(Day, 2009)
270	qu (fs)	Esfuerzo final de fuste de pilotes	$fs = \frac{N}{34}$ for $N \leq 53$ $fs = \frac{N - 53}{450} + 1,6$ for $53 < N \leq 100$ $fs \leq 1,7$	Reese and Wright	1977	Arenas	Tsf	(Day, 2009)

NUMERO	PROPIEDAD	PROPIEDAD	FORMULAS PRINCIPAL	AUTOR	AÑO	APLICABILIDAD	UNIDAD	TEXTO GUIA
273	f	Angulo de friccion	$\phi \approx 15^\circ + \sqrt{24N1_{60}}$	Teixeira	1996	Para arenas.	°	(Schnaid, 2009)
275	Δ	Asentamientos en zapatas	$p_{max} = q(0,32B^{0,3})$ $p_{max} = q(0,07B^{0,3})$ $p_{max} = q(0,03B^{0,3})$	Burland et al	1977	Para suelos granulares. Relación entre el asentamiento: mm Presión de cimentación aplicada: kPa Anchura de los cimientos: mts	mm	(Schnaid, 2009)
277	Vs	Velocidad de onda de corte	$V_s = q(0,03N^{0,314})$	Imai and Tonouchi	1982	Recomendada en Arenas	m/s	(Alfaro Castillo, 2007)
278	Vs	Velocidad de onda de corte	$V_s = 107N^{0,274}$	Imai and Tonouchi	1982	Recomendada en Arcillas	m/s	(Alfaro Castillo, 2007)
279	Vs	Velocidad de onda de corte	$V_s = 157,13 + 4,74N$ $V_s = 103,99(N + 1)^{0,334}$ $V_s = 138,36(N + 1)^{0,242}$	Lee	1992	*Recomendada en Arenas *Recomendada en Limos *Recomendada en Arcillas	*m/s *m/s *m/s	(Alfaro Castillo, 2007)
280	Vs	Velocidad de onda de corte	$V_s = 78,63(N)^{0,361}$ $V_s = 90,82(N)^{0,319}$ $V_s = 65,64(N)^{0,407}$ $V_s = 90(N)^{0,308}$ $V_s = 97,89(N)^{0,269}$	C-G. Sun et al.	2012	*Recomendada en Gravas *Recomendada en Arenas y limos *Para todo tipo de suelo *Para todo tipo de suelo *Arcillas	*m/s *m/s *m/s *m/s *m/s	(Alfaro Castillo, 2007)
281	Vs	Velocidad de onda de corte	$V_s = 0,194(N)^{2,025}$	Contreras, J	2012	Recomendada en Limos	m/s	(Alfaro Castillo, 2007)

NUMERO	PROPIEDAD	PROPIEDAD	FORMULAS PRINCIPAL	AUTOR	AÑO	APLICABILIDAD	UNIDAD	TEXTO GUIA
282	Vs	Velocidad de onda de corte	$Vs = 104,79(N60)^{0,26}$ $Vs = 131(N60)^{0,205}$ $Vs = 107,63(N60)^{0,237}$	Hasancebi and Ulusay	2006	* Para todo tipo de suelo * Recomendada en arenas * Recomendada en arcillas	*m/s *m/s *m/s	(Brandenberg, Ballana, & Shantz, 2010)
283	Su	Resistencia al corte no drenado	$Su = 6,82N60$ $Su = 4,93N60$ $Su = 6,18N60$	Sivrikaya & Togrol	2002	*Para Suelos muy plasticos *Para Suelos con baja plasticidad *Para Suelos de grano fino	*Kpa *Kpa *Kpa	(Nassaji & Kalantari, 2011)
284	Su	Resistencia al corte no drenado	$Su = 5 * N60$	Stroud	1989	Recomendada en Arcillas y limos	Kpa	(Calderon Pacheco & Arroyo Arrieta, 2021) (Schnaid, 2009)
285	Su	Resistencia al corte no drenado	$Su = 2,1 * N60 + 17,5$	Nassaji and Kalantari	2011	Recomendada en suelos de grano fino de baja plasticidad	Kpa	(Nassaji & Kalantari, 2011)
286	Vs	Velocidad de onda de corte	$Vs = 95,64(N)^{0,301} \quad r^2 = 0,83$	Maheswari, Boominathan and Dodagoudar	2008	Para todo tipo de suelo	m/s	(Maheswari Raju & Boominathan, 2010)
288	E	Modulo de elasticidad de Young	$Es = 3,5N \text{ to } 40N$	Clayton et al	1980	Recomendada en Arenas	Mpa	(Sivakugan & Das, 2007)
289	Gmax	Modulo de corte o rigidez	$G = 13,63N^{0,72}$	Ohta et al		Para Arenas y suelos cohesivos	Mpa	(Anbazhagan, Parihar, & Rashmi, 2012)
300	qc	Resistencia a la penetracion del cono dinamico	$qs = 0,4N$	Meyerhof	1965	Dirigida a Arenas medio densas	*MN/m ²	(Sabatini, Bachus, Mayne, Schneider, & Zettler, 2002)

NUMERO	PROPIEDAD	PROPIEDAD	FORMULAS PRINCIPAL	AUTOR	AÑO	APLICABILIDAD	UNIDAD	TEXTO GUIA
301	qu	Capacidad de carga en zapatas	$q_s = 21N_{cor}$ $\text{for } 5 < N_{cor} < 50$	PECK ET AL	1974	Para arenas y arcillas. Valido para B<1 metro.	Kpa	(Sabatini, Bachus, Mayne, Schneider, & Zettler, 2002).
302	qu	Esfuerzo final de apoyo de pilotes	$qb = 57,5 N \leq 2900Kn/m^2$ $qb = 0,6 N \leq 30tsf$ $N = SPT \leq 50 \frac{blows}{0,3}$	O'NEIL AND REESE	1999	SUELOS SIN COHESION	Kpa	(Sabatini, Bachus, Mayne, Schneider, & Zettler, 2002)
303	qu	Esfuerzo final de apoyo de pilotes	$qb = 0,6 N60 \frac{Pa}{qo} qo$	Cohesionless IGM's		SUELOS SIN COHESION	Kpa	(Sabatini, Bachus, Mayne, Schneider, & Zettler, 2002)
304	Vs	Velocidad de onda de corte	$vs = 72,202 N^{0,3779}$ $vs = 74,446 N^{0,3977}$ $vs = 85,558 N^{0,362}$ $vs = 69,544 N^{0,4956}$	Ashikuzzaman et al	2020	*Para todo tipo de suelo *Recomendada en Arenas *Recomendada en Arcillas *Recomendada en Limos	*m/s *m/s *m/s *m/s	(Lysian, 1996)
305	PL	Presión limite	$Pl = 29,45 N_{cor} + 2197$	Yagiz et al.	2008	Para Todo tipo de suelo	Kpa	(Balachandran, Liu, Cao, & Peaker, 2015)
306	EPMT	Módulo presiométrico	$Em = 388,67,45 N_{cor} + 4554$	Yagiz et al.	2008	Para todo tipo de suelo	Kpa	(Balachandran, Liu, Cao, & Peaker, 2015)
314	f	Angulo de fricción	$\phi = \sqrt{12N_{60}} + 23,3$ $\phi = \sqrt{12N_{160}} + 26$	Kampengsen		*Dirigida a suelos sin cohesion *Dirigida a suelos sin cohesion	°	(Chai, Shen, Long, & Chung, 2012)

NUMERO	PROPIEDAD	PROPIEDAD	FORMULAS PRINCIPAL	AUTOR	AÑO	APLICABILIDAD	UNIDAD	TEXTO GUIA
315	E	Modulo de elasticidad de Young	$Es = \frac{500 * (N60 + 15)}{1000}$ $Es = \frac{500 * (N60 + 6)}{1000} \quad \text{for } N \leq 15$ $Es = \frac{600 * (N60 + 6) + 2000}{1000} \quad \text{for } N > 15$ $Es = \frac{320 * (N60 + 15)}{1000}$ $Es = \frac{300 * (N60 + 6)}{1000}$	Tan et al.	1991	*Para Arenas normalmente consolidadas *Para Arenas con grava *Recomendada en Arenas arcillosas *Limos, limos arcillosos y limos arenosos	*Mpa *Mpa *Mpa	(Behpoor & Ghahramani, 1989)
316	EPMT	Módulo presiométrico	$Epmt = 0,6 * N60^{0,96}$	Y.C. Chiang and Y.M. Ho	1980	Recomendada en arenas y gravas	Mpa	(Chiang & Ho, 1980)
317	PL	Presión limite	$Pl = 0,17 * N60^{0,734}$	Y.C. Chiang and Y.M. Ho	1980	Recomendada en arenas y gravas	Mpa	(Chiang & Ho, 1980)
318	Vs	Velocidad de onda de corte	$Vs = 78 * N160^{0,4}$	Anbazhagan and Sitharan	2008	Para todo tipo de suelo	m/s	(Sitharam & Anbazhagan, 2008)
319	Vs	Velocidad de onda de corte	$Vs = 126,395 * N60^{0,223}$ $Vs = 122,945 * N60^{0,26}$ $Vs = 102,758 * N60^{0,301}$ $Vs = 124,051 * N60^{0,216}$	Naresh Bellana	2009	* Para todo tipo de suelo *Recomendada en arcillas * Para Limos *Recomendada en arenas	*m/s *m/s *m/s *m/s	(Brandenberg, Ballana, & Shantz, 2010)
320	Vs	Velocidad de onda de corte	$Vs = 139,1 + 4,09 * Z + 2,0415 * N1(60)$	Nathional Center for research on earthquake		Para todo tipo de suelo	m/s	(Chen, Wen, Loh, & Nigbor, 2012)
321	Vs	Velocidad de onda de corte	$Vs = \frac{N60^{0,3448}}{0,0000016}$	Tomio Inazaki	2006	Para todo tipo de suelo	m/s	(Inazaki, 2006)

NUMERO	PROPIEDAD	PROPIEDAD	FORMULAS PRINCIPAL	AUTOR	AÑO	APLICABILIDAD	UNIDAD	TEXTO GUIA
322	Vs	Velocidad de onda de corte	$Vs = 30 * N60^{0,215} * \vartheta^{0,275}$ $Vs = 26 * N60^{0,17} * \vartheta^{0,32}$ $Vs = 53 * N60^{0,19} * \vartheta^{0,18}$ $Vs = 115 * N60^{0,17} * \vartheta^{0,12}$ $Vs = 30 * N60^{0,23} * \vartheta^{0,23}$	Wair and DeJong	2012	*Para todo tipo de suelo *Recomendada en Arcillas y limos *Gravas de Oloceno *Gravas del Plioceno *Arenas	*m/s *m/s *m/s *m/s *m/s	(Wair & DeJong, 2012)
323	Vs	Velocidad de onda de corte	$Vs = 53,5 * N60^{0,17} * Z^{0,193}$ $Vs = 53,5 * N60^{0,17} * Z^{0,193}$	Ohta and Goto	1978	*Recomendada en Arcillas del holoeceno *Recomendada en Arcillas del Pleseoceno	*m/s *m/s	(Sabatini, Bachus, Mayne, Schneider, & Zettler, 2002)
324	Δ	Asentamientos en zapatas	$Se = 2,37 * q^{0,87} * B^{0,7}$	Anagnostopoulos et al.	1991	*Para todo tipo de suelo	mm	(Meranda, 2005)
325	Vs	Velocidad de onda de corte	$Vs = 75,4 * N67^{0,351}$	Imai and Tonouchi	1982	*Recomendada para gravas	m/s	(Alfaro Castillo, 2007)
326	qc	Resistencia a la penetración del cono dinámico	$qc = 0,4 * N60$	Rocha Filho and Carvalho	1989	*Para todo tipo de suelo	Mpa	(Lunne, Robertson, & Powell, 1997)

Los parámetros descritos en la Tabla 11, toman como insumo el resultado del *ensayo de penetración estándar (SPT)* y el valor número de N con una energía media de 60%, en la mayoría de los casos. Sin embargo, este valor debe ser corregido como se mencionó en el numeral 2.2.3 Correcciones aplicables al valor N, producto del ensayo de SPT, producto del ensayo de SPT. Por lo anterior, se consideran listas plegables que permitan al usuario delimitar las condiciones del ensayo, a fin de que la hoja de cálculo aplique las correcciones que correspondan. En la Tabla 12 se encuentran las variables que delimitan las correcciones del ensayo.

Tabla 12. Delimitaciones del ensayo de penetración estándar (SPT), para aplicación de correcciones a los resultados del ensayo

Delimitación Del Ensayo	Variables
Corrección Por Nivel Freático	Presencia De N. F
	No Presencia De N. F
Factor De Corrección Para La Eficiencia Del Martillo.	Manual (Martillo Y Polea)
	Automático
	Elección manual de la energía aplicada
Factor De Corrección Por Diámetro De Perforación	60-120
	150
	200
Factor De Corrección Por Variación Del Tipo De Muestreador	Muestreador Estándar
	Muestreador Con Revestimiento Para Arena Densa Y Arcilla
	Muestreador Con Revestimiento Para Arena Suelta
Factor De Corrección Por Variación De La Longitud De La Varilla	Mayor A 10m
	6m - 10m
	4m - 6m
	0m - 4m
Tipo De Cimentación	Pilote Preexcavados
	Pilote Hincado
	Cimentación Superficial

A fin de generar la formulación requerida por la hoja de cálculo, se incorporaron las fórmulas y modelos matemáticos expresados por la literatura y relacionados en la Tabla 11 del presente documento. Así mismo, en esta misma tabla se señalan las recomendaciones de cada correlación, en términos del tipo de suelo en estudio, parámetro que se divide en cuatro grupos principales del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), es decir:

- Arenas (S)
- Gravas (G)
- Arcillas (C)
- Limos (M)

La clasificación de estos parámetros permite al usuario delimitar los cálculos posibles a los más convenientes de acuerdo con cada autor, buscando siempre aquellos más conservadores que permitan una interpretación concordante con el tipo de suelo en estudio.

3.3 Determinación de la conveniencia en la utilización de correlaciones

Una vez consolidada la información de base se analizaron los datos recolectados y a partir de ellos se determinó cuales correlaciones presentaban mayor conveniencia en su uso, de acuerdo con el tipo de suelo para el cual fue generado. Cabe resaltar que el tipo de suelo no es el único factor que indica la conveniencia en la aplicación de la correlación. Sin embargo, para efectos del presente proyecto, se va a considerar como el factor de mayor importancia, asumiendo que el *ensayo de penetración estándar (SPT)*, fue realizado en condiciones óptimas, mediante las cuales se minimizarán los factores externos que pueden alterar los resultados, y que el usuario incorporará los factores de seguridad necesarios en los diseños, a fin de disminuir la incertidumbre generada por las variaciones que se pueden presentar, en las condiciones y materiales de la investigación original.

Así las cosas, y de acuerdo con el tipo de correlación encontrada en la recopilación de datos y las recomendaciones de uso de acuerdo con el tipo de suelo en estudio, se encontraron las siguientes propiedades a determinar y el número de correlaciones a aplicar en el procesamiento de datos (Tabla 13).

Tabla 13. Parámetros para determinar en el procesamiento de datos, de acuerdo con el tipo de suelo

Etiquetas de fila	Arcillas	Arenas	Gravas	Limos
Angulo de fricción	9	31	24	9
Asentamientos en zapatas	1	5	1	1
Capacidad de carga en zapatas	3	6		2
Coefficiente de tensión horizontal	1			
Densidad relativa		9	6	

Etiquetas de fila	Arcillas	Arenas	Gravas	Limos
Diámetro efectivo	1	1	1	
Esfuerzo final de apoyo de pilotes	3	6	3	4
Esfuerzo final de fuste de pilotes	4	6	3	3
Módulo de corte o rigidez	22	27	19	19
Módulo de elasticidad de Young	5	34	6	8
Módulo de reacción de la subrasante			1	
Módulo de rigidez axial máximo		2	1	
Módulo presiométrico	3	4	1	1
Presión límite	2	3	1	1
Resistencia a la penetración del cono dinámico	6	7	5	5
Resistencia al corte no confinado no drenado	1			1
Resistencia al corte no drenado	30	2		23
Velocidad de onda de corte	54	53	39	43

3.4 Diseño hoja de datos de entrada

De acuerdo con lo indicado en la Norma Nacional INV E – 111 – 13 – ensayo normal de penetración (SPT) y muestreo de suelos con tubo partido, se diseñó la hoja de ingreso de datos la cual permite al usuario incluir datos de diferentes profundidades de sondeo y delimitar las condiciones del ensayo y del terreno, de acuerdo con las siguientes variables:

- Profundidad de Nivel Freático, de acuerdo con la inspección visual y los sondeos.
- Profundidad de sondeo, la hoja de cálculo fue diseñada para dar cumplimiento a los intervalos descritos en la Norma INV 111 13 *“Los ensayos de resistencia a la penetración se desarrollan, generalmente, a intervalos de 1.5 m (5 pies), o cuando se detectan cambios significativos durante la perforación”*.
- Numero de golpes en cada profundidad, de acuerdo con lo descrito en capítulo 2 del presente documento - Correcciones aplicables al valor N, producto del ensayo de SPT, ubicado en el presente documento.
- Peso específico y clasificación del suelo, de acuerdo con los ensayos realizados a las muestras testigo, tomadas en campo.
- Coordenadas geográficas de la ubicación del sondeo.

Universidad Surcolombiana		Proyecto:	Fecha:
Sector (Coordenadas):		Perforador:	
		Ingeniero:	
		Prof. Nivel freatico:	3,00 m
		Cota:	m.s.n.m

Estrato	Espesor (m)	Peso específico (kN/m ³)	Tipo de suelo
Estrato 1	3	19,5	Arcillas
Estrato 2	2,8	18,7	Arenas
Estrato 3	1,6	17,5	Limos
Estrato 4	2	21	Gravas

# sondeo	PRD F (m)	Golpes / 45 (cm)				Presencial de nivel fratico	Peso específico (kN/m ³)	Tipo de suelo	qv (kPa)	Descripción suelo (color, tipo, dureza, fisuras)
		0-15	15-30	30-45	N					
1	0,31	3	8	10	18	NO	16,50	Arcillo	15,02	
2	1,52	6	15	8	23	NO	16,50	Arcillo	25,05	
3	2,13	3	20	23	43	NO	16,50	Arcillo	35,15	
4	3,35	7	11	7	15	SI	18,70	Arenas	52,61	
5	3,96	11	12	7	19	SI	18,70	Arenas	58,03	
6	4,57	50	13	10	20	SI	18,70	Arenas	63,46	
7	5,18	2	10	15	25	SI	18,70	Arenas	68,88	
8	6,40	8	14	12	26	SI	17,50	Limos	78,77	
9	7,62	6	8	16	24	SI	21,00	Gravas	83,62	
10										

Equipo de golpeo empleado	MANUAL (MARTILLO Y POLEA)	B (Dimension zapata o diametro de pilote)	0,60	m
Diámetro de la perforacion	60-120	mm		
Tipo de muestreador	ESTÁNDAR	q (Carga trans a zapata o pilote)	100,00	kN/m ²
REINICIO	SALIDA DE DATOS	S (Asentamiento zapatas o pilote)	15,00	mm
		Tipo de pilote		Hincado

Figura 5. Diseño de hoja de ingreso de datos

Adicional a lo anterior, en la parte inferior del formulario se encuentran localizados los datos propios del método utilizado, para la determinación de la fórmula de corrección a emplear, como sigue:

- Equipo de golpeo empleado, de acuerdo con su naturaleza (Automático, Manual o elección manual del valor de energía aplicado).
- Diámetro de perforación del equipo de sondeo, ubicado entre los rangos 60 – 120mm, 150mm y 200mm.
- Tipo de muestreador, siendo las opciones estándar, con revestimiento para arena densa y arcilla, y con revestimiento para arena suelta.

Por último, el formato considera las variaciones entre el tipo de cimentación propuesta para el diseño, en las cuales se destacan las siguientes:

- B, Dimensiones de zapata o diámetro de pilote en metros.
- Q, Cargas axiales estimadas que soportará la zapata o pilote.
- S, Asentamiento previsto para la cimentación.
- Tipo de pilote a instalar, hincado o perforado.

El predimensionamiento de la cimentación fue incluido en la hoja de datos de entrada a fin de evaluar correlaciones como el asentamiento de zapatas, la capacidad portante de zapatas, la capacidad de punta del pilote y capacidad de fuste de pilote. Por lo anterior, es opcional incluir estos datos, ya que de omitirse las únicas correlaciones que no serán procesadas, serán las descritas anteriormente.

La información anteriormente suministrada, otorga al programa las herramientas base para el cálculo de correcciones, de acuerdo a las variables establecidas, y conforme a lo descrito en el capítulo 2 - Correcciones aplicables al valor N, producto del *ensayo de penetración estándar (SPT)* (energía, nivel freático y presión efectiva de sobrecarga), ubicado en el presente documento; el restante de datos, permiten determinar los valores de N requeridos para el cálculo de las correlaciones listadas en la Tabla 11.

Así las cosas, esta hoja de cálculo fue diseñada para ser utilizada de forma fácil, rápida y con los datos mínimos provenientes del ensayo realizado en campo, cuyas casillas se encuentran resaltadas en color amarillo.

3.5 Diseño hoja de procesamiento de datos, correcciones y cálculo de correlaciones

El procesamiento de la información suministrada en la hoja de entrada de datos, cuyas características se mencionan en el numeral 3.4 Diseño hoja de datos de entrada, ubicada en el presente documento, se basa en lo descrito en los siguientes numerales.

3.5.1 Base de datos de consulta

Internamente el programa tiene calculadas todas las correlaciones posibles, de acuerdo a los autores relacionados, las cuales se presentan en la Tabla 11 del presente documento y adicionalmente las mismas se presentan en la hoja denominada como “*Banco de Formulas*” (visible para consulta del usuario), se encuentran listadas las propiedades, las fórmulas

utilizadas para cada una de ellas, el autor que desarrollo dicha fórmula, año de publicación, tipo de N requerido (de acuerdo con el porcentaje de energía utilizado), la clasificación del suelo correspondiente a cada una, la aplicabilidad de la formula, las unidades del resultado en el Sistema Internacional de Medidas y la bibliografía utilizada.

En la Tabla 11 se encuentra el banco de datos ubicado en el software, con la información anteriormente descrita. Los datos suministrados en esta base de datos fueron evaluados, de acuerdo con lo descrito en el numeral 3.3 Determinación de la conveniencia en la utilización de correlaciones.

3.5.2 Formulación

Así las cosas, en el apartado de formulación del software se muestra la estructuración de la formación de datos para la determinación de las correlaciones existentes en la base de datos, y las correcciones previas al cálculo de los valores de N (N1, N60, N1(60), N1(70), N1(55), N1(30), N1(78) y N1(70)), cuyo cálculo se describe en el capítulo 2 del presente documento.

La hoja de formulación presente en el software contiene cuatro tablas, las cuales se listan a continuación:

Tabla de formulación de correcciones y valores de N.

- Numero de sondeo realizado
- Sumatoria de golpes en (mm), de los intervalos 15-30 y 30-45 (N).
- Diferencia entre los valores de N y el Nivel Freático encontrado (N-N.F).
- Valor de la corrección por sobrecarga, para cada altura de sondeo (CN) y para cada autor, permitiendo que sea el usuario el cual elija que valor asumir.
- Longitud de la varilla utilizada en campo
- Aplicación de correcciones por eficiencia del martillo, diámetro de perforación y muestreador.
- Valores de N1, N (60), N (70), N1 (55), N1 (30), N1 (78), N (70).

Cálculo de correcciones por sobrecarga, según autor.

- Numero de sondeo realizado
- Profundidad de sondeo
- Autor y año de la correlación

- Corrección por sobrecarga
- Símbolo (CN)
- Relación de esfuerzos en kPa
- Valor de CN y cuadrado de este valor

Cálculo de correlaciones, según autor.

- Numero de formulación acorde a la base de datos
- Profundidad de sondeo
- Autor de la correlación
- Tipo de correlación
- Tipo de suelo al que aplica
- Valor
- Unidad de medida (SI)
- Numero

Consolidación de resultados por propiedad.

- Propiedad
- Numero de propiedad
- Profundidad de sondeo
- Tipo de suelo
- Resultado de la correlación
- Unidad de medida (SI)

Así las cosas, la hoja de procesamiento de datos corrige los valores tomados en campo y procesa todas las fórmulas descritas en la base de datos, localizada en la Tabla 11 del presente documento, de acuerdo con cada propiedad y autor.

Conforme a lo anterior, se puede deducir que el programa contiene ciento cincuenta (145) correlaciones para determinar propiedades en arcillas, doscientos catorce (196) correlaciones para determinar propiedades en arenas, ochenta y tres (111) correlaciones para determinar propiedades en gravas y ciento dieciocho (120) correlaciones para determinar propiedades en limos. Lo anterior, conforma quinientos sesenta y cinco (572) correlaciones incluidas para el procesamiento de datos. Sin embargo, una de las características principales de este programa es brindar código libre al usuario, que le

permita alimentar la base de datos, aumentando el número de correlaciones posibles para la determinación de propiedades de un suelo específico.

Por último, el procesamiento de datos genera resultados por cada propiedad evaluada, tomando los valores mínimos admisibles, máximos admisibles y, por último, la mediana de las fórmulas aplicadas a cada profundidad (Tabla 11), las cuales pueden ser utilizadas de acuerdo con lo requerido por el usuario. Por último, se describe la consistencia del suelo con los parámetros indicados.

Tabla 14. Tabla de resultados para cada propiedad

N°	Prof. (m)	Propiedad	Tipo de suelo	Consistencia
Numero de sondeo	Profundidad	Tipo de propiedad a evaluar	Tipo de suelo aplicable	Consistencia del suelo, de acuerdo con las condiciones de la imagen 5, a fin de que el usuario tenga una visión general sobre las características del suelo.

Cabe resaltar que los datos mencionados anteriormente, son por cada profundidad de sondeo, razón por la cual para los tipos de suelo que no aplique el cálculo de la propiedad a determinar, en la celda correspondiente aparecerá una alerta de error (# ¡NUM!).

Consistencia de arcillas y limos de acuerdo al valor de N₆₀

Valor de N ₆₀	Consistencia
< 2	Muy blanda
2 - 4	Blanda
4 - 8	Medianamente compacta
8 - 15	Compacta
15 - 30	Muy compacta
> 30	Dura

Consistencia de arenas y gravas de acuerdo al valor de N₆₀

Valor de N ₆₀	Consistencia
0 - 4	Muy suelta
4 - 10	Suelta
10 - 30	Medianamente densa
30 - 50	Densa
> 50	Muy densa

Figura 6. Condiciones para la determinación de la consistencia del suelo

Todos los datos generados por la hoja de cálculo se encuentran vinculados y protegidos, razón por la cual se encuentran automatizados a través de tablas dinámicas y genera las opciones de calculo que se describirán en el siguiente numeral, 3.6 Salida de datos.

Modificado de: [(ASTM international, 1985). Classification of Soils for Engineering Purposes: Annual Book of ASTM Standards, D 2487-83, 04.08, American Society for Testing and Materials, pp. 395-408.][(Liu & Evett, 2007), Soils and Foundations (7 edition), Prentice Hall.]

3.6 Salida de datos

La hoja de salida de datos fue diseñada para calcular las correlaciones, a partir de los datos ingresados, provenientes del ensayo de campo.

En esta hoja se encuentran discriminados los siguientes atributos:

- Resultados de las correlaciones realizadas para la determinación de las propiedades listadas en el numeral 3.5.2 Formulación, las cuales pueden escogerse de un listado ubicado en el lado izquierdo de la hoja. En el apartado de resultados se señalan los valores de la correlación para cada profundidad, la consistencia del suelo (de acuerdo con lo descrito en la Figura 8), y las unidades de medida en el Sistema Internacional.
- Resumen de los valores derivados de las correcciones aplicadas a los valores de N (número de golpes medidos durante el ensayo). En este apartado se encuentran los resultados de CN (factor de corrección por tensión vertical debida a la sobrecarga del terreno en arenas), C (Factor de corrección de corrección por energía), N60 (número de golpes corregido al factor de energía 60), N1(60) (corrección por los factores contemplados en el ensayo). Los valores anteriormente mencionados, para cada sondeo realizado, resaltando la profundidad de este.
- Graficas correspondientes a los valores de N obtenidos en campo y corregidos. Estas graficas profundidad en función del Número de golpes, permiten visualizar el comportamiento de los valores en el total de la profundidad a la que se realizaron sondeos para los valores de N, N (60) y N1(60).
- Grafica de la propiedad a evaluar, de acuerdo con la correlación correspondiente, en esta grafica profundidad en función del valor de la correlación por profundidad de sondeo, acorde al perfil estratigráfico del suelo, y en la cual el usuario tiene la opción de escoger el resultado puntual que desea observar, de acuerdo con un autor determinado. Adicionalmente, Siempre proporcionan, los valores mínimos admisibles, máximos admisibles y mediana, generando una depuración de datos atípicos.

3.7 Depuración de datos atípicos en resultados

Con el fin de proporcionar mayor grado de confiabilidad en los resultados generados, se realiza una depuración de valores atípicos basados en la metodología de cajas y bigotes. Este tipo de grafico parte de la agrupación de la muestra en cuartiles; dividiéndola en cuatro partes iguales, de igual número de efectivos a lo largo de la variación de la variable, permitiendo identificar la dispersión y simetría de los datos. Como resultado, se calculan valores máximos y mínimos admisibles, siendo los datos atípicos todos los valores los cuales se encuentran por fuera del rango generado (Madrid, Valenzuela Ruiz, Batanero, & Garzon guerrero, 2022).

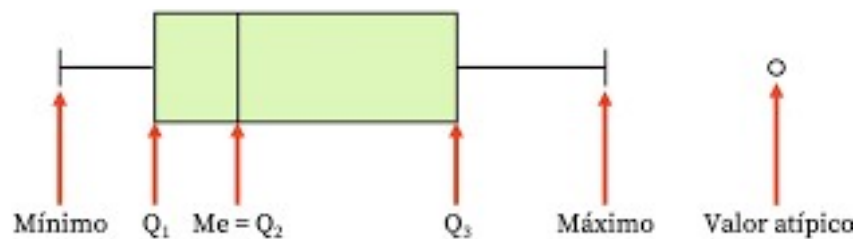


Figura 7. Elementos de diagrama de caja y bigotes (Acedmia Balderix, 2023)

Donde:

$Q1$ = Cuartil 1, extremo inferior de la caja, en él se sitúa el 25 % de los datos.

$Q2$ = Cuartil 2 (Mediana), en él se sitúa el 50 % de los datos.

$Q3$ = Cuartil 3, extremo superior de la caja, en él se sitúa el 75 % de los datos.

RI = Rango intercuartílico, medida de dispersión asociada a la mediana ($Q3 - Q1$).

LI = Corresponde al bigote inferior o valor mínimo admisible, ($LI = Q1 - (1.5 \times RI)$).

Se debe cumplir que: $LI >$ Dato mínimo de la muestra.

LS = Corresponde al bigote superior o valor máximo admisible, ($LS = Q3 + (1.5 \times RI)$).

Se debe cumplir que: $LS <$ Dato máximo de la muestra.

Identificando como valores atípicos todos los datos por fuera dentro del rango entre LI y LS , y no considerándolos para la salida de resultados, generando confiabilidad en los valores arrojados.

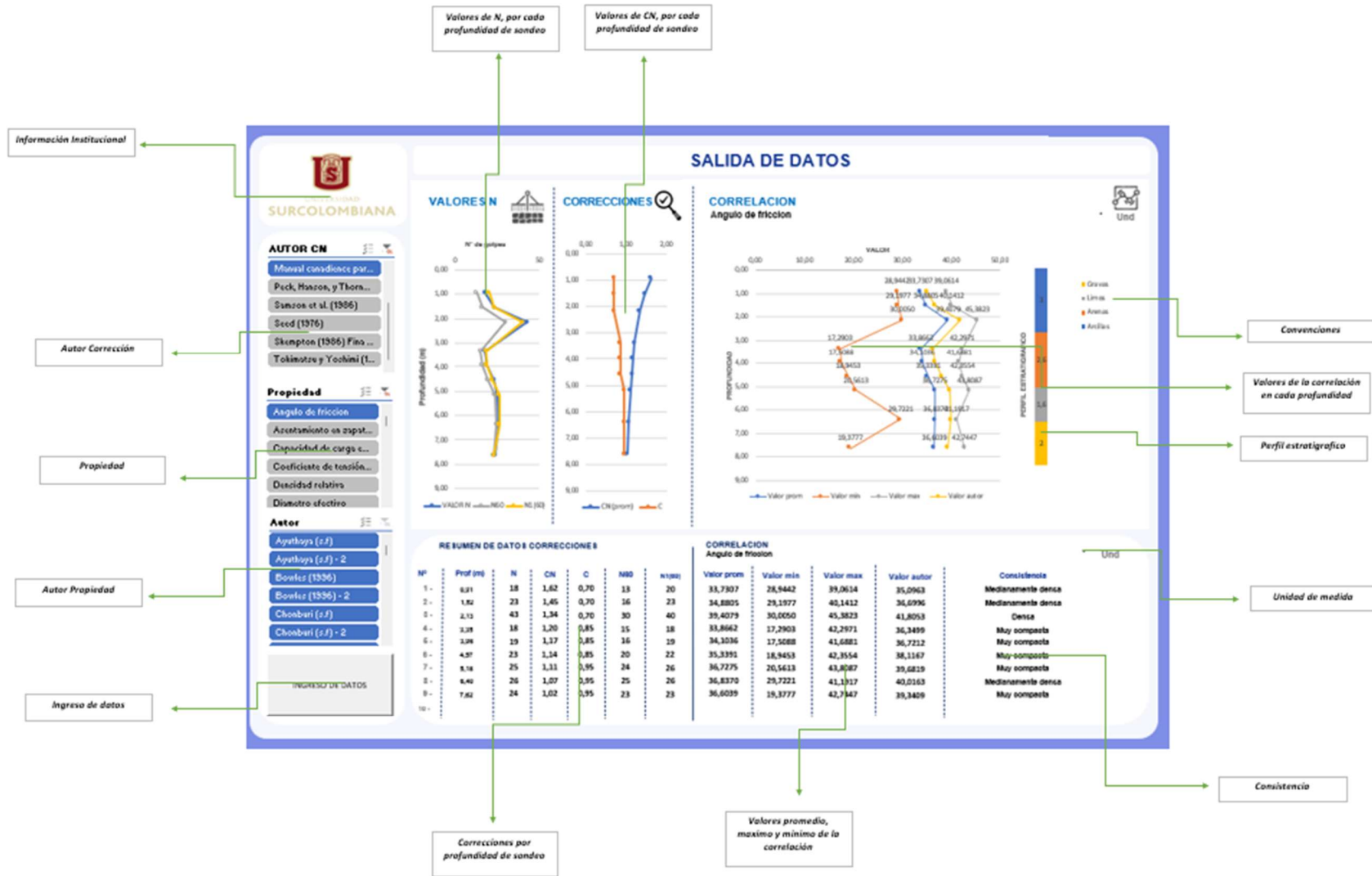


Figura 8. Diseño hoja de salida de datos

4 Capítulo

4.1 Resultados

A fin de evaluar el funcionamiento de la hoja de cálculo programada, se realizó una verificación contra el software NovoSPT 3.0, introduciendo los mismos valores del ejemplo predeterminado por este software, a fin de comparar las variaciones en los resultados entre ellos.

Es oportuno indicar que NovoSPT 3.0 es un software geotécnico que calcula las propiedades de un suelo a través de las correlaciones entre estas y los recuentos de los golpes SPT (NovoTeach, 2023).

Los parámetros geotécnicos correlacionados a partir de este software son los siguientes:

Tabla 15. Parámetros geotécnicos evaluados por NovoSPT 3.0

Módulo de elasticidad	Relación de sobreconsolidación	Factor de compresibilidad	Módulo de reacción de la subrasante
Angulo de fricción	Velocidad de onda cortante	Angulo de dilatación normalizado	Medidor de presión Módulo de Menard
Densidad relativa	Módulo de corte	Liquidación de la fundación	Capacidad portante de zapatas y pilotes
Resistencia al corte sin drenaje	Relación de resistencia cíclica	Peso unitario saturado	
Resistencia de la punta	Resistencia de cono salvaje	Módulo de rigidez inicial	

Adicional a lo anterior, el software aplica automáticamente las siguientes correcciones en los datos del campo SPT (N) para obtener N60 y N1(60).

- Tamaño del pozo
- Método de muestreo
- Longitud de la varilla

- Nivel de energía
- Correcciones de estrés de sobrecarga
- Corrección del nivel de agua

Adicional a lo anterior, cada correlación es desarrollada para cada tipo de suelo, así que considera la profundidad específica, basada en la estratigrafía del lugar, reconociendo tipo de suelo arcilloso, limoso, arena y gravas.

Así las cosas, y considerando las similitudes entre NovoSPT 3.0 y la hoja de cálculo desarrollada a través del presente documento, se realizaron las validaciones descritas a continuación.

4.1.1 Análisis comparativo con NovoSPT 3.0

Siendo el valor $N_1(60)$ base fundamental teórica para el cálculo y empleo de las diferentes correlaciones propuestas, se extraen los datos generados para este número de penetración por el software libre para cada corrección planteada por diferentes autores, de la misma manera, se extraen dichos datos del software comercial Novospt 3.0, con el objetivo de generar una muestra idéntica idónea para su comparación.

Tabla 16. Valores de $N_1(60)$ por autor generados por software libre SPT

DATOS SOFTWARE LIBRE SPT										
PROFUNDIDADES (m)		0.91	1.52	2.13	3.35	3.96	4.57	5.18	6.40	7.62
N° DE SONDEO		1	2	3	4	5	6	7	8	9
AUTORES	Bazaraa (1967)	21	27	50	20	19	22	25	24	22
	Peck, Hanson, y Thornburn (1974)	21	24	41	19	19	23	27	27	24
	Seed (1976)	21	27	47	21	21	24	29	28	24
	Tokimatsu y Yoshimi (1983)	21	27	48	21	21	25	29	28	24
	Liao y Whitman (1986)	21	27	51	21	21	25	29	28	24
	Skempton (1986) Fina N.C	21	26	45	20	20	24	28	28	24
	Manual canadience para ingenieria de cimentaciones	20	23	40	18	19	22	26	26	23
	Samson et al. (1986)	21	27	50	21	21	24	28	27	24

Tabla 17. Valores de N1(60) por autor generados por el software comercial NovoSPT 3.0

DATOS SOFTWARE NOVOSPT										
PROFUNDIDADES (m)		0.91	1.52	2.13	3.35	3.96	4.57	5.18	6.40	7.62
N° DE SONDEO		1	2	3	4	5	6	7	8	9
AUTORES	Bazaraa (1967)	22	27	49	19	19	22	25	25	22
	Peck, Hanson, y Thornburn (1974)	21	23	40	18	19	23	27	27	24
	Seed (1976)	22	27	47	20	20	25	29	28	24
	Tokimatsu y Yoshimi (1983)	22	27	48	21	21	25	29	28	24
	Liao y Whitman (1986)	22	27	50	21	21	25	29	28	24
	Skempton (1986) Fina N.C	22	25	38	19	20	24	27	27	24
	Manual canadience para ingenieria de cimentaciones	21	23	40	18	19	23	27	27	23
	Samson et al. (1986)	22	27	49	20	20	25	28	28	24

Por lo tanto, se realiza el análisis comparativo de los datos generados por cada uno de los softwares para ocho autores diferentes. Para el software libre, se realiza un análisis mediante la metodología de cajas y bigotes para cada profundidad de sondeo. Por otro lado, para el software comercial, se realiza el cálculo de la desviación estándar de la muestra igualmente para cada profundidad.

Tabla 18. Valores caja y bigotes software libre

VALORES CAJA Y BIGOTES SOFTWARE LIBRE									
Sondeo	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Mínimo admisible	21.0	20.8	30.0	16.6	16.0	18.5	22.1	24.3	22.4
Q1	21.0	24.5	42.0	19.3	19.0	22.3	26.3	26.5	23.4
Q2=Media	21.0	27.0	47.5	20.5	20.5	24.0	28.0	27.4	23.8
Q3	21.0	27.0	50.0	21.0	21.0	24.8	29.0	27.9	24.1
Máximo admisible	21.0	30.8	62.0	23.6	24.0	28.5	33.1	30.0	25.1
Rango intercuartílico	0.00	2.50	8.00	1.75	2.00	2.50	2.75	1.42	0.66

Tabla 19. Desviaciones estándar por profundidad software NovoSPT 3.0

DESVIACIONES NOVOSPT 3.0				
N° sondeo	Mediana	Desviación	Desviación +	Desviación -
1	22.00	0.46	22.46	21.54
2	27.00	1.83	28.83	25.17
3	47.50	4.91	52.41	42.59
4	19.50	1.20	20.70	18.30
5	20.00	0.83	20.83	19.17
6	24.50	1.20	25.70	23.30
7	27.50	1.41	28.91	26.09
8	27.50	1.04	28.54	26.46
9	24.00	0.74	24.74	23.26

De los datos anteriores planteados, se genera la siguiente Figura 9:

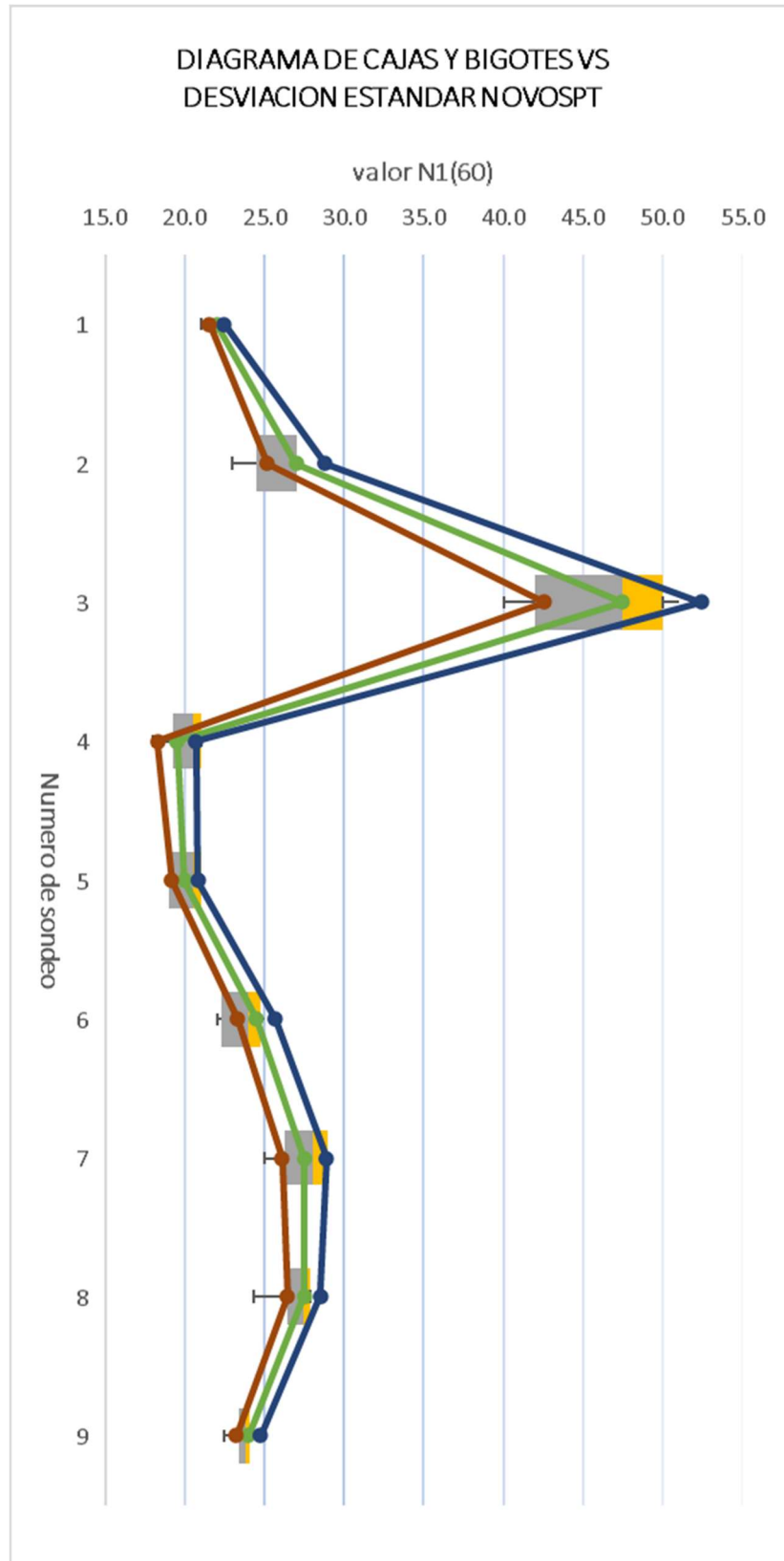


Figura 9. Gráfico de caja y bigotes vs desviación estándar para N1(60)

Los datos ingresados para el posterior cálculo de las correlaciones incluidas en el software se evaluaron a una profundidad de 7.62m, como indica el ejemplo determinado por el software. Así las cosas, los datos ingresados para el cálculo de las correlaciones contenidas en NovoSPT 3.0, son los relacionados en la Figura 10.

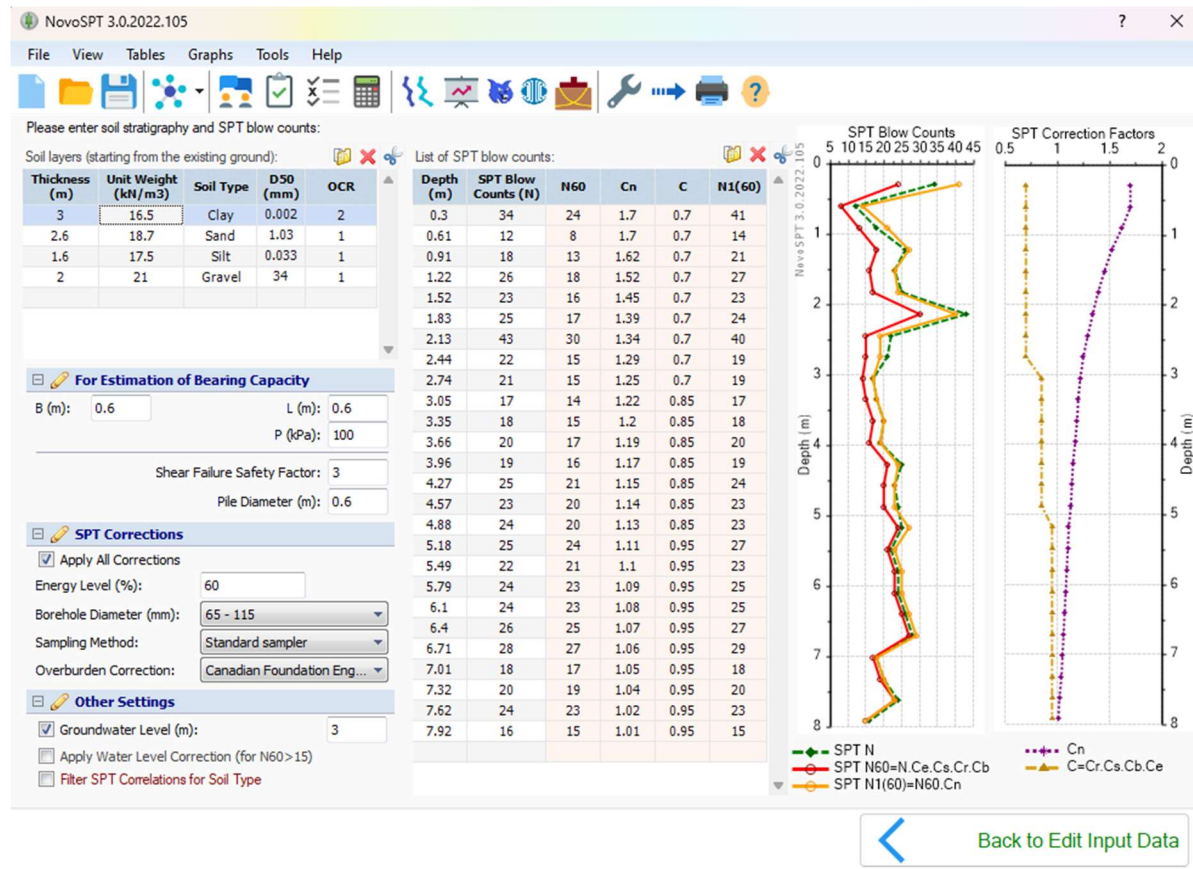


Figura 10. Datos de entrada ejercicio de ejemplo

A fin de parametrizar el ejercicio de comparación se establecieron las variables listadas a continuación en el software y en la hoja de cálculo:

- Equipo de golpe empleado: Manual (martillo y polea)
- Diámetro de perforación: 60mm – 120mm
- Tipo de muestreador: Estándar
- Profundidad nivel freático: 3.00m
- Estrato 1, arcillas, espesor 3m, peso específico 16.5 kN/m³

- Estrato 2, arenas, espesor 2.6m, peso específico 18.7 kN/m³
- Estrato 3, limos, espesor 1.6m, peso específico 17.5 kN/m³
- Estrato 4, gravas, espesor 2m, peso específico 21 kN/m³

Adicional a lo anterior, el número de golpes para cada profundidad de sondeo utilizados, son los siguientes:


Universidad Surcolombiana:  SURCOLOMBIANA		Proyecto: Sector (Coordenadas):	Fecha: Sondaje: Perforador: Ingeniero: Prof. Nivel freático: 3,00 m Cota: m.s.n.m.							
Estratos		Espezor (m)	Peso específico (kN/m ³)	Tipo de suelo						
Estrato 1		3	16,5	Arcillas						
Estrato 2		2,6	18,7	Arenas						
Estrato 3		1,6	17,5	Limos						
Estrato 4		2	21	Gravas						
SONDEO	PROF (m)	Golpes / 45 (cm)			N	Presencia de nivel frático	Peso específico (kN/m ³)	Tipo de suelo	qv (kPa)	Descripción suelo (color, tipo, dureza, fisuras)
		0-15	15-30	30-45						
1	0,91	9	8	10	18	NO	16,50	Arcillar	15,02	
2	1,52	6	15	8	23	NO	16,50	Arcillar	25,08	
3	2,13	3	20	23	43	NO	16,50	Arcillar	35,15	
4	3,35	7	11	7	18	SI	18,70	Arenar	52,61	
5	3,96	17	12	7	19	SI	18,70	Arenar	58,03	
6	4,57	50	13	10	23	SI	18,70	Arenar	63,46	
7	5,18	2	10	15	25	SI	18,70	Arenar	68,88	
8	6,40	8	14	12	26	SI	17,50	Limar	78,77	
9	7,62	6	8	16	24	SI	21,00	Gravar	89,62	
10										
Equipo de golpeo empleado		MANUAL (MARTILLO Y POLEA)		B (Dimensión zapata o diámetro de pilote)	0,60	m				
Diámetro de la perforación		60-120		q (Carga transmitida a zapata o pilote)	100,00	kN/m ²				
Tipo de muestreador		ESTÁNDAR		S (Asentamiento zapatas o pilote)	15,00	mm				
REINICIO		SALIDA DE DATOS		Tipo de pilote		Hincado				

Figura 11. Datos de entrada hoja de cálculo desarrollada

Una vez procesados los datos en mención, a través de los dos softwares, se determinaron los siguientes resultados para cada propiedad y autor listado en la Tabla 20, como sigue a continuación:

Tabla 20. Desarrollo ejercicio predeterminado por software NovoSPT 3.0 y comparación con la hoja de cálculo desarrollada

Desarrollo ejercicio predeterminado por el Software NovaSPT y se comparación con la hoja de cálculo desarrollada						
PROPIEDAD	#	AUTOR	UNIDAD	RESULTADO NOVOSPT (a)	RESULTAD O HOJA DE CALCULO (b)	$\frac{a-b}{a} * 100$
Esfuerzo final de apoyo de pilotes	303	Cohesionless IGM's	kPa	No incluida	1371,5	-
	101	Lord et al (2002)	kPa	No incluida	5841,4	-
	160	Meyerhof (1976) - Pilotes perforados	kPa	2803,7	2803,8	0,00%
	160	Meyerhof (1976) - Pilotes hincados	kPa	9345,7	9346,2	0,00%
	266	Meyerhof (1976)	kPa	No incluida	7009,6	-
	302	O'neil and Reese (1999)	kPa	1368,0	1343,5	1,79%
	131	Poulos - basado en Decourt (1995) - Pilotes hincados	kPa	7410,0	7593,8	2,48%
	131	Poulos - basado en Decourt (1995) - Pilotes perforados	kPa	3762,0	3855,3	2,48%
	165	Yves Robert - Pilote perforados	kPa	2686,9	2687,0	0,00%
	165	Yves Robert - Pilote Hincados	kPa	4439,2	4439,4	0,01%
Esfuerzo final de fuste de pilotes	164	Yves Robert	kPa	43,3	43,3	0,05%
	133	Shioi y fukui (1982) - Pilote perforado	kPa	No incluida	23,4	-
	133	Shioi y fukui (1982) - Pilote hincado	kPa	No incluida	46,7	-
	270	Reese and Wright (1977)	kPa	64,2	64,2	0,00%
	269	Quiros and Reese (1977)	kPa	49,8	53,4	7,29%
	132	Poulos - basado en Decourt (1995) - Pilotes hincados	kPa	73,8	75,4	2,20%
	132	Poulos - basado en Decourt (1995) - Pilotes perforados	kPa	40,6	42,7	5,20%
	162	Meyerhof (1976) - Pilotes perforados	kPa	20,0	21,5	7,30%
162	Meyerhof (1976) - Pilotes hincados	kPa	40,0	42,9	7,30%	
	189	Akin, Kramer and Topal (2011)	m/s	199	198,52	0,24%
	189	Akin, Kramer and Topal (2011) - (Arcillas aluviales)	m/s	228	228,48	0,21%
	189	Akin, Kramer and Topal (2011) - (Suelos de Plioceno)	m/s	259	258,89	0,04%
	189	Akin, Kramer and Topal (2011) - (Arcillas de Plioceno)	m/s	263	262,52	0,18%
	63	Alfaro (2007)	m/s	334	334,7	0,21%
	63	Alfaro (2007) - (Considera profundidad)	m/s	422,00	423,39	0,33%
	318	Anbazhagan and Sitharam (2008)	m/s	275	276,07	0,39%
	304	Ashikuzzaman et al (2020) - (Todo tipo de suelo)	m/s	No incluida	239,96	-
	304	Ashikuzzaman et al (2020) - (Recomedad para arenas)	m/s	No incluida	263,48	-
	304	Ashikuzzaman et al (2020) - (Recomedad para arcillas)	m/s	No incluida	270,33	-
	304	Ashikuzzaman et al (2020) - (Recomedad para limos)	m/s	No incluida	336,45	-
	59	Athanasopoulos (1995)	m/s	335	335,62	0,19%
	59	Athanasopoulos (1995) - (Recomendada para arcillas)	m/s	No incluida	164,35	-
	225	Athanasopoulos (1995) - (Recomendada para arcillas)	m/s	311	312,34	0,43%

Desarrollo ejercicio predeterminado por el Software NovaSPT y se comparación con la hoja de cálculo desarrollada						
PROPIEDAD	#	AUTOR	UNIDAD	RESULTADO NOVOSPT (a)	RESULTAD O HOJA DE CALCULO (b)	$\frac{a-b}{a} * 100$
Velocidad de onda de corte	280	C-G. Sun et al. (2012) - (Recomendada para gravas)	m/s	No incluida	246,87	-
	280	C-G. Sun et al. (2012) - (Recomendada para arenas y limos)	m/s	No incluida	243,25	-
	280	C-G. Sun et al. (2012) - (Todo tipo de suelo)	m/s	No incluida	234,02	-
	280	C-G. Sun et al. (2012) - (Todo tipo de suelo)	m/s	No incluida	239,52	-
	280	C-G. Sun et al. (2012) - (Recomendada para arcillas)	m/s	No incluida	230,15	-
	281	Contreras, J (2012)	m/s	No incluida	120,98	-
	64	Dikmen (2008) - (Todo tipo de suelo)	m/s	No incluida	198,9	-
	64	Dikmen (2008) - (Recomendado para arenas)	m/s	No incluida	207,11	-
	64	Dikmen (2008) - (Recomendado para limos)	m/s	No incluida	187,15	-
	64	Dikmen (2008) - (Recomendado para arcillas)	m/s	No incluida	200,53	-
	47	Fujiwara (1972)	m/s	266	267,14	0,43%
	282	Hasancebiand and Ulusay (2006) - (Todo tipo de suelo)	m/s	238	236,26	0,73%
	282	Hasancebiand and Ulusay (2006) - (Recomendad para arenas)	m/s	248	248,68	0,27%
	282	Hasancebiand and Ulusay (2006) - (Recomendad para arcillas)	m/s	228	225,82	0,96%
	50	Imai (1977) - (Todo tipo de suelo)	m/s	261	261,01	0,00%
	50	Imai (1977) - (Recomendad para arenas)	m/s	227	226,89	0,05%
	50	Imai (1977) - (Recomendad para arcillas)	m/s	200	199,84	0,08%
	44	Imai & Yoshimura (1970)	m/s	213	213,27	0,13%
	49	Imai et al. (1975)	m/s	261	261,11	0,04%
	223	Imai Y Tonouchi (1982)	m/s	250	250,1	0,04%
	277	Imai Y Tonouchi (1982) - (Recomendad para arenas)	m/s	No incluida	226,38	-
	278	Imai Y Tonouchi (1982) - (Recomendad para arcillas)	m/s	No incluida	244,53	-
	325	Imai Y Tonouchi (1982) - (Recomendad para gravas)	m/s	217	217,36	0,17%
	226	Iyisan (1996)	m/s	259	258,52	0,19%
	60	Jafari et al. (1997)	m/s	314	313,81	0,06%
	213	Jafari et al. (2002)	m/s	271	271,02	0,01%
	203	Jafari et al. (2002) - (Recomedad para limos)	m/s	244	243,36	0,26%
	203	Jafari et al. (2002) - (Recomedad para arcillas)	m/s	265	264,64	0,14%
	224	Jinan (1987)	m/s	219	217,59	0,64%
	52	JRA (1980) - (Recomendada para arcillas)	m/s	284	283,53	0,17%
	52	JRA (1980) - (Recomendada para arenas)	m/s	227	226,82	0,08%
	42	Kanai et al (1966)	m/s	124	124,03	0,02%
	61	Kiku et al (2001)	m/s	160	160,52	0,33%
	56	Lee (1990) - (Recomendado para arcillas)	m/s	381	380,73	0,07%
56	Lee (1990) - (Recomendado para limos)	m/s	287	287,32	0,11%	

Desarrollo ejercicio predeterminado por el Software NovaSPIT y se comparación con la hoja de cálculo desarrollada						
PROPIEDAD	#	AUTOR	UNIDAD	RESULTADO NOVOSPT (a)	RESULTAD O HOJA DE CALCULO (b)	$\frac{a-b}{a} * 100$
	56	Lee (1990) - (Recomendado para arenas)	m/s	266	265,64	0,14%
	279	Lee (1992) - (Recomendado para arenas)	m/s	No incluida	270,89	-
	279	Lee (1992) - (Recomendado para limos)	m/s	300	299,76	0,08%
	279	Lee (1992) - (Recomendado para arcillas)	m/s	298	297,95	0,02%
	286	Maheswari, Boominathan and Dodagoudar (2008)	m/s	245	245,12	0,05%
	319	Naresh Bellana (2009)	m/s	254	253,83	0,07%
	319	Naresh Bellana (2009) - (Recomendado para arcillas)	m/s	277	277,19	0,07%
	319	Naresh Bellana (2009) - (Recomendado para limos)	m/s	263	263,36	0,14%
	319	Naresh Bellana (2009) - (Recomendado para arenas)	m/s	244	243,73	0,11%
	320	National center for research on earthquake	m/s	218	218,38	0,17%
	45	Ohba and Toriuma (1970)	m/s	221	221,43	0,19%
	48	Ohsaki and Iwazaki (1963) - (Recomendada para arenas y gravas)	m/s	276	275,56	0,16%
	48	Ohsaki and Iwazaki (1963)	m/s	256	256,5	0,20%
	223	Ohta and Goto (1978) - (Arcillas Holoceno)	m/s	91	91,03	0,03%
	223	Ohta and Goto (1978) - (Arcillas Plioceno)	m/s	118	118,34	0,29%
	46	Ohta et al (1972) - (Arenas)	m/s	269	268,77	0,09%
	55	Okamoto et al (1989) - (Arena)	m/s	319	319,37	0,12%
	125	Pitilakis (1999) - (Limos y arenas)	m/s	253	252,98	0,01%
	126	Pitilakis (1999) - (Arcillas)	m/s	308	308,02	0,01%
	51	Schmertmann (1978)	m/s	342	342	0,00%
	124	Seed and Idriss (1981)	m/s	293	293,18	0,06%
	53	Seed and Idriss (1981)	m/s	267	267,4	0,15%
	43	Shibata (1970)	m/s	172	171,53	0,27%
	54	Sykora and Stokoe (1983)	m/s	249	248,87	0,05%
	321	Tomio Inazaki (2006)	m/s	293	292,84	0,05%
	228	Ulugergerli and Uyanik (2004)	m/s	68	68,11	0,16%
	227	Ulugergerli and Uyanik (2004)	m/s	478	478,44	0,09%
	322	Wair and Dejong (2012)	m/s	202	202,3	0,15%
	322	Wair and Dejong (2012) -(Arcillas y limos)	m/s	186	186,46	0,25%
	322	Wair and Dejong (2012) -(Grava holoceno)	m/s	216	215,63	0,17%
	322	Wair and Dejong (2012) -(Grava plioceno)	m/s	336	335,61	0,12%
	322	Wair and Dejong (2012) -(Arena)	m/s	173	173,18	0,10%
	57	Yokota et al (1991)	m/s	281	281,47	0,17%
	87	Anbazhagan and Sitharam (2010) - (Recomendado para limos)	Mpa	136	135,55	0,33%
	87	Anbazhagan and Sitharam (2010) - (Recomendado para arenas)	Mpa	176	176,67	0,38%

Desarrollo ejercicio predeterminado por el Software NovaSPT y se comparación con la hoja de cálculo desarrollada							
PROPIEDAD	#	AUTOR	UNIDAD	RESULTADO NOVOSPT (a)	RESULTAD O HOJA DE CALCULO (b)	$\frac{a-b}{a} * 100$	
Módulo de corte de rigidez	87	Anbazhagan and Sitharam (2010)	Mpa	118	118,84	0,71%	
	247	Anbazhagan and Sitharam (2010) - (Para todo tipo de suelos)	Mpa	No incluida	196,03	-	
	248	Anbazhagan and Sitharam (2010) - (Para todo tipo de suelos)	Mpa	No incluida	98,26	-	
	251	Anbazhagan and Sitharam (2010) - (Para todo tipo de suelos)	Mpa	No incluida	196,98	-	
	88	Anbazhagan, Parihar and Tashmi (2012)	Mpa	155,0	156,39	0,90%	
	211	Anbazhagan, Sitharam and Diryac (2007)	Mpa	101,0	101,17	0,17%	
	80	Hara et al (1974) - (Dirigido para arenas y gravas)	Mpa	125,0	125,07	0,06%	
	77	Imai and Yoshimura (1970)	Mpa	112,0	112,42	0,38%	
	83	Imai and Tonouchi (1982)	Mpa	118,0	118,37	0,31%	
	83	Imai and Tonouchi (1982) - (Recomendada para arenas)	Mpa	83,0	82,83	0,20%	
	83	Imai and Tonouchi (1982) - (Recomendada para arcillas)	Mpa	115,0	115,16	0,14%	
	83	Imai and Tonouchi (1982) - (Recomendada para arcillas)	Mpa	140,0	139,56	0,31%	
	83	Imai and Tonouchi (1982) - (Recomendada para arenas)	Mpa	125,0	124,86	0,11%	
	210	Imai and Tonouchi (1982)	Mpa	No incluida	133,45	-	
	86	Kramer (1996)	Mpa	130,0	130,44	0,34%	
	78	Ohba and Toriumi (1970)	Mpa	83,0	83,11	0,13%	
	79	Ohsaki and Iwasaki (1973)	Mpa	137,0	136,83	0,12%	
	79	Ohsaki and Iwasaki (1973)	Mpa	144,0	143,59	0,28%	
	79	Ohsaki and Iwasaki (1973) - (Recomendada para arcillas y limos)	Mpa	126,0	126,42	0,33%	
	79	Ohsaki and Iwasaki (1973) - (Recomendada para arenas y gravas)	Mpa	120,0	120,39	0,33%	
	79	Ohsaki and Iwasaki (1973) - (Recomendada para arenas)	Mpa	125,0	124,77	0,18%	
	289	Ohta et al	Mpa	No incluida	134,35	-	
	82	Randolph (1981)	Mpa	23,0	22,8	0,87%	
	259	Seed (1986)	Mpa	99,0	98,86	0,14%	
	84	Seed et al (1983)	Mpa	142,0	141,82	0,13%	
	85	Seed, Idriss and Arango (1983)	Mpa	148,0	148,2	0,14%	
	81	Wroth et al (1979)	Mpa	146,0	146,4	0,27%	
		76	AASHTO (1996) - (Limos)	Mpa	9,3	9,43	1,40%
		76	AASHTO (1996) - (Arenas)	Mpa	16,4	16,5	0,61%
		76	AASHTO (1996) - (Arenas)	Mpa	23,4	23,57	0,73%
76		AASHTO (1996) - (Grava)	Mpa	28	28,28	1,00%	
212		Anagnostopoulos (1999)	Mpa	No incluida	26,7	-	
110		Begemann (1974) - (Limos)	Mpa	8,9	8,86	0,45%	
110		Begemann (1974) - (Gravas)	Mpa	23,7	23,69	0,04%	
75		Bowles (1996)	Mpa	136,8	136,8	0,00%	
75		Bowles (1996)	Mpa	57,8	57,85	0,09%	

Desarrollo ejercicio predeterminado por el Software NovaSPT y se comparación con la hoja de cálculo desarrollada						
PROPIEDAD	#	AUTOR	UNIDAD	RESULTADO NOVOSPT (a)	RESULTADO HOJA DE CALCULO (b)	$\frac{a-b}{a} * 100$
Modulo de elasticidad de Young	75	Bowles (1996)	Mpa	9,4	9,45	0,53%
	75	Bowles (1996)	Mpa	62,7	62,7	0,00%
	75	Bowles (1996)	Mpa	34,6	34,56	0,12%
	154	Bowles (1988)	Mpa	33,4	33,42	0,06%
	66	Chaplin (1963)	Mpa	17,1	17,07	0,18%
	288	Clayton et al (1980)	Mpa	79,8	79,8	0,00%
	175	D'Appolonia (1970)	Mpa	45,7	46,97	2,78%
	70	Denver (1982)	Mpa	33,4	33,42	0,06%
	67	Farrent (1963)	Mpa	14,6	14,56	0,27%
	73	Kulhawy & Mayne (1990) - (Arenas con finos)	Mpa	11,4	11,4	0,00%
	73	Kulhawy & Mayne (1990) - (Arenas normalmente consolidadas)	Mpa	22,8	22,8	0,00%
	73	Kulhawy & Mayne (1990) - (Arenas sobreconsolidadas)	Mpa	34,2	34,2	0,00%
	194	L. Behpoor, A. Ghahramai (1989)	Mpa	3,9	3,88	0,51%
	258	M Gunaratne	Mpa	No incluida	18,43	-
	65	Mezenbach (1961) - (Arenas y gravas)	Mpa	31,2	31,2	0,00%
	65	Mezenbach (1961) - (Arenas)	Mpa	14,5	14,48	0,14%
	65	Mezenbach (1961) - (Limos)	Mpa	14,4	14,42	0,14%
	65	Mezenbach (1961) - (Arenas grano fino)	Mpa	12,7	12,72	0,16%
	65	Mezenbach (1961) - (Arenas grano fino)	Mpa	18,3	18,27	0,16%
	65	Mezenbach (1961) - (Arenas media)	Mpa	14,2	14,16	0,28%
	65	Mezenbach (1961) - (Arenas gruesa)	Mpa	27,7	27,74	0,14%
	74	Papadopoulos (1992)	Mpa	25,7	25,74	0,16%
	177	Schultze and Muhs (1967)	Mpa	57,4	57,73	0,57%
	71	Skempton (1986)	Mpa	33,3	33,3	0,00%
	178	Stroud (1988)	Mpa	11,4	11,4	0,00%
	315	Tan et al. (1991) - (Arena normalmente consolidada)	Mpa	18,9	18,9	0,00%
	315	Tan et al. (1991) - (Arena con grava)	Mpa	19,3	19,28	0,10%
	315	Tan et al. (1991) - (Arena con arcilla)	Mpa	12,1	12,1	0,00%
	315	Tan et al. (1991) - (Limos)	Mpa	8,6	8,64	0,47%
	69	Trofimenkov (1974)	Mpa	46,6	46,61	0,02%
68	Webb (1969) - (Arenas)	Mpa	18,1	18,1	0,00%	
68	Webb (1969) - (Arenas arcillosas)	Mpa	8,9	8,86	0,45%	
68	Webb (1969) - (Arenas arcillosas)	Mpa	13,3	13,33	0,23%	
Angulo de friccion	14	Ayuthaya (s.f)	°	39,3	39,34	0,10%
	14	Ayuthaya (s.f)	°	39,1	39,22	0,31%
	106	Bowles (1996) - (Carreteras y puentes)	°	No incluida	19,46	-
	106	Bowles (1996) - (Edificaciones)	°	No incluida	34,04	-

Desarrollo ejercicio predeterminado por el Software NovaSPT y se comparación con la hoja de cálculo desarrollada						
PROPIEDAD	#	AUTOR	UNIDAD	RESULTADO NOVOSPT (a)	RESULTADO HOJA DE CALCULO (b)	$\frac{a-b}{a} * 100$
	15	Chonburi (s.f)	°	38,5	38,54	0,10%
	15	Chonburi (s.f)	°	40,1	40,22	0,30%
	17	Dunham (1954) - (Suelos angulares bien graduados)	°	41,5	41,54	0,10%
	17	Dunham (1954) - (Suelos redondos bien graduados)	°	36,5	36,54	0,11%
	17	Dunham (1954) - (Suelos redondos uniformes)	°	31,5	31,54	0,13%
	13	Hatanaka and Uchida (1996)	°	41,6	41,71	0,26%
	107	Hatanaka and Uchida (1996)	°	39,2	39,29	0,23%
	151	Hatanaka and Uchida (1996)	°	38,6	38,71	0,28%
	221	Hatanaka and Uchida (1996)	°	No incluida	39,05	-
	22	JRA (1990)	°	33,5	33,49	0,03%
	314	Kampengsen	°	39,8	39,84	0,10%
	314	Kampengsen	°	42,7	42,82	0,28%
	18	Meyerhof (1959)	°	37,2	37,21	0,03%
	19	Ohsaki et al. (1959)	°	36,4	36,35	0,14%
	170	P.C. Varghese (2005)	°	No incluida	34,2	-
	11	Peck et al. (1953)	°	No incluida	35,14	-
	16	Peck et al. (1953)	°	29,6	29,62	0,07%
	20	Peck, Hanson & Thornburn (1974)	°	34,1	34,36	0,76%
	199	Shioi and Fukui (1960) - (Carrerteras / puentes)	°	28,8	29,38	2,01%
	199	Shioi and Fukui (1960) - (Construcciones)	°	33,8	33,76	0,12%
	199	Shioi and Fukui (1960)	°	34	34,04	0,12%
	273	Teixeira (1996)	°	No incluida	38,78	-
	23	Terzaghi, Peck & Mesri (1996)	°	No incluida	33,7	-
	23	Terzaghi, Peck & Mesri (1996)	°	No incluida	37,6	-
	21	Wolff (1989)	°	33,8	33,87	0,21%
	21	Wolff (1989)	°	33,7	33,66	0,12%
	263	M. Gunaratne	°	No incluida	40	-
Densidad relativa	9	Cubrinovski and Ishihara (1999) - (Todas las arenas)	%	77,4	77,74	0,44%
	9	Cubrinovski and Ishihara (1999) - (Arenas limpias)	%	67,7	67,98	0,41%
	9	Cubrinovski and Ishihara (1999) - (Arenas limosas)	%	94,8	95,21	0,43%
	6	Gibbs and Holtz (1957)	%	76	76,01	0,01%
	10	Idriss and Boulanger (2003)	%	71,3	71,58	0,39%
	7	Jamiolkoeski and Skempton (1986)	%	64,4	64,37	0,05%
	7	Jamiolkoeski and Skempton (1986)	%	59,2	59,21	0,02%
	1	Meyerhof (1957)	%	76,5	76,66	0,21%
	8	Yoshida et al (1988)	%	61,4	61,42	0,03%

Desarrollo ejercicio predeterminado por el Software NovaSP ^T y se comparación con la hoja de cálculo desarrollada						
PROPIEDAD	#	AUTOR	UNIDAD	RESULTADO NOVOSPT (a)	RESULTAD O HOJA DE CALCULO (b)	$\frac{a-b}{a} * 100$
Modulo de reaccion de la subrasante	168	Ziaie Moayed and Naeni (2006)	kg/cm ³	144	144,62	0,43%
Resistencia al corte no drenado	36	Ajayi and Balogun (1988)	kPa	105,9	105,89	0,01%
	35	Bowles (1988)	kPa	57	57	0,00%
	216	Bowles (1988)	kPa	No incluida	137,9	-
	37	Decourt (1989)	kPa	239,4	239,4	0,00%
	37	Decourt (1990) - (Arcillas)	kPa	No incluida	342	-
	38	Ghahramani and Behpoor (1989)	kPa	171	171	0,00%
	240	Hara et al (1974)	kPa	275,5	275,49	0,00%
	40	Hatef and Keshavarz (2004)	kPa	135,6	135,57	0,02%
	41	Hettiarachchi and Brown (2009)	kPa	93,5	93,48	0,02%
	196	Japanese Road Association	kPa	No aplica	No aplica	-
	39	Kulhawy and Mayne (1990)	kPa	136,8	136,8	0,00%
	25	Meyerhof (1956)	kPa	456	456	0,00%
	285	Nassaji and Kalantari (2011)	kPa	No incluida	65,48	-
	34	Nixon (1982)	kPa	273,6	273,6	0,00%
	29	Peck et al (1974)	kPa	140,2	141,41	0,86%
	32	Reese, Touma and O'Neil (1976)	kPa	159,6	159,6	0,00%
	27	Sanglerat (1972) - (Arcilla)	kPa	285	285	0,00%
	27	Sanglerat (1972)	kPa	228	228	0,00%
	283	Sivrikaya & Togrol (2002) - (Suelos muy pasticos)	kPa	No incluida	155,5	-
	283	Sivrikaya & Togrol (2002) - (Suelos con baja plasticidad)	kPa	No incluida	112,4	-
	283	Sivrikaya & Togrol (2002)	kPa	No incluida	140,9	-
	33	Sowers (1979) - (Arenas arcillosas y limos)	kPa	57	57	0,00%
	33	Sowers (1979) - (Arcilla CL)	kPa	104,5	104,5	0,00%
	33	Sowers (1979) - (Arcilla CH)	kPa	228	228	0,00%
	33	Sowers (1979) - (Arcilla CH)	kPa	393,1	393,1	0,00%
	33	Sowers (1979) - (Arcillas y limos)	kPa	No incluida	300	-
	33	Sowers (1979)	kPa	No incluida	180	-
	33	Sowers (1979)	kPa	No incluida	90	-
	31	Stroud and Butler (1975)	kPa	91,2	91,2	0,00%
	30	Stroud (1974)	kPa	102,6	102,6	0,00%
284	Stroud (1989)	kPa	114	114	0,00%	
26	Terzaghi and Peck (1967)	kPa	143,6	143,64	0,03%	
Resistencia al corte no confinado no drenado	172	Terzaghi & Peck	kPa	No incluida	313,81	-
Resistencia a la penetracion del cono dinamico	140	Ajayi and Balogun (1988)	kPa	9,58	9,58	0,00%
	140	Ajayi and Balogun (1988)	kPa	9,59	9,59	0,00%

Desarrollo ejercicio predeterminado por el Software NovaSPT y se comparación con la hoja de cálculo desarrollada						
PROPIEDAD	#	AUTOR	UNIDAD	RESULTADO NOVOSPT (a)	RESULTAD O HOJA DE CALCULO (b)	$\frac{a-b}{a} * 100$
	144	Chang (1988)	kPa	5,24	5,24	0,00%
	144	Chang (1988)	kPa	4,1	4,1	0,00%
	159	J. Fred Triggs and Paul D. Simpson (1990)	kPa	No incluida	8,22	-
	300	Meyerhof (1965)	kPa	9,12	9,12	0,00%
	326	Rocha Filho and Carvalho (1989)	kPa	9,12	9,12	0,00%
Presion limite	236	Bozbey and Togrol (2009)	Mpa	1,63	1,63	0,00%
	238	Bozbey and Togrol (2009)	Mpa	1,55	1,55	0,00%
	317	Y.C Chiang and Y.M. Ho (1980)	Mpa	1,69	1,69	0,00%
	305	Yagiz et al (2008)	Mpa	0,91	0,91	0,00%
Modulo Presiometrico	235	Bozbey and Togrol (2009)	Mpa	14,77	14,77	0,00%
	237	Bozbey and Togrol (2009)	Mpa	14,82	14,82	0,00%
	244	Ohya et al (1982)	Mpa	13,84	13,84	0,00%
	244	Ohya et al (1982)	Mpa	7,15	7,15	0,00%
	317	Y.C Chiang and Y.M. Ho (1980)	Mpa	12,07	12,07	0,00%
	305	Yagiz et al (2008)	Mpa	13,63	13,42	1,54%
Modulo de rigidez axial maximo	89	Stroud (1989)	Mpa	No incluida	45,6	-
	89	Stroud (1989)	Mpa	No incluida	364,8	-
Diametro efectivo	202	Muayed M. Ismail (2008)	mm	0,0013	0,0013	0,00%
Asentamiento en zapatas	324	Anagnostopoulos et al (1991)	mm	2,5	2,08	16,80%
	275	Burland et al (1977)	mm	No incluida	6,01	-
	181	Hence	mm	No incluida	6,31	-
	182	Meyerhof	mm	No incluida	6,85	-
Capacidad de carga en zapatas	188	Hanson and Thornburn	kPa	No incluida	147,2	-
	264	M. guaratne S.f	kPa	No incluida	764,69	-
	262	Parry (1977)	kPa	No aplica	No aplica	-
	301	Peck et al (1974)	kPa	No incluida	490,67	-
	130	Poulos (1995)	kPa	No incluida	1482	-
	187	Teng, W.C.	kPa	No incluida	394,07	-
Coefficiente de tension horizontal	243	Coefficiente de tensión horizontal	kPa	No incluida	2,38	-

De la Tabla 20 se realizaron graficas de caja y bigotes de los datos de cada software por cada propiedad relacionada:

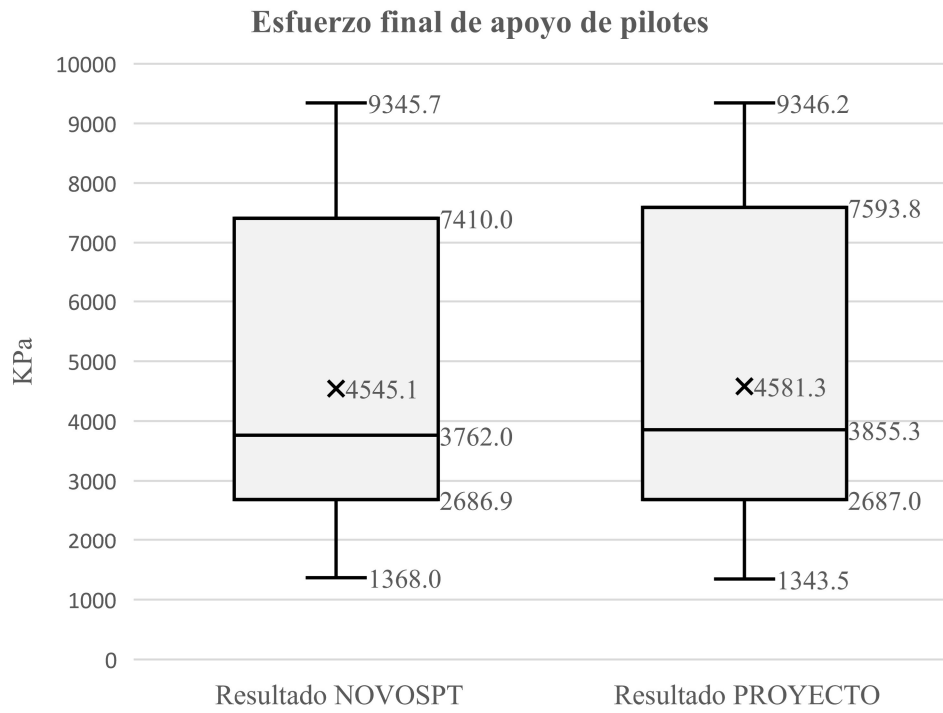


Figura 12. Comparación de resultados propiedad esfuerzo final de apoyo de pilotes

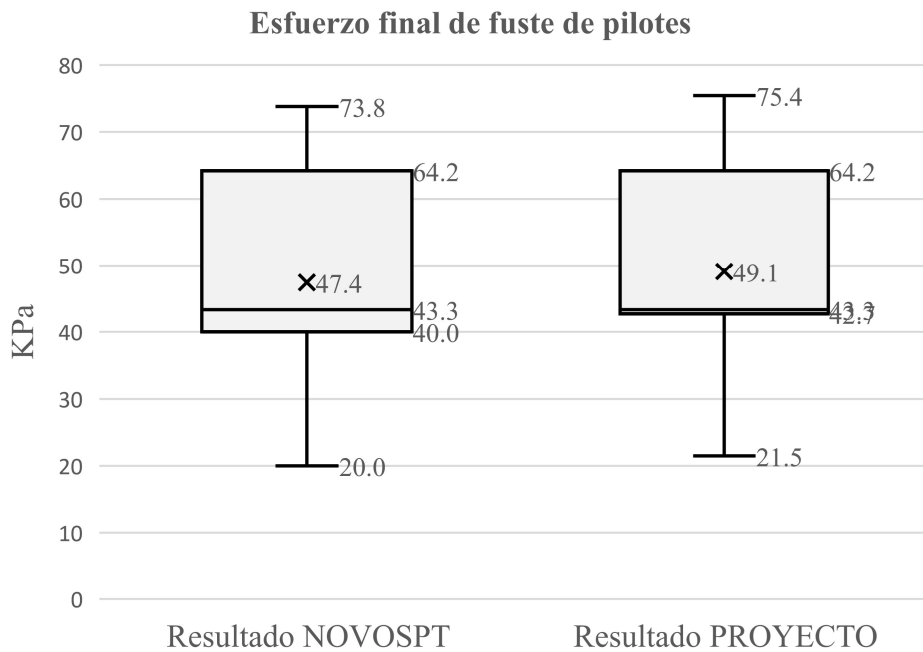


Figura 13. Comparación de resultados propiedad esfuerzo final de fuste de pilotes

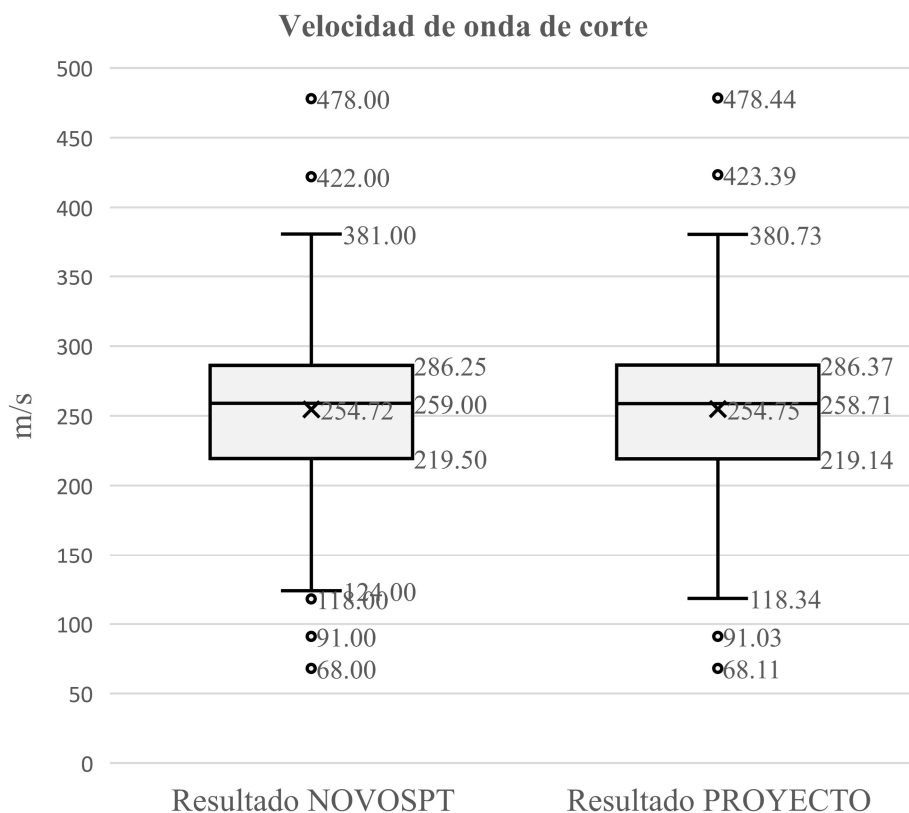


Figura 14. Comparación de resultados propiedad velocidad de onda de corte

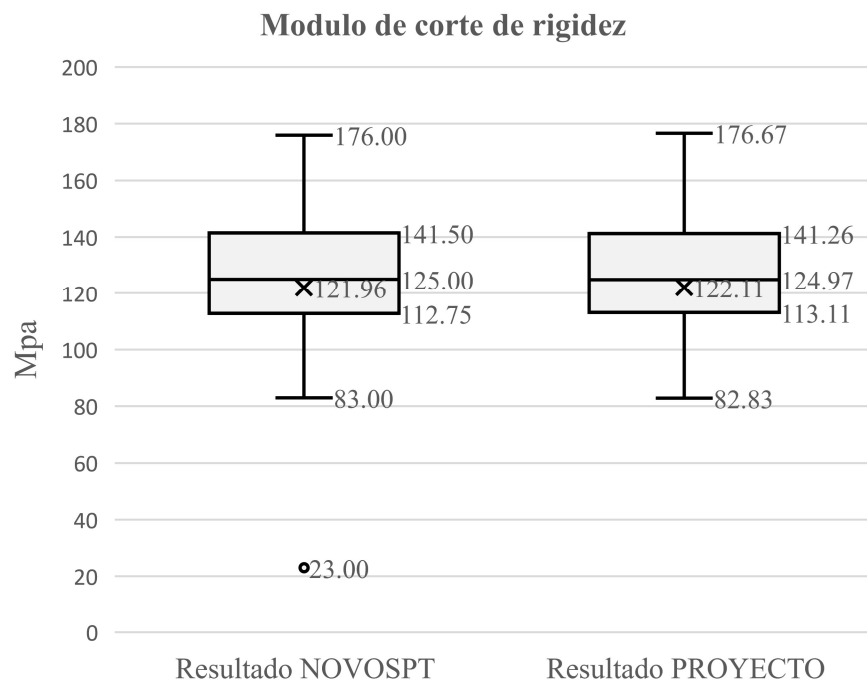


Figura 15. Comparación de resultados propiedad módulo de rigidez

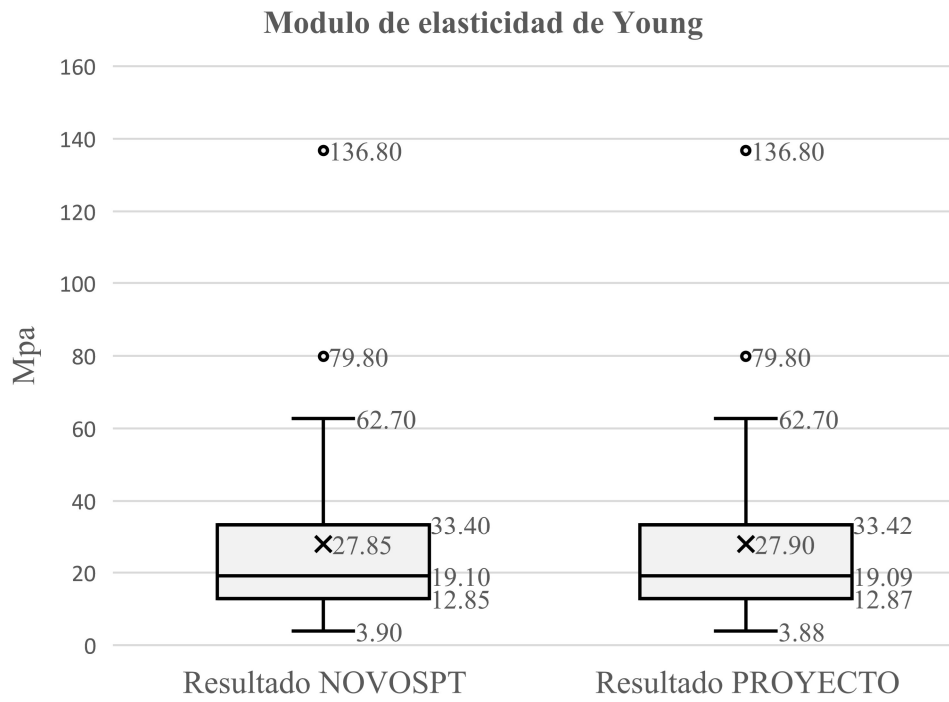


Figura 16. Comparación resultados propiedad módulo de elasticidad

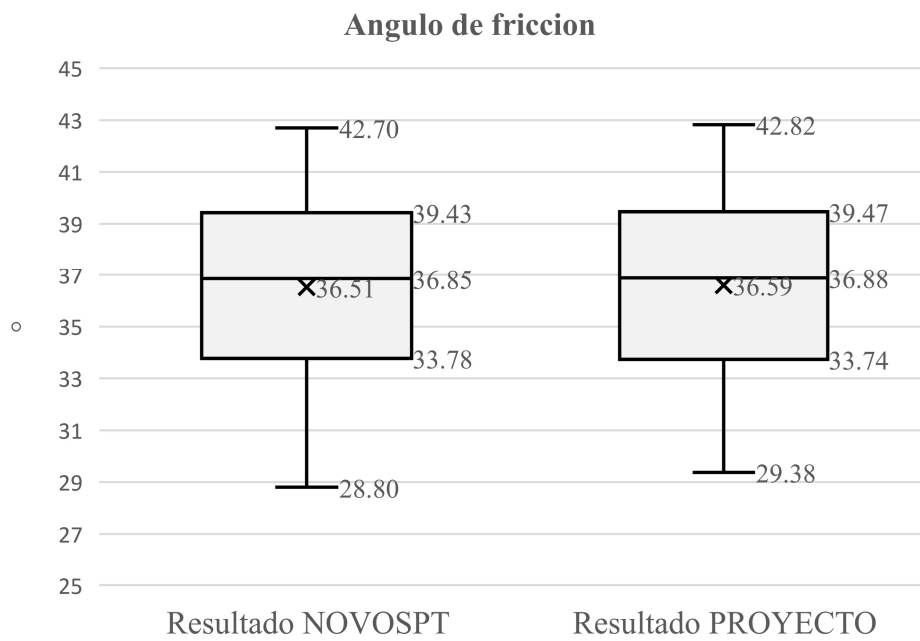


Figura 17. Comparación de resultados propiedad ángulo de fricción

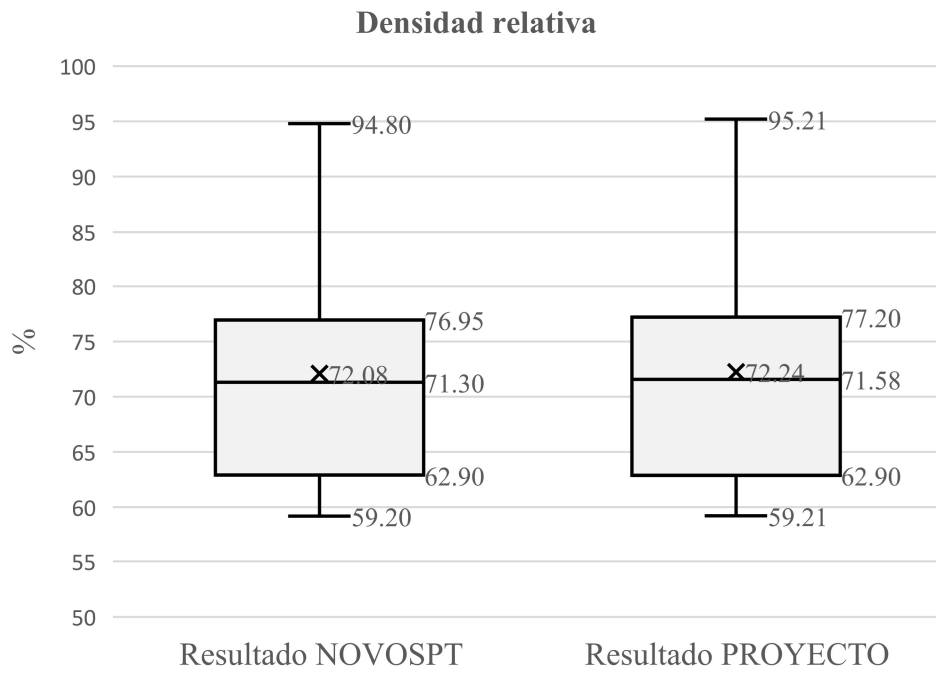


Figura 18. Comparación de resultados propiedad densidad relativa

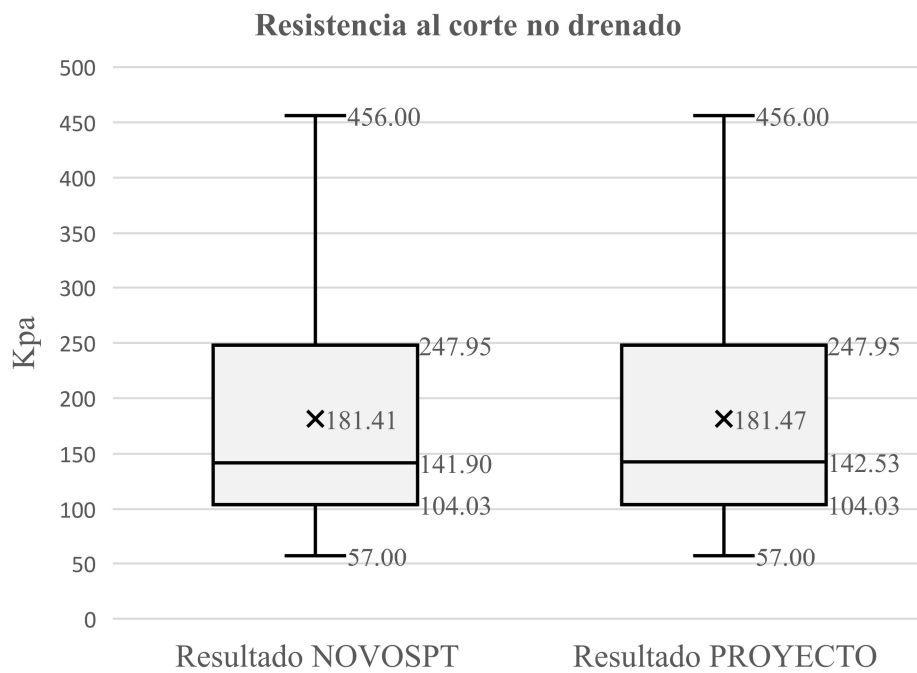


Figura 19. Comparación de resultados propiedad resistencia al corte no drenado

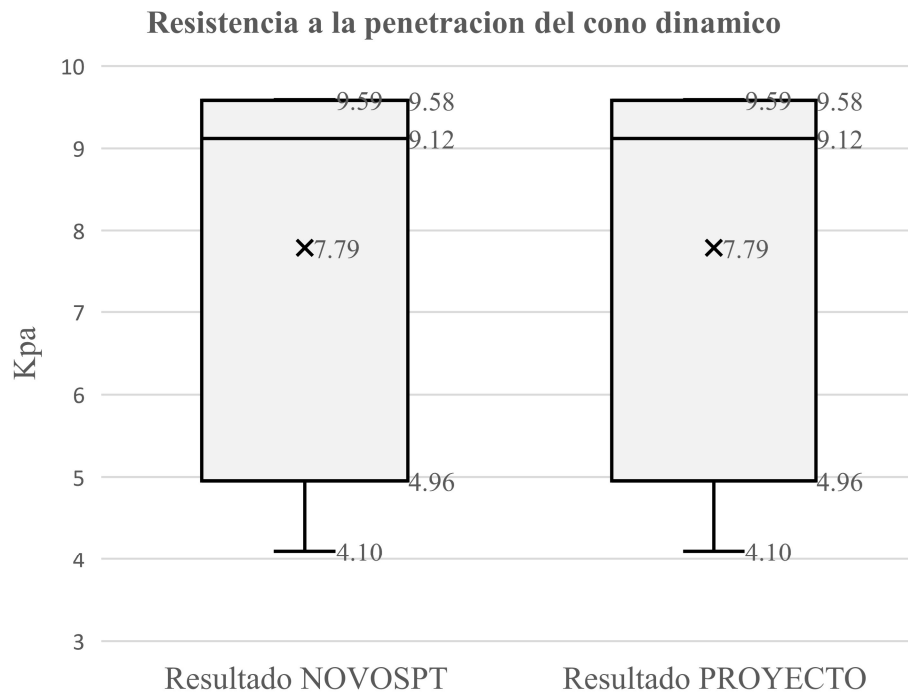


Figura 20. Comparación de resultados propiedad resistencia a la penetración del cono dinámico

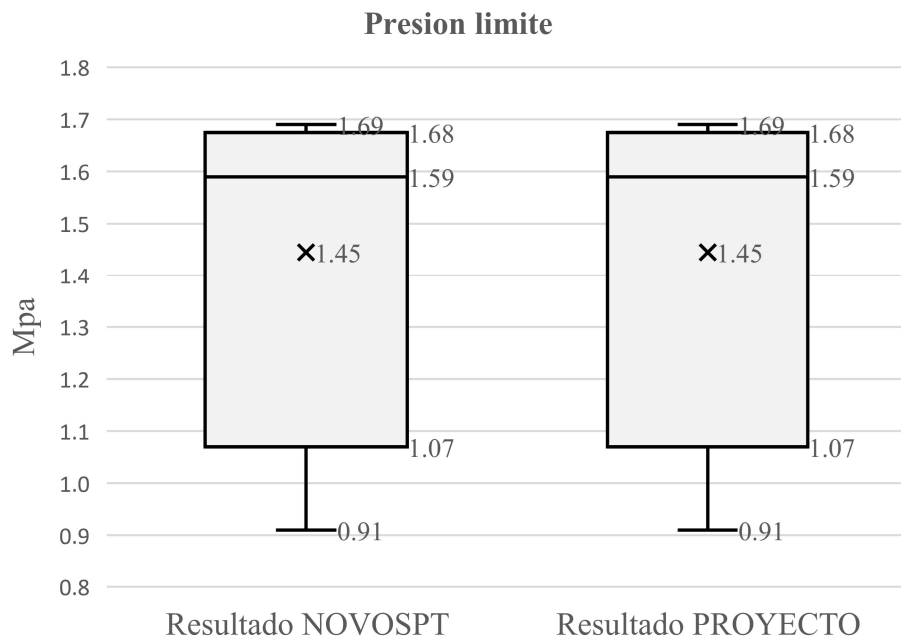


Figura 21. Comparación de resultados propiedad presión limite

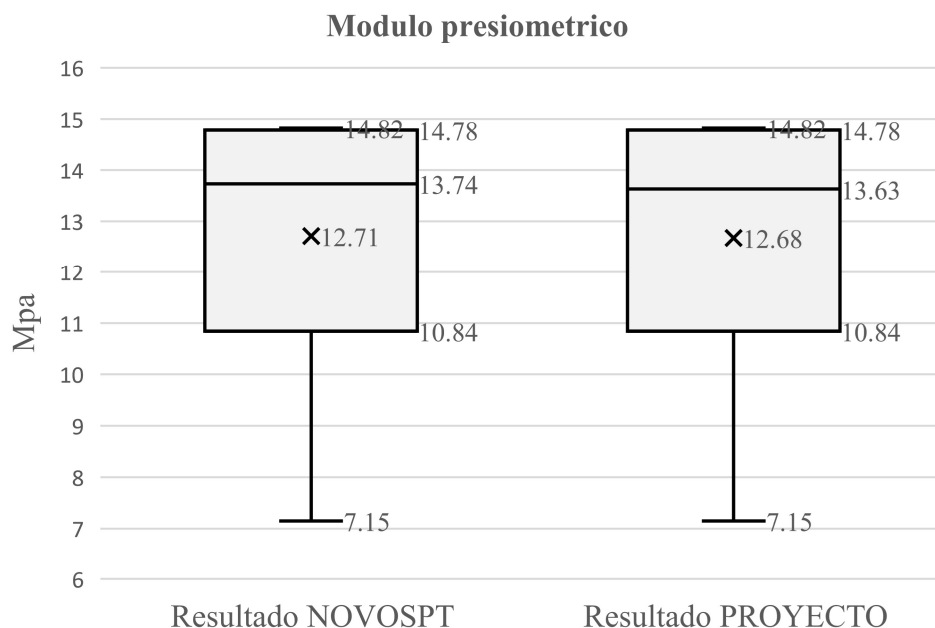


Figura 22. Comparación de resultados propiedad modulo presiometrico

4.2 *Análisis de resultados*

A fin de realizar la comparación y análisis de los resultados producidos por el software libre y el comercial, se parte de condiciones iniciales exactas en los valores de entrada. En primera medida, se analiza el valor $N1(60)$ verificando el funcionamiento del programa en cuanto a las correcciones y en segunda medida, se analiza cada una de las propiedades a una profundidad de 7.62 m, con el objetivo de verificar cada correlación.

La comparación del número de penetración estándar $N1(60)$ se realizó por diferentes métodos. Para los resultados del presente proyecto se utilizó un análisis de cajas y bigotes, por otro lado, para los resultados del programa comercial Novospt 3.0 se utilizó un análisis de desviación estándar. Aunque son dos métodos de análisis son independientes, ambos analizan y permiten identificar la dispersión y simetría de la muestra. Por tal motivo, al visualizar el gráfico generado en la Figura 9, se logra apreciar que las dos muestras poseen concordancias entre sí; los valores y el intervalo de las dispersiones de las muestras para las nueve profundidades presentan gran semejanza. Adicionalmente, las profundidades dos y tres presentan un menor rango de dispersión en los valores generados por el software del presente trabajo, siendo esto debido a una menor dispersión y mayor simetría de estos. En consecuencia, se valida y verifica el acorde funcionamiento de programa y los resultados que este genera.

Una vez analizados y comparados los resultados obtenidos para cada propiedad a una profundidad de 7.62 con la hoja de cálculo desarrollada a través del presente documento, se logró concluir que estos presentan concordancia con los resultados obtenidos a través del software SPT, dado que ambos implementan las metodologías planteadas por la literatura para cada uno de los autores mencionados en el presente documento, lo cual puede visualizarse de manera individual a través de los porcentajes de error presentados en la Tabla 20. De manera poblacional por medio de la comparación de los diagramas de cajas y bigotes, podemos observar gráficamente que los datos son semejantes y muy cercanos entre ellos, presentan un porcentaje de error bajo, poseen gran similitud en su rango de dispersión, valores máximos y mínimos admisibles y valores atípicos encontrados.

Al analizar detenidamente los resultados generados por la hoja de cálculo del presente trabajo, vimos tres tendencias agrupadas de la siguiente manera:

1. Dispersión alta en los valores mayores de la muestra y baja en los valores menores para las propiedades: esfuerzo final de apoyo de pilote, esfuerzo final de fuste de pilote, módulo de elasticidad y resistencia al corte no drenado.
2. Dispersión baja en los valores mayores de la muestra y alta en los valores menores para las propiedades: módulo presiométrico, presión límite y resistencia a la penetración del cono dinámico.
3. Dispersión uniforme para valores máximos y mínimos para las propiedades: densidad relativa, ángulo de fricción, módulo de rigidez y velocidad de onda.

Las propiedades comprendidas en el grupo tres, son las que más bases teóricas presentan, viendo una distribución consecuente en sus resultados, por tal motivo el rango de variación de los resultados y los valores máximos y mínimos admisibles presentan confiabilidad, debido a la tendencia y simetría en sus datos.

Las propiedades comprendidas en el grupo dos, presentan una baja variación en los valores mayores de la muestra, por consiguiente, las metodologías planteadas por los autores presentan similitud entre ellas. No obstante, en los valores menores se presenta el caso opuesto, por consiguiente, se aconseja medición al utilizar las correlaciones de dicho intervalo.

Las propiedades comprendidas en el grupo uno, presentan una baja variación en los valores menores de la muestra, por consiguiente, las metodologías planteadas por los autores presentan similitud entre ellas. No obstante, en los valores mayores se presenta el caso opuesto, por consiguiente, se aconseja medición al utilizar las correlaciones de dicho intervalo.

Así mismo, es conveniente aclarar que los porcentaje de error mencionados con anterioridad, corresponden a cada autor, por lo cual no deben ser relacionados por una propiedad en particular, ya que se apreciarían diferencias significativas a razón de las variaciones en las fórmulas planteadas por cada autor, dado que cada planteamiento obedece a factores propias de cada región donde fue desarrollada la correlación, como composición del suelo, origen, evolución geológica, clima, relieve, biota de la zona, entre otros aspectos relevantes.

5 Capítulo

5.1 Conclusiones y recomendaciones

5.1.1 Conclusiones

Para los fines del presente proyecto y a partir de los estudios realizados por diversos autores sobre el *ensayo de penetración estándar (SPT)*, se logró plantear, estructurar y documentar las diversas correlaciones incluidas en la hoja de cálculo desarrollada. Así mismo, fue posible organizar la información en cuanto a tipo de correlación, requerimientos e indicaciones de cada autor, para su posterior formulación, lo que dio como resultado una hoja de cálculo que cumple con las funciones y exigencias de un software convencional para la automatización de datos de campo, análisis de la información, salida de resultados corregidos del ensayo y cálculo de las correlaciones contenidas en la base de datos.

A fin de generar una base de datos robusta, con múltiples opciones de elección para el usuario, se recolectaron quinientos sesenta y cinco (572) correlaciones, de las cuales ciento cincuenta (145) permiten determinar propiedades en arcillas, doscientos catorce (196) en arenas, ochenta y tres (111) en gravas y ciento dieciocho (120) limos. Esto permite generar un mayor rango de comparación y diversificar los procedimientos de cálculo, acorde con las características del suelo en estudio y los requerimientos de la estructura a diseñar.

La hoja de cálculo desarrollada genera como resultado para cada correlación los valores mínimo admisible, máximo admisible y mediana, a fin de que sea el usuario quien elija cual de estos resulta de mayor conveniencia para su aplicación. Así mismo, y como soporte de la confiabilidad que puede ser esperada por parte de esta hoja de cálculo, en el presente documento incluye un análisis comparativo, representado por análisis comparativo de la dispersión en los valores del número de penetración estándar $N1(60)$, análisis comparativo de la muestra de datos para cada propiedad a una profundidad de 7.62 m y un porcentaje de error, entre los resultados entregados por la hoja de cálculo y el software de origen comercial NovoSPT 3.0. Así, el usuario puede orientarse sobre la confiabilidad que puede contener el uso de cada correlación y por ende la conveniencia de su uso.

Teniendo en cuenta que el programa contiene 572 correlaciones para el cálculo de las propiedades establecidas en el programa, se entrega el valor de la mediana por propiedad en la hoja de salida de datos. No obstante, se incluye una hoja llamada *TABLAS DINAMICAS*, en la cual el usuario puede escoger el autor de preferencia para el cálculo de cada propiedad requerida; teniendo como precedente las indicaciones dadas por el autor de cada correlación y el conocimiento previo de las características del suelo en evaluación.

El programa diseñado está conformado por cuatro hojas en Excel (ingreso de datos, formulación, tablas dinámicas y salida de datos), estas hojas permiten determinar propiedades mecánicas de un suelo a partir la aplicación de correlaciones establecidas para los resultados del *ensayo de penetración estándar (SPT)*, sin limitar la profundidad a las cuales se realicen los sondeos. Lo anterior, previa clasificación del suelo (arenas, arcillas, gravas y limos), y determinación de características tales como peso específico del suelo (acorde a su profundidad), e identificación de altura a la que se encuentra el nivel freático y los requerimientos de la estructura a diseñar. Adicional a lo anterior, el usuario puede incluir las correlaciones que desee, a fin de ajustar la hoja a las necesidades del suelo a evaluar, lo cual constituye una ventaja en términos prácticos y económicos.

5.1.2 Recomendaciones

De acuerdo con los trabajos realizados en campo, la información recolectada durante diferentes años y las investigaciones realizadas en laboratorio, varios autores coinciden en que los resultados del ensayo son más confiables para suelos granulares (arenas), pese a que existen correlaciones entre el N y las propiedades de suelos finos (limos y arcillas); por lo cual, los valores en este tipo de suelos deben ser utilizados con prudencia de acuerdo con el tipo de infraestructura a diseñar y los requerimientos de construcción (Atala Abad, 2011). Teniendo en cuenta que la aplicabilidad del ensayo SPT en relación con los parámetros del suelo, se localizan entre A (aplicabilidad alta), B (aplicabilidad Moderada), C (aplicabilidad Limitada) y N (aplicabilidad Nula).

Las propiedades del subsuelo que permite determinar la hoja de cálculo en cuestión corresponden a correlaciones estimadas por diversos autores; por tanto, es necesario verificar cada una de las condiciones empleadas para cada una de ellas (tipo de suelo, lugar, equipos utilizados, condiciones climáticas, entre otros aspectos importantes), a fin de evaluar cuál de estas resulta de mayor conveniencia según el caso de aplicación. Adicional a lo anterior, es necesario la ejecución de ensayos de laboratorio normatizados a las muestras alteradas extraídas mediante la ejecución del ensayo in situ, a fin de conocer con certeza las propiedades mecánicas del material.

Es conveniente que en el país se realicen estudios orientados a la generación de correlaciones locales, que permitan determinar con mayor precisión parámetros del subsuelo a través del *ensayo de penetración estándar SPT*. Teniendo en cuenta, que las diferencias entre las condiciones de cada región varían los resultados de un lugar a otro.

6 Bibliografía

- ABC Geotechnical Consulting. (23 de 01 de 2014). *Sondaje de penetración estandar (SPT) y cono de penetración dinamica (CPT)*. Obtenido de <https://geotecniaymecanicasuelosabc.com/sondaje-spt/>
- Acedmia Balderix. (09 de 09 de 2023). *Probabilidad y estadistica.net*. Obtenido de https://www.probabilidadyestadistica.net/diagrama-de-caja-y-bigotes-boxplot/#google_vignette
- Akin, M., Krammer, S., & Topal, T. (2011). Empirical correlations of shear wave velocity (V_s) and penetration resistance (SPT-N) for different soils in an earthquake-prone area (Erbaa-Turkey). *Valumen* 119, 1-17.
- Alfaro Castillo, A. F. (2007). Correlación entre el Valor N del Ensayo de Penetración Estándar y Velocidad de Ondas de Corte para Arcillas en Bogotá - Colombia. *Epsilon*, Artículo 3.
- Ameratunga, J., Sivakugan, N., & Das, B. (2016). *Correlations of Soil and Rock Properties in Geotechnical Engineering (Primera ed)*. Springer.
- Anbazhagan, P., & Sitharam, T. (2010). Relationship between Low Strain Shear Modulus and Standard Penetration Test 'N' Values. *Geotechnical Testing Journal*, 150-164.
- Anbazhagan, P., Parihar, A., & Rashmi, H. (2012). Review of correlations between SPT N and shear modulus: A new correlation applicable to any region. *Departamento de Ingeniería Civil, Instituto Indio de Ciencias, Bangalore 560012, India*, 52-69.
- ASTM international. (1985). *Classification of Soils for Engineering Purposes: Annual Book of ASTM Standards, D 2487-83, 04.08*. American Society for Testing and Materials.

- ASTM international. (1992). *Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split Barrel Sampling of Soils, D1586 - 11*. American society for Testing and Materials.
- Atala Abad, C. A. (2011). *Estudio experimental sobre correlaciones en suelos granulares finos (arenas) compactados, usando equipos de penetración*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Balachandran, K., Liu, J., Cao, L., & Peaker, S. (2015). Statistical correlations between pressuremeter modulus and SPT- N value for glacial tills. *GeoQuebec*.
- Behpoor, L., & Ghahramani, A. (1989). Correlation of SPT to strength and modulus of elasticity of cohesive soils. *12th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering (Rio De Janeiro)*.
- Bowles, J. (1997). *Foundation Analysis and Desing*. Illinois: McGraw Hill.
- Bozbey, I., & Togrol, E. (2010). Correlation of standard penetration test and pressuremeter data: a case study from Istanbul, Turkey. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 505-515.
- Brandenberg, S., Ballana, N., & Shantz, T. (2010). Shear Wave Velocity as a Statistical Function of Standard Penetration Test Resistance and Vertical Effective Stress at Caltrans Bridge Sites. *Pacific Earthquake Engineering Research Center* , 8-72.
- Calderon Pacheco, B. O., & Arroyo Arrieta, A. J. (2021). *Estado del arte sobre las correlaciones entre los valores del ensayo de penetracion estandar (SPT) y los parametros del suelo*. Ocaña, Colombia: Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.
- Calvo Barriga, M. I. (2013). *Determinación del indice de compresibilidad e indice de expansión de los suelos cohesivos blandos en la zona de Tonsupa en la Provincia de Esmeraldas*. Quito.
- Carmona Alvarez, J. E. (2014). *Estudio de resultados de ensayo de penetración estandar (SPT) para el factor de corrección (CN) y el angulo de fricción del suelo usando diferentes tipos de correlaciones*. Bogotá D.C.: Trabajo de Grado Universidad Catolica de Colombia.
- Chai, J., Shen, S., Long, P., & Chung, S. (2012). Geosynthetics for Soft Ground Improvement. *5th Asian Regional Conference on Geosynthetics*.
- Chen, M.-H., Wen, K.-L., Loh, C.-H., & Nigbor, R. (2012). Experience of Suspension P-S Logging Method and Empirical Formula of Shear Wave Velocities in Taiwan. *U.S. - Taiwan Workshop on Soil Liquefaction*.

- Chiang, Y., & Ho, Y. (1980). Pressuremeter Method for Foundation Desing in Hong Kong. *Sixth Southeast Asian Conference on Soil Engineering*, 31-42.
- Condori Huerta, P. Y. (2022). *Características de la capacidad portante utilizando el ensayo de SPT para determinar la cimentación en terrenos arenosos de la Asociación Casa Huerta El Bosque*. Moquegua, Peru: Universidad José Carlos Mariátegui.
- D'Appolonia, E., & Brissette, R. (1970). Closure: Settlement of Spread Footings on Sand. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*.
- Das, B. (2013). *Fundamentos de ingeniería geotécnica (Cuarta Ed.)*. Ciudad de Mexico: Cengage Learning.
- Day, R. (2009). *Foundation Engineering Handbook*. McGraw Hill.
- Dikmen, U. (2009). Statistical correlations of shear wave velocity and penetration resistance for soils. *Journal of Geophysics and Engineering*, 61-72.
- Fernandez Galvez, R. A. (2015). *Capacidad Portante con Fines de Cimentación Mediante los Ensayos SPT Y Corte Directo en el Distrito de Aguas Verdes - Tumbes*. Cajamarca, Peru: Universidad Nacional De Cajamarca.
- Fleming, K., Weltman, A., Randolph, M., & Elson, K. (2009). *Piling Engineering*. Londres: CRC Press.
- Geotecnia Facil. (02 de 09 de 2022). *Ensayo de Penetración Estandar SPT (Standard Penetration Test)*. Obtenido de <https://geotecniafacil.com/ensayo-de-penetracion-estandar-spt/>
- Hettiarachchi, H., & Brown, T. (2009). Use of SPT Blow Counts to Estimate Shear Strength Properties of Soils: Energy Balance Approach. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 1-8.
- Inazaki, T. (2006). Relationship Between S-Wave Velocities and Geotechnical Properties of Alluvial Sediments. *Works Research Institute, Tsukuba, JAPAN*.
- Invias E-111-13. (2013). *Ensayo normal de penetracion (SPT) y muestreo de suelos con tubo partido*. Invias.
- Ismail, M. (2008). Mathematical Correlations Between The Effective Diameter Of Soil And Other Properties . *Eng.& Technology*, 1274-1281.
- Jafari, M., Shafiee, A., & Razmkhah, A. (2002). Dynamic Properties of Fine Grained Soils in South of Tehran. *Spring*, Vol 4. 1-35.

- Kok-Kwang, P., & Kulhawy, F. (1999). Evaluation of geotechnical property variability. *Can. Geotech. J.*, 625-639.
- Kramer, S. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. New Jersey: Prentice Hall.
- Liu, C., & Evett, J. (2007). *Soils and Foundations (7th ed.)*. Prentice Hall.
- Lunne, T., Robertson, P., & Powell, J. (1997). *Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice*. Springer Nature.
- Lyisan, R. (1996). Correlations Between Shear Wave Velocity and In-situ Penetration Test Results. 371-374.
- Madrid, A., Valenzuela Ruiz, S., Batanero, C., & Garzon guerrero, J. (01 de 10 de 2022). Interpretación el diagrama de caja por estudiantes universitarios de ciencias de la física y el deporte. Obtenido de http://www.revista-educacion-matematica.org.mx/descargas/vol34/3/10_REM_34-3.pdf
- Maheswari Raju, U., & Boominathan, A. (2010). Development of Empirical Correlation Between Shear Wave Velocity and Standard Penetration Resistance in Soils of Chennai City. *14 th World Conference on Earthquake Engineering*.
- Meranda, J. (2005). *Analysis of Spread Footing Foundations as a Highway Bridge Alternative*. Russ College of Engineering and Technology of Ohio University.
- Moayed, R., & Naeini, S. A. (2006). Evaluation of modulus of subgrade reaction (Ks) in gravely soils basedon SPT results. *The Geological Society of London*.
- Nassaji, F., & Kalantari, B. (2011). SPT Capability to estimate undrained shear strength of fine grained soils of Theran, Iran. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 1229-1238.
- NovoTech. (20 de 06 de 2023). *NovoSpt*. Obtenido de https://novotechsoftware-com.translate.google/geotechnical-software/spt-correlations-software/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=sc
- Ordoñez Carmona, O., & Giraldo Ramirez, W. (2013). Problema geotecnico del km 6 de la autopista medellin - bogota: antecedentes, causas y soluciones alternativas. *Boletin ciencias de la tierra, Facultad de minas, Universidad nacional de Colombia*, 8.
- Ordoñez Moscoso, J. S., & Salinas Lotero, C. I. (2019). *Correlación entre el Ensayo de Penetración Estándar (SPT) y la resistencia a la compresión simple, en los suelos de comportamiento "cohesivos" en la zona de Racar, en la ciudad de Cuenca*. Ecuador: Universidad del Azuay facultad de ciencia y tecnologia escuela de ingenieria civil y gerencia de construcciones.

- Osorio, R. I., & Sierra, G. M. (2008). Construcciones en zonas geologicamente inestables: Colapso de una vivienda en la Vía Medellín - Santa Elena. *Revista Universidad EAFIT*, 22.
- Peck, R., Hanson, W., & Thornburn, T. (1974). *Foundation Engineering (segunda edicion)*. New York: Wiley.
- Piqueras, V. Y. (6 de 20 de 2008). *Concepto y clasificación de las cimentaciones*. Obtenido de <https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/01/09/concepto-y-clasificacion-de-las-cimentaciones/>
- Puentes Morales, J. S. (2019). *Correlacion entre los resultados obtenidos del ensayo de CBR de campo y el ensayo de resistencia a la penetracion estandar SPT en condiciones normales, en suelos cohesivos localidad de suba ciudad de Bogota D.C.* Bogota, Colombia: Universidad Distrital Francisco Jose De Caldas.
- Sabatini, P., Bachus, R., Mayne, P., Schneider, J., & Zettler, T. (2002). Geotechnical Engineering Circular No 5 Evaluation of Soil and Rock Properties. *Federal Highway Administration*.
- Sanchez Aldana, J. (2019). *Correlacion entre el ensayo de penetracion estandar SPT y el ensayo de cono dinamico DCP en la via que desde Simijaca - Cundinamarca conduce a Buenavista - Boyacá*. Universidad Catolica de Colombia.
- Schnaid, F. (2009). *In Situ Testing in Geomechanics*. Londres: CRC Press.
- See Sew, G., & Yean Chin, I. (2000). Subsurface Investigation and Interpretation of Test Results for Foundation Desing in Soft Clay. *Seminar on Ground Improvement - Soft Clay*.
- Sitharam, T., & Anbazhagan, P. (2008). Mapping of Average Shear Wave Velocity for Bangalore Region: A Case Study. *Department of Civil Engineering, Indian Institute of Science*, 69-84.
- Sitharam, T., Anbazhagan, P., & Divya, C. (2007). Site response analyses based on site specific soil properties using geotechnical and geophysical tests: correlations between Gmax and N60. *4th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering*, 1286.
- Sivakugan, N., & Das, B. (2007). Settlements of shallow foundations on granular soil - An overview. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 19-29.
- Som, N., & Das, S. (2015). *Theory and Practice of Foundation Desing*. Delhi: PHI Learning Private Limited.
- Srbulov, M. (2014). *Practical Guide to Geo-Engineering* . Springer Dordrecht.

- Terzaghi, K., & Peck, R. B. (1973). *Mecánica de suelos en la ingeniería practica (segunda edición)*. Barcelona, España: El Ateneo S.A.
- Triggs, J., & Simpson, P. (s.f.). A Portable Dynamic Penetrometer for Geotechnical Investigations .
- U.S. Army Corps of Engineers. (1992). Engineering and Design BEARING CAPACITY OF SOILS Distribution Restriction Statement. *Engineer Manual 1110-1-1905*.
- Viviescas, J. C. (2016). *Evaluación de la variabilidad de las propiedades de resistencia alesfuerzo cortante para Flujos de Lodos y Residuales (saprolito) delValle de Aburrá a partir de ensayos de penetración estándar (SPT)*. Medellin, Colombia: Universidad de Antioquia.
- Wair, B., & DeJong, J. (2012). *Guidelines for Estimation of Shear Wave Velocity Profiles*. California: Pacific Earthquake Engineering Research Center Headquarters at the University of California.
- Yepes Piqueras, V. (23 de 06 de 2008). *Control de la mejora de un suelo con ensayos de penetración dinamica*. Obtenido de <https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/spt/>
- Yves, R. (2011). A few comments on pile design. *Revista geotécnica canadiense*, 560-567.
- Zekkos, D., Bray, J., & Kiureghian, A. (2004). Reliability of shallow foundation design using the standard penetration test. *Geotechnical and Geophysical Site Characterization, Viana da Fonseca & Mayne (eds.) 2004*, 1575-1582.