

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA, MANAGUA
UNAN-RURD
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCION
INGENIERIA CIVIL**



MONOGRAFIA PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL

Tema:

Diseño del software C.CAPS bajo la plataforma .Net para clasificar suelos y determinar capacidad de carga

Autores:

Br. Kerlyn Lilibel Orozco Lanzas

Br. Wilmor Antonio Arce Monjarreth

Tutor:

Msc. Ing. Horacio Alejandro Ulloa López

Asesor:

Msc. Ing. Sergio Ramírez Lanzas

Managua, Nicaragua

Noviembre 2016

Dedicatoria

Por Kerlyn Lilibel Orozco Lanzas

A Dios, por su inmenso amor y misericordia, por haberme dado sabiduría e inteligencia.

A mi madre Paula Macaria Lanzas Ruiz, por su amor, su enseñanza, su ejemplo y por su lucha incansable que me llevó al éxito en cada una de las etapas de mi vida.

A mis hermanos Marlevis, Keyner y Mildred, por su cariño y acompañarme en los momentos tristes y felices.

A mi Tía Sofía Esperanza Lanzas Ruiz, por su apoyo incondicional, su amor y sus consejos.

A mi abuelita querida Rita Lanzas Aguinaga, por ser mi segunda madre y estar al pendiente de mi vida, por escucharme y aconsejarme.

A mi papá Candido Orozco Ruiz por el cariño que siempre me ha dado y por ser un consejero muy importante en mi vida de universidad.

A mi novio Denis Noel Sandoval Rostran, por su amor, apoyo y comprensión, por ser parte de mi vida y estar a mi lado en momentos de alegría y tristeza.

Dedicatoria

Por Wilmor Antonio Arce Monjarreth

Dedico este trabajo en primer lugar a Dios por darme la vida, la salud y por ser la luz que guía mi camino. A mis padres Abraham Arce Rodríguez y Sandra Ortiz Monjarreth por ser los educadores en mi vida y por el apoyo incondicional que me brindaron para terminar mis estudios.

A mis abuelos Justa Pastora Ortiz y Víctor Monjarreth por ser grandes motivadores para culminar esta etapa.

A mis hermanos y familiares que me brindaron palabras de aliento en los momentos difíciles de mi carrera y así motivarme para seguir luchando.

A mi tío Ezequiel Arce Rodríguez por ser un apoyo incondicional durante mis estudios y ser un ejemplo de superación y de cambio.

A la organización TALICA por el apoyo incondicional que me brindaron y en especial a la Directora Sue Ellen Wortzel por haber trabajado muy fuerte y brindarme su apoyo y confianza.

Agradecimientos

Por Kerlyn Orozco y Wilmor Arce

Agradecemos en primer lugar a Dios por habernos regalado la vida y permitirnos llegar a este momento importante de nuestros estudios.

Al Instituto de geología y geofísica (IGG-CIGEO) por el apoyo que nos brindó en el desarrollo de nuestro trabajo monográfico, por permitirnos usar las instalaciones del laboratorio de suelos y por los datos que nos facilitó para validar la aplicación de nuestra monografía. Además, agradecemos de manera muy especial el apoyo del personal de trabajo de dicha institución.

Al Msc. Horacio Alejandro Ulloa López por ser un importante facilitador de conocimientos y por el tiempo que nos brindó para tutoriar nuestro trabajo; agradecemos sus explicaciones recomendaciones y sobre todo los buenos deseos para que nuestro trabajo se realizara con objetividad.

Al Msc. Sergio Ramírez Lanzas por el tiempo que dedicó a la revisión y asesoramiento de nuestro trabajo por su buen modo de revisar y sus excelentes recomendaciones, por su amable trato para con nosotros y por ser una persona que transmite humildad y buenos valores.

Al bachiller Maurel Eliazar Reyes Escobar egresado de la carrera de Ingeniería en Sistemas, por todos los asesoramientos de programación, por habernos escrito el código del programa en lenguaje de programación, por sacar tiempo de sus tareas diarias y ayudarnos, por las ideas y recomendaciones facilitadas para obtener un algoritmo más eficiente.

Al Departamento de becas de la UNAN-Managua, porque nos dio la oportunidad de ser parte de los becados internos de esta universidad. A los responsables académicos Lic. Gerardo Mendoza Jiménez y Lic. Vicente Pérez Torres por sus consejos y el apoyo que nos brindaron en nuestra vida universitaria.

A todos nuestros compañeros de clases de la generación 2011-2015, que fueron una parte muy importante en el transcurso de nuestra carrera, gracias a todos. También agradecemos a todas las personas que de una u otra manera fueron participe en la culminación de este trabajo y que hicieron posible que hayamos llegado hasta este escalón de nuestras vidas.

Contenido	
Dedicatoria	i
Agradecimientos	iii
Lista de figuras	viii
Lista de tablas	ix
Resumen	x
1. Introducción	1
1.1 Antecedentes	2
1.2 Planteamiento del problema	3
1.3 Justificación	4
1.4 Limitaciones	5
2. Objetivos	6
2.1 Objetivo general	6
2.2 Objetivos específicos	6
3. Revisión de literatura	7
3.1 Suelos	7
3.2 Granulometría de los suelos	7
3.2.1 Análisis granulométrico por mallas	7
3.2.2 Análisis granulométrico con el hidrómetro	8
3.2.2.1 Gravedad específica	13
3.3 Límites de consistencia de los suelos	16
3.3.1 Límite líquido	16
3.3.2 Límite plástico	17
3.3.3 Índice de plasticidad	17
3.4 Sistemas de clasificación de suelos	17
3.4.1 Método AASTHO	18
3.4.2 Método SUCS	21
3.5 Prueba de penetración estándar (SPT)	24
3.5.1 Material y equipo	24
3.5.2 Procedimiento	24
3.5.3 Correcciones del número de golpes	25
3.5.3.1 Corrección por confinamiento (Cn)	25
3.5.3.2 Corrección por energía (η_1)	26
3.5.3.3 Corrección por longitud de barras (η_2)	27
3.5.3.4 Corrección por tomamuestras η_3	27

3.5.3.5	Corrección del diámetro de perforación (η_4)	28
3.5.4	Aplicaciones	28
3.5.4.1	Angulo de fricción	29
3.5.4.2	Cohesión del suelo	29
3.6	Capacidad de carga por Terzaghi.....	30
3.6.1	Tipos de falla.....	30
3.6.1.1	Falla por corte general.....	30
3.6.1.2	Falla por punzonamiento.....	30
3.6.1.3	Falla por corte local.....	31
3.6.2	Teoría de Terzaghi.....	31
3.7	Proceso de creación de un software.....	33
3.7.1	Software.....	33
3.7.2	Creación de un software.....	33
3.7.3	Lenguaje de programación.....	34
3.7.4	Algoritmos.....	34
3.7.5	Visual estudio.....	34
4.	Hipótesis.....	35
5.	Diseño metodológico.....	36
5.1	Tipo de estudio.....	36
5.2	Área de estudio.....	36
5.3	Universo y muestra.....	36
5.4	Fuentes y técnicas de recopilación de datos.....	36
5.4.1	Fuentes de información Primaria.....	36
5.4.2	Fuentes de información secundaria.....	36
5.5	Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	37
5.6	Técnicas para el procesamiento de datos.....	37
5.7	Técnicas de análisis de datos.....	38
6.	Desarrollo.....	39
6.1	Variables de clasificación de suelo y capacidad de carga.....	39
6.1.1	Variables.....	39
6.1.2	Tipos de variables.....	39
6.1.3	Variables de clasificación de suelo.....	39
6.1.3.1	Variables de granulometría.....	39
6.1.3.2	Variables de hidrometría.....	40
6.1.4	Variables de capacidad de carga.....	41

6.1.4.1	Variables de la prueba SPT	41
6.1.4.2	Variables de la Teoría de Terzaghi	41
6.2	Interfaz del software	43
6.2.1	Pestaña para el ingreso de datos de clasificación de suelos	43
6.2.2	Pestañas de resultados de clasificación de suelos.....	44
6.2.3	Pestaña de curva granulométrica	45
6.2.4	Pestaña de carta de plasticidad.....	46
6.2.5	Pestaña de clasificación SUCS.....	46
6.2.6	Pestaña de clasificación AASTHO	47
6.2.7	Capacidad de carga con Terzaghi.....	47
6.2.8	Capacidad de carga con SPT.....	48
6.3	Programación para clasificar suelos.....	49
6.3.1	Distribución de tamaños	49
6.3.2	Granulometría	49
6.3.2.1	Datos de entrada.....	49
6.3.2.2	Peso total de la muestra	49
6.3.2.3	Peso retenido en porcentaje.....	50
6.3.2.4	Peso retenido acumulado en porcentaje.....	50
6.3.2.5	Porcentaje que pasa	51
6.3.3	Hidrometría	51
6.3.3.1	Datos de entrada.....	51
6.3.3.2	Corrección por menisco (cm)	52
6.3.3.3	Profundidad efectiva (L).....	52
6.3.3.4	Corrección por temperatura (ct).....	53
6.3.3.5	Valor K.....	53
6.3.3.6	Lectura del hidrómetro corregida (R)	54
6.3.3.7	Corrección por defloculante (cd)	54
6.3.3.8	Diámetro de las partículas (D)	54
6.3.3.9	Porcentajes de finos (Ni)	55
6.3.3.10	Porcentaje que pasa (% <i>QP</i>).....	55
6.3.3.11	Porcentaje retenido (% <i>R</i>).....	55
6.3.4	Curva granulométrica.....	56
6.3.5	Carta de plasticidad	57
6.3.6	Clasificación AASTHO	58
6.3.7	Clasificación SUCS.....	61

6.4	Determinación de la capacidad de carga	70
6.4.1	Prueba de penetración estándar	70
6.4.1.1	Número de sondeos	71
6.4.1.2	Profundidad del sondeo	71
6.4.1.3	Elevación del sondeo	71
6.4.1.4	Correcciones	71
6.4.1.5	Valor de N golpes	71
6.4.1.6	Peso específico de cada estrato	71
6.4.1.7	Rango de profundidades de los sondeos	71
6.4.1.8	Valor de N de campo	72
6.4.1.9	Rango de elevaciones de sondeos	72
6.4.1.10	Valor de N corregido	72
6.4.1.11	Capacidad de carga	72
6.4.2	Teoría de Terzaghi	73
6.4.2.1	Número de estratos y sus propiedades	73
6.4.2.2	Nivel de desplante	73
6.4.2.3	Espesor de estrato	73
6.4.2.4	Ancho de zapata	73
6.4.2.5	Factor de seguridad	73
6.4.2.6	Tipo de zapata	73
6.5	Validación del software	83
6.5.1	Validación de clasificación de suelos	83
6.5.2	Validación de capacidad de carga por Terzaghi	86
6.5.3	Validación de capacidad de carga por SPT	88
7.	Análisis y discusión de resultados	94
8.	Conclusiones y Recomendaciones	95
8.1	Conclusiones	95
8.2	Recomendaciones	96
9.	Bibliografía	97
10.	Anexos	99
10.1	Anexo A. Conjunto de coordenadas para definir las áreas de la carta de plasticidad 99	
10.2	Anexo B. Fotografías referentes a la investigación	102
10.3	Anexo C. Manual C.CAPS	103

Lista de figuras

<i>Figura 3.1 Curva Granulométrica</i>	8
<i>Figura 3.2 Copa de Casa grande (Laboratorio IGG-CIGEO)</i>	17
<i>Figura 3.3 Carta de plasticidad (ASTM D 2487 – 00, 2001)</i>	22
<i>Figura 3.4 Falla por corte general (Crespo, 2007)</i>	30
<i>Figura 3.5 Falla por punzonamiento (Crespo, 2007)</i>	30
<i>Figura 3.6 Falla por corte local (Crespo, 2007)</i>	31
<i>Figura 3.7. Falla por capacidad de carga en suelo bajo una cimentación rígida corrida (Das, 2001)</i>	31
<i>Figura 3.8 Interfaz de Visual Studio</i>	34
<i>Figura 6.1 Interfaz de inicio del software</i>	43
<i>Figura 6.2 Pestaña para el ingreso</i>	44
<i>Figura 6.3 Pestaña para el ingreso</i>	44
<i>Figura 6.4 Pestaña de distribución de tamaños</i>	45
<i>Figura 6.5 Pestaña de la curva granulométrica</i>	45
<i>Figura 6.6 Pestaña de carta de plasticidad</i>	46
<i>Figura 6.7 Pestaña de clasificación SUCS</i>	46
<i>Figura 6.8 Pestaña de clasificación AASTHO</i>	47
<i>Figura 6.9 Pestaña de ingreso de datos y resultados para capacidad de carga por Terzaghi</i>	48
<i>Figura 6.10 Pestaña de ingreso de datos y resultados para capacidad de carga por SPT</i>	48
<i>Figura 6.11 Carta de plasticidad de los suelos (Das, 2001)</i>	58
<i>Figura 6.12 Componentes de la ecuación de la carga ultima de Terzaghi (Das, 2001)</i>	74
<i>Figura 6.13 Datos de clasificación de suelos ingresados en el software</i>	85
<i>Figura 6.14 Resultados de clasificación de suelos</i>	86
<i>Figura 6.15 Datos de entrada y resultados de capacidad de carga por Terzaghi</i>	88
<i>Figura 6.16 Datos del Sondeo 1 introducidos en C.CAPS</i>	91
<i>Figura 6.17 Datos del Sondeo 2 introducidos en C.CAPS</i>	91
<i>Figura 6.18 Resultados del Sondeo 1 en C.CAPS</i>	92
<i>Figura 6.19 Resultados del Sondeo 2 en C.CAPS</i>	92

Lista de tablas

<i>Tabla 3.1 Profundidad efectiva (ASTM D 422-63, 2001)</i>	9
<i>Tabla 3.2 Valores de corrección por temperatura (ASTM D 422-63, 2001)</i>	11
<i>Tabla 3.3 Rangos de los diámetros de las partículas de los suelos (Das, 2011)</i>	18
<i>Tabla 3.4 Clasificación de suelos según AASTHO (Das, 2001)</i>	21
<i>Tabla 3.5 Símbolos y definiciones para el sistema SUCS de clasificación (Das, 2001)</i>	22
<i>Tabla 3.6 Procedimiento para clasificar suelo por Método SUCS (Das, 2011)</i>	23
<i>Tabla 3.7: Relación de energía estándar (Delgado, 1999)</i>	26
<i>Tabla 3.8: Valores de η_l según el tipo de martillo y procedimiento del SPT (López, 2003)</i>	27
<i>Tabla 3.9: Factores de corrección por longitud de barra (Bowles, 1997)</i>	27
<i>Tabla 3.10: Factor de corrección por tomamuestra (Bowles, 1997)</i>	28
<i>Tabla 3.11: Factor de corrección por diámetro de la perforación (Bowles, 1997)</i>	28
<i>Tabla 3.12 Correlaciones para obtener el ángulo de fricción interno a partir de N golpes corregidos (Soriano, 2014)</i>	29
<i>Tabla 6.1 Ecuaciones de los pesos retenidos en porcentajes</i>	50
<i>Tabla 6.2 Ecuaciones de los pesos retenidos acumulados en porcentajes</i>	51
<i>Tabla 6.3 Ecuaciones de los porcentajes que pasan por cada malla</i>	51
<i>Tabla 6.4 Profundidad efectiva (ASTM D 422-63, 2001)</i>	52
<i>Tabla 6.5 Corrección por temperatura (ASTM D 422-63, 2001)</i>	53
<i>Tabla 6.6 Datos para calcular diámetro de la arcilla por interpolación</i>	55
<i>Tabla 6.7 Coordenadas para graficar carta de plasticidad</i>	58
<i>Tabla 6.8 Factores de forma por tipo de cimentación (Das, 2001)</i>	74
<i>Tabla 6.9 Datos para la validación de clasificación de suelos (IGG-CIGEO)</i>	84
<i>Tabla 6.10 Resultados de clasificación de suelo (IGG-CIGEO)</i>	84
<i>Tabla 6.11 Datos de los estratos de sitio en donde se construirá el Hospital UCATSE (IGG-CIGEO)</i>	86
<i>Tabla 6.12 Comparación de resultados de capacidad de carga por Terzaghi</i>	88
<i>Tabla 6.13 Datos del Sondeo 1 de la prueba SPT (IGG-CIGEO)</i>	89
<i>Tabla 6.14 Resultados del Sondeo 1 (IGG-CIGEO)</i>	89
<i>Tabla 6.15 Datos del Sondeo 2 de la prueba SPT (IGG-CIGEO)</i>	90
<i>Tabla 6.16 Resultados del Sondeo 2 (IGG-CIGEO)</i>	90
<i>Tabla 6.17 Comparación de resultados del sondeo 1</i>	93
<i>Tabla 6.18 Comparación de resultados del sondeo 2</i>	93

Resumen

C.CAPS es un Software que integra la clasificación de suelos y determinación de la capacidad de carga mediante métodos existentes; el algoritmo diseñado fue escrito en lenguaje de programación C# en la plataforma Windows form del programa visual estudio. La metodología para el desarrollo del software fue la siguiente: identificación de variables estáticas y dinámicas de cada método, diseño de interfaz para el ingreso de datos y presentación resultados, diseño del algoritmo en lenguaje natural y escritura del código en lenguaje programación.

El presente trabajo consiste en aplicar la metodología de la normativa SUCS y AASTHO para clasificar suelos, su enfoque es presentar la tipología y la plasticidad que estos presentan. Para llegar a ello se identificaron las variables de entrada, las condiciones de cada método y los diferentes resultados que se pueden obtener, con el objetivo de desarrollar una interfaz clara para el usuario. Dentro de los resultados también se incluyen la curva granulométrica y la carta de plasticidad, los cuales son gráficos muy importantes para determinar el tipo de suelo.

En referencia al cálculo de capacidad de carga, el programa se diseñó siguiendo 2 tipologías para determinar dicho resultado, una de ellas se refiere a la aplicación de la ecuación general propuesta por Terzaghi (1943) y la otra utiliza el número de golpes de la prueba de penetración estándar o SPT.

En la primera opción el software se programó utilizando los criterios que se proponen en la teoría de Terzaghi, y se obtiene así un valor de capacidad permisible del suelo de cimentación. El usuario deberá ingresar el número de estratos con sus propiedades físico - mecánicas, ancho de la cimentación, factor de seguridad, nivel de desplante propuesto y por último elegirá el tipo de cimentación.

En la segunda opción, se empleó la metodología de la prueba de penetración estándar. Para realizar el cálculo de capacidad de carga a través de la prueba SPT el Software requiere datos de elevación, profundidad de cada sondeo, pesos específicos y el número de golpes de N1, N2 y N3 correspondiente a cada profundidad, así como también los factores de corrección que influyen en el valor de N. Una vez introducido los datos mencionados anteriormente el Software podrá dar un resultado de capacidad de carga puntual, es decir a cada 45 cm según sea la profundidad de cada sondeo.

1. Introducción

La industria de la construcción demanda de muchos estudios tales como: geofísicos, geológicos, sísmicos, geotécnicos, hidrológicos, hidrogeológicos, impactos ambientales, topográficos, estructurales y sanitarios, así como también aspectos de planificación y administración. La buena aplicación de las áreas antes mencionadas garantiza la calidad y funcionalidad de determinada obra.

Uno de los aspectos más importantes para el inicio de un proyecto constructivo es realizar los estudios geotécnicos del terreno, en donde se pueden encontrar una gran variedad de suelos con diferentes propiedades que dependen tanto del lugar como de la profundidad en la que estos se encuentren. Este tipo de estudio permite conocer las propiedades físico - mecánicas de la zona más superficial de la corteza terrestre en donde se emplazan las obras civiles, tales como: casas, residenciales, edificios, carreteras, puentes y presas.

La obtención de las propiedades físicas y mecánicas determinan si el suelo posee buena calidad y condiciones necesarias para poder ser utilizado como terreno de fundación. También permite evaluar el posible uso de suelos como material de construcción, principalmente en los procesos de terracería como un material de relleno estructural.

El propósito de este trabajo es desarrollar un software con la aplicación visual estudio, que permita clasificar los suelos utilizando los parámetros establecidos por los métodos SUCS y AASHTO, así como también determinar capacidad de carga de un suelo en función del ensayo de penetración estándar SPT (del inglés Standard Penetration Test) y de las ecuaciones de la Teoría de Terzaghi, además se tomarán en cuenta las propiedades físicas y mecánicas de los suelos que se obtendrán del laboratorio.

En Nicaragua, no es muy común que se desarrollen software o programas aplicados a la ingeniería civil. El desarrollo de este software permitirá agilizar los procesos de cálculos y presentar los resultados de clasificación de suelos y capacidad de carga de forma organizada y funcional, incluyendo cuadros, gráficos y pestañas, lo cual facilita el análisis que demandan dichos estudios.

1.1 Antecedentes

Conforme al avance de la tecnología se han venido desarrollando métodos digitales para resolver problemas de mecánica de suelos, lo cual permite agilizar los procesos de cálculos y obtener datos más confiables. Actualmente existen muchos programas referidos a geotecnia, así como también hojas de cálculo Excel que resuelven temas de clasificación de suelo, capacidades de carga, diseños de zapatas, entre otros.

En la actualidad GEO5 es un programa variado en su contenido y muy utilizado, este es un conjunto de software que proveen soluciones centrados en la geotecnia y las cimentaciones como estabilidad de taludes, asientos, presiones de tierras, diseño de zapatas ente otras, el desarrollo de los programas GEO comenzaron a finales de los años 80 por la empresa europea Fine.

Por otro lado el geólogo Jordy González Boada de nacionalidad española en el año 2003 logró clasificar y determinar capacidad de carga de suelos utilizando hojas de Microsoft Excel tituladas “*Clasificar suelos de acuerdo al SUCS y AASTHO*” y “*jgb- tensión*”. La desventaja de utilizar estas hojas de cálculo es que no poseen un interfaz claro donde el usuario pueda comprender la ubicación de los campos que deberá llenar, así como el orden de la presentación de resultados.

En la UNAN-Managua los bachilleres Darwin Leonel Chavarría Peralta y Freddy Antonio Berrios Vega en el año 2014 desarrollaron el Software “*AEstruct2D*” para optar al título de Ingeniero Civil, este programa analiza marcos y armaduras planas a través del método de rigidez. Pero este software solo es relacionado al análisis de estructuras y no tiene ninguna aplicación con el estudio de suelos.

Cabe señalar que en Nicaragua no se han diseñado programas vinculados al área de mecánica de suelos en particular a la clasificación y capacidad de carga, por lo tanto este será el primer programa dirigido a los aspectos referidos anteriormente.

1.2 Planteamiento del problema

En la actualidad existen métodos y normas tanto para clasificar y calcular capacidad de carga de un suelo, pero estas no se encuentran desarrolladas en los diferentes lenguajes de programaciones que existen actualmente y por tal razón en la mayoría de los casos los procedimientos que se establecen en los métodos son realizados manualmente.

Comúnmente se utilizan hojas de cálculo en Excel para clasificar y determinar capacidad de carga de un suelo, pero en general estas no poseen un interfaz claro donde el usuario pueda comprender la ubicación de los campos que deberá introducir, así como el orden de los resultados que estas hojas proporcionan.

En la mayoría de los métodos existen ecuaciones que contienen expresiones matemáticas complejas por lo que se debe tener mucho cuidado en el desarrollo de estas, Cuando los procedimientos para clasificar y determinar capacidad de carga de un suelo se realizan manualmente existe la posibilidad de que los resultados no sean tan precisos debido a errores producidos por la mala escritura, lógica, cálculos, entre otros y que ocurren durante el proceso de trabajo.

Además, se debe tomar en cuenta que se invierte bastante tiempo al momento de realizar estos cálculos manualmente, por lo que es necesario emplear nuevas métodos de obtener los mismos resultados en menos tiempo.

1.3 Justificación

El uso de programas en la ingeniería permite agilizar los procesos de cálculos y presentar los resultados de forma organizada y funcional, ya sea en cuadros, gráficos y pestañas, lo que facilita el análisis para la toma de decisiones.

Es por tal razón que se pretende desarrollar un software que tenga la capacidad de clasificar los suelos mediante los métodos SUCS y AASHTO, así como también calcular la capacidad de carga a partir de la prueba SPT y de las ecuaciones de la Teoría de Terzaghi. Este Software podrá ser de mucha utilidad para los estudiantes, ingenieros civiles, laboratorios de geotecnia, personal involucrado en ingeniería de cimentaciones, sector de construcción y principalmente a profesionales vinculados con el área de mecánica de suelo.

En la clasificación de suelo se necesitan principalmente dos parámetros (distribución de tamaños de las partículas y plasticidad de los materiales) para obtener un resultado concreto, es por esto que el Software presentará gráficos muy importantes, tales como curva granulométrica, carta de plasticidad, también porcentajes de suelos gruesos (arena y grava) y porcentajes de suelos finos (limos y arcillas).

En el caso de los suelos finos el programa podrá calcular y mostrar los porcentajes de arcillas y limos, los cuales estarán programados a partir de los datos y ecuaciones que establecen las normas estandarizadas para la realización de la prueba de hidrometría.

1.4 Limitaciones

El Software presenta un formato determinado de mallas principales para realizar granulometría, sin embargo, es ajustable a los valores que se tienen como datos de entrada.

Los tipos de malla a usarse deben ser de acuerdo a las normas AASTHO y SUCS, de modo contrario no se podría clasificar un suelo con este Software.

El número máximo de estratos que puede analizar el Software para calcular el valor de capacidad de carga por Terzaghi es de 6.

Otra limitación es que el Software solo calcula la capacidad de carga para casos en que la falla sea por corte general; es decir que no está diseñado para fallas por corte local ni punzonamiento, lo cual requiere el uso de las ecuaciones de Terzaghi con factores de carga modificados.

La capacidad de carga está dirigida para zapatas continuas y rectangulares, no se puede utilizar en losas, ni pilotes.

El software tiene como limitante el cálculo de capacidad de carga cuando se esté en presencia del nivel freático del suelo, tanto para el método de Terzaghi y SPT.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

- Diseñar un software bajo la plataforma .Net para que clasifique y determine capacidad de carga de un suelo.

2.2 Objetivos específicos

- Identificar las variables que poseen los métodos de clasificación de suelo y capacidad de carga.
- Construir la interfaz del software de manera que se comprenda el ingreso y resultados de datos de clasificación y capacidad de carga de un suelo.
- Programar las ecuaciones y condiciones que los métodos AASTHO y SUCS establecen para clasificar suelos.
- Determinar la capacidad de carga de los suelos utilizando el valor de N golpes de la prueba SPT y aplicando la Teoría de Terzaghi.
- Validar los resultados del software comparando la capacidad de carga y clasificación de un suelo con estudios geotécnicos de un proyecto.

3. Revisión de literatura

3.1 Suelos

Según Crespo (2007) el suelo es una delgada capa que se encuentra sobre la corteza terrestre compuestas por materiales que provienen de la o alteración física y/o química de las rocas y de los residuos de las actividades de los seres vivos. Además, desde el punto de vista de la ingeniería civil el suelo se define como cualquier material no consolidado compuesto de distintas partículas sólidas con gases y líquidos incluidos.

3.2 Granulometría de los suelos

Se domina distribución granulométrica de un suelo a la división de mismo en diferentes fracciones, seleccionadas por el tamaño de sus partículas que lo componen (Rico & Del Castillo, 2008). En cualquier masa de suelo los tamaños de sus partículas varían considerablemente, es por tal razón que para clasificar apropiadamente un suelo se debe conocer su distribución granulométrica. Para los suelos de grano grueso su granulometría es determinada mediante análisis granulométrico por mallas. Por el contrario, para un suelo de grano fino la distribución granulométrica se obtiene a través de análisis granulométrico con el hidrómetro (Das, 2001).

3.2.1 Análisis granulométrico por mallas.

Los tamaños de las partículas de suelos son muy variables, los granos mayores son los que se pueden mover con la mano, mientras que los más finos son tan pequeños que no se pueden apreciar con un microscopio corriente. Debido a ello se realiza el análisis granulométrico que tiene por objeto determinar el tamaño de las partículas o granos que constituyen un suelo y calcular en porcentaje de su peso total, la cantidad de granos de distinto tamaño que el mismo contiene (Rico & Del Castillo, 2008).

El procedimiento de ejecución del ensayo es simple y consiste en tomar una muestra de suelo seco de peso conocido, y colocarlo en el juego de tamices de aberturas descendentes, hasta llegar a la malla N° 200 (0.074mm), pesando los retenidos parciales de suelo en cada tamiz. Después se calcula los porcentajes retenidos parciales, los porcentajes acumulados, y por último los porcentajes que pasan por cada malla o tamiz. Posteriormente se expresan los resultados en forma gráfica mediante la curva granulométrica tal como se observa en la figura 3.1 (Juárez & Rico, 2005)

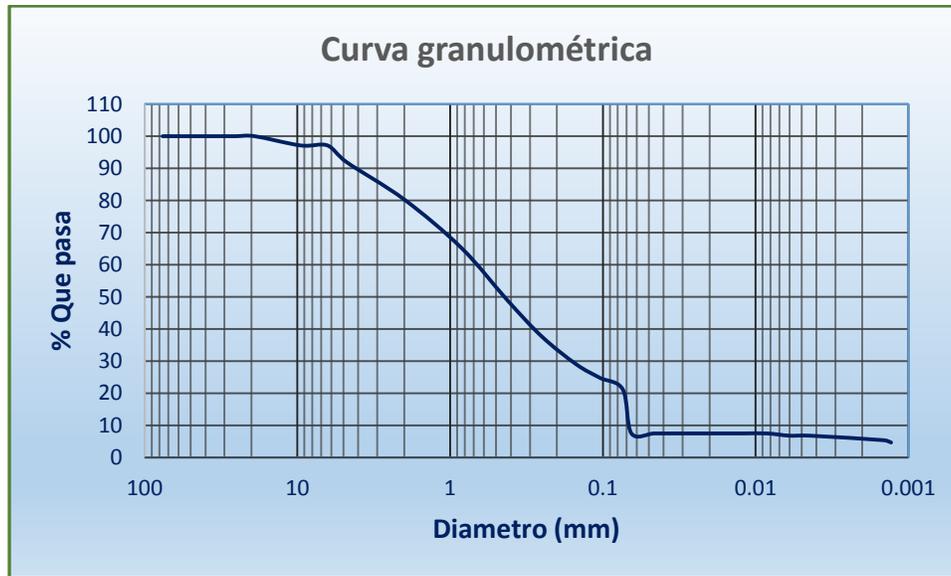


Figura 3.1 Curva Granulométrica

A partir de la curva granulométrica se determinan 2 parámetros para clasificar suelos de granos gruesos, estos son: el coeficiente de uniformidad (C_u) y el coeficiente de curvatura (C_c), estos se calculan con la ecuación 3.1 y 3.2 respectivamente (Das, 2001).

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (3.1)$$

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{(D_{60})(D_{10})} \quad (3.2)$$

Donde:

D_{10} , D_{30} y D_{60} Son los diámetros correspondientes al porcentaje que pasa 10, 30 y 60% respectivamente.

3.2.2 Análisis granulométrico con el hidrómetro.

El análisis granulométrico con el hidrómetro se basa en el principio de la sedimentación de las partículas de suelo en agua, la cual se define en la Ley de Stokes y que relaciona la velocidad de una esfera, cayendo libremente a través de un fluido con el diámetro de la esfera (Das, 2001).

Para realizar la prueba de hidrometría se utilizan los siguientes equipos y materiales:

- Balanza con sensibilidad de 0.1%
- Tamices o mallas
- Aparato agitador
- Hidrómetro 151 H

- Cilindro de vidrio para sedimentación con capacidad de 1000 ml
- Termómetro de inmersión con apreciación de 0.5 °C
- Cronómetro o reloj
- Horno capaz de mantener temperatura constante de 110 °C
- Vaso de vidrio (Beaker) con capacidad entre 250 y 500 ml
- Recipientes adecuados para el manejo y secado de muestras
- Varilla de vidrio apropiada para agitar la muestra de la prueba

Se utiliza un reactivo, el cual realiza la función de agente dispersante, por lo general se emplea una solución de hexametáfosfato de sodio y se usará en agua destilada o desmineralizada en proporción de 40 gramos de hexametáfosfato de sodio por cada litro de solución (I.N.V.E-124, 2007).

El hidrómetro debe ser calibrado para determinar su profundidad efectiva en términos de lecturas de hidrómetro. Si el hidrómetro que está disponible es tipo 151-H, el valor de la profundidad efectiva puede ser obtenida a través de la tabla 3.1 (I.N.V.E-124, 2007).

Tabla 3.1 Profundidad efectiva (ASTM D 422-63, 2001)

Hidrómetro 151 H			
Lectura real del Hidrómetro	Profundidad efectiva "L" en cm	Lectura real del Hidrómetro	Profundidad efectiva "L" en cm
1	16.3	1.02	11
1.001	16	1.021	10.7
1.002	15.8	1.022	10.5
1.003	15.5	1.023	10.2
1.004	15.2	1.024	10
1.005	15	1.025	9.7
1.006	14.7	1.026	9.4
1.007	14.4	1.027	9.2
1.008	14.2	1.028	8.9
1.009	13.9	1.029	8.6
1.01	13.7	1.03	8.4
1.011	13.4	1.031	8.1
1.012	13.1	1.032	7.8
1.013	12.9	1.033	7.6
1.014	12.6	1.034	7.3
1.015	12.3	1.035	7
1.016	12.1	1.036	6.8
1.017	11.8	1.037	6.5
1.018	11.5	1.038	6.2
1.019	11.3		

Tamaño de la muestra

El tamaño aproximado de la muestra que se debe usar para el análisis por el hidrómetro varía con el tipo de suelo que va a ser ensayado. La cantidad requerida para suelos arenosos es 100 gramos y para limos y arcillas es de 50 gramos de masa seca (I.N.V.E-124, 2007).

Correcciones a la lectura del hidrómetro

- Corrección por menisco (cm)
- Corrección por temperatura (ct)
- Corrección por defloculante y punto cero (cd)

- Corrección por menisco

Los hidrómetros deben ser calibrados para leer de forma correcta a la altura de la superficie del líquido, pero la suspensión del suelo no permite realizar esta lectura, por lo tanto, la lectura del hidrómetro se debe realizar en la parte superior del menisco. Este tipo de corrección es constante para un hidrómetro dado, y se determina al introducir el hidrómetro en agua destilada o desmineralizada y se observa la altura a la cual se levanta el menisco por encima de la superficie del agua. Para un Hidrómetro 151H $cm = 0.0006 g/cm^3$ (I.N.V.E-124, 2007).

- Corrección por temperatura

En casos de que no se disponga de un baño de agua o de un cuarto de temperatura constante en el que se pueda llevar a cabo toda la prueba a 20 °C, a todas las lecturas del hidrómetro se le deberá aplicar un factor de corrección en dependencia de la temperatura, esta deberá sumarse algebraicamente a cada lectura. Este factor puede ser positivo o negativo, dependiendo de la temperatura de la suspensión en el momento de realizar cada lectura y se muestra en la Tabla 3.2 (I.N.V.E-124, 2007).

Tabla 3.2 Valores de corrección por temperatura (ASTM D 422-63, 2001)

Temperatura °C	C_t (g/cm ³)x 10 ⁻³
10	-1.3
11	-1.2
12	-1.1
13	-1.0
14	-0.9
15	-0.8
16	-0.6
17	-0.5
18	-0.3
19	-0.2
20	0.0
21	0.2
22	0.4
23	0.6
24	0.8
25	1.0
26	1.3
27	1.5
28	1.8
29	2.0
30	2.3

- Corrección por defloculante y punto cero

La adición de un agente defloculante provoca que la densidad del líquido aumente y por ende se debe realizar una corrección a la lectura que se determine en el hidrómetro. De igual manera, como la escala de los hidrómetros son graduadas para registrar una lectura cero o lectura inicial a una temperatura base que por lo general es de 20 °C, existirá un desplazamiento del punto cero, y las lecturas de hidrómetro observadas también deberán corregirse por ese factor, el cual se calcula con la ecuación 3.3 (I.N.V.E-124, 2007).

$$Cd = \tau' + cm \pm ct \quad (3.3)$$

Donde:

τ' : Lectura del hidrómetro con defloculante únicamente (g/cm³)

cm : Corrección por menisco (g/cm³)

ct : Corrección por temperatura (g/cm³)

Ecuaciones

- **Lectura de hidrómetro corregida**

Se calculan las lecturas de hidrómetro corregidas por menisco (R), sumándole a cada lectura de hidrómetro no corregida (R') la corrección por menisco (cm), tal como se muestra en la ecuación 3.4

$$R = R' + cm \tag{3.4}$$

- **Cálculo de diámetro de las partículas**

Se calcula de acuerdo a la Ley de Stokes con la siguiente ecuación:

$$D = \sqrt{\left[\frac{30\eta}{981(G_s - 1)\gamma_w} \right] x \frac{L}{T}} \tag{3.5}$$

Dado que:

$$\left[\frac{30\eta}{981(G_s - 1)\gamma_w} \right] = K \tag{3.6}$$

η = Coeficiente de viscosidad del agua
 G_s = Gravedad específica del suelo (g/cm³)
 γ_w = Peso específico del agua (g/cm³)

$$\eta = 0.0178 - 5.684 \times 10^{-4}T + 1.115 \times 10^{-5}T^2 - 1.017 \times 10^{-7}T^3 \tag{3.7}$$

T = Temperatura (°C)

Entonces:

$$D = K \sqrt{\frac{L}{T}} \tag{3.8}$$

- **Cálculo del porcentaje finos al tamaño “D” o porcentaje de suelo en suspensión**

$$Ni = \frac{G_s}{G_s - 1} * \frac{Vol}{W_s} * \gamma_w * (R_r - R_w) * 100 \quad (3.9)$$

Donde:

G_s : Gravedad específica (g/cm³)

Vol : Volumen de la probeta (cm³)

W_s : Peso de la muestra seca (grs)

γ_w : Peso específico del agua (g/cm³)

R_r : Lectura del hidrómetro registrado (g/cm³)

R_w : Lectura del hidrometro en el agua a 20 °C que es igual a 1 (g/cm³)

- **Cálculo del porcentaje que pasa**

$$\%QP = \frac{\%QP_{TN^{\circ}200}}{100} x Ni \quad (3.10)$$

- **Cálculo del porcentaje retenido**

$$\%R = \%QP_{TN^{\circ}200} - \%QP \quad (3.11)$$

3.2.2.1 Gravedad específica

Se define como gravedad específica de los suelos, a la relación del peso en el aire, de un volumen dado de partículas sólidas, al peso en el aire de un volumen igual de agua destilada a una temperatura de 4° C. (ASTM 854-00, 2001)

Equipo a utilizar

1. Matraz aforado de cuello largo (frasco volumétrico), de 500 cc. de capacidad a temperatura de calibración de 20°C.
2. Agua Destilada.
3. Dispositivo de succión neumática, capaz de producir el grado de vacío (opcional).
4. Dispositivo para calentar agua, con temperatura controlable.
5. Balanza de un centésimo de grado de aproximación y capacidad de 1Kg.
6. Horno a temperatura constante de 100 a 110° C.
7. Un desecador.
8. Batidor Mecánico.
9. Termómetro con aproximación de 0.1° C, graduado hasta 50° C.
10. Cápsulas para evaporación.

11. Pipeta ó cuenta-gotas (gotero).
12. Embudo de vidrio de conducto largo.

Procedimiento recomendado

Para el cálculo de la gravedad específica se necesita el dato del peso del frasco volumétrico lleno con agua destilada hasta la marca de aforo, a la temperatura de ensayo, este valor se toma por lo general de una curva en que están ploteados los pesos del frasco más agua vs la temperatura. Esta gráfica llamada curva de calibración, puede ser determinada experimentalmente ó por medios teóricos (UNI).

Antes de realizar el ensayo es necesario hacer la limpieza y calibración al frasco volumétrico.

Procedimiento de ensayo en suelos no cohesivos (Granulares).

1. Pésese 80 gr., aproximadamente de suelo previamente secado al horno y enfriado (Ws).
2. Pásese la muestra cuidadosamente a un frasco volumétrico seco y limpio, previamente calibrado y llénese éste con agua destilada hasta la mitad del frasco.
3. Elimínese el aire atrapado en la muestra por calentamiento del frasco durante 15 min., ó utilizando el método indicado por el profesor de la materia.
4. a.- Añádase con cuidado agua destilada hasta la marca de enrase, verificando que no quede aire atrapado en la muestra; si existiese aire atrapado en la muestra, elimínelo por el método utilizado en el paso anterior.
b.- La presencia de materia orgánica puede producir el efecto de aire no removido a causa de los gases que se forman en contacto con el agua. La materia orgánica podrá descubrirse por olor y por la formación de una película oleaginosa en la superficie del agua.

Si ésta materia existe el método del vacío debe sustituirse por más efectivo para remover gases; éste método puede ser ebullición de la suspensión de un baño de Glicerina durante 30 min., añadiendo de cuando en cuando más agua destilada para impedir la calcinación de la muestra, en todo momento el frasco volumétrico debe estar lleno hasta su mitad; tras este período déjese enfriar el frasco a la temperatura ambiente y aplíquese lo escrito anteriormente en el acápite a.

5. Desairada la suspensión añádase agua destilada hasta que el borde interior del menisco coincida con la marca de aforo.
6. Verifique si el menisco está bien enrasado, y que el frasco en su parte exterior esté seco y limpio; pésese el frasco más el agua más el suelo contenido en él (Wfws), con una aproximación de 0.1 gr.
7. De inmediato determínese la temperatura de la suspensión con aproximación de 0.01 °C, introduciendo el bulbo de un termómetro hasta el centro del frasco volumétrico.

8. Saque el agua y el suelo del frasco sin perder nada y déjese limpio el frasco.
9. Introduzca la muestra al horno por un tiempo de 24 horas, a una temperatura de 110 °C.
10. Saque la muestra del horno, déjela enfriar y determine su peso seco (W_s) con aproximación 0.1gr.
11. Calcule la gravedad específica con la formula siguiente:

$$G_s = \frac{W_s}{W_{fw} + W_s - W_{fsw}}$$

Donde:

G_s = Gravedad específica de las partículas sólidas del suelo

W_s = Peso seco del suelo

W_{fsw} = Peso del frasco + peso del suelo + peso del agua.

W_{fw} = Peso del frasco + peso del agua (de la curva de calibración).

Procedimiento de ensayo en suelos cohesivos

1. La muestra de suelo a ser ensayada, se criba por el tamiz No. 10; del material que pasa por el tamiz No. 10, se pesan aproximadamente 60 gr. de material seco.
2. Agréguele agua hasta obtener una consistencia pastosa.
3. Coloque la pasta dentro del frasco volumétrico, calibrado.
4. Se extrae el aire atrapado como se hizo en los pasos del No. 3 al No. 6, del Procedimiento para suelos no cohesivos.
5. Pese el frasco más agua, más suelo, (W_{sw}).
6. Saque el agua y el suelo del frasco sin perder nada y déjese limpio el frasco.
7. Introduzca la muestra al horno por un tiempo de 24hrs., a una temperatura de 110° C.
8. Saque la muestra del horno, déjela enfriar y determine su peso seco (W_s) con Aproximación 0.1gr.
9. Calcúlese la gravedad específica con la misma fórmula de los suelos no cohesivos.

$$G_s = \frac{W_s}{W_{fw} + W_s - W_{fsw}}$$

3.3 Límites de consistencia de los suelos

Para medir la plasticidad de las arcillas se han desarrollado varios criterios, de los cuales el que aportó el científico Albert Atterberg es el que se emplea actualmente. Descubrió que la plasticidad no era una propiedad permanente de las arcillas, sino que dependía de su contenido de agua. Una arcilla muy seca puede presentar una consistencia como la de un ladrillo, por lo que su plasticidad sería nula, mientras que esa misma arcilla con un gran contenido de agua puede parecerse a un lodo semilíquido. Por tanto, si a un suelo seco se le agrega agua poco va pasando sucesivamente del estado sólido a los estados de semisólido, plástico, semilíquido y finalmente líquido. La cantidad de agua en los puntos de transición de un estado al otro son los denominados límites de Atterberg (Juárez & Rico, 2005).

La frontera entre el estado semilíquido y plástico fue llamado por Atterberg límite líquido, en cambio la frontera entre el estado plástico y semisólido fue llamado como límite plástico, a estas fronteras se les conoce como límite de plasticidad (Juárez & Rico, 2005).

3.3.1 Límite líquido.

Según Juárez y Rico (2005), esta propiedad se mide en laboratorio mediante un procedimiento normalizado basado en el uso de la copa de Casagrande (figura 3.2), que es un recipiente de bronce o latón con un tacón del mismo material; el tacón y la copa giran en torno a un eje fijo unido a la base, de esta manera la copa se golpea contra la base. Para iniciar con la prueba se coloca el suelo en la copa y se procede a hacerle una ranura trapezoidal, Atterberg estableció que el límite líquido obtenido por medio de la copa se define como el contenido de agua del suelo para que la ranura se cierre a lo largo de 1.27cm (1/2") con 25 golpes en la copa (ASTM D 4318-00, 2001).

Equipo necesario

- Aparato de límite líquido (máquina de Casagrande), el que consiste en una taza (cuchara) de bronce con una masa de 200 ± 20 gramos montada en un dispositivo de apoyo fijado a una base de caucho, madera o plástico duro (figura 3.2).
- Acanalador (Casagrande o ASTM), mango de calibre de 1 cm para verificar altura de caída de la cuchara
- Plato de evaporación de porcelana de 120 mm de diámetro.
- Espátula hoja flexible de 20 mm de ancho y 70 mm de largo.
- Horno de secado con circulación de aire y temperatura regulable capaz de mantenerse en $110^{\circ} \pm 5^{\circ}$ C.
- Balanza de precisión de 0,01 gr.
- Herramientas y accesorios. Placas de vidrio, agua destilada, recipiente
- Pipetas



Figura 3.2 Copa de Casa grande (Laboratorio IGG-CIGEO)

3.3.2 Límite plástico.

La prueba para determinar el límite plástico se realiza en laboratorio y consiste en formar un cilindro de suelo, con un diámetro de 3mm. La formación de los rollitos se hace comúnmente sobre una hoja de papel totalmente seca, para que la humedad del material se disminuya más rápido; pero también es frecuente que el rolado se realice sobre una placa de vidrio. Una vez que los rollitos llegan a 3 mm se doblan y presionan formando una pastilla que vuelve a rolarse, hasta que en los 3 mm justos ocurra el desmoronamiento y el agrietamiento del cilindro; en ese momento se deberá determinar rápidamente su contenido de humedad que sería su límite plástico. Es recomendable realizar esta prueba al menos 3 veces para reducir los errores de interpretación o medición (Juárez & Rico, 2005).

3.3.3 Índice de plasticidad.

Es un parámetro que determina la actividad que presentan los suelos, y se define como plasticidad al contenido de arcilla que se encuentra presente en el suelo y se calcula por medio de la ecuación 3.12 (Juárez & Rico, 2005).

$$I_p = LL - LP \quad (3.12)$$

Donde:

LL: Límite líquido

LP: Límite plástico

3.4 Sistemas de clasificación de suelos

Los sistemas de clasificación de suelos se dividen en distintos grupos y subgrupos, los cuales dependen principalmente de propiedades como su distribución granulométrica y sus límites de plasticidad. Los dos sistemas principales de clasificación actualmente en uso son

el Sistema AASTHO (American Assosiation of State Highway and Transportation Officials) y el ASTM o SUCS (Unified Soil Classification System) (Das, 2001).

Tabla 3. 3 Rangos de los diámetros de las partículas de los suelos (Das, 2011)

Classification system	Grain size (mm)
Unified	Gravel: 75 mm to 4.75 mm Sand: 4.75 mm to 0.075 mm Silt and clay (fines): <0.075 mm
AASHTO	Gravel: 75 mm to 2 mm Sand: 2 mm to 0.05 mm Silt: 0.05 mm to 0.002 mm Clay: <0.002 mm

3.4.1 Método AASTHO.

El Sistema de Clasificación de Suelos AASTHO fue propuesto originalmente por el Highway Research Board's Committee (1945) con el objetivo de clasificar materiales para subrasantes y caminos de tipo granular. De acuerdo con la actual forma de este sistema, los suelos pueden clasificarse según ocho grupos principales, desde el A-1 al A-8, con base en su distribución granulométrica, límite líquido e índice de plasticidad. Los suelos comprendidos en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales de grano grueso y aquellos en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7 son de grano fino. La turba, el lodo y otros suelos altamente orgánicos quedan clasificados en el grupo A-8. Estos son identificados por inspección visual (Das, 2001).

En este sistema los suelos se clasifican más concretamente, en función del porcentaje que pasa por los tamices No 200, 40 y 10, y de los Límites de Atterberg de la fracción que pasa por el tamiz No 40. Los siete grupos de A-1 al A-7 corresponden a dos grandes categorías de suelos, suelos granulares (con no más del 35% que pasa por el tamiz No 200) y suelos limo-arcillosos (más del 35% que pasa por el tamiz No 200) (Das, 2001).

Con respecto a los suelos granulares; gravas, arenas que está compuesta por los grupos A-1, A-2 y A-3, su comportamiento generalmente es bueno a excelente, salvo los subgrupos A-2-6 y A-2-7, que se comportan como los suelos arcillosos debido a la alto contenido de plasticidad, siempre que el porcentaje de estos supere el 15%. Los grupos incluidos por los suelos granulares son los siguientes:

A-1: Corresponde a una mezcla bien graduada de gravas, arenas (gruesa y fina) y finos no plásticos o muy plásticos. También se incluyen en este grupo las mezclas bien graduadas de gravas y arenas sin finos.

- A-1-a: Incluye los suelos con predominio de gravas, con o sin material fino bien graduado

- A-1-b: Incluye suelos constituidos principalmente por arenas gruesas, con o sin material fino bien graduado.

A-2: Este grupo comprende a todos los suelos que contienen un 35% o menos de material que pasa por el tamiz n° 200 y que no pueden ser clasificados en los grupos A-1 y A-3, debido a que el porcentaje de finos o la plasticidad de estos (o ambas cosas) están por encima de los límites fijados para dichos grupos.

- A-2-4 y A-2-5: En estos subgrupos se incluyen los suelos que contienen un 35% o menos de material que pasa por el tamiz n° 200 y cuya fracción que pasa por el tamiz n° 40 tiene las características de los grupos A-4 y A-5, de suelos limosos. En estos subgrupos están incluidos los suelos compuestos por grava y arena gruesa con contenidos de limo o índices de plasticidad por encima de las limitaciones del grupo A-1, y los suelos compuestos por arena fina con una proporción de limo no plástico que excede la limitación del grupo A-3.
- A-2-6 y A-2-7: En estos subgrupos se incluyen suelos como los descritos para en los subgrupos A-2-4 y A-2-5, excepto que los finos contienen arcilla plástica contienen las características de los grupos A-6 y A-7.

A-3: Corresponde, típicamente, a suelos constituidos por arena fina de playa o de duna, de origen eólico, sin finos limosos o arcillosos o con una pequeña cantidad de limo no plástico. También incluyen este grupo, los depósitos fluviales de arena fina mal graduada con pequeñas cantidades de arena gruesa o grava.

Los grupos incluidos en los suelos granulares son los siguientes:

A-4: El suelo típico de este grupo es un suelo limoso no plástico o moderadamente plástico, que normalmente tiene un 75% o más de material que pasa por el tamiz n° 200. También se incluyen en este grupo los suelos constituidos por mezclas de suelo fino limosos y hasta un 64% de gravas y arenas.

A-5: El suelo típico de este grupo es similar al descrito en el grupo A-4, salvo que suele tener carácter diatomáceo o micáceo, y pueden ser muy compresibles, como indica su elevado límite líquido.

A-6: El suelo típico de este grupo es un suelo arcillosos plástico, que normalmente tiene un 75% o más de material que pasa por el tamiz n° 200. También se incluyen en este grupo las mezclas de suelo fino arcilloso y hasta un 64% de gravas y arenas. Estos suelos, experimentan generalmente grandes cambios de volumen entre los estados seco y húmedo.

A-7: El suelo típico de este grupo es similar al descrito en el grupo A-6, salvo que tiene las características de elevado límite líquido del grupo A-5, y puede ser elástico y estar sujeto a grandes cambios de volumen.

- A-7-5: Se incluyen en este subgrupo los suelos con un índice de plasticidad moderado en relación con el límite líquido y que pueden ser altamente compresibles, además de estar sujetos a importantes cambios de volumen.

- A-7-6: Se incluyen en este subgrupo los suelos con un índice de plasticidad elevado en relación con el límite líquido y que están sujetos a cambios de volumen muy importantes.

La clasificación realizada de esta manera se complementa con el índice de grupo, que permita caracterizar mejor cada suelo dentro de los grupos, ya que estos admiten suelos con porcentajes de finos y plasticidad muy diferentes. El índice de grupo se obtiene mediante la ecuación 3.13.

$$IG = (F - 35)[0,2 + 0,005 (LL - 40)] + 0,01 (F - 15)(IP - 10) \quad (3.13)$$

Donde:

F: Porcentaje en peso que pasa por el tamiz n° 200 del material inferior a 75 mm, expresado en número entero.

LL: Límite líquido

IP: Índice de plasticidad.

El índice de grupo se expresa en números enteros positivos (un número negativo se expresará como $IG = 0$) y se escribe entre paréntesis a continuación de los símbolos de grupo o subgrupo correspondientes, por ejemplo A-2-4 (0). Generalmente cuanto menor es el IG de un suelo, mejores son las cualidades del suelo como explanada o capa de asiento del firme. Los suelos de los grupos A-1, A-3, A-2-4 y A-2-5, que pueden calificarse de buenos a excelentes, tienen un $IG = 0$. Un $IG = 20$ o mayor corresponde a un suelo de muy mala calidad, en condiciones medias de drenaje y compactación. El valor crítico de finos es $F = 35$ con independencia de la plasticidad, y si el índice de plasticidad es superior a 10 este valor será $F = 15$. Los valores críticos del límite líquido y del índice de plasticidad serán respectivamente, 40 y 10.

Tabla 3.4 Clasificación de suelos según AASTHO (Das, 2001)

Clasificación de Suelos según AASHTO

CLASIFICACION GENERAL	Materiales Granulares (igual o menor del 35% pasa el tamiz N° 200)							Materiales Limo - Arcillosos (más del 35% que pasa el tamiz N° 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
GRUPOS	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5
SUB - GRUPOS	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7-5 A-7-6
% que pasa el Tamiz:											
N° 10	50 máx.										
N° 40	30 máx.	50 máx.	51 máx.								
N° 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características del Material que pasa el tamiz N° 40											
Límite Líquido			NO	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 máx.
Índice de Plasticidad	6 máx.	6 máx.	PLÁSTICO	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Tipos de Material	fragmentos de piedra grava y arena		Arena fina	Grava, arenas limosas y arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
Terreno de Fundación	Excelente a Bueno						Regular a Deficiente				

NOTA: El índice de plasticidad de los suelos A-7-5 es igual o menor que su Límite Líquido 30, el de los A-7-6 mayor que su Límite Líquido (fig. 1) se halla indicada la relación entre lo LL e IP de los materiales finos. Dicho de otro modo, el grupo A-7 es subdividido en A-7-5 ó A-7-6 dependiendo del Límite Plástico (L.P.)
Si el LP \geq 30, la clasificación es A-7-6
Si el LP < 30, la clasificación es A-7-5

3.4.2 Método SUCS.

El Sistema Unificado de clasificación de suelos fue originalmente propuesto por A. Casagrande en 1942 y después revisado y adoptado por el Bureau of Reclamation de Estados Unidos y por el cuerpo de ingenieros. Este sistema se usa prácticamente en todo trabajo de geotecnia. (Das, 2001)

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) es un sistema de clasificación de suelos que se usa en Ingeniería y Geología para describir la textura y el tamaño de las partículas de un suelo. Este sistema de clasificación puede ser aplicado a la mayoría de los materiales sin consolidar y se representa mediante un símbolo con dos letras, cada letra es descrita en la tabla 3.4. Está basado en las características de granulometría y consistencia de los suelos, se considera que un suelo es fino si más del 50% pasa por la malla N°200 en caso contrario será suelo grueso (Das, 2001).

Tabla 3.5 Símbolos y definiciones para el sistema SUCS de clasificación (Das, 2001)

Símbolo	Definición
G	Grava
S	Arena
M	Limos
C	Arcillas
W	Bien graduado
P	Mal graduado
H	Alta plasticidad
L	Baja plasticidad
O	Suelo orgánico

Si el suelo tiene entre un 5-12% de finos, pasantes del tamiz N° 200 se considera que ambas distribuciones de granos tienen un efecto significativo para las propiedades ingenieriles del material, Por ejemplo, gravas bien graduadas con limos. En esos casos se recomienda usar doble notación, por ejemplo: GW-GM correspondiente a "grava bien graduada" y "grava con limo"

Si el suelo tiene más del 15% del peso retenido por el tamiz N°4 (Peso retenido en N°4 > 15%), hay una cantidad significativa de grava, y al sufijo "con grava" se le puede añadir el nombre del grupo, pero el símbolo del grupo no cambia.

En la mayoría de los suelos formados por partículas finas, cuyo origen no sea volcánico tienen, por lo general, valores de límite líquido menores a 100; esto fue utilizado para subdividir estos materiales en 2 grupos principales: los de baja a media compresibilidad con límite líquido menor de 50% y los de alta compresibilidad con límite mayor de 50%. (Juárez & Rico, 2005). La carta de plasticidad es la representación de los suelos en una carta de coordenadas límite líquido-índice de plasticidad, es decir LL-IP (Figura 3.3), los suelos finos se agrupan de un modo específico, de manera que en cada zona de la carta se sitúan suelos con características de plasticidad y propiedades mecánicas e hidráulicas cualitativamente definidas.

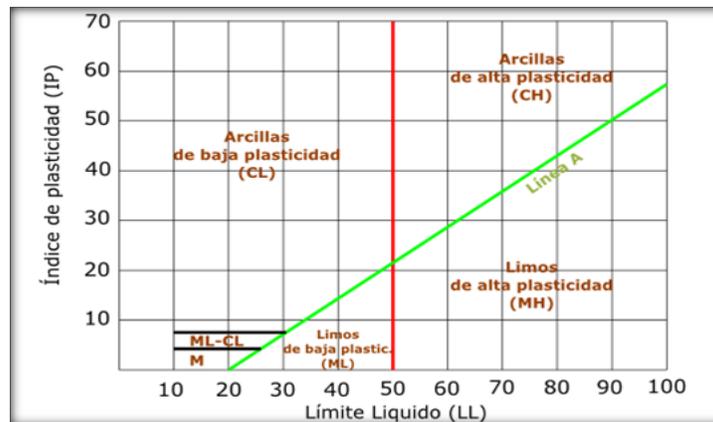


Figura 3.3 Carta de plasticidad (ASTM D 2487 - 00, 2001)

Tabla 3.6 Procedimiento para clasificar suelo por Método SUCS (Das, 2011)

Criteria for assigning group symbols and group names using laboratory tests ^a				Soil classification	
				Group symbol	Group name ^b
Coarse-grained soils More than 50% retained on No. 200 sieve	Gravels More than 50% of coarse fraction retained on No. 4 sieve	Clean Gravels	$C_u \geq 4$ and $1 \leq C_c \leq 3^e$	GW	Well-graded gravel ^f
		Less than 5% fines ^c	$C_u < 4$ and/or $1 > C_c > 3^e$	GP	Poorly graded gravel ^f
		Gravels with Fines More than 12% fines ^c	Fines classify as ML or MH Fines classify as CL or CH	GM GC	Silty gravel ^{f, g, h} Clayey gravel ^{f, g, h}
	Sands 50% or more of coarse fraction passes No. 4 sieve	Clean Sands	$C_u \geq 6$ and $1 \leq C_c \leq 3^e$	SW	Well-graded sand ^d
		Less than 5% fines ^d	$C_u < 6$ and/or $1 > C_c > 3^e$	SP	Poorly graded sand ^d
		Sand with Fines More than 12% fines ^d	Fines classify as ML or MH Fines classify as CL or CH	SM SC	Silty sand ^{g, h, i} Clayey sand ^{g, h, i}
Fine-grained soils 50% or more passes the No. 200 sieve	Silts and Clays Liquid limit less than 50	Inorganic	$PI > 7$ and plots on or above "A" line ^j $PI < 4$ or plots below "A" line ^j	CL ML	Lean clay ^{k, l, m} Silt ^{k, l, m}
		Organic	$\frac{\text{Liquid limit—oven dried}}{\text{Liquid limit—not dried}} < 0.75$	OL	Organic clay ^{k, l, m, n} Organic silt ^{k, l, m, o}
	Silts and Clays Liquid limit 50 or more	Inorganic	PI plots on or above "A" line	CH	Fat clay ^{k, l, m}
			PI plots below "A" line	MH	Elastic silt ^{k, l, m}
		Organic	$\frac{\text{Liquid limit—oven dried}}{\text{Liquid limit—not dried}} < 0.75$	OH	Organic clay ^{k, l, m, p} Organic silt ^{k, l, m, q}
			Highly organic soils	Primarily organic matter, dark in color, and organic odor	PT

3.5 Prueba de penetración estándar (SPT)

El ensayo normal de Penetración Estándar o SPT (del inglés Standar Penetración Test) nació en los Estados Unidos de Norteamérica en la década de 1920, con la finalidad de estimar el grado de densificación de los suelos.

Es un tipo de prueba de penetración dinámica empleada para ensayar terrenos en los que se quiere realizar un reconocimiento geotécnico. Consiste en contar el número de golpes necesarios para que se introduzca a una determinada profundidad una cuchara cilíndrica y hueca, que permite tomar una muestra naturalmente alterada en su interior (Espinoza, 2014).

3.5.1 Material y equipo.

- Trípode.
- Polea.
- Motor de 5 HP.
- Cuerda de cabulla, tratada con aceite, de 1 pulgada aproximadamente de diámetro.
- Mazo de 140 libras de peso.
- Guía de acero, con sus arandelas.
- Barras de perforación de acero
- Muestreador (cuchara partida)
- Cajas de madera, con divisiones y separadores para las muestras.
- Barra.
- Llaves Stilson.
- Retenedores de suelo.
- Bolsas plásticas de cierre hermético.

3.5.2 Procedimiento.

- Levantar o colocar la torre (trípode), de tal manera que quede firme y estable. Antes de levantar la torre, se deberá colocar la polea en la parte superior del trípode, y colocar la cuerda de cabulla.
- En la pata del trípode de mayor diámetro (palo mayor), se coloca el motor y se fija a través de mordazas.
- Se coloca la cuerda a través del orificio del mazo y se garantiza que quede firmemente armado, para iniciar la prueba.
- Uno de los extremos de la cuerda se anuda en la horquilla del mazo, y el otro extremo se enrolla en el tambor del motor.
- Se levanta el mazo junto con la guía y se le enrosca el muestreador (cuchara partida), se baja lentamente, hasta que el extremo libre del muestreador roce ligeramente la superficie del terreno.
- Se deja caer libremente (caída libre), el mazo con una altura de 75 cm.

- Se deja caer el marzo hasta obtener el número de golpes para que el muestreador penetre 1 ½ pies (45cm). Se registra el N° de golpes por cada medio pie de penetración.
- Se extrae el muestreador del suelo, se desenroscan los extremos, se clasifica y se muestrea el suelo perforado.
- Se siguen los pasos N° 6 y N° 7, hasta completar la profundidad proyectada.

3.5.3 Correcciones del número de golpes.

Aunque el ensayo es estándar presenta algunas variantes tales como: el tipo y estado de los equipos de perforación, la destreza de los operadores, el tipo y estado de las cucharas muestreadoras, la dimensión y estado del varillaje, la energía que se efectúa en cada golpe, el diámetro del malacate, la profundidad y el procedimiento del ensayo, etc. Por consiguiente el número de golpes del SPT normalizado se puede corregir a través de la ecuación 3.14 (Delgado, 1999)

$$N_{corr} = N_{cam} Cn \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 \quad (3.14)$$

Dónde:

N_{corr} : Número de golpes corregidos

N_{cam} : Número de golpes de campo

Cn : Factor de confinamiento

η_1 : Factor de relación de energía del martillo

η_2 : Factor por longitud de las barras de perforación

η_3 : Factor por tomamuestras

η_4 : Factor por el diámetro de la perforación

3.5.3.1 Corrección por confinamiento (Cn)

La presión de confinamiento ha sido identificada desde hace tiempo por muchos investigadores, estos encontraron que las diferencias del peso de las capas superyacentes al nivel del ensayo en los suelos no cohesivos tienen incidencia en el valor de N, en el siguiente sentido: para dos suelos sin cohesión de la misma densidad, el de mayor presión de sobre capa presenta el mayor valor de N. Con base en estos resultados propusieron modificar los valores registrados del ensayo de penetración cerca de la superficie del terreno para incluir el efecto de sobre capa, considerando que el valor de N sin esta corrección tiende a ser muy pequeño y se calcula con la ecuación 3.15 (Skempton, 1986).

$$Cn = \frac{2}{1 + Pa} \quad (3.15)$$

$$Pa = \frac{\gamma h}{Patm} \quad (3.16)$$

Donde:

P_a : Presión de confinamiento (Kg/cm^2)

γ : Peso específico del suelo (Kg/m^3)

h : Profundidad de análisis (m)

P_{atm} : Presión atmosférica (1 Kg/cm^2)

3.5.3.2 Corrección por energía (η_1)

Varios investigadores han señalado que la energía que recibe el tomamuestra a causa del martillo como un factor principal de la variabilidad señalada, debido a que el conteo de golpes varía inversamente a dicha energía. Los estudios de Schmertmann (1978) y por Kovacs y Salomone (1982) demuestran que la cantidad de energía entregada a las barras de perforación es el factor que más afecta al N medido y por tal razón se debe de corregir dicho valor (Delgado, 1999).

Si se obtienen N golpes por medio de un sistema con relación de energía conocida E_r , la ecuación 3.17 permite calcular el N_{corr} referido a un sistema con relación de energía estándar E_{RS} (Delgado, 1999).

$$N_{corr} = N_{cam} \left(\frac{E_r}{E_{RS}} \right) \quad (3.17)$$

E_r : Energía de referencia (% de energía entregada al martillo durante el ensayo)

E_{RS} : Energía de referencia estándar (% de la energía entregada respecto a la energía teórica de caída libre).

De acuerdo con Bowles (1988) según (Delgado, 1999) se han propuesto varias sugerencias para la relación de energía estándar, que pueden resumirse en la tabla 3.6.

Tabla 3.7: Relación de energía estándar (Delgado, 1999)

ERs (%)	Referencia
50-55	Schmertmann (Según Robertson et al, 1983)
60	Seed et al (1985); Skempton (1986)
70-80	Riggs (1986)

Se considera que para un martillo anular $ER=45\%$ y para un martillo de seguridad $ER=60\%-100\%$. En Estados Unidos se considera que $E_{RS}=ER=60\%$ siendo un valor representativo, mientras que para Japón el valor representativo puede ser $ER=72\%$. La tabla 3.7 muestra los valores de η_1 usados en diferentes países según el tipo de martillo y procedimiento aplicado en la prueba.

Tabla 3.8: Valores de η_1 según el tipo de martillo y procedimiento del SPT (López, 2003)

País	Tipo de martillo	Procedimiento	η_1
Japón	Anular	Caída libre	1.3
	Anular	Cuerda con polea especial tirado a mano	1.12
E.E.U.U	Seguridad	Cuerda con polea tirado a mano	1*
	Anular	Cuerda con polea tirado a mano	0.75*
Europa	Anular	Caída libre	1.00*
China	Anular	Caída libre	1.00*
	Anular	Cuerda con polea tirado a mano	0.83
Colombia	Anular	Cuerda con polea tirado a mano	0.75*
*Con ERs usada en Estados Unidos			

3.5.3.3 Corrección por longitud de barras (η_2)

Según Seed (1985), cuando la longitud de las barras de perforación es inferior a 3m hay una reflexión (retroceso) en las mismas que reduce la energía disponible que le llega al sacamuestras para generar su penetración. La reflexión entonces genera un aumento de la resistencia a la penetración y por tal razón se toma en cuenta esta corrección.

Tabla 3.9: Factores de corrección por longitud de barra (Bowles, 1997)

Longitud (m)	η_2
>10	1.00
6-10	0.95
4-6	0.85
0-4	0.75

3.5.3.4 Corrección por tomamuestras (η_3)

Los sacamuestras partidos normalizados según ASTM tienen un diámetro interno de 35 mm (1 3/8”) incluyendo el tubo portamuestras. Si no se emplea un portamuestras interno de PVC entonces el diámetro interior es de 38 mm (1 1/2”). En este caso la fricción desarrollada por el suelo contra la interior del sacamuestras disminuye.

Tabla 3.10: Factor de corrección por tomamuestra (Bowles, 1997)

Tomamuestra		η_3
Sin revestimiento		1.00
Con revestimiento	Arena densa, arcilla	0.80
	Arena suelta	0.90

3.5.3.5 Corrección del diámetro de perforación (η_4)

La presión de confinamiento que proporciona el suelo alrededor de la perforación afecta la resistencia del suelo a la penetración. Si el ensayo se efectúa en una perforación de gran diámetro se pierde parte de este confinamiento. El ensayo de penetración estándar se hace convencionalmente en una perforación de 6.35 cm de diámetro. En la tabla 3.10 se muestran los factores de corrección para diferentes diámetros de perforación.

Tabla 3.11: Factor de corrección por diámetro de la perforación (Bowles, 1997)

Diámetro de la perforación (mm)	η_4
60-120	1.00
150	1.05
200	1.15

El uso de los factores η_2 , η_3 y η_4 generalmente se deja al criterio del ingeniero de suelos, debido a que estos para determinados valores, tienden a dar un valor de “N” muy alto, para eliminar este inconveniente se puede tomar directamente el valor 1 (uno) para todos los factores.

3.5.4 Aplicaciones

El ensayo de penetración estándar (SPT) es ampliamente aplicado en la exploración geotécnica debido a que existe una gran variedad de correlaciones entre el número de golpes del que se obtienen tras la ejecución del ensayo y algunos parámetros de geotecnia muy importantes en el diseño de una cimentación (Soriano, 2014).

Este método permite obtener parámetros de resistencia del suelo tales como, el ángulo de fricción, la cohesión, la resistencia al corte no drenada y algunos parámetros de deformabilidad como el módulo de Young, a partir de correlaciones propuestas por diferentes autores y que son de amplio uso en el diseño de diferentes estructuras geotécnicas dada la facilidad de su uso. Se han observado en general que los resultados que se obtienen son razonables y aproximados para el caso de suelos granulares a los que se podrían obtener de pruebas más complejas como es el caso de ensayos triaxiales y menos aproximadas para el caso de suelos cohesivos (Soriano, 2014).

3.5.4.1 Angulo de fricción

Es la resistencia al deslizamiento causado por la fricción que hay entre las superficies de contacto de las partículas y de su densidad. Como los suelos granulares tienen superficies de contacto mayores y sus partículas especialmente si son angulares, presentan fricciones internas altas. En cambio, los suelos finos tienden a ser bajas (Soriano, 2014).

La fricción interna de un suelo, está definida por el ángulo cuya tangente es la relación entre la fuerza que resiste el deslizamiento, a lo largo de un plano, y la fuerza normal aplicada a dicho plano (Soriano, 2014).

El ángulo de fricción puede ser calculado en función del N corregido de la prueba SPT, existen muchas fórmulas realizadas por diferentes actores, las cuales se muestran en la Tabla 3.12 (Soriano, 2014).

Tabla 3.12 Correlaciones para obtener el ángulo de fricción interno a partir de N golpes corregidos (Soriano, 2014)

Referencia (Autor)	Año	Ecuación
Terzaghi y Peck	1948	$\phi = 28.5 + 0.25N_c$
Peck	1953	$\phi = 26.25x \left(2 - \left(e^{-\frac{N_c}{62}} \right) \right)$
Kishida	1969	$\phi = 15 + \sqrt{20N_c}$
Schmertmann	1970	$\phi = \tan^{-1} \left[\left(\frac{N_c}{32.5} \right)^{0.34} \right]$
JRB (Japan Road Bureau)	1986	$\phi = 15 + \sqrt{9,375N_c}$
Hatanaka y Uchida	1996	$\phi = \sqrt{20N_c} + 20$
JNR(Japan National Railway)	1999	$\phi = 27 + 0.3 N_c$
Montenegro y Gonzalez	2014	$\phi = 12,79 + \sqrt{25,86 N_c}$

3.5.4.2 Cohesión del suelo

Según Crespo (2007), la cohesión se puede definir como la adherencia entre las partículas del suelo debido a la atracción entre ellas en virtud de las fuerzas moleculares.

La cohesión de un suelo variará si cambia su contenido de humedad, esta se mide en Kg/cm². Los suelos arcillosos tienen cohesión alta de 0,25 kg/cm² a 1.5 Kg/cm², o más. Los suelos limosos tienen muy poca, y en las arenas la cohesión es prácticamente nula.

La cohesión del suelo es un componente del esfuerzo de corte del mismo y se puede obtener a través de pruebas de laboratorio y mediante pruebas de campo. Entre las pruebas de laboratorio están: compresión triaxial y por corte directo; por otro lado, en campo se utilizan: penetrometros, prueba de veleta y equipo de corte.

3.6 Capacidad de carga por Terzaghi

La carga admisible de una cimentación es aquella carga que al ser aplicada sin producir falla o daños en la estructura soportada, con la aplicación de un factor de seguridad. La carga admisible no solo está en función de las características del suelo sino que depende del tipo de cimentación y del factor de seguridad adoptado. (Crespo, 2007)

3.6.1 Tipos de falla

Las fallas por capacidad de carga se presentan debido a la rotura por corte del suelo de desplante de la cimentación. Existen tres tipos de falla bajo las cimentaciones: falla por corte general, falla por punzonamiento y falla por corte local (Crespo, 2007).

3.6.1.1 Falla por corte general

Según Crespo (2007), esta falla se caracteriza por la presencia de una superficie de deslizamiento continua dentro del terreno, que se inicia en el borde de la cimentación y que avanza hasta la superficie del terreno, es usualmente súbita y catastrófica y al menos que la estructura misma no permita la rotación de las zapatas ocurre con cierta visible inclinación de la cimentación, provocando un hinchamiento o bufamiento del suelo a los lados de la cimentación, aunque el colapso final del mismo se presenta de un solo lado, como se puede observar en la figura 3.4.

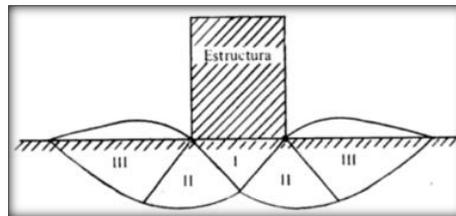


Figura 3.4 Falla por corte general (Crespo, 2007)

3.6.1.2 Falla por punzonamiento

En lo que se refiere a la falla por punzonamiento se caracteriza por un movimiento vertical de la cimentación mediante la compresión del suelo inmediatamente debajo de ella, la rotura de suelo se presenta por corte alrededor de la cimentación y casi no se observan los movimientos de este junto a la cimentación, manteniéndose el equilibrio tanto vertical como horizontal de la misma (Crespo, 2007).

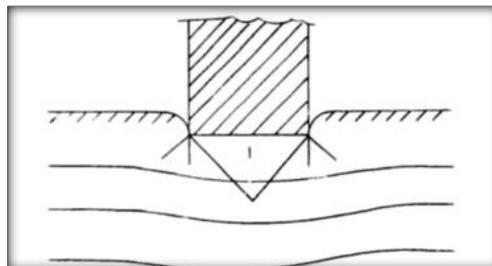


Figura 3.5 Falla por punzonamiento (Crespo, 2007)

3.6.1.3 Falla por corte local

Representa una transición entre las dos anteriores, pues tienen características tanto del tipo de falla por corte general como del de punzonamiento. En este tipo de falla existe una marcada tendencia al bufamiento del suelo a los lados de la cimentación y además la compresión vertical debajo de la cimentación es fuerte y las superficies de deslizamiento terminan en algún punto dentro de la misma masa de suelo (Crespo, 2007).

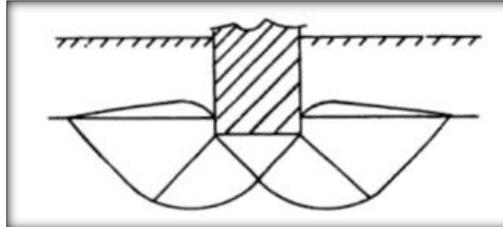


Figura 3.6 Falla por corte local (Crespo, 2007)

3.6.2 Teoría de Terzaghi.

Terzaghi fue el primer investigador que presentó una teoría completa para la evaluación de la capacidad de carga última de cimentaciones superficiales. En la cual dice, que una cimentación es superficial si la profundidad de desplante es menor o igual que el ancho de la misma. Sin embargo otros investigadores sugieren que los cimientos con niveles de desplantes iguales a 3 o 4 veces el ancho de la cimentación deberían clasificarse como cimentaciones superficiales (Das, 2001).

Terzaghi sugirió que para una cimentación corrida la superficie de falla en el suelo bajo carga ultima puede suponerse similar a la mostrada en la figura 3.7. Donde el efecto del suelo arriba del fondo de la cimentación puede suponerse reemplazado por una sobrecarga equivalente efectiva al peso específico por el desplante. La zona de falla bajo la cimentación puede separarse en tres partes tal como se muestra en la figura 3.7 (Das, 2001).

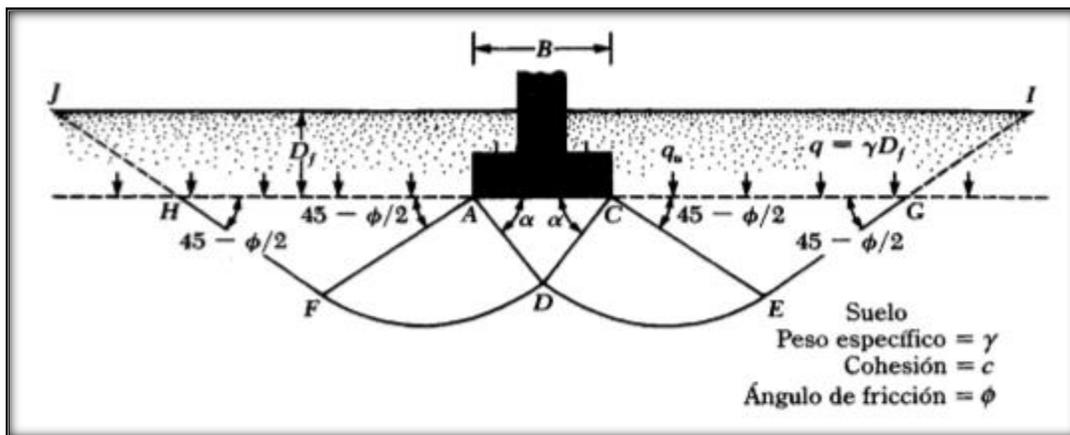


Figura 3.7. Falla por capacidad de carga en suelo bajo una cimentación rígida corrida (Das, 2001)

La zona de falla bajo la cimentación se puede expresar en tres partes:

1. La zona triangular ACD inmediatamente debajo de la cimentación.
2. Las zonas de corte radiales ADF y CDE, con las curvas DE y DF como arcos de una espiral logarítmica.
3. Dos zonas pasivas de *Rankine triangulares* AFH y CEG

Usando el análisis de equilibrio, Terzaghi expreso la capacidad de carga última en las siguientes formulas (Das, 2001).

$$q_u = CN_c + \gamma_1 D_f N_q + 0.5\gamma_2 BN_\gamma \quad (\text{cimentacion corrida}) \quad (3.18)$$

$$q_u = 1.3CN_c + \gamma_1 D_f N_q + 0.4\gamma_2 BN_\gamma \quad (\text{Cimentacion cuadrada}) \quad (3.19)$$

$$q_u = 1.3CN_c + \gamma_1 D_f N_q + 0.3\gamma_2 BN_\gamma \quad (\text{Cimentacion circular}) \quad (3.20)$$

Donde:

C : Cohesión del suelo (Kg/m^2)

γ_1 : Peso específico del suelo arriba del nivel de desplante (Kg/m^3)

D_f : Nivel de desplante (m)

γ_2 : Peso específico del suelo abajo del nivel de desplante (Kg/m^3)

B : Ancho del cimientto (m)

N_c, N_q, N_γ , son factores de capacidad de carga adimensionales que están únicamente en función del ángulo ϕ de fricción del suelo.

Los factores de capacidad de carga N_c, N_q, N_γ se calculan mediante las siguientes ecuaciones (Das, 2001):

$$N_c = \cot\phi(N_q - 1) \quad (3.21)$$

$$N_q = \frac{e^{2(3\pi/4 - \phi/2)\tan\phi}}{2\cos^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)} \quad (3.22)$$

$$N_\gamma = \frac{1}{2} \left(\frac{K_{py}}{\cos^2\phi} - 1 \right) \tan\phi \quad (3.23)$$

Donde K_{py} es el coeficiente de empuje pasivo

$$K_{py} = 3\tan^2\left(45 + \frac{\phi + 33}{2}\right) \quad (3.24)$$

3.7 Proceso de creación de un software

3.7.1 Software.

Se conoce como software al equipamiento lógico o soporte lógico de un sistema informático, el cual comprende un conjunto de los componentes lógicos necesarios que hacen posible la realización de tareas específicas, al contrario de los componentes físicos que son llamados hardware. Además, se conoce como el conjunto de los programas de cómputo, procedimientos, reglas, documentación y datos asociados, que forman parte de las operaciones de un sistema de computación (Gottfried, 2005).

3.7.2 Creación de un software.

Se define como proceso al conjunto ordenado de pasos a seguir para llegar a la solución de un problema u obtención de un producto, en este caso particular, para lograr un producto software que resuelva un problema específico (Gottfried, 2005).

Según Gottfried (2005), el proceso de creación de software puede llegar a ser muy complejo, dependiendo de su porte, características y criticidad del mismo. Por ejemplo la creación de un sistema operativo es una tarea que requiere proyecto, gestión, numerosos recursos y todo un equipo disciplinado de trabajo. Desde el punto de vista de la ingeniería, incluye mínimamente los siguientes pasos:

- Reconocer la necesidad de un programa para solucionar un problema o identificar la posibilidad de automatización de una tarea.
- Recoger los requisitos del programa. Debe quedar claro qué es lo que debe hacer el programa y para qué se necesita.
- Realizar el análisis de los requisitos del programa. Deben quedar claro qué tareas debe realizar el programa. Las pruebas que comprueben la validez del programa se pueden especificar en esta fase.
- Diseñar la arquitectura del programa. Se debe descomponer el programa en partes de complejidad abordable.
- Implementar el programa. Consiste en realizar un diseño detallado, especificando completamente todo el funcionamiento del programa, tras lo cual la codificación (programación propiamente dicha) debería resultar inmediata.
- Implantar (instalar) el programa. Consiste en poner el programa en funcionamiento junto con los componentes que pueda necesitar (bases de datos, redes de comunicaciones, etc.).

El software que se va a desarrollar en esta investigación será programado en Visual Studio.NET, este programa permite crear aplicaciones en distintos lenguajes de programación como los son Visual C++, Visual C#, Visual F# y Visual Basic, en este caso se trabajara utilizando el lenguaje de programación C#.

3.7.3 Lenguaje de programación.

Es un conjunto de reglas y estándares que es utilizado para escribir programas de computador (software). El lenguaje C# (leído en inglés “C Sharp” y en español “C Almohadilla”) es el nuevo lenguaje de propósito general diseñado por Microsoft para su plataforma .NET. Sus principales creadores son Scott Wiltamuth y Anders Hejlsberg. C# es un lenguaje de programación que toma las mejores características de lenguajes preexistentes como Visual Basic, Java o C++ y las combina en uno solo (González, 2003).

Para poder diseñar algoritmos es necesario disponer de una notación, que denominada ‘notación algorítmica’, la cual debe permitir:

- Describir las operaciones puestas en juego (acciones, instrucciones, comandos)
- Describir los objetos manipulados por el algoritmo (datos/informaciones)
- Controlar la realización de las acciones descritas, indicando la forma en que estas se organizan en el tiempo.

Para describir un algoritmo se debe realizar una descripción paso a paso con un lenguaje natural del citado, debido a que un algoritmo es un método o conjunto de reglas para solucionar un problema (González, 2003).

3.7.4 Algoritmos.

En matemáticas, lógica, ciencias de la computación y disciplinas relacionadas, un algoritmo es un conjunto prescrito de instrucciones o reglas bien definidas, ordenadas y finitas que permite realizar una actividad mediante pasos sucesivos que no generen dudas a quien deba realizar dicha actividad, es decir dados un estado inicial y una entrada, siguiendo los pasos sucesivos se llega a un estado final y se obtiene una solución. Los algoritmos pueden seguir paso, normas o métodos ya existentes lo cual permite el desarrollo de los pasos en orden lógico que se deben escribir para llegar a un resultado o solución (González, 2003).

3.7.5 Visual estudio.

Microsoft Visual Studio es un entorno de desarrollo integrado (figura 3.8) (IDE, por sus siglas en inglés) para sistemas operativos Windows. Soporta múltiples lenguajes de programación tales como C++, C#, Visual Basic .NET, F#, Java, Python, Ruby, PHP; al igual que entornos de desarrollo web como ASP.NET MVC, Django, etc.,



Figura 3.8 Interfaz de Visual Studio

4. Hipótesis

Con el diseño del software en base a las normas y condiciones de los métodos para la clasificación de suelos y capacidad de carga se podrán obtener resultados confiables y funcionales.

5. Diseño metodológico

5.1 Tipo de estudio

Este estudio es descriptivo y analítico, porque se presentan las propiedades de los suelos en función de pruebas de laboratorio y ecuaciones programadas, también se muestran resultados mediante gráficas y porcentajes que facilitan la clasificación de un determinado suelo. Además, este estudio es aplicado, ya que se basa en resolver la cantidad de tiempo que se invierte en la solución manual de los cálculos que realiza el software. Mencionar las características de un suelo crea una mejor caracterización de este, y facilita la toma de decisiones sobre la calidad y resistencia del material.

5.2 Área de estudio

El área de estudio donde se encuentra esta investigación es en Geología, en los laboratorios de suelos y en las construcciones de obras civiles.

5.3 Universo y muestra

En el estudio de clasificación de suelo, se considera como universo todos los materiales a los que se les pueda realizar granulometría, hidrometría y límites de consistencia; y para determinar propiedades mecánicas se hizo uso del SPT.

La muestra son los datos de estudios geotécnicos proporcionados por el Instituto de Geología y Geofísica (IGG-CIGEO) de la universidad UNAN-Managua.

5.4 Fuentes y técnicas de recopilación de datos

5.4.1 Fuentes de información Primaria.

- Laboratorios del Instituto de Geología y Geofísica (IGG-CIGEO) de la UNAN-Managua para determinar las propiedades de los suelos.
- Ingeniería en sistemas y licenciatura en computación para el desarrollo y programación del software.
- Departamento de construcción de la UNAN-Managua (Docentes de mecánica de suelos)
- Área de geotecnia del CIGEO, UNAN-Managua
- Laboratorios de computación, UNAN-Managua
- Trabajos de campo con el equipo SPT

5.4.2 Fuentes de información secundaria.

- Libros de Mecánica de Suelos, donde se explique el procedimiento del método HRB o AASTHO para clasificar suelo.

- Libros de Mecánica de Suelos, donde se explique el procedimiento del método SUCS para clasificar suelo
- Ejemplos de clasificación de suelos a través de los dos métodos antes mencionados contenidos en los libros de mecánica de suelo.
- Biblioteca de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-Managua) para revisar y recopilar información de libros de Suelos, Geología, Programación, así como documentos monográficos de mecánicas de suelo.
- Bibliografía de Mecánica de Suelos sobre Límites de Atterberg.
- Libros de programación en C# y visual estudio.
- Libros de Mecánica de Suelo donde se explique procedimiento de la prueba SPT.
- Libros sobre capacidad de carga de suelos usando la teoría de Terzaghi.
- Hojas de Excel que contengan los procedimientos para clasificar suelos y determinar capacidad de carga.

5.5 Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos

Instrumentos de recopilación de datos.

- Mallas o tamices de diferentes diámetros para cribar muestras de suelo.
- Aparato de casa grande para determinar límite líquido.
- Equipo para determinación de límite plástico
- Equipo de hidrometría
- Equipo de gravedad específica
- Horno eléctrico para secado de muestras.
- Herramientas para el manejo de las muestras.
- Equipo de ensayo SPT

5.6 Técnicas para el procesamiento de datos

- Se cribarán las muestras de suelos para obtener los porcentajes retenidos en las mallas establecidas.
- Procedimiento de laboratorio para determinar Límites de Atterberg.
- Los procedimientos establecidos por los métodos AASTHO y SUCS para clasificar suelos serán diseñados en lenguaje natural.
- Una vez diseñado los procedimientos de clasificación de suelos en lenguaje natural se programarán en lenguaje de programación.
- Para determinar capacidad de carga se programarán las ecuaciones tomando en cuenta las condiciones que presenten estas.
- Se diseñarán celdas, gráficas, tablas e interfaces para el ingreso de datos y resultados.

5.7 Técnicas de análisis de datos

- El tipo de suelo será descrito en función de los métodos de clasificación antes mencionados, además se presentarán los porcentajes de suelos (gravas arenas y finos).
- Se presentarán gráficos que permiten caracterizar mejor el tipo de suelo en estudio, tales como curva granulométrica y carta de plasticidad.
- Los resultados sobre capacidad de carga serán analizados teniendo en cuenta las limitaciones y parámetros de los métodos.
- Tanto para clasificación de suelo y capacidad de carga se presentarán los resultados más importantes de una manera organizada y clara.
- Algunos resultados tendrán la opción de ser exportados, ya que estos contienen muchos datos.
- Todos los resultados que se obtengan en el software serán comparados con los resultados del IGG-CIGEO de la UNAN-Managua, ya que se utilizarán los mismos datos de entrada.

6. Desarrollo

6.1 Variables de clasificación de suelo y capacidad de carga

6.1.1 Variables

En programación las variables son espacios reservados en la memoria y como su nombre lo indica, pueden cambiar de contenido a lo largo de la ejecución de un programa. Una variable corresponde a un área reservada en la memoria principal del ordenador y permiten obtener un resultado derivado de una ecuación y condición.

6.1.2 Tipos de variables

En la programación tanto para clasificación de suelos y capacidad de carga, se definieron tipos de variables, las cuales se encuentran dentro de los procedimientos y parámetros que dichos métodos establecen.

- Variables dinámicas de entrada

Se definió que este tipo de variable es la que el usuario tiene que ingresar para realizar cálculos y obtener resultados adecuados, por lo que se puede decir que estas variables son las que hacen funcionar el código del programa.

- Variables dinámicas de resultados

Estas guardan resultados generados por los datos de entrada, ecuaciones y condiciones. Estas variables pueden ser mostradas al usuario o estar guardadas dentro del código del programa

6.1.3 Variables de clasificación de suelo

Para que un suelo pueda ser clasificado, se tienen que cumplir ciertas condiciones, en estas se incluyen los análisis granulométricos, límites de Atterberg y en algunos tipos de suelos pruebas de hidrometría.

6.1.3.1 Variables de granulometría

Las variables que presenta el análisis granulométrico son variables dinámicas y también variables de entrada, debido a que el usuario puede introducir y modificar los datos correspondientes; además de ello, las variables que guardan resultados también se consideran dinámicas porque están en dependencia de las variables de entrada.

- Variables de entrada.

Pesos retenidos en los tamices 3, 2 ½ , 2, 1 ½ , 1, ¾, ⅜ , ¼, No 4, No 10, No 20, No 40, No 60, No 100, No 140, No 200, Pasa No 200

Límites de Atterberg: Limite líquido, Limite plástico.

- **VARIABLES DE RESULTADOS.**

Pesos en porcentajes de los tamices 3, 2 ½ , 2, 1 ½ , 1, 3/4, 3/8 ,1/4, No 4, No 10, No 20, No 40, No 60, No 100, No 140, No 200.

Pesos acumulados de los tamices 3, 2 ½ , 2, 1 ½ , 1, 3/4, 3/8 ,1/4, No 4, No 10, No 20, No 40, No 60, No 100, No 140, No 200.

Porcentajes que pasan de los tamices 3, 2 ½ , 2, 1 ½ , 1, 3/4, 3/8 ,1/4, No 4, No 10, No 20, No 40, No 60, No 100, No 140, No 200.

6.1.3.2 Variables de hidrometría

Se analizó el método de hidrometría para identificar las variables de entrada y variables de resultados que se generan, el procedimiento consiste en anotar lecturas del hidrómetro y temperaturas de la suspensión del suelo para cada tiempo establecido

- **VARIABLES DE ENTRADA DETERMINADAS.**

Temperaturas y lecturas del hidrómetro para los tiempos 0.5, 1, 2, 4, 6, 8, 15, 30, 60, 120, 1144, 1440 minutos respectivamente.

Peso de la muestra (grs)

Gravedad específica (gr/cm³)

Porcentaje que pasa la malla No 200

Lectura del hidrómetro en agua defloculante para los tiempo 0.5, 1, 2, 4, 6, 8, 15, 30, 60, 120, 1144, 1440 minutos respectivamente.

- **VARIABLES ESTÁTICAS Y CONDICIONADAS DENTRO DEL PROGRAMA.**

Profundidad efectiva “L” (cm), en función de la lectura del hidrómetro.

Valor K, está en función de la gravedad específica y la temperatura.

Corrección por temperatura (°C).

Corrección por menisco, está en función del hidrómetro a utilizarse en este caso un hidrómetro H-151.

- **VARIABLES DE RESULTADOS.**

Lectura corregida (R), Corrección por defloculante, diámetro, porcentajes de finos, porcentajes que pasan y porcentajes retenidos para los tiempos 0.5 , 1, 2, 4, 6, 8, 15, 30, 60, 120, 1144, 1440 minutos respectivamente.

6.1.4 Variables de capacidad de carga

6.1.4.1 Variables de la prueba SPT

- Variables de entrada del ensayo SPT

Valor N1 para el número de golpes en los primeros 15 cm

Valor N2 para el número de golpes en los segundos 15 cm (profundidad de 30 cm)

Valor N3 para el número de golpes en los terceros 15 cm (profundidad de 45 cm)

Se crearon variables de entrada N1, N2, N3 para cada 0.45 m de penetración que se realicen.

Peso específicos correspondientes a cada 45 cm

Número de sondeo

Elevación del sondeo (m)

Profundidad del sondeo (m)

Valores de corrección n_1, n_2, n_3, n_4

- Variables de resultados.

N de campo para cada incremento de 45 cm

Profundidades a cada 45 cm hasta llegar a la profundidad del sondeo.

Corrección por confinamiento

Elevaciones en decrementos de 45 cm hasta llegar a las profundidades del sondeo

N corregidos por cada 45 cm hasta llegar a la profundidad del sondeo.

Capacidad de carga a cada 45 cm hasta llegar a la profundidad del sondeo.

6.1.4.2 Variables de la Teoría de Terzaghi

- Variable de entrada con ecuaciones de Terzaghi.

Número de estratos

Cohesión de cada estrato

Peso específico de cada estrato.

Ángulo de fricción de cada estrato.

Espesor de cada estrato.

Ancho de zapata.

Nivel de desplante.

Factor de seguridad

Tipo de cimentación (Continua, cuadrada, circular).

- **Variables de resultados.**

Ángulo de fricción ponderado

Cohesión ponderada

Peso específico ponderado

Factor q el cuál es la multiplicación del espesor y el peso específico de cada estrato por encima de la zapata.

Factores de forma S_c y S_γ

Factores de carga N_c , N_q y N_γ

Capacidad de carga a cada 45 cm hasta llegar a la profundidad del sondeo.

6.2 Interfaz del software

Para la creación de la interfaz del software, se analizaron detalladamente los procedimientos, consideraciones y ecuaciones que los métodos establecen, esto para identificar la cantidad de los datos necesarios para que el programa funcione de manera eficiente. Además, se identificaron las variables de entrada tanto para clasificación de suelos, como para capacidad carga con Terzaghi y SPT, luego se definió el orden de los textos indicativos, campos dinámicos, componentes para gráficos y temas de interfaz. En la Figura 6.1 se muestra la interfaz de inicio del Software C.CAPS.



Figura 6.1 Interfaz de inicio del software

6.2.1 Pestaña para el ingreso de datos de clasificación de suelos

Se diseñó una interfaz que se caracterice por la legibilidad de los campos en donde se deben de ingresar los datos de entrada. Para ello se diseñaron 2 pestañas, en la primera (Figura 6.12) se deberán ingresar los datos de granulometría, en la cual se presenta el listado de las mallas principales que utilizara el Software y a la par una caja de texto en la que el usuario deberá ingresar el peso retenido; también se presentan cajas de texto para el ingreso de límites de Atterberg, los cuales son datos necesarios para clasificar suelos que tengan propiedades plásticas; la segunda pestaña (Figura 6.13) está diseñada para ingresar datos de hidrometría tales como: peso de la muestra, gravedad específica, lecturas hidrométricas y temperaturas.

Datos de Granulometría		Datos de Hidrometría	
Mallas	Peso retenido (grs)	Mallas	Peso retenido (grs)
3"	<input type="text"/>	N 4	<input type="text"/>
2 1/2"	<input type="text"/>	N 10	<input type="text"/>
2"	<input type="text"/>	N 20	<input type="text"/>
1 1/2"	<input type="text"/>	N 40	<input type="text"/>
1"	<input type="text"/>	N 60	<input type="text"/>
3/4"	<input type="text"/>	N 100	<input type="text"/>
3/8"	<input type="text"/>	N 140	<input type="text"/>
1/4"	<input type="text"/>	N 200	<input type="text"/>
		Pasa N 200	<input type="text"/>
Límites de Atterberg			
Límite líquido	<input type="text" value="0"/>	Índice Plasticidad:	<input type="text" value="0"/>
Límite Plástico	<input type="text" value="0"/>		

Figura 6.3 Pestaña para el ingreso de datos de granulometría

Datos de Granulometría		Datos de Hidrometría	
Peso de la muestra (grs)	<input type="text"/>	Gravedad específica (gr/cm ³)	<input type="text"/>
Lectura del hidrómetro en agua con defloculante (gr/cm ³)	<input type="text"/>		
Tiempo (min)	Lectura del hidrómetro (gr/cm ³)	Temperatura (°C)	
0.5	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
2	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
4	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
8	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
15	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
30	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
60	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
120	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
1144	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
1440	<input type="text"/>	<input type="text"/>	

Figura 6.2 Pestaña para el ingreso de datos de hidrometría

6.2.2 Pestañas de resultados de clasificación de suelos

Se propuso presentar los datos resultantes de los análisis granulométricos e hidrométricos de manera resumida, por tal razón, se creó una pestaña en la cual se presentan las mallas utilizadas en el software, con su valor de diámetro equivalente y su respectivo porcentaje que pasa (ver Figura 6.4).

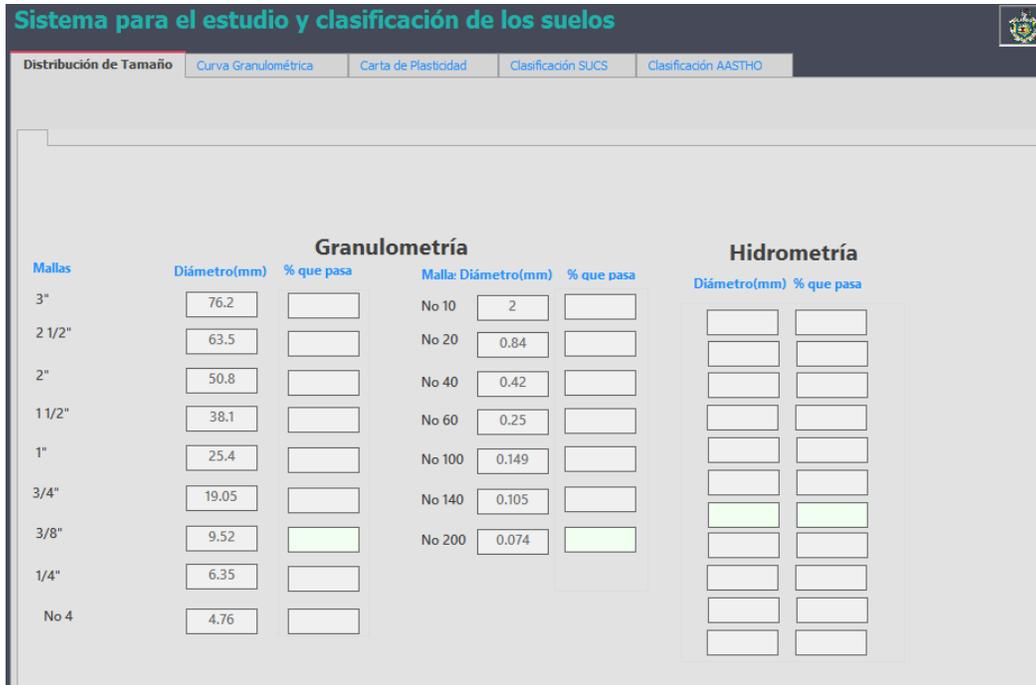


Figura 6.4 Pestaña de distribución de tamaños

6.2.3 Pestaña de curva granulométrica

En la interfaz de la curva granulométrica se creó una gráfica semilogarítmica, en la cual el eje 'X' presenta el porcentaje que pasa y el eje 'Y' el diámetro en unidades de milímetros. Además presenta los valores D10, D30 y D60 así como también los coeficientes de curvatura y uniformidad. En la figura 6.5 se puede observar el formato en el cual se creara dicha curva.

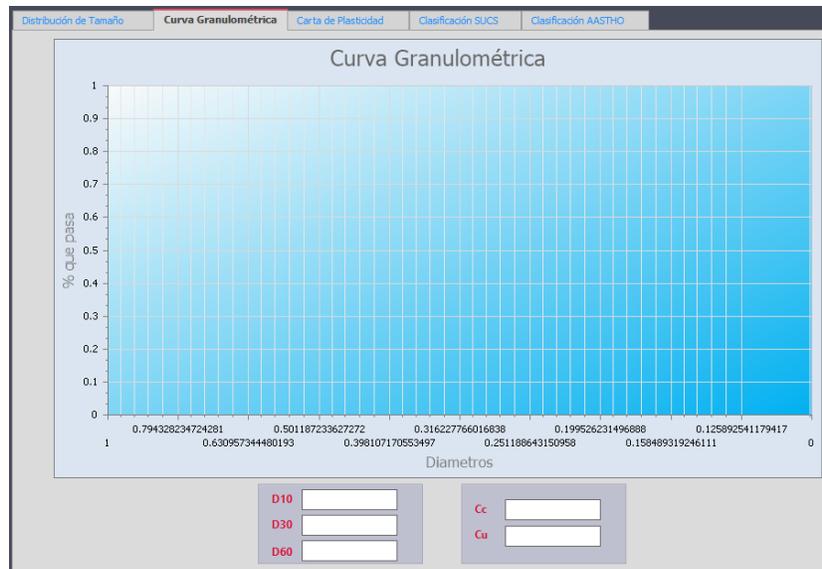


Figura 6.5 Pestaña de la curva granulométrica

6.2.4 Pestaña de carta de plasticidad.

El diseño de la carta de plasticidad gráfica en el eje de las 'X' el límite líquido y el eje de las 'Y' el índice de plasticidad, esta gráfica está dividida en áreas a partir de rectas y que representa un tipo de suelo.

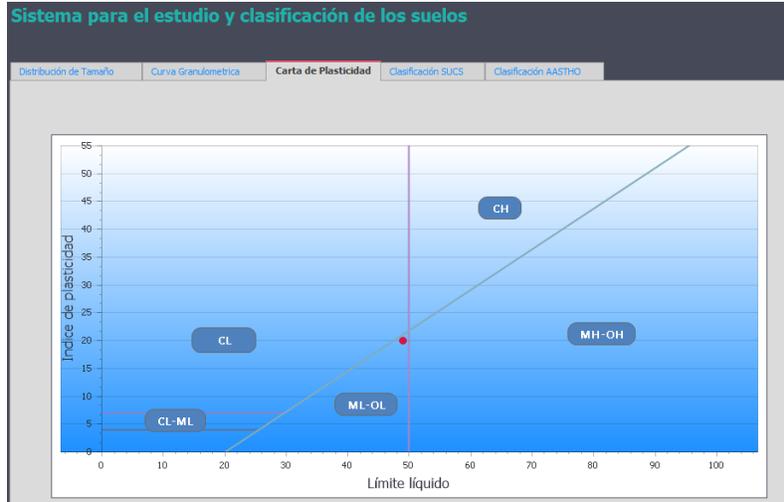


Figura 6.6 Pestaña de carta de plasticidad

6.2.5 Pestaña de clasificación SUCS

Se definió un pestaña que presente el tipo de suelo, característica y descripción, para tener una mejor idea del comportamiento porcentual de los granos, en donde se muestran los porcentajes de gravas, arenas y finos (figura 6.7).

Figura 6.7 Pestaña de clasificación SUCS

6.2.6 Pestaña de clasificación AASTHO

Al igual que en la pestaña de clasificación SUCS, en la figura 6.8 se observa que la clasificación AASTHO presenta los campos tales como: el tipo de suelo, su característica y los porcentajes de suelos (Grava, arena y finos).

The image shows a software interface titled "Sistema para el estudio y clasificación de los suelos". It features a navigation bar with five tabs: "Distribución de Tamaño", "Curva Granulometrica", "Carta de Plasticidad", "Clasificación SUCS", and "Clasificación AASTHO". The "Clasificación AASTHO" tab is currently selected. Below the navigation bar, there are several input fields for data entry:

- Tipo de Suelo:
- Característica:
- Porcentaje de Grava:
- Porcentaje de Arena:
- Porcentaje de Fino:
- Porcentaje de Limo:
- Porcentaje de Arcilla:

Figura 6.8 Pestaña de clasificación AASTHO

6.2.7 Capacidad de carga con Terzaghi

En esta pestaña se ingresa el número de estratos que se van a analizar, la máxima capacidad que tiene el software para realizar esta acción es de 6 estratos. El usuario deberá ingresar el número de estratos y dar clic en el botón "generar", el cual crea y presenta los campos de las propiedades de cada estrato, en la parte inferior se presentan los campos para el ingreso de valores propios de la cimentación, la opción de seleccionar el tipo de zapata que se desea analizar, un campo para presentar el resultado de capacidad de carga, el botón limpiar y un espacio en la esquina inferior derecha en el cual se mostrara una figura ideal de la posición de la zapata con respecto a los estratos existentes (figura 6.9).

Número de estratos **Generar**

Estrato	Cohesión del Suelo (kg/m ²)	Peso específico (kg/m ³)	Angulo de fricción(°)	Espesor (m)

Ancho de la zapata (m)
 Diámetro de la zapata (m)
 Nivel de desplante (m)
 Factor de seguridad

Capacidad de carga (Kg/cm²)

Seleccionar tipo de zapata

Continua **Cuadrada** **Circular**

Limpiar

Exportar

Figura 6.9 Pestaña de ingreso de datos y resultados para capacidad de carga por Terzaghi

6.2.8 Capacidad de carga con SPT

Se diseñó esta pestaña (figura 6.10) de manera que el usuario ingrese el número de sondeo en el campo que dice “Cantidad de sondeo”, luego deberá dar enter para que se creen ciertos campos, en donde, el usuario deberá introducir los datos de entrada referente a la prueba SPT.

Capacidad de Carga SPT

Cantidad de sondeo

Sondeo 1 **Sondeo 2** Sondeo 3 Sondeo 4 Sondeo 5

Elevación del sondeo (m) **Calcular**

Profundidad del sondeo (m)

Introduzca valores de corrección n según su criterio

Corrección por energía, n1 Corrección por tomamuestras, n3

Corrección por longitud de barras, n2 Corrección por el diámetro de perforación, n4

Profundidad(m)	N1	N2	N3	N de Campo	Peso específico (kg/m ³)

Limpiar **Capacidad de carga**

Figura 6.10 Pestaña de ingreso de datos y resultados para capacidad de carga por SPT

6.3 Programación para clasificar suelos

Para programar que el software pueda clasificar un suelo, lo primero que se realizó fue escribir en lenguaje natural todos los pasos, datos o procedimientos de laboratorio que se necesitan para dicho propósito, los cuales fueron distribución de tamaño de las partículas, granulometría, hidrometría, curva granulométrica y carta de plasticidad. Una vez escrito los algoritmos antes mencionados se procedió a escribir los algoritmos naturales para los 2 métodos de clasificación y posteriormente se usó el programa Visual Studio para escribir esta información en lenguaje de programación.

6.3.1 Distribución de tamaños

En esta parte se diseñó el programa para que presente los resultados principales de granulometría e hidrometría; en granulometría se va a presentar el nombre de la malla, su equivalente en diámetro y el porcentaje que pasa; en hidrometría se mostrará el valor del diámetro y su porcentaje que pasa.

6.3.2 Granulometría

Para que el software realice el cálculo de granulometría se necesitan los datos de entrada del usuario, a partir de los cuales se obtendrán los resultados de la tabla granulométrica.

6.3.2.1 Datos de entrada

Solo hay un tipo de dato, y es el peso retenido en gramos de cada malla, a partir de ellos se calculan los pesos retenidos en porcentaje, los pesos retenidos acumulados en porcentaje y los porcentajes que pasan; cada uno de estos cálculos se identifica con la siguiente nomenclatura.

PR: Peso retenido en gramos

PR%: Peso retenido en porcentaje

PRA%: Peso retenido acumulado en porcentaje

% Que pasa: Porcentaje que pasa

6.3.2.2 Peso total de la muestra

El primer cálculo que se realiza es la suma de todos los pesos retenidos que introduce el usuario y da como resultado el peso total (ST), el cual se plantea de la siguiente manera:

$$ST = PR3 + PR212 + PR2 + PR112 + PR1 + PR34 + PR38 + PR14 + PR4 + PR10 \\ + PR20 + PR40 + PR60 + PR100 + PR140 + PR200 + PP200$$

La simbología PR significa peso retenido y el valor que tiene al lado se refiere al nombre de las mallas.

6.3.2.3 Peso retenido en porcentaje

Luego se calcula el peso retenido en porcentaje de cada malla, que resulta de dividir el peso retenido de cada malla entre el peso total y multiplicarlo por cien, es decir:

$$PR\% = \frac{PR}{ST} * 100$$

Cada peso retenido en porcentaje se simboliza con PRP y a la par se le escribe el nombre de cada malla, la ecuación para calcular cada peso queda de la siguiente manera (tabla 6.1):

Tabla 6.1 Ecuaciones de los pesos retenidos en porcentajes

Pesos retenidos en porcentaje para cada malla	
$PRP3 = \frac{PR3}{ST} \times 100$	$PRP4 = \frac{PR4}{ST} \times 100$
$PRP212 = \frac{PR212}{ST} \times 100$	$PRP10 = \frac{PR10}{ST} \times 100$
$PRP2 = \frac{PR2}{ST} \times 100$	$PRP20 = \frac{PR20}{ST} \times 100$
$PRP112 = \frac{PR112}{ST} \times 100$	$PRP40 = \frac{PR40}{ST} \times 100$
$PRP1 = \frac{PR1}{ST} \times 100$	$PRP60 = \frac{PR60}{ST} \times 100$
$PRP34 = \frac{PR34}{ST} \times 100$	$PRP100 = \frac{PR100}{ST} \times 100$
$PRP38 = \frac{PR38}{ST} \times 100$	$PRP140 = \frac{PR140}{ST} \times 100$
$PRP14 = \frac{PR14}{ST} \times 100$	$PRP200 = \frac{PR200}{ST} \times 100$

6.3.2.4 Peso retenido acumulado en porcentaje

Posteriormente se calcula el peso retenido acumulado en porcentaje, en el que se va sumando el acumulado de cada peso retenido en porcentaje. Cada peso se simboliza con PRA y a la par se le escribe el nombre de la malla correspondiente, la ecuación para calcular cada peso se puede observar en la tabla 6.2.

Tabla 6.2 Ecuaciones de los pesos retenidos acumulados en porcentajes

Peso retenido acumulado en porcentaje para cada malla	
$PRA3 = PRP3$	$PRA4 = PRA14 + PRP4$
$PRA212 = PRA3 + PRP212$	$PRA10 = PRA4 + PRP10$
$PRA2 = PRA212 + PRP2$	$PRA20 = PRA10 + PRP20$
$PRA112 = PRA2 + PRP112$	$PRA40 = PRA20 + PRP40$
$PRA1 = PRA112 + PRP1$	$PRA60 = PRA40 + PRP60$
$PRA34 = PRA1 + PRP34$	$PRA100 = PRA60 + PRP100$
$PRA38 = PRA34 + PRP38$	$PRA140 = PRA100 + PRP100$
$PRA14 = PR38 + PRP14$	$PRA200 = PRA140 + PRP200$

6.3.2.5 Porcentaje que pasa

Por último, se calcula el porcentaje que pasa por cada tamiz y se realiza restándole al número 100 el peso retenido acumulado en porcentaje. Las ecuaciones para este cálculo se muestran en la tabla 6.3.

Tabla 6.3 Ecuaciones de los porcentajes que pasan por cada malla

Porcentaje que pasa por cada malla	
$PQ3 = 100 - PRA3$	$PQ4 = 100 - PRA4$
$PQ212 = 100 - PRA212$	$PQ10 = 100 - PR10$
$PQ2 = 100 - PRA2$	$PQ20 = 100 - PRA20$
$PQ112 = 100 - PRA112$	$PQ40 = 100 - PRA40$
$PQ1 = 100 - PRA1$	$PQ60 = 100 - PRA60$
$PQ34 = 100 - PRA34$	$PQ100 = 100 - PRA100$
$PQ38 = 100 - PRA38$	$PQ140 = 100 - PRA140$
$PQ14 = 100 - PRA14$	$PQ200 = 100 - PRA200$

6.3.3 Hidrometría

Para realizar el cálculo de la hidrometría, el usuario deberá introducir los datos de entrada y posteriormente el software realizará los respectivos cálculos.

6.3.3.1 Datos de entrada

Tiempo en minutos
Lectura del hidrómetro no corregida
Peso de la muestra
Gravedad específica
Lectura del hidrómetro en agua con defloculante.

6.3.3.2 Corrección por menisco (cm)

El valor de corrección por menisco (cm) es constante para un hidrómetro dado, este software se ha diseñado para trabajar con un Hidrómetro 151-H el cual posee un valor de corrección de 0.0006 g/cm^3 , debido a que es un valor estático se integró al software como un valor interno.

6.3.3.3 Profundidad efectiva (L)

Este valor está en dependencia de la lectura del hidrómetro, en el software se validaron los valores de profundidad efectiva para cada lectura que pueda tomar el hidrómetro. Por ejemplo, si el usuario introduce una lectura de 1.002 el software buscará en su base de datos y encontrará que el valor correspondiente a esta lectura es de 15.8 cm; de esta misma manera se validaron los demás valores, los cuales se muestran en la tabla 6.4.

Tabla 6.4 Profundidad efectiva (ASTM D 422-63, 2001)

Hidrómetro 151 H			
Lectura real del Hidrómetro	Profundidad efectiva "L" en cm	Lectura real del Hidrómetro	Profundidad efectiva "L" en cm
1	16.3	1.02	11
1.001	16	1.021	10.7
1.002	15.8	1.022	10.5
1.003	15.5	1.023	10.2
1.004	15.2	1.024	10
1.005	15	1.025	9.7
1.006	14.7	1.026	9.4
1.007	14.4	1.027	9.2
1.008	14.2	1.028	8.9
1.009	13.9	1.029	8.6
1.01	13.7	1.03	8.4
1.011	13.4	1.031	8.1
1.012	13.1	1.032	7.8
1.013	12.9	1.033	7.6
1.014	12.6	1.034	7.3
1.015	12.3	1.035	7
1.016	12.1	1.036	6.8
1.017	11.8	1.037	6.5
1.018	11.5	1.038	6.2
1.019	11.3		

6.3.3.4 Corrección por temperatura (ct)

Otro valor tabulado es la corrección por temperatura, en el software se validó la tabla que contiene estos valores para temperaturas de 10 °C a 30 °C, si el usuario introduce un valor de temperatura contenido en este rango el software buscará dentro de su base de datos el valor que le corresponda. Si la temperatura no está en el rango se tomará la del extremo más cercano a esta, por ejemplo, si la temperatura es 8 se tomará como si fuera de 10, o si es de 31 se tomará como si fuera de 30. A continuación se muestra la tabla 6.5 con las correcciones que define la norma.

Tabla 6.5 Corrección por temperatura (ASTM D 422-63, 2001)

Temperatura °C	Ct (g/cm ³)x 10 ⁻³
10	-1.3
11	-1.2
12	-1.1
13	-1.0
14	-0.9
15	-0.8
16	-0.6
17	-0.5
18	-0.3
19	-0.2
20	0.0
21	0.2
22	0.4
23	0.6
24	0.8
25	1.0
26	1.3
27	1.5
28	1.8
29	2.0
30	2.3

6.3.3.5 Valor K

Otro valor que se necesita en hidrometría es K, el cual depende de la temperatura de la suspensión y de la gravedad específica del suelo, este valor se encuentra tabulado para temperaturas de 16 a 30 °C y gravedades específicas de 2.45 a 2.85, pero dentro del software K será calculado de la siguiente manera:

$$K = \sqrt{\left[\frac{30\eta}{981(G_s - 1)\gamma_w} \right]}$$

η = Coeficiente de viscosidad del agua

G_s = Gravedad específica del suelo (g/cm^3)

γ_w = Peso específico del agua (g/cm^3)

$$\eta = 0.0178 - 5.684 \times 10^{-4}T + 1.115 \times 10^{-5}T^2 - 1.017 \times 10^{-7}T^3$$

T = Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

6.3.3.6 Lectura del hidrómetro corregida (R)

Para realizar este cálculo se programó en el software que el resultado será igual a la suma de la lectura hidrómetro no corregida (R') más la corrección por menisco (cm), lo cual se expresa en la siguiente ecuación.

$$R = R' + cm$$

6.3.3.7 Corrección por defloculante (cd)

En este cálculo, la corrección se obtiene a través de una sumatoria y por tanto su programación consiste en sumar los valores que se observan a continuación:

$$Cd = \tau' + cm \pm ct$$

τ' : Lectura del hidrómetro con defloculante únicamente

cm : Corrección por menisco

ct : Corrección por temperatura

6.3.3.8 Diámetro de las partículas (D)

Se calcula con la siguiente ecuación

$$D = K \sqrt{\frac{L}{T}}$$

K : Valor K descrito anteriormente

L : Profundidad efectiva (cm)

T : Tiempo (min)

6.3.3.9 Porcentajes de finos (Ni)

$$Ni = \frac{G_s}{G_s - 1} * \frac{Vol}{W_s} * \gamma_w * (R_r - R_w) * 100$$

G_s : Gravedad específica (g/cm³)

Vol : Volumen de la probeta (cm³)

W_s : Peso de la muestra seca (grs)

γ_w : Peso específico del agua (g/cm³)

R_r : Lectura del hidrómetro registrado (g/cm³)

R_w : Lectura del hidrometro en el agua a 20 °C que es igual a 1 (g/cm³)

6.3.3.10 Porcentaje que pasa (%QP)

$$\%QP = \frac{\%QP_{TN^{\circ}200}}{100} x Ni$$

6.3.3.11 Porcentaje retenido (%R)

$$\%R = \%QP_{TN^{\circ}200} - \%QP$$

6.3.3.12 Porcentaje de arcilla

Para determinar el porcentaje que pasa de arcilla se hará una interpolación para cada tipo de diámetro de los métodos de clasificación. Según el método AASTHO el diámetro de la arcilla es menor o igual a 0.002 mm y según el método SUCS el diámetro es menor o igual a 0.005mm. La interpolación se realizará con los datos de hidrometría mostrados en la tabla 6.6.

Tabla 6.6 Datos para calcular diámetro de la arcilla por interpolación

Diámetro (mm)	% Que pasa
Ø superior al de la arcilla	% del Ø superior
Ø de arcilla según método a usar	x
Ø inferior al de la arcilla	% del Ø inferior

$$x = \left(\frac{\phi_{superior} - \phi_{arcilla}}{\phi_{superior} - \phi_{inferior}} \right) * (\% \text{ del } \phi_{superior} - \% \text{ del } \phi_{inferior}) * (-1)$$

6.3.3.13 Porcentaje de limos

Una vez obtenido el porcentaje de arcilla se determina la cantidad de limos, debido a que ambos suelos conforman las partículas finas que pasan por la malla número 200. Por tanto, al restar el porcentaje que pasa por el tamiz número 200 menos la cantidad de arcilla, el resultado es la cantidad de limos, es decir:

$$\% \text{ Limo} = \% QP_{TN^{\circ}200} - \% \text{ arcilla}$$

6.3.3.14 Porcentaje de grava

Tanto el método AASTHO como el SUCS tienen definidos los diámetros de las partículas de los suelos, en el caso de la grava el método AASTHO establece que la grava es la que queda retenida en la malla 10, mientras que para el método SUCS la grava queda retenida en la malla 4.

$$\% \text{ Grava}_{AASTHO} = 100 - \% QP_{TN^{\circ}10}$$

$$\% \text{ Grava}_{SUCS} = 100 - \% QP_{TN^{\circ}4}$$

6.3.3.15 Porcentaje de arena

Para el método AASTHO la arena está contenida desde lo que pasa por la malla 10 hasta lo que retiene la malla 200, es decir si se le resta al 100% lo que pasa la malla 200 y a su vez se resta el porcentaje de grava, el resultado es la cantidad de arena que hay en el suelo:

$$\% \text{ Arena}_{AASTHO} = 100 - \% QP_{TN^{\circ}200} - \% \text{ Grava}_{AASTHO}$$

En cambio, para el método SUCS se considera arena desde lo que pasa por la malla número 4 hasta lo que queda retenido en la malla número 200, por tanto, la ecuación se expresa de la siguiente manera:

$$\% \text{ Arena}_{SUCS} = 100 - \% QP_{TN^{\circ}200} - \% \text{ Grava}_{SUCS}$$

6.3.4 Curva granulométrica

Para que el software construya la curva granulométrica se necesitan los valores de los porcentajes que pasan por cada tamiz y sus diámetros correspondientes.

Dentro del software se programó una gráfica que dará como resultado esta curva granulométrica, y se creó a partir de los porcentajes que pasan los cuales se ubican en el eje de las ordenadas versus los diámetros ubicados en el eje de las abscisas.

Debido a que algunos valores de los diámetros son muy pequeños se empleó una escala logarítmica con base 10 en el eje de las abscisas, por lo que la gráfica se considera como semilogarítmica.

Se programó el eje 'Y' para un rango de 0 a 100% para el porcentaje que pasa, y en el eje 'X' se programó para un rango de 0.001 a 100 mm correspondiente al valor del diámetro. Estos valores serán llamados de los resultados de la granulometría y de la hidrometría (si el caso lo amerita).

Para el cálculo de los valores diámetro diez (D10), diámetro treinta (D30) ,diámetro sesenta (D60) se utilizó una ecuación de interpolación en función de los porcentajes y diámetros que se encuentren por encima y por debajo del valor del diámetro a buscar, la ecuación empleada es la siguiente:

$$D_x = \left[\frac{D_2 - D_1}{\log\%_2 - \log\%_1} * (\log\%_x - \log\%_1) \right] + D_1$$

Donde:

Dx = Diámetro a buscar

D2= Diámetro superior del diámetro a buscar

D1= Diámetro inferior del diámetro a buscar

log%2= logaritmo del porcentaje que pasa correspondiente al diámetro superior

log%1= logaritmo del porcentaje que pasa correspondiente al diámetro inferior

log%x= logaritmo del porcentaje que pasa correspondiente al diámetro a buscar.

Una vez obtenido los diámetros D10, D30 y D60 se calculan los coeficientes Cu y Cc con las siguientes formulas.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{(D_{60})(D_{10})}$$

6.3.5 Carta de plasticidad

La carta de plasticidad es la representación de los suelos en una gráfica de coordenadas límite líquido versus índice de plasticidad (LL,IP) donde están definidas 5 áreas: CL, CH, MH-OH, ML-OL, y CL-ML tal como se observa en la Figura 6.11.

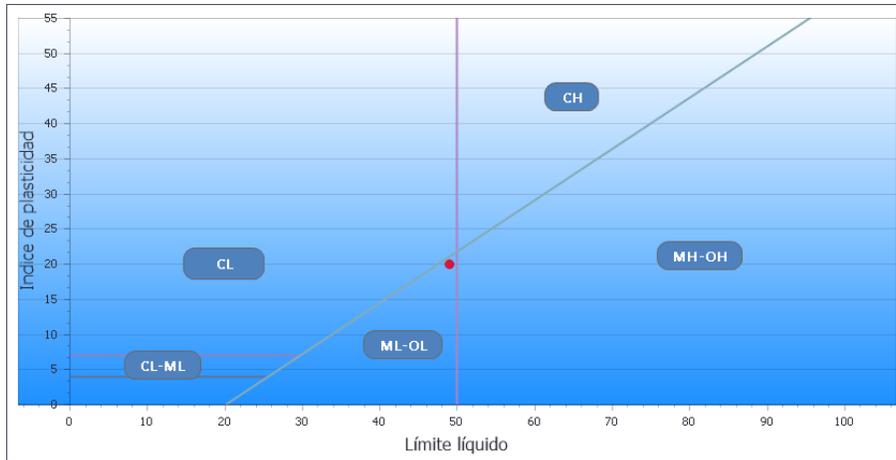


Figura 6.11 Carta de plasticidad de los suelos (Das, 2001)

Para incluir esta carta en el software se diseñó un algoritmo natural en base a rectas definidas con puntos cartesianos los cuales se muestran en la Tabla 6.7.

Tabla 6.7 Coordenadas para graficar carta de plasticidad

Rectas	Coordenadas iniciales		Coordenadas finales	
	X	y	x	y
1	0	4	25.48	4
2	0	7	29.59	7
3	20	0	100	58.40
4	50	0	50	58.40

Una vez definido el algoritmo de la carta se añadió un campo dinámico que grafica el punto del límite líquido en la coordenada 'X' versus el índice de plasticidad en la coordenada 'Y'. Este campo dinámico permite identificar en cuál de las 5 áreas de la carta se ubicará el punto que será tomado como referencia al momento de crear el algoritmo natural de clasificación de suelo.

Para cada tipo de suelo o área representada en la carta de plasticidad (CL, CH, MH-OH, ML-OL, y CL-ML) se definió un conjunto de coordenadas propias de cada área, las cuales se describen en el Anexo A.

6.3.6 Clasificación AASTHO

En lo que se refiere al algoritmo natural de la clasificación por el método AASTHO, se escribieron las condiciones que se establecen para identificar cada tipo de suelo. Por ejemplo, la primera condición es: si el porcentaje que pasa por la malla 200 es menor o igual a 15 y el porcentaje que pasa por la malla 10 es menor o igual a 50 y el porcentaje que pasa por la malla 40 es menor o igual a 50 y el límite líquido es igual a cero y el índice de plasticidad es menor o igual a 6 y el índice de grupo es cero, entonces el software mostrara que es un Suelo A-1-a, además presentará su índice de grupo entre paréntesis y la característica del suelo. Si no se cumplen estas condiciones el software pasara a analizar las siguientes condiciones hasta encontrar la que corresponde con los datos insertados.

La simbología que se usó es la siguiente:

PQ200 : Porcentaje que pasa por la malla 200

PQ10 : Porcentaje que pasa por la malla 10

PQ40 : Porcentaje que pasa por la malla 40

LL: Limite líquido

IP: Índice de plasticidad

IG: Índice de grupo

Algoritmo natural para el método AASTHO

- Si $PQ200 \leq 15$ además $PQ10 \leq 50$ además $PQ40 \leq 50$ además $LL = 0$ además $IP \leq 6$ además $IG = 0$

Si se cumple esta condición en la pantalla se presentará.

Clasificación: Suelo A-1-a (presentar índice de grupo)

Característica: Fragmento de piedra, grava y arena excelente o bueno para terreno de fundación

Si no se cumple realizar el siguiente algoritmo.

- Si $PQ200 \leq 25$ además $PQ10 \leq 100$ además $PQ40 \leq 50$ además $LL = 0$ además $IP \leq 6$ además $IG = 0$

Si se cumple esta condición en la pantalla se presentará.

Clasificación: Suelo A-1-b (presentar índice de grupo)

Característica: Fragmento de piedra, grava y arena excelente o bueno para terreno de fundación

Si no se cumple realizar el siguiente algoritmo.

- Si $PQ200 \leq 10$ además $PQ10 \leq 100$ además $PQ40 \geq 51$ además $LL = 0$ además $IP = 0$ además $IG = 0$

Si se cumple esta condición en la pantalla se presentará.

Clasificación: Suelo A-3 (presentar índice de grupo)

Característica: Arena excelente o bueno para terreno de fundación

Si no se cumple realizar el siguiente algoritmo.

- Si $PQ200 \leq 35$ además $PQ10 \leq 100$ además $PQ40 \leq 100$ además $LL \leq 40$ además $IP \leq 10$ además $IG = 0$

Si se cumple esta condición en la pantalla se presentará.

Clasificación: Suelo A-2-4 (presentar índice de grupo)

Característica: Gravas y arenas limo-arcilloso excelente o bueno para terreno de fundación.

Si no se cumple realizar el siguiente algoritmo.

- Si $PQ200 \leq 35$ además $PQ10 \leq 100$ además $PQ40 \leq 100$ además $LL \geq 41$ además $IP \leq 10$ además $IG = 0$

Si se cumple esta condición en la pantalla se presentará.

Clasificación: Suelo A-2-5 (presentar índice de grupo)

Característica: Gravas y arenas limo-arcilloso excelente o bueno para terreno de fundación

Si no se cumple realizar el siguiente algoritmo.

- Si $PQ200 \leq 35$ además $PQ10 \leq 100$ además $PQ40 \leq 100$ además $LL \leq 40$ además $IP \geq 11$ además $IG \leq 4$

Si se cumple esta condición en la pantalla se presentará.

Clasificación: Suelo A-2-6 (presentar índice de grupo)

Característica: Gravas y arenas limo-arcilloso excelente o bueno para terreno de fundación

Si no se cumple realizar el siguiente algoritmo.

- Si $PQ200 \leq 35$ además $PQ10 \leq 100$ además $PQ40 \leq 100$ además $LL \geq 41$ además $IP \geq 11$ además $IG \leq 4$

Si se cumple esta condición en la pantalla se presentará.

Clasificación: Suelo A-2-7 (presentar índice de grupo)

Característica: Gravas y arenas limo-arcilloso excelente o bueno para terreno de fundación.

Si no se cumple realizar el siguiente algoritmo.

- Si $PQ200 \geq 36$ además $PQ10 \leq 100$ además $PQ40 \leq 100$ además $LL \leq 40$ además $IP \leq 10$ además $IG \leq 6$

Si se cumple esta condición en la pantalla se presentará.

Clasificación: Suelo A-4 (presentar índice de grupo)

Característica: Suelo limoso, regular o malo para terreno de fundación.

Si no se cumple realizar el siguiente algoritmo.

- Si $PQ200 \geq 36$ además $PQ10 \leq 100$ además $PQ40 \leq 100$ además $LL \geq 41$ además $IP \leq 10$ además $IG \leq 12$

Si se cumple esta condición en la pantalla se presentará.

Clasificación: Suelo A-5 (presentar índice de grupo)

Característica: Suelo limoso, regular o malo para terreno de fundación

Si no se cumple realizar el siguiente algoritmo.

- Si $PQ200 \geq 36$ además $PQ10 \leq 100$ además $PQ40 \leq 100$ además $LL \leq 40$ además $IP \geq 11$ además $IG \leq 18$

Si se cumple esta condición en la pantalla se presentará.

Clasificación: Suelo A-6 (presentar índice de grupo)

Característica: Suelo arcilloso, regular o malo para terreno de fundación

Si no se cumple realizar el siguiente algoritmo.

- Si $PQ200 \geq 36$ además $PQ10 \leq 100$ además $PQ40 \leq 100$ además $LL \geq 41$ además $IP \leq RLL$ además $IG \leq 20$

Si se cumple esta condición en la pantalla se presentará.

Clasificación: Suelo A-7-5 (presentar índice de grupo)

Característica: Suelo arcilloso, regular o malo para terreno de fundación

Si no se cumple realizar el siguiente algoritmo.

- Si $PQ200 \geq 36$ además $PQ10 \leq 100$ además $PQ40 \leq 100$ además $LL \geq 41$ además $IP \geq RLL$ además $IG \leq 20$

Si se cumple esta condición en la pantalla se presentará.

Clasificación: Suelo A-7-6 (presentar índice de grupo)

Característica: Suelo arcilloso, regular o malo para terreno de fundación

En todos los resultados de clasificación de suelo se mostrará el porcentaje de grava, arena y finos, en el caso que haya hidrometría también se mostrara el porcentaje de limos y arcillas.

6.3.7 Clasificación SUCS

El algoritmo natural del método SUCS se realizó de manera similar al del método AASTHO, en este caso la condición para el primer suelo es: si el porcentaje que pasa por la malla 200 es menor a 50 y el porcentaje que pasa por la malla 4 es menor a 50 y el porcentaje que pasa por la malla 200 es menor a 5 y el coeficiente de uniformidad es mayor o igual 4 y el coeficiente de curvatura es mayor o igual a 1 pero menor o igual a 3 y ARENA es menor que 15, entonces el software clasificará el suelo como GW y en su característica expresará que es una grava bien graduada. De esta misma manera se escribieron los algoritmos naturales de los demás de suelos, los cuales se describirán más adelante en esta misma sección.

En referencia a los coeficientes de uniformidad y de curvatura se obtendrán de la curva granulométrica que el software gráfica, y que se forma de los porcentajes que pasa por cada malla versus los diámetros de las partículas.

En los suelos gruesos que contienen partículas finas y en todos los suelos finos, se utilizó la carta de plasticidad para identificar si los finos que están presentes son arcillas o limos. La carta se delimitó en 5 áreas, tal como se mostró en el acápite de carta de plasticidad y a cada algoritmo de clasificación de suelo se le agregó el símbolo del área a la cual pertenece.

En casos de que los datos de entrada solo sean para calcular granulometría e hidrometría y no hayan datos de límites, el software no podrá realizar el cálculo de índice de plasticidad y por tanto no se podrá usar la carta de plasticidad para identificar el tipo de fino que predomine en la muestra; por tal razón se añadió un parámetro más en el algoritmo de clasificación de las arenas que poseen finos mayores al 5% que es el suelo que generalmente dificulta el cálculo de sus límites de Atterberg. El parámetro dice que si el porcentaje de limo calculado a través de hidrometría es mayor que el porcentaje que pasa por la malla No 200 dividido entre 2, se le agregara a la arena el nombre limosa o con limo según sea el caso (arena de clasificación doble o arena sucia); de lo contrario, si el porcentaje de arcilla es mayor, el suelo será arcilloso o con arcilla.

En los suelos finos además de la carta de plasticidad se trabajó con hidrometría, para determinar y mostrar los porcentajes de las partículas finas que estén en el suelo ya sean limos, arcillas o ambas.

La simbología que se usó en este algoritmo natural es la siguiente:

PQ200 : Porcentaje que pasa por la malla 200

PQ4 : Porcentaje que pasa por la malla 4

LL: Limite líquido

IP: Índice de plasticidad

Cu: Coeficiente de uniformidad

Cc: Coeficiente de curvatura

ARENA: Porcentaje de arena en la muestra

GRAVA: Porcentaje de grava en la muestra

limosucs: Porcentaje de limos según el método SUCS

arcillasucs: Porcentaje de arcillas según el método SUCS

(*IP,LL*): Punto de intersección entre el índice de plasticidad y el límite líquido.

Algoritmo natural para el método SUCS

- Si el $PQ200 < 50$ y el $PQ4 < 50$ y el $PQ200 < 5$ y $Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$ y *ARENA* <15.

Si se cumple esta condición en la pantalla se presentará:

Clasificación: GW

Características: Grava bien graduada

Si no se cumple realizar el siguiente algoritmo.

- Si el $PQ_{200} < 50$ y el $PQ_4 < 50$ y el $PQ_{200} < 5$ y $Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$ y ARENA ≥ 15 .

Si se cumple esta condición en la pantalla se presentará:

Clasificación: GW

Características: Grava bien graduada con arena

Si no se cumple realizar el siguiente algoritmo.

- Si el $PQ_{200} < 50$ y el $PQ_4 < 50$ y el $PQ_{200} < 5$ y $Cu < 4$ y $1 > Cc > 3$ y ARENA < 15 .

Si se cumple esta condición en la pantalla se presentará:

Clasificación: GP

Características: Grava mal graduada

Si no se cumple realizar el siguiente algoritmo.

- Si el $PQ_{200} < 50$ y el $PQ_4 < 50$ y el $PQ_{200} < 5$ y $Cu < 4$ y $1 > Cc > 3$ y ARENA ≥ 15 .

Si se cumple esta condición en la pantalla se presentará:

Clasificación: GP

Características: Grava mal graduada con arena

Si no se cumple realizar el siguiente algoritmo.

- Si el $PQ_{200} < 50$ y el $PQ_4 < 50$ y el $5 \leq PQ_{200} \leq 12$ y $Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$ y ARENA < 15 y el (IP,LL) está en A3 o A4

Si se cumple esta condición en la pantalla se presentará:

Clasificación: GW-GM

Características: Grava bien graduada con limo

Si no se cumple realizar el siguiente algoritmo.

- Si el $PQ200 < 50$ y el $PQ4 < 50$ y el $5 \leq PQ200 \leq 12$ y $Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$ y $ARENA \geq 15$ y el (IP,LL) está en A3 o A4

Si se cumple esta condición en la pantalla se presentará:

Clasificación: GW-GM

Características: Grava bien graduada con limo y arena.

Si no se cumple realizar el siguiente algoritmo.

- Si el $PQ200 < 50$ y el $PQ4 < 50$ y el $5 \leq PQ200 \leq 12$ y $Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$ y el (IP,LL) está en A1 o A2 o A5 y $ARENA < 15$

Si se cumple esta condición en la pantalla se presentará:

Clasificación: GW-GC

Características: Grava bien graduada con arcilla.

Si no se cumple realizar el siguiente algoritmo.

- Si el $PQ200 < 50$ y el $PQ4 < 50$ y el $5 \leq PQ200 \leq 12$ y $Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$ y el (IP,LL) está en A1 o A2 o A5 y $ARENA \geq 15$

Si se cumple esta condición en la pantalla se presentará:

Clasificación: GW-GC

Características: Grava bien graduada con arcilla y arena.

Si no se cumple realizar el siguiente algoritmo.

- Si el $PQ200 < 50$ y el $PQ4 < 50$ y el $5 \leq PQ200 \leq 12$ y $Cu < 4$ y $1 > Cc > 3$ y el (IP,LL) está en A3 o A4 y $ARENA < 15$.

Si se cumple esta condición en la pantalla se presentará:

Clasificación: GP-GM

Características: Grava mal graduada con limo.

Si no se cumple realizar el siguiente algoritmo.

- Si el $PQ200 < 50$ y el $PQ4 < 50$ y el $5 \leq PQ200 \leq 12$ y $Cu < 4$ y $1 > Cc > 3$ y el (IP,LL) está en A3 o A4 y $ARENA \geq 15$.

Si se cumple esta condición en la pantalla se presentará:

Clasificación: GP-GM

Características: Grava mal graduada con limo y arena.

Si no se cumple realizar el siguiente algoritmo.

- Si el $PQ200 < 50$ y el $PQ4 < 50$ y el $5 \leq PQ200 \leq 12$ y $Cu < 4$ y $1 > Cc > 3$ y el (IP,LL) está en A1 o A2 o A5 y $ARENA < 15$.

Si se cumple esta condición en la pantalla se presentará:

Clasificación: GP-GC

Características: Grava mal graduada con arcilla.

Si no se cumple realizar el siguiente algoritmo.

- Si el $PQ200 < 50$ y el $PQ4 < 50$ y el $5 \leq PQ200 \leq 12$ y $Cu < 4$ y $1 > Cc > 3$ y el (IP,LL) está en A1 o A2 o A5 y $ARENA \geq 15$.

Si se cumple esta condición en la pantalla se presentará:

Clasificación: GP-GC

Características: Grava mal graduada con arcilla y arena.

Si no se cumple realizar el siguiente algoritmo.

- Si el $PQ200 < 50$ y el $PQ4 < 50$ y el $PQ200 > 12$ y el (IP,LL) está en A3 o A4 y $ARENA < 15$.

Si se cumple esta condición en la pantalla se presentará:

Clasificación: GM

Características: Grava limosa

Si no se cumple realizar el siguiente algoritmo.

- Si el $PQ200 < 50$ y el $PQ4 < 50$ y el $PQ200 > 12$ y el (IP,LL) está en A3 o A4 y $ARENA \geq 15$.

Si se cumple esta condición en la pantalla se presentará:

Clasificación: GM

Características: Grava limosa con arena

Si no se cumple realizar el siguiente algoritmo.

- Si el $PQ200 < 50$ y el $PQ4 < 50$ y el $PQ200 > 12$ y el (IP,LL) está en A1 o A2 y $ARENA < 15$.

Si se cumple esta condición en la pantalla se presentará:

Clasificación: GC

Características: Grava arcillosa

Si no se cumple realizar el siguiente algoritmo.

- Si el $PQ200 < 50$ y el $PQ4 < 50$ y el $PQ200 > 12$ y el (IP,LL) está en A1 o A2 y $ARENA \geq 15$.

Si se cumple esta condición en la pantalla se presentará:

Clasificación: GC

Características: Grava arcillosa con arena

Si no se cumple realizar el siguiente algoritmo.

- Si el $PQ200 < 50$ y el $PQ4 < 50$ y el $PQ200 > 12$ y el (IP,LL) está en A5 y $ARENA < 15$.

Si se cumple esta condición en la pantalla se presentará:

Clasificación: GC-GM

Características: Grava limosa arcillosa

Si no se cumple realizar el siguiente algoritmo.

- Si el $PQ200 < 50$ y el $PQ4 < 50$ y el $PQ200 > 12$ y el (IP,LL) está en A5 y $ARENA \geq 15$.

Si se cumple esta condición en la pantalla se presentará:

Clasificación: GC-GM

Características: Grava limosa arcillosa con arena

Si no se cumple realizar el siguiente algoritmo.

- Si el $PQ200 < 50$ y el $PQ4 > 50$ y el $PQ200 < 5$ y $Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$ y $GRAVA < 15$

Si se cumple esta condición en la pantalla se presentará:

Clasificación: SW

Características: Arena bien graduada

Si no se cumple realizar el siguiente algoritmo.

- Si el $PQ200 < 50$ y el $PQ4 > 50$ y el $PQ200 < 5$ y $Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$ y $GRAVA \geq 15$

Si se cumple esta condición en la pantalla se presentará:

Clasificación: SW

Características: Arena bien graduada con grava

Si no se cumple realizar el siguiente algoritmo.

- Si el $PQ200 < 50$ y el $PQ4 > 50$ y el $PQ200 < 5$ y $Cu < 6$ y $1 > Cc > 3$ y $GRAVA < 15$

Si se cumple esta condición en la pantalla se presentará:

Clasificación: SP

Características: Arena mal graduada

Si no se cumple realizar el siguiente algoritmo.

- Si el $PQ200 < 50$ y el $PQ4 > 50$ y el $PQ200 < 5$ y $Cu < 6$ y $1 > Cc > 3$ y $GRAVA \geq 15$

Si se cumple esta condición en la pantalla se presentará:

Clasificación: SP

Características: Arena mal graduada con grava

Si no se cumple realizar el siguiente algoritmo.

- Si el $PQ200 < 50$ y el $PQ4 > 50$ y el $5 \leq PQ200 \leq 12$ y $Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$ y el (IP,LL) está en A3 o A4 o limosucs > $PQ200/2$ y $GRAVA < 15$

Clasificación: SW-SM

Características: Arena bien graduada con limo

- Si el $PQ200 < 50$ y el $PQ4 > 50$ y el $5 \leq PQ200 \leq 12$ y $Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$ y el (IP,LL) está en A3 o A4 o limosucs > $PQ200/2$ y $GRAVA \geq 15$

Clasificación: SW-SM

Características: Arena bien graduada con limo y grava

- Si el $PQ_{200} < 50$ y el $PQ_4 > 50$ y el $5 \leq PQ_{200} \leq 12$ y $Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$ y el (IP,LL) está en A1 o A2 o A5 arcillasucs > $PQ_{200}/2$ y $GRAVA < 15$

Clasificación: SW-SC

Características: Arena bien graduada con arcilla

- Si el $PQ_{200} < 50$ y el $PQ_4 > 50$ y el $5 \leq PQ_{200} \leq 12$ y $Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$ y el (IP,LL) está en A1 o A2 o A5 o arcillasucs > $PQ_{200}/2$ y $GRAVA \geq 15$

Clasificación: SW-SC

Características: Arena bien graduada con arcilla y grava

- Si el $PQ_{200} < 50$ y el $PQ_4 > 50$ y el $5 \leq PQ_{200} \leq 12$ y $Cu < 6$ y $1 > Cc > 3$ y el (IP,LL) está en A3 o A4 o limosucs > $PQ_{200}/2$ y $GRAVA < 15$

Clasificación: SP-SM

Características: Arena mal graduada con limo

- Si el $PQ_{200} < 50$ y el $PQ_4 > 50$ y el $5 \leq PQ_{200} \leq 12$ y $Cu < 6$ y $1 > Cc > 3$ y el (IP,LL) está en A3 o A4 o limosucs > $PQ_{200}/2$ y $GRAVA \geq 15$

Clasificación: SP-SM

Características: Arena mal graduada con limo y grava

- Si el $PQ_{200} < 50$ y el $PQ_4 > 50$ y el $5 \leq PQ_{200} \leq 12$ y $Cu < 6$ y $1 > Cc > 3$ y el (IP,LL) está en A1 o A2 o A5 arcillasucs > $PQ_{200}/2$ y $GRAVA < 15$

Clasificación: SP-SC

Características: Arena mal graduada con arcilla

- Si el $PQ_{200} < 50$ y el $PQ_4 > 50$ y el $5 \leq PQ_{200} \leq 12$ y $Cu < 6$ y $1 > Cc > 3$ y el (IP,LL) está en A1 o A2 o A5 o arcillasucs > $PQ_{200}/2$ y $GRAVA \geq 15$

Clasificación: SP-SC

Características: Arena mal graduada con arcilla y grava

- Si el $PQ_{200} < 50$ y el $PQ_4 > 50$ y el $PQ_{200} > 12$ y el (IP,LL) está en A3 o A4 o limosucs > $PQ_{200}/2$ y $GRAVA < 15$

Clasificación: SM

Características: Arena limosa

- Si el $PQ_{200} < 50$ y el $PQ_4 > 50$ y el $PQ_{200} > 12$ y el (IP,LL) está en A3 o A4 o $limosucs > PQ_{200}/2$ y $GRAVA \geq 15$

Clasificación: SM

Características: Arena limosa con grava

- Si el $PQ_{200} < 50$ y el $PQ_4 > 50$ y el $PQ_{200} > 12$ y el (IP,LL) está en A1 o A2 o $arcillasucs > PQ_{200}/2$ y $GRAVA < 15$

Clasificación: SC

Características: Arena arcillosa

- Si el $PQ_{200} < 50$ y el $PQ_4 > 50$ y el $PQ_{200} > 12$ y el (IP,LL) está en A1 o A2 o $arcillasucs > PQ_{200}/2$ y $GRAVA \geq 15$

Clasificación: SC

Características: Arena arcillosa con grava

- Si el $PQ_{200} < 50$ y el $PQ_4 > 50$ y el $PQ_{200} > 12$ y el (IP,LL) está en A5 o $arcillasucs = PQ_{200}/2$ y $GRAVA < 15$

Clasificación: SC-SM

Características: Arena limosa arcillosa

- Si el $PQ_{200} < 50$ y el $PQ_4 > 50$ y el $PQ_{200} > 12$ y el (IP,LL) está en A5 o $arcillasucs = PQ_{200}/2$ y $GRAVA \geq 15$

Clasificación: SC-SM

Características: Arena limosa arcillosa con grava

- Si el $PQ_{200} \geq 50$ y el $LL < 50$ y el (IP,LL) está en A1

Si se cumple esta condición en la pantalla se presentará:

Clasificación: CL

Características: Arcilla de baja plasticidad

Si no se cumple realizar el siguiente algoritmo.

- Si el $PQ_{200} \geq 50$ y el $LL < 50$ y el (IP,LL) está en A4

Si se cumple esta condición en la pantalla se presentará:

Clasificación: ML

Características: Limo de baja plasticidad

Si no se cumple realizar el siguiente algoritmo.

- Si el $PQ_{200} \geq 50$ y el $LL < 50$ y el (IP,LL) está en A5

Si se cumple esta condición en la pantalla se presentará:

Clasificación: CL-ML

Características: Arcilla limosa de baja plasticidad

Si no se cumple realizar el siguiente algoritmo.

- Si el $PQ_{200} \geq 50$ y el $LL \geq 50$ y el (IP,LL) está en A2

Si se cumple esta condición en la pantalla se presentará:

Clasificación: CH

Características: Arcilla de alta plasticidad

Si no se cumple realizar el siguiente algoritmo.

- Si el $PQ_{200} \geq 50$ y el $LL \geq 50$ y el (IP,LL) está en A3

Si se cumple esta condición en la pantalla se presentará:

Clasificación: MH

Características: Limo de alta plasticidad

En todos los resultados de clasificación de suelo se mostrara el porcentaje de grava, arena y finos, en el caso que haya hidrometría también se mostrara el porcentaje de limos y arcillas.

6.4 Determinación de la capacidad de carga

6.4.1 Prueba de penetración estándar

Para determinar la capacidad de carga de un suelo se analizaron y se condicionaron los procedimientos que el método SPT establece, así como también la lógica en programación de cada uno de los pasos establecidos de la prueba antes mencionada.

Los datos de entrada del SPT son valores que pueden variar debido a la manera en que se realice el ensayo, en el programa el usuario tendrá que ingresar los datos así como manipular los mismos. A continuación se presentan las consideraciones de los datos de entrada que le programa integra.

6.4.1.1 Número de sondeos

Cuando se necesita conocer la capacidad de carga de un área determinada generalmente se realizan varios sondeos esto lo define el ingeniero especialista en geotecnia, considerando el relieve y posibles variaciones en los suelos. El programa C.CAPS permite analizar el número de sondeos que el usuario ingrese.

El programa presenta una casilla en la que se pide el número de sondeos para generar pestañas por cada sondeo, las cuales contienen casillas para introducir datos de campo propios del sondeo SPT.

6.4.1.2 Profundidad del sondeo

La profundidad del sondeo puede variar con respecto a otro sondeo debido a la topografía del terreno o por los estratos que se encuentren debajo de él.

En el programa el usuario deberá ingresar la profundidad de cada sondeo.

6.4.1.3 Elevación del sondeo

Las elevaciones de los sondeos permiten conocer el comportamiento del terreno donde se realizan las pruebas SPT, el usuario deberá ingresar el valor dentro de una casilla llamada “Elevación de sondeo”.

6.4.1.4 Correcciones

Las diferentes correcciones que el método SPT contiene se dejan a criterio propio del especialista que esté realizando el ensayo, ya que existen consideraciones y criterios que varían de acuerdo al procedimiento del ensayo y de los equipos utilizados.

El programa permite ingresar los cuatro valores de **n** de corrección para cada sondeo.

6.4.1.5 Valor de N golpes

Los valores de N2 y N3 pertenecen al número de golpes para introducir el tubo los segundos y terceros 15 cm respectivamente, los cuales se toman en cuenta para obtener el N de campo de cada 45 cm penetrados.

En el programa se mandan a pedir los valores NI, N2 y N3 para posteriormente obtener el N de campo.

6.4.1.6 Peso específico de cada estrato

En el campo se identifican los tipos de estratos y sus respectivas profundidades, sus pesos específicos se determinan realizando las pruebas de laboratorio, siendo este un dato que el usuario deberá ingresar.

6.4.1.7 Rango de profundidades de los sondeos

En el procedimiento del ensayo SPT se establece anotar el número de golpes para introducir 45 cm, este paso se repite hasta llegar a la profundidad del sondeo la cual es variable.

El programa genera los incrementos de profundidades a cada 45 cm como establece el procedimiento.

Para generar la cantidad de datos a presentar se realizó la siguiente formula.

Cantidad de datos a generar (**n**) = profundidad del sondeo / 0.45.

Se programó la condición

Generar en casillas, dentro de la primera casilla presentar el valor de 0.45 y en las siguientes casillas presentar valores de incrementos de 0.45 con valor de incremento de 0.45 hasta llegar a la cantidad n de datos.

6.4.1.8 Valor de N de campo

Para obtener el N de campo de cada 45 cm penetrados y de cada sondeo se programó la suma de N2 y N3 valores que el usuario ingresa.

$N \text{ de campo} = N2 + N3$. (Código para obtener N de campo).

6.4.1.9 Rango de elevaciones de sondeos

El programa presenta la profundidad de cada sondeo partiendo de la elevación de este, es decir que al nivel se le irá restando 45 cm hasta llegar a la profundidad del sondeo.

6.4.1.10 Valor de N corregido

Se conoce que para obtener el N corregido, el valor N de campo se multiplica por los factores de correcciones antes descritos y por la presión de confinamiento cuando esta tiene un valor mayor o igual a 0.25

$$N_{corr} = N_{cam} Cn \eta1 \eta2 \eta3 \eta4$$

El factor Cn se calcula dentro del programa para el cálculo de este el usuario solo tiene que ingresar el peso específico de cada estrato.

Fórmula para el cálculo de Cn.

$$Cn = \frac{2}{1 + Pa}$$

Dónde:

$$Cn = \frac{\gamma h}{Patmosferica}$$

6.4.1.11 Capacidad de carga

Una vez corregido los N golpes, el programa procederá a calcular la capacidad de carga del suelo usando la ecuación de Jaime Suárez (1994):

$$q_{adm} = 0.166 * N_{corr}$$

6.4.2 Teoría de Terzaghi

6.4.2.1 Número de estratos y sus propiedades

La teoría de Terzaghi está en función de los estratos que se encuentran por encima y por debajo de la zapata, para determinar la capacidad de carga del suelo se utilizó un total de 6 estratos generando así numerosas condiciones de análisis.

El usuario ingresará el número de estratos dentro de una celda presentando un comentario de que ese valor tendrá que ser igual o menor a 6.

Una vez que el usuario ingrese el número de estratos se generaran celdas para ingresar las propiedades de cada estrato las cuales son ángulo de fricción, peso específico y cohesión, y que se determinan directamente en laboratorio.

6.4.2.2 Nivel de desplante

El nivel de desplante está limitado por un valor el cual se determinó en función de los estratos el cual no debe ser mayor ni igual a la suma de todos los estratos.

El nivel de desplante no debe ser mayor a la suma de los estratos porque el análisis de Terzaghi siempre considera uno o más estratos por debajo de la zapata.

El usuario considerará niveles de desplantes funcionales para obtener una capacidad de carga funcional

6.4.2.3 Espesor de estrato

El espesor de cada estrato será introducido por el usuario.

6.4.2.4 Ancho de zapata

El ancho de zapata es un valor que el usuario introducirá dentro del programa.

6.4.2.5 Factor de seguridad

El factor de seguridad será un valor que el usuario ingresara a criterio propio según sea el caso, este puede variar según la importancia de la obra y producto de un estudio del caso. Sin embargo, existen valores típicos aceptados que se aplican a las cimentaciones poco profundas. Si en el análisis de las cargas actuantes se consideran solo las permanentes se recomienda usar factor mínimo de 3; si se toman en cuenta las cargas permanentes y las vivas, el valor debe reducirse a 2 o 2.5.

6.4.2.6 Tipo de zapata

La teoría de Terzaghi considera tres tipos de zapatas las cuales son: continua, circular y cuadrada. Para cada una existe una ecuación que varía en coeficientes, el usuario luego de ingresar el número de estratos con su correspondientes propiedades así como también haber definido el nivel d desplante y ancho de zapata tendrá que elegir el tipo de cimentación que el considere.

6.4.2.7 Algoritmo natural

Para crear un algoritmo lógico y funcional que determine la capacidad de carga de un suelo utilizando ecuaciones de Terzaghi se analizó cada parte de dicha ecuación (ver figura 6.12), el algoritmo fue diseñado con el mismo procedimiento que se plantea en el método.

$$Q_{ultima} = \underbrace{(C * S_c * N_c)}_1 + \underbrace{(\dot{q} * N_q)}_2 + \underbrace{(S_\gamma * \dot{\gamma} * B * N_\gamma)}_3$$

Figura 6.12 Componentes de la ecuación de la carga ultima de Terzaghi (Das, 2001)

Donde:

\dot{q} = Espesor de cada estrato por su peso específico = $E * \gamma$
 $\dot{\gamma}$ = Peso específico ponderado por debajo de la zapata (Kg/m^3)

La parte 1 de la ecuación de Terzaghi está compuesta por tres factores, que directamente tienen que estar por debajo de la zapata, la cohesión del suelo el cual es un dato que el usuario ingresa y los factores de carga y de forma.

En la parte 2, el factor de forma N_q está en función del ángulo de fricción el cual tiene que estar por debajo de la zapata mientras que el factor \dot{q} se analiza por encima de la zapata.

La parte 3 compuesta por un factor de forma, factor de carga peso específico y ancho de zapatas se analizan por debajo de la zapata.

Factores de forma.

Los factores de forma están en dependencia del tipo de cimentación que se elija ya sea continua, circular o cuadrada. El programa contiene celdas con los tipos de cimentaciones antes mencionadas y que el usuario al dar clic sobre ellas estará ordenando utilizar el factor correspondiente al marcado (ver tabla 6.8).

Tabla 6.8 Factores de forma por tipo de cimentación (Das, 2001)

Factores de forma	Tipos de cimentación		
	Continua	Circular	Cuadrada
Sc	1	1.3	1.3
Sy	0.5	0.3	0.4

Algoritmo y condición de factores de forma

Una vez ingresado el número de estratos con sus propiedades, espesor, ancho de zapata, nivel de desplante y factor de seguridad, y si el usuario elige una cimentación continua utilizar factores de forma $S_c = 1$ y $S_\gamma = 0.5$

Una vez ingresado el número de estratos con sus propiedades, espesor, ancho de zapata, nivel de desplante y factor de seguridad, y si el usuario elige una cimentación circular utilizar factores de forma $S_c = 1.3$ y $S_\gamma = 0.3$

Una vez ingresado el número de estratos con sus propiedades, espesor, ancho de zapata, nivel de desplante y factor de seguridad, y si el usuario elige una cimentación cuadrada utilizar factores de forma $S_c = 1.3$ y $S_\gamma = 0.4$

Factores de carga.

Los factores de carga N_c , N_q y N_γ son muy importantes dentro de la ecuación de Terzaghi ya que están en función del ángulo de fricción (ϕ) dato que puede variar por cada estrato, el programa realizara una ponderación del ángulo de fricción (ϕ_p) si dos o más estratos se encuentran por debajo de la zapata.

Condiciones y programación para determinar capacidad de carga.

La condición principal para determinar capacidad de carga parte de dos restricciones las cuales son espesores de estratos y nivel de desplante.

1. Si el usuario ingresa un estrato con sus respectivas propiedades y la zapata se encuentra dentro del estrato, el ángulo de fricción de dicho estrato es el que utilizará para el cálculo de los factores de carga, igualmente la cohesión y los otros parámetros serán utilizados directamente dentro de la ecuación de Terzaghi.

Si el usuario ingresa más de un estrato pueden existir numerosas posibilidades las cuales son:

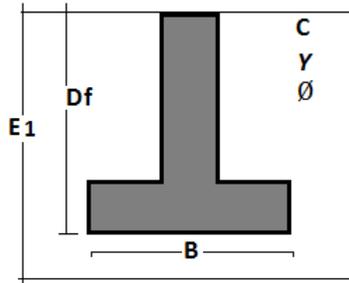
2. Que un estrato este por encima de la zapata y uno esté por debajo
3. Que un estrato este por encima de la zapata y más de un estrato esté por debajo.
4. Estratos y partes de estratos estén por encima y también estratos y partes de estratos estén por debajo de la zapata.
5. Muchos estratos estén por encima y un estrato este por debajo.
6. Muchos estratos estén por encima y por debajo de la zapata.

En todos los casos antes mencionados se encontró una cohesión ponderada (C_p) un ángulo de fricción ponderado (ϕ_p), un peso específico ponderado (γ) y el valor de factor $q = E * \gamma$ el cual es la multiplicación del espesor de cada estrato por su peso específico y tiene que estar por encima de la zapata, estos estarán en dependencia del caso que se presente.

Para cada caso se presenta un ejemplo de las posibles condiciones que se pueden encontrar con diferentes estratos.

Caso 1. La zapata se encuentra dentro de un estrato.

Condición: Que el nivel de desplante Df sea menor y este dentro del espesor de un estrato



Si esta condición se cumple realizar el siguiente cálculo

$$1. Nq = \frac{e^{(2(\frac{3\pi}{4} - \frac{\phi}{2}) \tan \phi)}}{2 \cos^2 (45 + \frac{\phi}{2})}$$

$$2. Nc = \cot \phi (Nq - 1)$$

$$3. Kpy = 3 * \tan^2 (45 + \frac{\phi + 33}{2})$$

$$4. N\gamma = \frac{1}{2} \left(\frac{Kpy}{\cos^2 \phi} - 1 \right) \tan \phi$$

Además

Si elige cimentación continua.

$$Q_{admissible} = \frac{CNc + \gamma Df Nq + 0.5 \gamma B N\gamma}{Fs}$$

Si elige cimentación cuadrada.

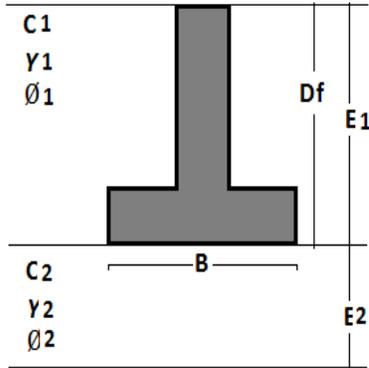
$$Q_{admissible} = \frac{1.3CNc + \gamma Df Nq + 0.4 \gamma B N\gamma}{Fs}$$

Si elige cimentación circular.

$$Q_{admissible} = \frac{1.3CNc + \gamma Df Nq + 0.3 \gamma B N\gamma}{Fs}$$

Caso 2. Un estrato este por encima de la zapata y uno esté por debajo

Condición: Si el usuario ingresa 2 estratos y el nivel de desplante (Df) es igual al espesor del primer estrato (E1).



Si esta condición se cumple realizar

1. $Nq = \frac{e^{(2(\frac{3\pi}{4} - \frac{\phi_2}{2}) \tan \phi_2)}}{2 \cos^2(45 + \frac{\phi_2}{2})}$
2. $Nc = \cot \phi_2 (Nq - 1)$
3. $Kpy = 3 * \tan^2(45 + \frac{\phi_2 + 33}{2})$
4. $N\gamma = \frac{1}{2} \left(\frac{Kpy}{\cos^2 \phi_2} - 1 \right) \tan \phi_2$
5. $\acute{q} = \gamma_1 Df$
6. $\acute{\gamma} = \gamma_2$

Además

Si elige cimentación continua.

$$Q_{admissible} = \frac{C_2 Nc + \acute{q} Nq + 0.5 \acute{\gamma} B N\gamma}{F_s}$$

Si elige cimentación cuadrada.

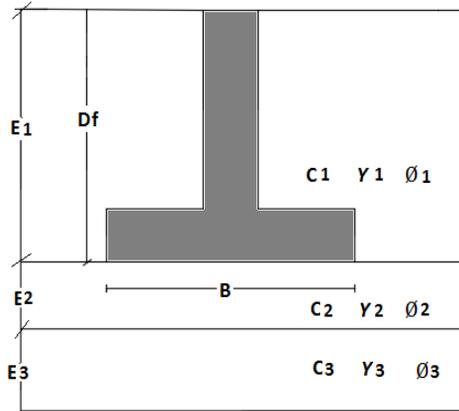
$$Q_{admissible} = \frac{1.3 C_2 Nc + \acute{q} Nq + 0.4 \acute{\gamma} B N\gamma}{F_s}$$

Si elige cimentación circular.

$$Q_{admissible} = \frac{1.3 C_2 Nc + \acute{q} Nq + 0.3 \acute{\gamma} B N\gamma}{F_s}$$

Caso 3. Un estrato este por encima de la zapata y más de un estrato este por debajo

Condición: Si el usuario ingresa más de 3 estratos y el nivel de desplante (Df) es igual al espesor del primer estrato (E1).



Si las condiciones anteriores se cumplen realizar los siguientes cálculos.

$$1. \phi_p = \frac{(\phi_2 * E2) + (\phi_3 * E3) + \dots (\phi_x * E_x)}{E2 + E3 + E_x}$$

$$2. C_p = \frac{(C2 * E2) + (C3 * E3) + \dots (C_x * E_x)}{E2 + E3 + E_x}$$

$$3. q = (\gamma_1 * E1)$$

$$4. \gamma = \frac{(\gamma_2 * E2) + (\gamma_3 * E3) + \dots (\gamma_x * E_x)}{E2 + E3 + E_x}$$

$$5. Nq = \frac{e^{(2(\frac{3\pi}{4} - \frac{\phi_p}{2}) \tan \phi_p)}}{2 \cos^2 \left(45 + \frac{\phi_p}{2} \right)}$$

$$6. Nc = \cot \phi_p (Nq - 1)$$

$$7. K_{py} = 3 * \tan^2 \left(45 + \frac{\phi_p + 33}{2} \right)$$

$$8. N_{\gamma} = \frac{1}{2} \left(\frac{K_{py}}{\cos^2 \phi_p} - 1 \right)$$

Además

Si elige cimentación continua.

$$Q_{admisible} = \frac{C_p N_c + \dot{q} N_q + 0.5 \dot{\gamma} B N_{\gamma}}{F_s}$$

Si elige cimentación cuadrada

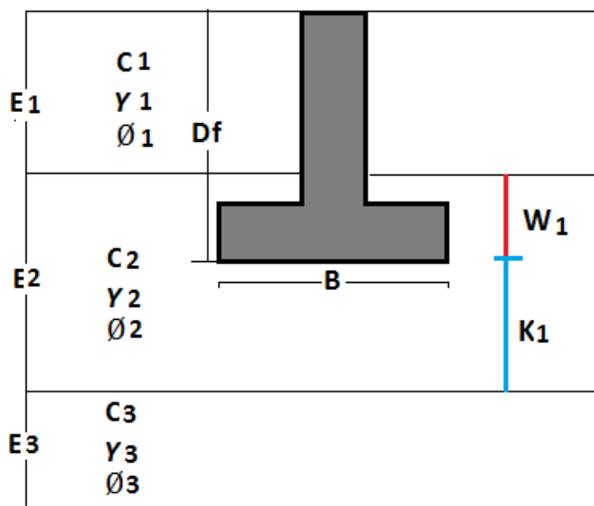
$$Q_{admisible} = \frac{1.3 C_p N_c + \dot{q} N_q + 0.4 \dot{\gamma} B N_{\gamma}}{F_s}$$

Si elige una cimentación circular

$$Q_{admisible} = \frac{1.3 C_p N_c + \dot{q} N_q + 0.3 B N_{\gamma}}{F_s}$$

Caso 4. Estratos y partes de estratos estén por encima y también estratos y partes de estratos estén por debajo.

Condición: Si el usuario ingresa 3 estratos y el nivel de desplante (Df) es mayor que el primer estrato (E1) pero menor que la suma del primer estrato (E1) más el segundo estrato (E2).



Si esta condición se cumple realizar los siguientes cálculos.

$$K1 = (E1 + E2) - Df$$

$$W1 = E2 - K1$$

$$1. \phi_p = \frac{(\phi_2 * K1) + (\phi_3 * E3) + \dots (\phi_x * Ex)}{K1 + E3 + Ex}$$

$$2. Cp = \frac{(C2 * K1) + (C3 * E3) + \dots (Cx * Ex)}{K1 + E3 + Ex}$$

$$3. \acute{q} = (\gamma_1 * E1) + (W1 * \gamma_2)$$

$$4. \acute{\gamma} = \frac{(\gamma_2 * K1) + (\gamma_3 * E3) + \dots (\gamma_x * Ex)}{K1 + E3 + Ex}$$

$$5. Nq = \frac{e^{(2(\frac{3\pi}{4} - \frac{\phi_p}{2}) \tan \phi_p)}}{2 \cos^2 \left(45 + \frac{\phi_p}{2}\right)}$$

$$6. Nc = \cot \phi_p (Nq - 1)$$

$$7. Kpy = 3 * \tan^2 \left(45 + \frac{\phi_p + 33}{2}\right)$$

$$8. N\gamma = \frac{1}{2} \left(\frac{Kpy}{\cos^2 \phi_p} - 1 \right) \tan \phi_p$$

Además

Si elige cimentación continua.

$$Q_{admisible} = \frac{CpNc + \acute{q}Nq + 0.5\acute{\gamma}BN\gamma}{Fs}$$

Si elige cimentación cuadrada

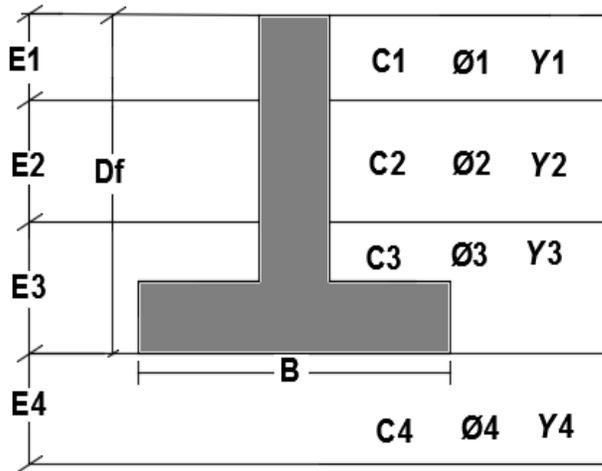
$$Q_{admisible} = \frac{1.3CpNc + \acute{q}Nq + 0.4\acute{\gamma}BN\gamma}{Fs}$$

Si elige una cimentación circular

$$Q_{admissible} = \frac{1.3C_p N_c + \dot{q} N_q + 0.3BN\gamma}{F_s}$$

Caso 5. Muchos estratos estén por encima y un estrato este por debajo.

Condición: Si el usuario ingresa 4 estratos y el nivel de desplante (Df) es igual a las suma de los 3 primeros estratos (E1+E2+E3).



Si esta condición se cumple realizar los siguientes cálculos.

1. $\dot{q} = (\gamma_1 * E1) + (\gamma_2 * E2) + (\gamma_3 * E3) + \dots (\gamma_x * E_x)$

2. $\dot{\gamma} = \gamma_4$

3.
$$N_q = \frac{e^{2\left(\frac{3\pi - \phi_4}{4} - \frac{\phi_4}{2}\right) \tan \phi_4}}{2 \cos^2\left(45 + \frac{\phi_4}{2}\right)}$$

4. $N_c = \cot \phi_4 (N_q - 1)$

5. $K_{py} = 3 * \tan^2\left(45 + \frac{\phi_4 + 33}{2}\right)$

6. $N_\gamma = \frac{1}{2} \left(\frac{K_{py}}{\cos^2 \phi_4} - 1 \right) \tan \phi_4$

Además

Si elije cimentación continua.

$$Q_{admissible} = \frac{C4Nc + \acute{q}Nq + 0.5\acute{\gamma}BN\gamma}{F_s}$$

Si elije cimentación cuadrada

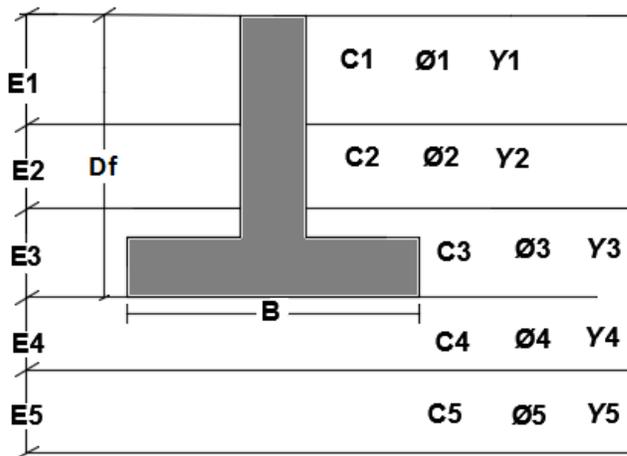
$$Q_{admissible} = \frac{1.3C4Nc + \acute{q}Nq + 0.4\acute{\gamma}BN\gamma}{F_s}$$

Si elije una cimentación circular

$$Q_{admissible} = \frac{1.3C4Nc + \acute{q}Nq + 0.3BN\gamma}{F_s}$$

Caso 6. Muchos estratos estén por encima y por debajo de la zapata.

Condición: Si el usuario ingresa 5 estratos y el nivel de desplante (Df) es igual a la suma de los 3 primeros estratos.



Si esta condición se cumple realizar los siguientes cálculos.

$$1. \phi_p = \frac{(\phi_4 * E4) + (\phi_5 * E5) + \dots (\phi_x * E_x)}{E4 + E5 + E_x}$$

$$2. Cp = \frac{(C4 * E4) + (C5 * E5) + \dots (C_x * E_x)}{E4 + E5 + E_x}$$

$$3. \acute{q} = (\gamma_1 * E1) + (\gamma_2 * E2) + (\gamma_3 * E3) + \dots (\gamma_x * E_x)$$

$$4. \dot{\gamma} = \frac{(\gamma_4 * E_4) + (\gamma_5 * E_5) + \dots (\gamma_x * E_x)}{E_4 + E_5 + E_x}$$

$$5. Nq = \frac{e^{(2(\frac{3\pi}{4} - \frac{\phi_p}{2}) \tan \phi_p)}}{2 \cos^2 \left(45 + \frac{\phi_p}{2}\right)}$$

$$6. Nc = \cot \phi_p (Nq - 1)$$

$$7. Kpy = 3 * \tan^2 \left(45 + \frac{\phi_p + 33}{2}\right)$$

$$8. N\gamma = \frac{1}{2} \left(\frac{Kpy}{\cos^2 \phi_p} - 1 \right) \tan \phi_p$$

Además

Si elige cimentación continua.

$$Q_{admissible} = \frac{CpNc + \dot{q}Nq + 0.5\dot{\gamma}BN\gamma}{Fs}$$

Si elige cimentación cuadrada

$$Q_{admissible} = \frac{1.3CpNc + \dot{q}Nq + 0.4\dot{\gamma}BN\gamma}{Fs}$$

Si elige una cimentación circular

$$Q_{admissible} = \frac{1.3CpNc + \dot{q}Nq + 0.3BN\gamma}{Fs}$$

6.5 Validación del software

En este acápite se confirmará la efectividad del software, comparando los resultados que el software proporcione con resultados realizados a partir de datos de laboratorios obtenidos en el IGG-CIGEO.

6.5.1 Validación de clasificación de suelos

La metodología para validar el programa consistió en ingresar datos de laboratorio de granulometría, hidrometría y límites de Atterberg obtenidos de diferentes sitios tales como ejemplos de libros de mecánicas de suelo y ejercicios resueltos de internet para compararse con los resultados del software, pero en este caso se presentan datos y resultados calculados

por el laboratorio de geotecnia IGG-CIGEO y se compararon con los resultados del software, el procedimiento y las normas que este instituto utiliza para obtener la clasificación están con base a la norma ASTM D 422 y el desarrollo de las ecuaciones son realizadas en hojas de Excel. Los datos que se presentan en la tabla 6.5 son los obtenidos por el laboratorio y por consiguiente son los que se ingresaron en el programa.

Tabla 6.9 Datos para la validación de clasificación de suelos (IGG-CIGEO)

Datos obtenidos en el laboratorio de Geotecnia del IGG-CIGEO							
Granulometría		Hidrometría					
Mallas	Peso retenido (grs)	t (min)	Lectura del hidrómetro (gr/cm ³)	T (°C)	Gs (gr/cm ³)	Ws (gr)	Lectura en agua con defloculante (gr/cm ³)
1 1/2"	0.00	0.5	1.006	28.00	2.45	50	1.002
1"	0.00	1	1.006	28.00	2.45	50	1.002
3/4"	0.00	2	1.006	28.00	2.45	50	1.002
1/2"	0.00	4	1.006	28.00	2.45	50	1.002
3/8"	0.00	8	1.005	28.00	2.45	50	1.002
No 4	7.4	15	1.004	28.00	2.45	50	1.002
No 10	18.9	30	1.003	28.00	2.45	50	1.002
No 20	14.2	60	1.002	28.00	2.45	50	1.002
No 40	18.7	120	1.002	28.00	2.45	50	1.002
No 60	23.5	1144	1.001	28.00	2.45	50	1.002
No 100	27.4	1440	1.001	28.00	2.45	50	1.002
No 140	16.8						
No 200	11.9		Límite líquido	21			
Pasa No 200	61.2		Límite plástico	19			

Tabla 6.10 Resultados de clasificación de suelo (IGG-CIGEO)

Resultado de Clasificación de suelos	
Tipo de suelo	SM
% Grava	4
% Arena	65
% Finos	31
% Limo	28
% Arcilla	3

Ingreso de datos en C.CAPS

Se ingresaron los datos de granulometría, hidrometría y límites de Atterberg que el programa requiere para ejecutarse, en la figura 6.13 se presenta los datos ingresados.

Datos de Granulometria				Datos de Hidrometria			
Mallas	Peso retenido (En gramos)	Mallas	Peso retenido (En gramos)	Peso de la muestra	50	Gravedad especifica	2.45
N 3"	0	N 4"	7.4	Lectura del hidrometro en agua con defloculante	1.002		
N 2 1/2"	0	N 10"	18.9	Tiempo (min)	Lectura del hidrometro (gr/cm ³)	Temperatura (c)	
N 2	0	N 20"	14.2	0.5	1.006	28	
N 1 1/2"	0	N 40"	18.7	1	1.006	28	
N 1	0	N 60"	23.5	2	1.006	28	
N 3/4"	0	N 100"	27.4	4	1.006	28	
N 3/8"	0	N 140"	16.8	8	1.005	28	
N 1/4"	0	N 200"	11.9	15	1.004	28	
		Pasa N 200"	61.2	30	1.003	28	
Límites de Atterberg				60	1.002	28	
Limite liquido	21	Indice Plasticidad:	2	120	1.002	28	
Limite plastico	19			1144	1.001	28	
				1440	1.001	28	

Figura 6.13 Datos de clasificación de suelos ingresados en el software

Resultado de C.CAPS

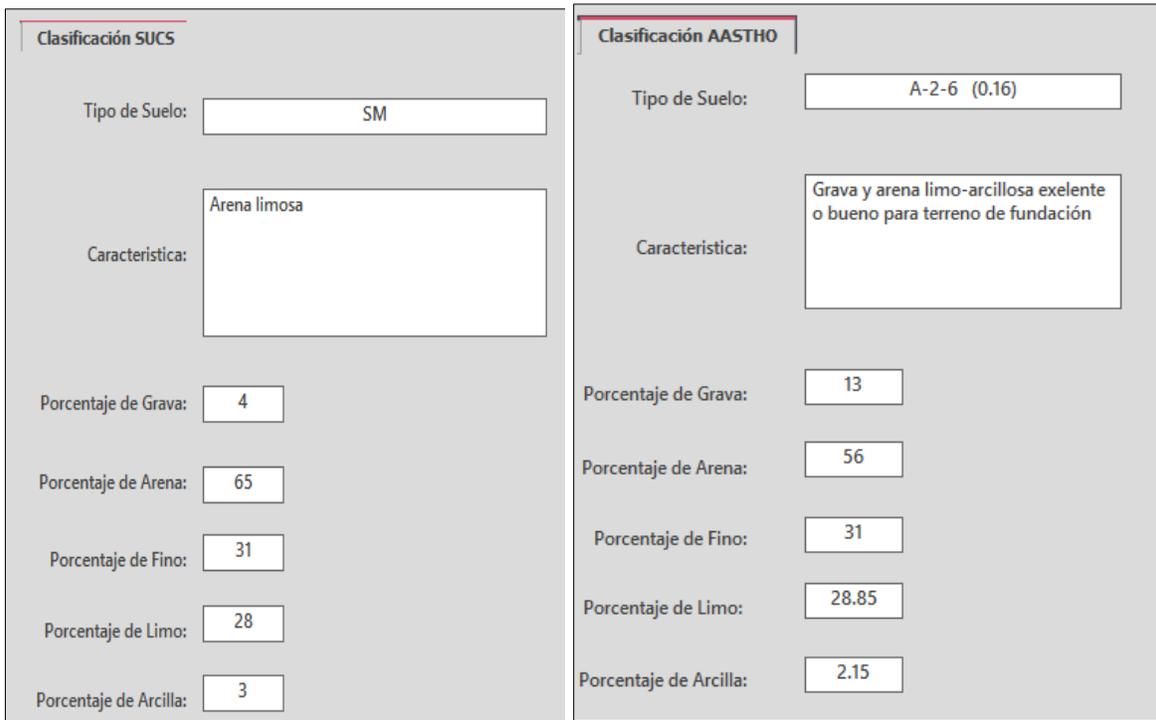


Figura 6.14 Resultados de clasificación de suelos

Como se observa los resultados de clasificación de suelos del laboratorio de geotecnia del IGG-CIGEO y C.CAPS son iguales, lo cual valida los algoritmos programados y la confiabilidad de los datos que presentan.

6.5.2 Validación de capacidad de carga por Terzaghi

La capacidad de carga obtenida por el método de Terzaghi a través del software fue validada con datos que proporcionó el IGG-CIGEO de los estudios de suelos para la construcción del Hospital UCATSE ubicado en Estelí. Estos datos corresponden al número de estratos, cohesiones, pesos específicos, ángulo de fricción y espesor de cada estrato los cuales se muestran en la tabla 6.11. Para definir el número de estratos y sus respectivos espesores se realizaron 14 sondeos de penetración estándar y una trinchera.

Tabla 6.11 Datos de los estratos de sitio en donde se construirá el Hospital UCATSE (IGG-CIGEO)

Estrato	Cohesión del suelo (Kg/m ²)	Peso específico (Kg/m ³)	Angulo de fricción (°)	Espesor (m)
1	2500	1300	1	1.3
2	0	1400	35	0.5
3	0	1400	42	4.2

El tipo de cimentación con la que se desea construir es cuadrada, proponiendo los siguientes datos:

Ancho de zapata: 2m

Nivel de desplante: 1.8m

Factor de seguridad: 3

Con todos estos datos se puede calcular el valor de carga admisible de la siguiente manera:

$$q_u = 1.3CN_c + \gamma_1 D_f N_q + 0.4\gamma_2 BN_\gamma$$

$$q_u = 1.3(0)(119.67) + [(1,300kg/m^3)(1.3m) + (1,400kg/m^3)(0.5m)](108.75) + (0.4)(1,400kg/m^3)(2m)(140.65)$$

$$q_u = 417,440.5kg/m^2$$

$$q_{adm} = \frac{q_{ult}}{F.S}$$

$$q_{adm} = \frac{417,440.5 kg/m^2}{3}$$

$$q_{adm} = 139,146.83 \frac{kg}{m^2} = 13.91 \frac{kg}{cm^2}$$

Ingreso de datos y resultados en C.CAPS

Para validar el software en el área de capacidad de carga por Terzaghi se ingresaron los datos de cohesión del suelo, peso específico, ángulo de fricción y espesor de cada estrato, además se ingresaron los datos propuestos como ancho de zapata, nivel de desplante y factor de seguridad tal como se muestra en la figura 6.15.

Número de estratos

Estrato	Cohesión del Suelo (kg/m ²)	Peso específico (kg/m ³)	Angulo de fricción(°)	Espesor (m)
1	2500	1300	1	1.3
2	0	1400	35	0.5
3	0	1400	42	4.2

Ancho de la zapata (m)
 Diámetro de la zapata (m)
 Nivel de desplante (m)
 Factor de seguridad

Capacidad de carga (Kg/cm²)
13.91kg/cm²

Seleccionar tipo de zapata

Caso 6
 E1
 E2
 E3

Figura 6.15 Datos de entrada y resultados de capacidad de carga por Terzaghi

Como se puede observar en la figura 6.15 el resultado de capacidad de carga es igual al valor calculado manualmente por el área geotécnica del IGG-CIGEO (ver Tabla 6.12).

Tabla 6.12 Comparación de resultados de capacidad de carga por Terzaghi

Calculado por	Capacidad de carga Terzaghi
IGG-CIGEO	13.91 Kg/cm ²
C.CAPS	13.91 Kg/cm ²

6.5.3 Validación de capacidad de carga por SPT

El IGG-CIGEO realizó 14 pruebas del SPT en el terreno de la UCATSE de Estelí donde se pretende construir un Hospital; dichos datos de los sondeos fueron introducidos en el software para comparar sus resultados con los calculados por el IGG-CIGEO y en dependencia de ello poder validar el software. Los valores que resultaron por ambas partes fueron iguales, con diferencias máximas de 0.2 decimales. En este documento se presentará el análisis de 2 de los 14 sondeos para visualizar su comparación.

Para calcular la capacidad de carga con datos de SPT el IGG-CIGEO realiza sus cálculos en formatos de Excel, a continuación se presentan los datos y resultados por parte de esta institución en las tablas 6.13, 6.14, 6.15 y 6.16.

Tabla 6.13 Datos del Sondeo 1 de la prueba SPT (IGG-CIGEO)

Datos de entrada del Sondeo 1				
Elevación 816 msnm				
Profundidad (m)	N1	N2	N3	Peso específico (Kg/m³)
0.45	1	2	3	1300
0.9	2	3	2	1300
1.35	2	2	7	1300
1.8	8	12	14	1400
2.25	11	11	12	1400
2.7	13	18	22	1400
3.15	22	21	15	1400
3.6	18	16	18	1400
4.05	18	25	38	1400
4.5	20	39	53	1400
4.95	13	11	14	1400
5.4	9	14	16	1400
5.85	20	50	37	1400

Tabla 6.14 Resultados del Sondeo 1(IGG-CIGEO)

Resultados del Sondeo 1		
Elevación (m)	N corregido	Capacidad de carga (Kg/cm²)
815.55	5	0.56
815.1	5	0.56
814.65	8	1.01
814.2	23	2.91
813.75	32	3.96
813.3	53	6.57
812.85	45	5.65
812.4	41	5.11
811.95	73	9.09
811.5	102	12.75
811.05	27	3.34
810.6	31	3.86
810.15	87	10.80

Tabla 6.15 Datos del Sondeo 2 de la prueba SPT (IGG-CIGEO)

Datos de entrada del Sondeo 2				
Elevación 816 msnm				
Profundidad (m)	N1	N2	N3	Peso específico (Kg/m³)
0.45	0	1	2	1300
0.9	0	2	2	1300
1.35	4	6	7	1300
1.8	12	19	21	1400
2.25	18	19	22	1400
2.7	15	20	22	1400
3.15	14	20	20	1400
3.6	15	32	32	1400
4.05	14	28	34	1400
4.5	30	36	39	1400

Tabla 6.16 Resultados del Sondeo 2 (IGG-CIGEO)

Resultados del Sondeo 2		
Elevación (m)	N corregido	Capacidad de carga (Kg/cm²)
815.55	3	0.34
815.1	4	0.45
814.65	12	1.46
814.2	36	4.48
813.75	57	7.06
813.3	55	6.90
812.85	50	6.28
812.4	77	9.62
811.95	72	8.94
811.5	84	10.40

Datos de entrada de los sondeos en C.CAPS

Capacidad de Carga SPT

Cantidad de sondeo

Sondeo 1 **Sondeo 2**

Elevación del sondeo (m) **Calcular**

Profundidad del sondeo (m)

Introduzca valores de corrección n según su criterio

Corrección por energía, n1 Corrección por tomamuestras, n3

Corrección por longitud de barras, n2 Corrección por el diámetro de perforación, n4

Profundidad(m)	N1	N2	N3	N de Campo	Peso específico (kg/m³)
0.45	1	2	3	5	1300
0.9	2	3	2	5	1300
1.35	2	2	7	9	1300
1.8	8	12	14	26	1400
2.25	11	11	12	23	1400
2.7	13	18	22	40	1400
3.15	22	21	15	36	1400
3.6	18	16	18	34	1400
4.05	18	25	38	63	1400
4.5	20	39	53	92	1400
4.95	13	11	14	25	1400
5.4	9	14	16	30	1400
5.85	20	50	37	87	1400

Limpiar Capacidad de carga

Figura 6.16 Datos del Sondeo 1 introducidos en C.CAPS

Capacidad de Carga SPT

Cantidad de sondeo

Sondeo 1 **Sondeo 2**

Elevación del sondeo (m) **Calcular**

Profundidad del sondeo (m)

Introduzca valores de corrección n según su criterio

Corrección por energía, n1 Corrección por tomamuestras, n3

Corrección por longitud de barras, n2 Corrección por el diámetro de perforación, n4

Profundidad(m)	N1	N2	N3	N de Campo	Peso específico (kg/m³)
0.45	0	1	2	3	1300
0.9	0	2	2	4	1300
1.35	4	6	7	13	1300
1.8	12	19	21	40	1400
2.25	18	19	22	41	1400
2.7	15	20	22	42	1400
3.15	14	20	20	40	1400
3.6	15	32	32	64	1400
4.05	14	28	34	62	1400
4.5	30	36	39	75	1400

Limpiar Capacidad de carga

Figura 6.17 Datos del Sondeo 2 introducidos en C.CAPS

Resultados de capacidad de carga por SPT calculados en C.CAPS

Sondeo 1	Sondeo 2				
		Elevación (m)	Profundidad (m)	N Corregido	Capacidad de carga (kg/cm ²)
▶		815.55	0.45	3	0.5
		815.1	0.9	3	0.5
		814.65	1.35	6	1
		814.2	1.8	18	2.99
		813.75	2.25	24	3.98
		813.3	2.7	40	6.64
		812.85	3.15	34	5.64
		812.4	3.6	31	5.15
		811.95	4.05	55	9.13
		811.5	4.5	78	12.95
		811.05	4.95	20	3.32
		810.6	5.4	24	3.98
		810.15	5.85	66	10.96

Exportar Resultados

Figura 6.18 Resultados del Sondeo 1 en C.CAPS

Sondeo 1	Sondeo 2				
		Elevación (m)	Profundidad (m)	N Corregido	Capacidad de carga (kg/cm ²)
▶		815.55	0.45	2	0.33
		815.1	0.9	3	0.5
		814.65	1.35	9	1.49
		814.2	1.8	27	4.48
		813.75	2.25	43	7.14
		813.3	2.7	42	6.97
		812.85	3.15	38	6.31
		812.4	3.6	58	9.63
		811.95	4.05	54	8.96
		811.5	4.5	63	10.46

Exportar Resultados

Figura 6.19 Resultados del Sondeo 2 en C.CAPS

Comparación de los resultados de capacidad de carga por SPT

Tabla 6.17 Comparación de resultados del sondeo 1

Capacidad de carga del sondeo 1 en Kg/cm²	
IGG-CIGEO	C.CAPS
0.56	0.5
0.56	0.5
1.01	1
2.91	2.99
3.96	3.98
6.57	6.64
5.65	5.64
5.11	5.15
9.09	9.13
12.75	12.95
3.34	3.32
3.86	3.98
10.80	10.96

Tabla 6.18 Comparación de resultados del sondeo 2

Capacidad de carga del sondeo 2 en Kg/cm²	
IGG-CIGEO	C.CAPS
0.34	0.33
0.45	0.5
1.46	1.49
4.48	4.48
7.06	7.14
6.90	6.97
6.28	6.31
9.62	9.63
8.94	8.96
10.40	10.46

7. Análisis y discusión de resultados

Con respecto a la escritura en lenguaje de programación de las formulas, condiciones y validaciones tanto para los métodos de clasificación y capacidad de carga se ejecutaron los algoritmos y se obtuvo un resultado eficiente, esto debido a que el programa realiza todos los algoritmos cuando el usuario inicia el análisis.

Los datos de granulometría, límites e hidrometrías ingresados al software calculan un tipo de suelo correspondiente a una arena limosa (SM) y los cálculos más específicos como porcentajes acumulados, porcentajes que pasan, profundidad efectiva, correcciones y porcentajes de finos son los mismos resultados que el IGG-CIGEO obtuvo y de igual manera clasificando el suelo como SM.

El cálculo de capacidad de carga con el método de Terzaghi realizado por el IGG-CIGEO para 3 tipos de estratos con nivel de desplante y ancho de zapatas propuestos fue de 13.91 Kg/cm², siendo este el mismo valor que el programa determinó.

El programa genera el número de sondeos ingresados, propiedades correspondientes e incrementos de profundidades, se compararon los resultados calculados por el laboratorio de geotecnia del instituto IGG- CIGEO y los del software y se obtuvo N corregidos y capacidades de cargas iguales, con una diferencia de 0.2 decimales, por lo cual se puede decir que los algoritmos diseñados y programados se ejecutan de manera confiable y dinámicos.

En general todos los resultados del programa y los calculados por el área geotécnica del IGG-CIGEO presentaron correspondencia entre sí mismos, tanto en clasificación como en capacidad de carga de los suelos.

8. Conclusiones y Recomendaciones

8.1 Conclusiones

Se identificaron las variables dinámicas de los métodos de clasificación de suelos y cálculo de capacidad de carga; las cuales corresponden a granulometría, hidrometría y plasticidad para aplicar los métodos de clasificación. Mientras, que en capacidad de carga están las variables del número de golpes, pesos específicos, factores de corrección, elevación y profundidad de sondeo, las cuales conciernen a la prueba de penetración estándar; en cambio para aplicar las ecuaciones de Terzaghi se necesitan valores de ancho de zapata, nivel de desplante, factor de seguridad y propiedades de estratos. También se definieron variables para presentar y guardar resultados.

Se diseñó la interfaz del software de manera que el usuario pueda interactuar de manera clara tanto en clasificación de suelos como en capacidad de carga, en la cual se comprende el contenido de la misma y se muestran los campos en donde se deberán introducir los datos de entrada, así como también la ubicación de los resultados.

Se programó las ecuaciones y condiciones que las normas AASTHO y SUCS establecen para clasificar un suelo, las cuales se escribieron en primer lugar en un lenguaje natural o escrito para pasarlas posteriormente a un lenguaje de programación. También se utilizaron recursos propios de visual estudio como condicionales, librerías y métodos para dar una mayor rapidez al programa.

Se determinó la capacidad de carga por medio de la prueba de penetración estándar haciendo uso del número de golpes que proporciona esta prueba y de igual manera se utilizaron las ecuaciones de Terzaghi para el mismo fin. Ambos métodos fueron escritos en lenguaje natural para luego escribirlo en lenguaje de programación en el programa de visual estudio y de esta manera se creó el código del software referente al cálculo de capacidad de carga.

Se validó los resultados del software con los datos del IGG-CIGEO, el desarrollo de esta validación está en el ítem 6.5 de este documento. Se concluyó que tanto para clasificación de suelos por los métodos AASTHO y SUCS, como para capacidad de carga utilizando las ecuaciones de Terzaghi y la prueba de penetración estándar (SPT), los resultados mostraron buena correspondencia, ya que se obtuvieron los mismos valores por ambas instancias, y esto nos permite la obtención de resultados satisfactorios.

8.2 Recomendaciones

Se recomienda el uso del software para clasificar suelos y calcular la capacidad de carga de los mismos, ya que los resultados que este proporciona son confiables, por tanto facilitarían y agilizarían el proceso de un determinado análisis geotécnico.

Para el uso de este software, se sugiere que el usuario tenga conocimientos acerca de cálculo de clasificación de suelos y capacidad de carga.

Para el uso de este software, se recomienda utilizar los procedimientos de clasificación de suelo establecidos por la norma AASTHO y SUCS.

Además, se recomienda que para el cálculo de capacidad de carga el usuario utilice los parámetros reflejados en este documento.

Se sugiere que antes de hacer uso de este software, el usuario lea el manual de instrucciones, el cual está contenido en el Anexo C.

Se recomienda que este software sirva de base para futuras versiones, donde se incorporen variables que resuelvan casos tales como: el cálculo de capacidad de carga bajo la influencia del nivel freático, así como también el cálculo de capacidad de carga para fallas o asentamientos de corte local y punzonamiento.

9. Bibliografía

- ASTM. (2001). *Book of Standards. ASTM D 1586 - 99: Test Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soils* (Vol. 4.08). Estados Unidos: West Conshohocken ASTM International.
- ASTM. (2001). *Book of Standards. ASTM D 2487 - 00: Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)* (Vol. 4.08). Estados Unidos: West Conshohocken ASTM International.
- ASTM. (2001). *Book of Standards. ASTM D 422-63: Test Method for Particle-Size Analysis of Soils* (Vol. 4.08). Estados Unidos: West Conshohocken ASTM International.
- ASTM. (2001). *Book of Standards. ASTM D 4318 - 00: Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils* (Vol. 4.08). Estados Unidos: West Conshohocken ASTM International.
- ASTM. (2001). *Book of Standards. ASTM D 854 - 00: Test Method for Specific Gravity of Soils* (Vol. 4.08). Estados Unidos: West Conshohocken ASTM International.
- Bowles, J. (1997). *Foundation Analysis and Design*. Singapore: McGraw-Hill Companies.
- Castrillo, E., & Ulloa, H. (2006). *Caracterización geotécnica para propósito de cimentación, en el sitio donde se proyecta la construcción del estadio nacional de football, en la UNAN-Managua*. Managua.
- Crespo, C. (2007). *Mecánica de suelos y cimentaciones* (Sexta ed.). D.F, Mexico: Limusa.
- Das, B. (2001). *Principio de Ingeniería de Cimentaciones* (Cuarta ed.). México: International Thomson Editores.
- Das, B. (2011). *Principles of Foundation Engineering* (Seventh ed.). United States of America: Cengage Learning.
- Delgado, M. (1999). *Ingeniería de cimentaciones: Fundamentos e introducción al análisis geotécnico*. Santafé de Bogotá, Colombia: Alfaomega.
- Espinoza, H. (2014). *Análisis de la capacidad soporte del suelo de cimentación del Edificio de Laboratorio de Ingeniería "Julio y Adolfo López de la Fuente, S.J" de la Universidad Centroamericana UCA*. Tesis monográfica, Managua.
- Ferrer, J. (2010). *Conceptos básicos de la Metodología de la Investigación*. México.
- González, J. (2003). *El lenguaje de programación C#*.
- Gottfried, B. (2005). *Programación en C*. Mexico: McGraw-Hill.
- I.N.V.E-111. (2007). *Ensayo de penetración normal (SPT) y muestreo de suelos con tubo partido I.N.V.E -111-07*. Bogotá.
- I.N.V.E-124. (2007). *Análisis granulométrico por medio del hidrometro I.N.V.E-124-07*. Bogotá.
- Juárez, E., & Rico, A. (2005). *Mecánica de suelos I: Fundamentos de la Mecánica de suelos* (Vol. 1). México, D.F: Limusa.

- Lazo, I., & Rodríguez, M. (13 de marzo de 2016). *Visita al suelo*. Obtenido de Visita al suelo:
<https://vistaalsuelo.wikispaces.com/CLASIFICACI%C3%93N+SUELOS>
- López, M. (2003). *Determinación in situ de propiedades ingenieriles de los suelos y su relación con el ensayo normal de penetración*. Argentina.
- Piura, J. (1994). *Introducción a la metodología de la investigación científica* (Tercera ed.). Managua: CIES.
- Rico, A., & Del Castillo, H. (2008). *La Ingeniería de suelos en las vías terrestres*. México: Limusa.
- Soriano, C. (2 de 08 de 2014). *Slide Share*. Obtenido de Slide Share:
<http://es.slideshare.net/cristiansorianoc/aplicacin-del-ensayo-de-penetracin-estndar-en-la-determinacin-de-parmetros-geotcnicos-de-suelos-granulares>

10. Anexos

10.1 Anexo A. Conjunto de coordenadas para definir las áreas de la carta de plasticidad

Conjunto de coordenadas para arcillas de baja plasticidad (CL)

$1 \leq X \leq 29$ y $8 \leq Y \leq 50$	$X=40$ y $16 \leq Y \leq 50$
$X=30$ y $8 \leq Y \leq 50$	$X=41$ y $16 \leq Y \leq 50$
$X=31$ y $9 \leq Y \leq 50$	$X=42$ y $17 \leq Y \leq 50$
$X=32$ y $10 \leq Y \leq 50$	$X=43$ y $18 \leq Y \leq 50$
$X=33$ y $10 \leq Y \leq 50$	$X=44$ y $19 \leq Y \leq 50$
$X=34$ y $11 \leq Y \leq 50$	$X=45$ y $19 \leq Y \leq 50$
$X=35$ y $12 \leq Y \leq 50$	$X=46$ y $20 \leq Y \leq 50$
$X=36$ y $13 \leq Y \leq 50$	$X=47$ y $21 \leq Y \leq 50$
$X=37$ y $13 \leq Y \leq 50$	$X=48$ y $21 \leq Y \leq 50$
$X=38$ y $14 \leq Y \leq 50$	$X=49$ y $22 \leq Y \leq 50$
$X=39$ y $15 \leq Y \leq 50$	$X=50$ y $23 \leq Y \leq 50$

Conjunto de coordenadas para arcillas de alta plasticidad (CH)

$X=51$ y $24 \leq Y \leq 50$	$X=61$ y $31 \leq Y \leq 50$
$X=52$ y $24 \leq Y \leq 50$	$X=62$ y $32 \leq Y \leq 50$
$X=53$ y $25 \leq Y \leq 50$	$X=63$ y $32 \leq Y \leq 50$
$X=54$ y $26 \leq Y \leq 50$	$X=64$ y $33 \leq Y \leq 50$
$X=55$ y $27 \leq Y \leq 50$	$X=65$ y $34 \leq Y \leq 50$
$X=56$ y $27 \leq Y \leq 50$	$X=66$ y $35 \leq Y \leq 50$
$X=57$ y $28 \leq Y \leq 50$	$X=67$ y $35 \leq Y \leq 50$
$X=58$ y $29 \leq Y \leq 50$	$X=68$ y $36 \leq Y \leq 50$
$X=59$ y $29 \leq Y \leq 50$	$X=69$ y $37 \leq Y \leq 50$
$X=60$ y $30 \leq Y \leq 50$	$X=70$ y $38 \leq Y \leq 50$

$$X=71 \text{ y } 38 \leq Y \leq 50$$

$$X=72 \text{ y } 39 \leq Y \leq 50$$

$$X=73 \text{ y } 40 \leq Y \leq 50$$

$$X=74 \text{ y } 40 \leq Y \leq 50$$

$$X=75 \text{ y } 41 \leq Y \leq 50$$

$$X=76 \text{ y } 42 \leq Y \leq 50$$

$$X=77 \text{ y } 43 \leq Y \leq 50$$

$$X=78 \text{ y } 43 \leq Y \leq 50$$

$$X=79 \text{ y } 44 \leq Y \leq 50$$

$$X=80 \text{ y } 45 \leq Y \leq 50$$

$$X=81 \text{ y } 46 \leq Y \leq 50$$

$$X=82 \text{ y } 46 \leq Y \leq 50$$

$$X=83 \text{ y } 47 \leq Y \leq 50$$

$$X=84 \text{ y } 48 \leq Y \leq 50$$

$$X=85 \text{ y } 48 \leq Y \leq 50$$

$$X=86 \text{ y } 49 \leq Y \leq 50$$

$$X=87 \text{ y } Y=51$$

$$X=88 \text{ y } Y=51$$

$$X=89 \text{ y } Y=51$$

$$X=90 \text{ y } Y=52$$

Conjunto de coordenadas para limos de baja plasticidad (ML-OL)

$$Y=1 \text{ y } 21 \leq X \leq 50$$

$$Y=2 \text{ y } 23 \leq X \leq 50$$

$$Y=3 \text{ y } 24 \leq X \leq 50$$

$$Y=4 \text{ y } 25 \leq X \leq 50$$

$$Y=5 \text{ y } 27 \leq X \leq 50$$

$$Y=6 \text{ y } 28 \leq X \leq 50$$

$$Y=7 \text{ y } 29 \leq X \leq 50$$

$$Y=8 \text{ y } 31 \leq X \leq 50$$

$$Y=9 \text{ y } 32 \leq X \leq 50$$

$$Y=10 \text{ y } 34 \leq X \leq 50$$

$$Y=11 \text{ y } 35 \leq X \leq 50$$

$$Y=12 \text{ y } 36 \leq X \leq 50$$

$$Y=13 \text{ y } 38 \leq X \leq 50$$

$$Y=14 \text{ y } 39 \leq X \leq 50$$

$$Y=15 \text{ y } 40 \leq X \leq 50$$

$$Y=16 \text{ y } 42 \leq X \leq 50$$

$$Y=17 \text{ y } 43 \leq X \leq 50$$

$$Y=18 \text{ y } 44 \leq X \leq 50$$

$$Y=19 \text{ y } 46 \leq X \leq 50$$

$$Y=20 \text{ y } 47 \leq X \leq 50$$

$$Y=21 \text{ y } 49 \leq X \leq 50$$

$$Y=22 \text{ y } X=50$$

$$Y=1 \text{ y } 1 \leq X \leq 20$$

$$Y=2 \text{ y } 1 \leq X \leq 22$$

$$Y=3 \text{ y } 1 \leq X \leq 23$$

Conjunto de coordenadas para limos de alta plasticidad (MH-OH)

$51 \leq X \leq 90$ y $1 \leq y \leq 22$	Y=37 y $70 \leq X \leq 90$
Y=23 y $51 \leq X \leq 90$	Y=38 y $72 \leq X \leq 90$
Y=24 y $53 \leq X \leq 90$	Y=39 y $74 \leq X \leq 90$
Y=25 y $54 \leq X \leq 90$	Y=40 y $75 \leq X \leq 90$
Y=26 y $55 \leq X \leq 90$	Y=41 y $76 \leq X \leq 90$
Y=27 y $57 \leq X \leq 90$	Y=42 y $77 \leq X \leq 90$
Y=28 y $58 \leq X \leq 90$	Y=43 y $79 \leq X \leq 90$
Y=29 y $60 \leq X \leq 90$	Y=44 y $80 \leq X \leq 90$
Y=30 y $61 \leq X \leq 90$	Y=45 y $81 \leq X \leq 90$
Y=31 y $62 \leq X \leq 90$	Y=46 y $83 \leq X \leq 90$
Y=32 y $64 \leq X \leq 90$	Y=47 y $84 \leq X \leq 90$
Y=33 y $65 \leq X \leq 90$	Y=48 y $86 \leq X \leq 90$
Y=34 y $66 \leq X \leq 90$	Y=49 y $87 \leq X \leq 90$
Y=35 y $68 \leq X \leq 90$	Y=50 y $88 \leq X \leq 90$
Y=36 y $69 \leq X \leq 90$	Y=51 y $X=90$

Conjunto de coordenadas para suelos de arcillosos-limosos (CL-ML)

Y=4 y $1 \leq X \leq 24$
Y=5 y $1 \leq X \leq 26$
Y=6 y $1 \leq X \leq 27$

10.2 Anexo B. Fotografías referentes a la investigación



a) Medición de lectura hidrométrica



b) Medición de temperatura en la solución



c) Ejecución de la prueba SPT



d) Ejecución de la prueba SPT

10.3 Anexo C. Manual C.CAPS

**Manual de
Usuario
Software C.CAPS**

Contenido

1. Introducción	105
1.1 Acerca de C.CAPS	105
1.2 Términos y condiciones para el uso de C.CAPS	105
1.3 Instalación del software	106
1.4 Limitaciones de C.CAPS	106
2. Manual de usuario	107
2.1 Opciones de la ventana principal de C.CAPS	107
2.2 Clasificación de suelos	107
2.2.1 Panel de datos de entrada	109
2.2.2 Botones y sus funciones	111
2.2.3 Pestañas de resultados	113
2.3 Capacidad de carga	118
2.3.1 Método de Terzaghi	118
2.3.2 Capacidad de carga por SPT	122

1. Introducción

1.1 Acerca de C.CAPS

C.CAPS es un software diseñado para clasificar suelos a través de los métodos SUCS y AASTHO; además incluye el cálculo de capacidad de carga con la ecuación general de Terzaghi y datos de SPT. El nombre C.CAPS significa Clasificación y Capacidad de carga de los suelos.

Este software ha sido creado por los estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Kerlyn Lilibel Orozco Lanzas y Wilmor Antonio Arce Monjareth, bajo la tutoría del Msc. Ing. Horacio Alejandro Ulloa López y la asesoría del Msc. Ing. Sergio Ramírez Lanzas y el estudiante egresado de la carrera de Ingeniería en Sistemas el Br. Maurel Eliazar Reyes Escobar.

C.CAPS ha sido programado en el software Visual Studio del año 2010

1.2 Términos y condiciones para el uso de C.CAPS

El software C.CAPS, incluyendo todos los algoritmos y documentación disponible, solo estará autorizado para su uso en la medida que el usuario acepte todas las condiciones contenidas en este acápite. Se sugiere que sean leídos todos los términos y condiciones, cuidadosamente.

Los términos y condiciones para el uso de C.CAPS son las siguientes:

- El software pertenece a la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, con el mérito a sus creadores Kerlyn Lilibel Orozco Lanzas y Wilmor Antonio Arce Monjareth.
- Cualquier modificación o mejora para el software deberá ser notificados a los creadores del mismo y se prohíbe cualquier acción que modifique los códigos de programación o cualquier documentación ligada al software sin el consentimiento de los creadores de C.CAPS.
- En el caso que sea concedido cualquier trabajo derivado, se deberá especificar el siguiente aviso “Este producto es derivado del software C.CAPS desarrollado por Kerlyn Lilibel Orozco Lanzas y Wilmor Antonio Arce Monjareth en la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua”
- El usuario admitirá que el Software C.CAPS es propiedad de los autores anteriormente mencionados. Y se comprometerá a proteger al software de acciones perjudiciales para el programa. Si el usuario es consciente de cualquier uso no autorizado deberá notificar lo más pronto posible tales acciones a las direcciones de correos kerlynorozco08@gmail.com y wilmorarce@hotmail.com.
- Cualquier material del que se hizo una descarga queda a discreción del usuario y su riesgo, y el usuario es solamente responsable de cualquier daño para el sistema de la computadora o la pérdida de datos que resulta de la descarga de tal material,

incluyendo cualquier daño o perjuicio resultando el ataque a la computadora por virus malwares, spywares u otros.

- Cabe resaltar que este programa es proveído libremente, por lo cual el usuario asume toda la responsabilidad sobre los resultados obtenidos con C.CAPS y el uso de estos. El usuario asume todo el riesgo en lo que respecta a la calidad, resultados, desempeño, y/o cumplimiento del software.

1.3 Instalación del software

En referencia a este acápite, se creó un instalador que permite que el Software se guarde en el disco local de la computadora en la cual se ejecute; con la finalidad de que se guarden todos los componentes, formularios, corretores propios y archivos varios que necesita el Software para su buen funcionamiento.

Este Software podrá instalarse libremente, sin necesidad de licencia o códigos seriales. Además, se podrá instalar en computadoras de 32 y 64 bits.

1.4 Limitaciones de C.CAPS

El software presenta un formato determinado de mallas principales para realizar granulometría, sin embargo es ajustable a los valores que se tienen como datos de entrada.

Los tipos de malla a usarse deben ser de acuerdo a las normas AASTHO y SUCS, de modo contrario no se podría clasificar un suelo con este Software.

El número máximo de estratos que puede analizar el Software para calcular el valor de capacidad de carga por Terzaghi es de 6.

Otra limitación es que el Software solo calcula la capacidad de carga para casos en que la falla sea por corte general; es decir que no está diseñado para fallas por corte local ni punzonamiento, lo cual requiere el uso de las ecuaciones de Terzaghi con factores de carga modificados.

La capacidad de carga está dirigida para zapatas continuas y rectangulares, no se puede utilizar en losas, ni pilotes.

El software tiene como limitante el cálculo de capacidad de carga cuando se esté en presencia del nivel freático del suelo, tanto para el método de Terzaghi y SPT.

2. Manual de usuario

2.1 Opciones de la ventana principal de C.CAPS

Al iniciar el software C.CAPS, al usuario se le presentara la ventana mostrada en la Figura 2.1.

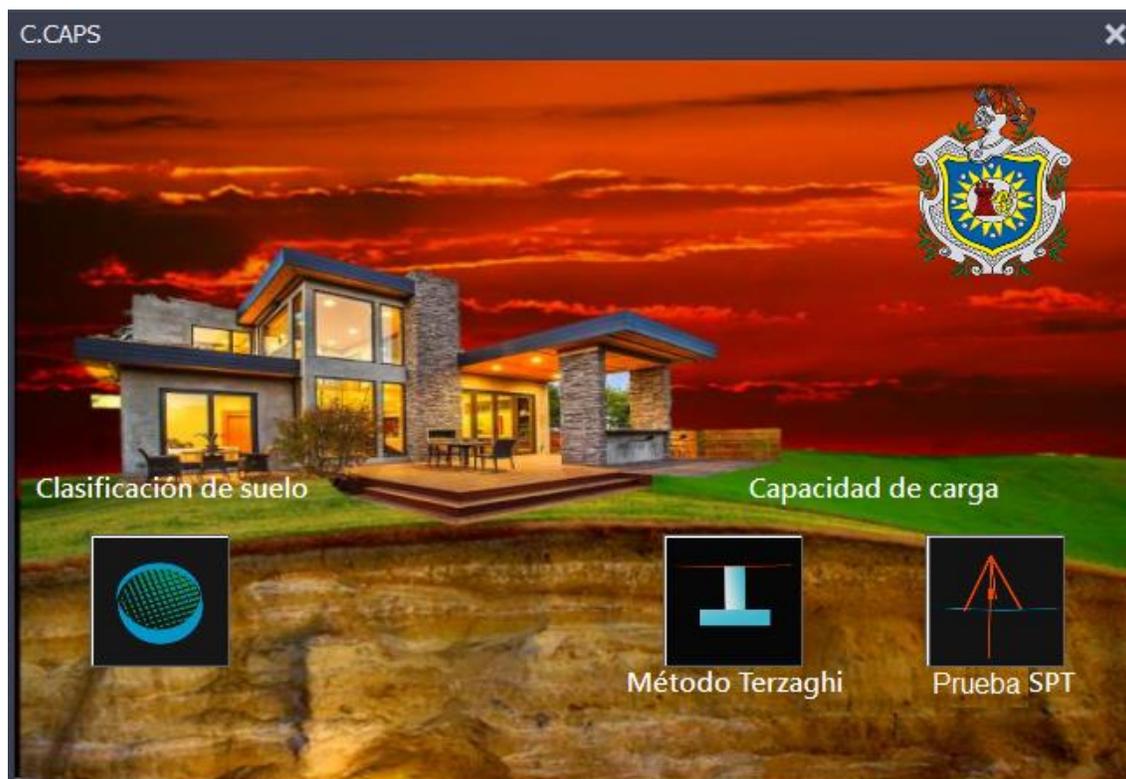


Figura 2.1 Ventana principal de C.CAPS

En esta ventana se muestran las opciones que ofrece el software, a la izquierda el usuario podrá seleccionar el botón de clasificación de suelo y a la derecha podrá elegir el método con el cual desee calcular el valor de capacidad de carga de un suelo, ya sea por el método Terzaghi o del SPT.

2.2 Clasificación de suelos

Como se mencionó anteriormente C.CAPS está diseñado para clasificar un suelo por dos métodos al mismo momento, los cuales son el método SUCS y AASTHO. Si el usuario selecciona clasificación de suelo podrá apreciar la ventana mostrada en la Figura 2.2

Clasificación de suelos

Sistema para el estudio y clasificación de los suelos

Datos de Granulometría | Datos de Hidrometría

Distribución de Tamaño | Curva Granulométrica | Carta de Plasticidad | Clasificación SUCS | Clasificación AASTHO

1

Mallas	Peso retenido (grs)	Mallas	Peso retenido (grs)
3"	<input type="text"/>	No 4	<input type="text"/>
2 1/2"	<input type="text"/>	No 10	<input type="text"/>
2"	<input type="text"/>	No 20	<input type="text"/>
1 1/2"	<input type="text"/>	No 40	<input type="text"/>
1"	<input type="text"/>	No 60	<input type="text"/>
3/4"	<input type="text"/>	No 100	<input type="text"/>
3/8"	<input type="text"/>	No 140	<input type="text"/>
1/4"	<input type="text"/>	No 200	<input type="text"/>
		Pasa No 200	<input type="text"/>

Límites de Atterberg

Límite líquido: Índice Plasticidad:

Límite Plástico:

2

Granulometría			Hidrometría		
Mallas	Diámetro(mm)	% que pasa	Malla: Diámetro(mm)	% que pasa	
3"	76.2	<input type="text"/>	No 10	2	<input type="text"/>
2 1/2"	63.5	<input type="text"/>	No 20	0.84	<input type="text"/>
2"	50.8	<input type="text"/>	No 40	0.42	<input type="text"/>
1 1/2"	38.1	<input type="text"/>	No 60	0.25	<input type="text"/>
1"	25.4	<input type="text"/>	No 100	0.149	<input type="text"/>
3/4"	19.05	<input type="text"/>	No 140	0.105	<input type="text"/>
3/8"	9.52	<input type="text"/>	No 200	0.074	<input type="text"/>
1/4"	6.35	<input type="text"/>			<input type="text"/>
No 4	4.76	<input type="text"/>			<input type="text"/>

Limpiar **Calcular** **Exportar**

Figura 2.2 Ventana de clasificación de suelos

En esta ventana se puede observar la interfaz de clasificación de suelos (Figura 2.2), la cual se dividió en 2 partes en dependencia de su contenido; la numero 1 es el panel donde se ingresan los datos de entrada, mientras que la 2 se refiere al panel de los resultados.

Parte 1: Corresponde al panel de los datos de entrada y se puede observar en la Figura 2.2; este panel posee 2 pestañas, una llamada “Datos de granulometría” y la otra “Datos de hidrometría”, la primera se muestra por defecto en la interfaz de clasificación de suelos, mientras que para entrar a las opciones de la segunda pestaña se debe dar clic en ella.

Parte 2: Concierno al panel de resultados y también se muestra en la Figura 2.2; es el segundo panel de la interfaz de clasificación de suelos y contiene 5 pestañas. La primera de ellas es la de Distribución de tamaños, la cual se muestra por defecto en la interfaz; para poder ver los resultados de las demás pestañas se deberá dar clic sobre sus nombres los cuales son: Curva granulométrica, Carta de plasticidad, Clasificación SUCS y Clasificación AASTHO.

A continuación se describirá con más detalles el contenido de cada una de las pestañas antes mencionadas.

2.2.1 Panel de datos de entrada

Como se mencionó con anterioridad, este panel corresponde a la parte 1, en el cual se deberán ingresar todos los datos que el software necesita para calcular resultados. A continuación se describirá cuáles son los valores que se deberán ingresar en cada pestaña.

2.2.1.1 Datos de granulometría y límites de Atterberg

En la figura 2.3 se muestra la pestaña de Datos de granulometría, en ella se deberán ingresar los datos de los pesos retenidos por cada tamiz y lo que pasa por la malla No 200; también se deberá de introducir los valores de limite líquido y limite plástico, a la par de ellos se observa un campo que dice “Índice de plasticidad” este valor no es un dato de entrada sino un valor calculado automáticamente al dar clic en el botón “Calcular” que aparece en la parte inferior.

Clasificación de suelos

Datos de Granulometría 1 Datos de Hidrometría

Mallas	Peso retenido (grs)	Mallas	Peso retenido (grs)
3"	<input type="text"/>	No 4	<input type="text"/>
2 1/2"	<input type="text"/>	No 10	<input type="text"/>
2"	<input type="text"/>	No 20	<input type="text"/>
1 1/2"	<input type="text"/>	No 40	<input type="text"/>
1"	<input type="text"/>	No 60	<input type="text"/>
3/4"	<input type="text"/>	No 100	<input type="text"/>
3/8"	<input type="text"/>	No 140	<input type="text"/>
1/4"	<input type="text"/>	No 200	<input type="text"/>
		Pasa No 200	<input type="text"/>

Límites de Atterberg

Límite líquido Índice Plasticidad:

Límite Plástico

Figura 2.3. Datos de entrada de granulometría y límites de Atterberg

2.2.1.2 Datos de hidrometría

En la Figura 2.4 se muestran los campos que deberá llenar el usuario cuando desee realizar hidrometría, en ella el deberá de introducir los datos del peso de la muestra, la gravedad específica, la lectura del hidrómetro en agua con defloculante y las lecturas del hidrómetro con sus respectivas temperaturas por cada tiempo de medición

Clasificación de suelos

Datos de Granulometría **Datos de Hidrometría**

Peso de la muestra(grs) Gravedad específica (gr/cm³)

Lectura del hidrómetro en agua con defloculante (gr/cm³)

Tiempo (min)	Lectura del hidrómetro (gr/cm ³)	Temperatura (°C)
0.5	<input type="text"/>	<input type="text"/>
1	<input type="text"/>	<input type="text"/>
2	<input type="text"/>	<input type="text"/>
4	<input type="text"/>	<input type="text"/>
8	<input type="text"/>	<input type="text"/>
15	<input type="text"/>	<input type="text"/>
30	<input type="text"/>	<input type="text"/>
60	<input type="text"/>	<input type="text"/>
120	<input type="text"/>	<input type="text"/>
1144	<input type="text"/>	<input type="text"/>
1440	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Figura 2.4 Pestaña para ingresar datos hidrométricos

2.2.2 Botones y sus funciones

En la ventana de clasificación de suelos existen dos botones, uno de ellos es el botón limpiar y el otro es el botón calcular, estos se describirán a continuación.

2.2.2.1 Botón y función limpiar

En botón “Limpiar” a como se observa en Figura 2.5 se ubica en la parte inferior media de la ventana principal de clasificación de suelos. Tiene como función borrar los datos de entrada que el usuario ya haya ingresado, esta función se aplica en casos de que los datos de entrada se hayan ingresado erróneamente, o bien si ya se habían obtenido resultados y se desea clasificar otro suelo, de esta manera se evita la molestia de volver a abrir el software para volverlo a usar.

Sistema para el estudio y clasificación de los suelos

Datos de Granulometría | **Datos de Hidrometría** | **Distribución de Tamaño** | Curva Granulométrica | Carta de Plasticidad | Clasificación SUCS | Clasificación AASTHO

Mallas | **Peso retenido (grs)** | **Mallas** | **Peso retenido (grs)**

3" No 4
 2 1/2" No 10
 2" No 20
 1 1/2" No 40
 1" No 60
 3/4" No 100
 3/8" No 140
 1/4" No 200
 Pasa No 200

Límites de Atterberg

Límite líquido Índice Plasticidad:
 Límite Plástico

Granulometría

Mallas | **Diámetro(mm)** | **% que pasa** | **Malla** | **Diámetro(mm)** | **% que pasa**

3" 76.2 No 10 2
 2 1/2" 63.5 No 20 0.84
 2" 50.8 No 40 0.42
 1 1/2" 38.1 No 60 0.25
 1" 25.4 No 100 0.149
 3/4" 19.05 No 140 0.105
 3/8" 9.52 No 200 0.074
 1/4" 6.35
 No 4 4.76

Hidrometría

Diámetro(mm) | **% que pasa**

Limpiar | **Calcular** | **Exportar**

Figura 2.5 Botón limpiar en clasificación de suelos

2.2.2.2 Botones calcular y exportar

El botón calcular sirve para dar orden al software de procesar todos los datos que le fueron ingresados, para que este realice los respectivos cálculos y muestre al usuario los resultados en sus pestañas correspondientes; dicho botón se ubica en la parte inferior derecha de la ventana principal de clasificación de suelos señalado por una flecha en la Figura 2.6. A la par de él se posiciona el botón exportar, el cual tiene como función mandar todos los cálculos y resultados necesarios para clasificar un suelo a una hoja Excel.

Datos de Granulometría

Mallas	Peso retenido (grs)	Mallas	Peso retenido (grs)
3"	<input type="text"/>	No 4	<input type="text"/>
2 1/2"	<input type="text"/>	No 10	<input type="text"/>
2"	<input type="text"/>	No 20	<input type="text"/>
1 1/2"	<input type="text"/>	No 40	<input type="text"/>
1"	<input type="text"/>	No 60	<input type="text"/>
3/4"	<input type="text"/>	No 100	<input type="text"/>
3/8"	<input type="text"/>	No 140	<input type="text"/>
1/4"	<input type="text"/>	No 200	<input type="text"/>
		Pasa No 200	<input type="text"/>

Límites de Atterberg

Límite líquido: Índice Plasticidad:

Límite Plástico:

Distribución de Tamaño

Granulometría

Mallas	Diámetro(mm)	% que pasa	Malla	Diámetro(mm)	% que pasa
3"	76.2	<input type="text"/>	No 10	2	<input type="text"/>
2 1/2"	63.5	<input type="text"/>	No 20	0.84	<input type="text"/>
2"	50.8	<input type="text"/>	No 40	0.42	<input type="text"/>
1 1/2"	38.1	<input type="text"/>	No 60	0.25	<input type="text"/>
1"	25.4	<input type="text"/>	No 100	0.149	<input type="text"/>
3/4"	19.05	<input type="text"/>	No 140	0.105	<input type="text"/>
3/8"	9.52	<input type="text"/>	No 200	0.074	<input type="text"/>
1/4"	6.35	<input type="text"/>			<input type="text"/>
No 4	4.76	<input type="text"/>			<input type="text"/>

Hidrometría

Mallas	Diámetro(mm)	% que pasa
3"	<input type="text"/>	<input type="text"/>
2 1/2"	<input type="text"/>	<input type="text"/>
2"	<input type="text"/>	<input type="text"/>
1 1/2"	<input type="text"/>	<input type="text"/>
1"	<input type="text"/>	<input type="text"/>
3/4"	<input type="text"/>	<input type="text"/>
3/8"	<input type="text"/>	<input type="text"/>
1/4"	<input type="text"/>	<input type="text"/>
No 4	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Botones: **Limpiar** **Calcular** **Exportar**

Figura 2.6 Botón calcular y exportar en clasificación de suelos

2.2.3 Pestañas de resultados

Las pestañas de resultados en clasificación de suelos corresponde al segundo panel, el cual contiene 5 pestañas de resultados; cada una de ellas se describirá detalladamente con el propósito de mostrarle al usuario la variedad de resultados que le ofrece el software. Entre los resultados están la Distribución de tamaños, la Curva granulométrica, la Carta de plasticidad, la Clasificación SUCS y la Clasificación AASTHO.

2.2.3.1 Distribución de tamaños

Esta pestaña fue creada con el propósito de mostrarle al usuario el porcentaje que pasa por cada tipo de diámetro, ya sea en granulometría o hidrometría. En la Figura 2.7 se puede observar la cantidad de mallas que se utiliza para el análisis de tamizado y su equivalencia en diámetro (mm), y para hidrometría se muestra de una sola vez el diámetro con su porcentaje que pasa.

Sistema para el estudio y clasificación de los suelos

Distribución de Tamaño Curva Granulométrica Carta de Plasticidad Clasificación SUCS Clasificación AASTHO

Mallas	Granulometría		Malla: Diámetro(mm)		Hidrometría	
	Diámetro(mm)	% que pasa	Diámetro(mm)	% que pasa	Diámetro(mm)	% que pasa
3"	76.2	<input type="text"/>	No 10	2	<input type="text"/>	<input type="text"/>
2 1/2"	63.5	<input type="text"/>	No 20	0.84	<input type="text"/>	<input type="text"/>
2"	50.8	<input type="text"/>	No 40	0.42	<input type="text"/>	<input type="text"/>
1 1/2"	38.1	<input type="text"/>	No 60	0.25	<input type="text"/>	<input type="text"/>
1"	25.4	<input type="text"/>	No 100	0.149	<input type="text"/>	<input type="text"/>
3/4"	19.05	<input type="text"/>	No 140	0.105	<input type="text"/>	<input type="text"/>
3/8"	9.52	<input type="text"/>	No 200	0.074	<input type="text"/>	<input type="text"/>
1/4"	6.35	<input type="text"/>			<input type="text"/>	<input type="text"/>
No 4	4.76	<input type="text"/>			<input type="text"/>	<input type="text"/>

Figura 2.7 Pestaña de distribución de tamaños

2.2.3.2 Curva granulométrica

La segunda pestaña se muestra en la Figura 2.8, en ella se observa la forma de la curva granulométrica, y en la parte inferior aparecen los valores de los diámetros de los porcentajes que pasan por las mallas 10, 30, 60 (D10, D30, D60). En la parte derecha se muestran los coeficientes de curvatura y uniformidad.

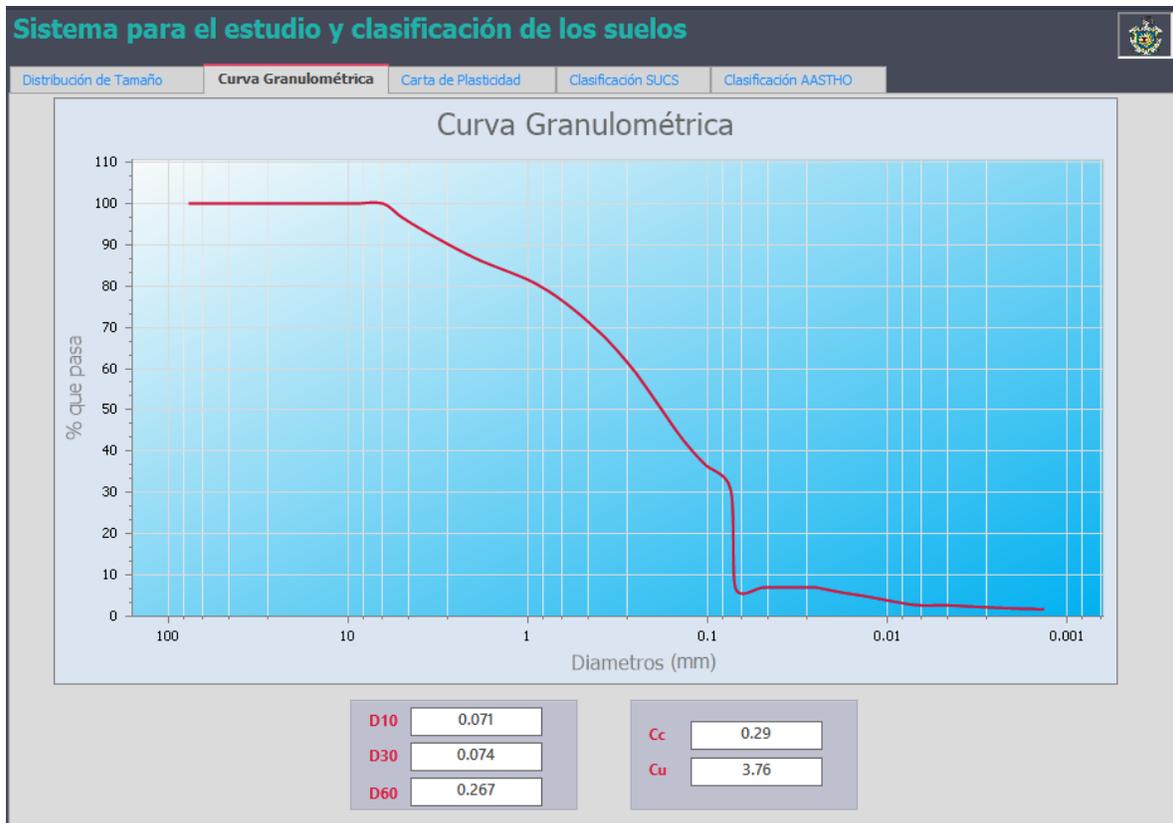


Figura 2.8 Pestaña de la curva granulométrica

2.2.3.3 Carta de plasticidad

En la Figura 2.9 se muestra la tercera pestaña del panel de resultados, la cual consiste en presentarle al usuario el punto que resulta al graficar el limite liquido versus el índice de plasticidad, según estos valores el punto se ubicara en una de las 5 áreas que se muestra en la carta de plasticidad y este resultado define si los finos son limos o arcillas, así como también define su grado de plasticidad.

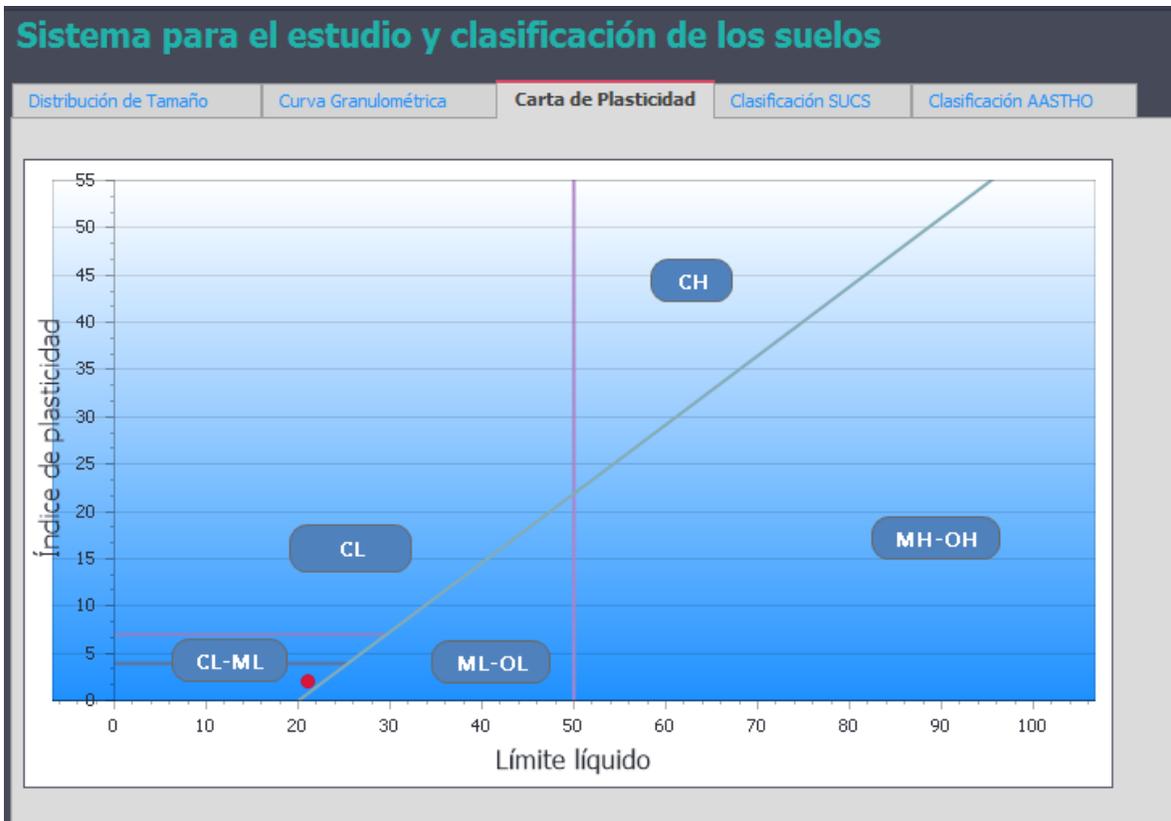


Figura 2.9 Pestaña de carta de plasticidad

2.2.3.4 Clasificación SUCS

La Figura 2.10 corresponde a la pestaña 4 del software que presenta uno de los resultados finales que es la clasificación de suelos por el método SUCS, en esta pestaña se presentan 7 datos los cuales son: Tipo de suelo, la característica del suelo, y los porcentajes de grava, arena, finos, limos y arcillas.

Sistema para el estudio y clasificación de los suelos

Distribución de Tamaño Curva Granulometrica Carta de Plasticidad **Clasificación SUCS** Clasificación AASTHO

Tipo de Suelo:

Característica:

Porcentaje de Grava:

Porcentaje de Arena:

Porcentaje de Fino:

Porcentaje de Limo:

Porcentaje de Arcilla:

Figura 2.10 Pestaña de Clasificación SUCS

2.2.3.5 Clasificación AASTHO

Por último, se muestra la quinta pestaña en la Figura 2.11, la cual presenta el resultado de clasificación de suelos según la normativa AASTHO, al igual que en la pestaña de clasificación SUCS se muestra los campos de tipo de suelo y su característica, así como también el porcentaje que corresponde a la grava, arena y finos, ya sean limos o arcillas. A diferencia de la clasificación SUCS, la AASTHO presenta en su resultado de tipo de suelo el valor de índice de grupo, que no es más, que un indicador de calidad de suelo, entre más bajo sea este valor más alta será la calidad del suelo como terreno de fundación.

The image shows a software interface titled "Sistema para el estudio y clasificación de los suelos". At the top, there are five tabs: "Distribución de Tamaño", "Curva Granulometrica", "Carta de Plasticidad", "Clasificación SUCS", and "Clasificación AASTHO". The "Clasificación AASTHO" tab is currently selected. Below the tabs, the interface contains several input fields for soil classification data:

- Tipo de Suelo:
- Característica:
- Porcentaje de Grava:
- Porcentaje de Arena:
- Porcentaje de Fino:
- Porcentaje de Limo:
- Porcentaje de Arcilla:

Figura 2.11 Pestaña de Clasificación AASTHO

2.3 Capacidad de carga

C.CAPS también está diseñado para calcular la capacidad de carga de un suelo por 2 tipos de métodos, uno de ellos es el Método de Terzaghi que permite conocer este resultado para cimentaciones continuas, rectangulares y circulares, en condiciones de falla por corte general; y el segundo método es el de la Prueba de penetración estándar o SPT, el cual calcula la capacidad de carga en función del N golpes.

En la Figura 2.1 se muestra la ventana principal de C.CAPS, en la parte derecha el usuario podrá seleccionar el método de Terzaghi o el del SPT para calcular la capacidad de carga.

2.3.1 Método de Terzaghi

Si el usuario presiona el botón que corresponde a este método le aparecerá la ventana mostrada en la Figura 2.12. En esta ventana se deberá introducir el número de estratos y presionar el botón generar para que se creen los espacios en donde se han de insertar las propiedades de cada estrato; también se deberán de insertar los valores de ancho o diámetro de zapata, nivel de desplante y factor de seguridad. Además de ingresar dichos datos, el usuario tendrá que seleccionar el tipo de cimentación que desee analizar. En esta misma

ventana también se presenta el resultado final que es la capacidad de carga y por último se encuentra el botón limpiar que permite borrar los datos que estén en los campos y volver a iniciar un análisis.

Figura 2.12 Ventana de capacidad de carga con el Método de Terzaghi

2.3.1.1 Ingreso de datos y botón generar

El primer paso es ingresar el número de estratos en el campo situado en la parte superior izquierda de la ventana, cabe señalar que el software tiene como limitante el análisis para una cantidad máxima de 6 estratos; junto al campo que deberá llenar el usuario se encuentra el botón “Generar” (Figura 2.13), cuya función es crear los números de estratos que el usuario indique.

Figura 2.13 Botón Generar

En la figura anterior se puede observar que se ingresó el número 6 para definir la cantidad de estratos, si se presiona el botón generar aparecerán los campos que se muestran en la Figura 2.14.

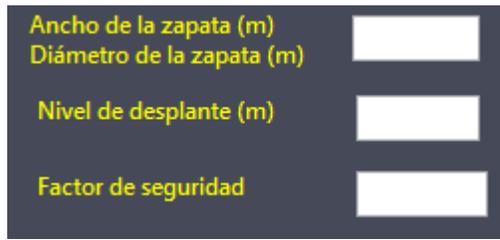


Número de estratos: 6 **Generar**

Estrato	Cohesión del Suelo (kg/m ²)	Peso específico (kg/m ³)	Angulo de fricción(°)	Espesor (m)
1				
2				
3				
4				
5				
6				

Figura 2.14 Función del botón generar

Posteriormente se deberán ingresar los datos de ancho de zapata, nivel de desplante y factor de seguridad, estos datos de entrada se sitúan a la derecha de ventana de capacidad de carga y se muestra en la Figura 2.15.



Ancho de la zapata (m)

Diámetro de la zapata (m)

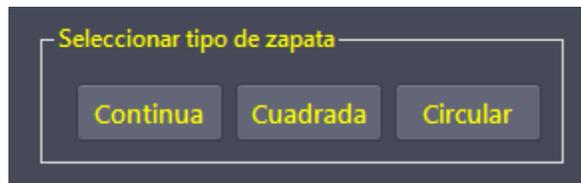
Nivel de desplante (m)

Factor de seguridad

Figura 2.15. Datos de entrada

2.3.1.2 Selección del tipo de zapata

Por debajo de los campos mencionados anteriormente, siempre en la parte derecha están 3 botones que indican el tipo de cimentación, ya sea continua, cuadrada o circular (ver Figura 2.16). El usuario deberá de presionar cualquiera de estos botones para ver el resultado de la capacidad de carga que corresponde al tipo de cimentación que selecciono, de igual manera tendrá que presionar las demás botones para conocer su capacidad de carga respectiva.



Seleccionar tipo de zapata

Continua Cuadrada Circular

Figura 2.16. Seleccionar tipo de cimentación por Terzaghi

2.3.1.3 Resultado de capacidad de carga por Terzaghi

Al seleccionar el tipo de cimentación, se presentara automáticamente el valor de capacidad de carga admisible del suelo; además, se mostrara una figura ideal de los estratos y la posición donde quedaría la cimentación según sea nivel de desplante en relación a la

estratigrafía. En la Figura 2.7 se muestra un caso en que la zapata se encuentra en el segundo estrato. De igual manera se puede observar que inferior al resultado se encuentra el botón limpiar, el cual tiene como función borrar todos los datos de la pantalla; posteriormente se sitúa el botón exportar, que como su nombre lo indica permite exportar los cálculos y resultados de capacidad de carga.

The screenshot displays the C.CAPS software interface. At the top, there is a field for 'Número de estratos' (Number of strata) set to 4, with a 'Generar' (Generate) button. Below this is a table with the following data:

Estrato	Cohesión del Suelo (kg/m ²)	Peso específico (kg/m ³)	Angulo de fricción(°)	Espesor (m)
1	2500	1400	1	1.3
2	2300	1400	14	0.5
3	0	1300	35	1
4	0	1300	42	2

Below the table, there are input fields for footing parameters: 'Ancho de la zapata (m)' (1), 'Diámetro de la zapata (m)' (1.6), 'Nivel de desplante (m)' (1.6), and 'Factor de seguridad' (3). A 'Capacidad de carga (Kg/cm²)' field shows the result '6.3kkg/cm²'. A 'Seleccionar tipo de zapata' (Select footing type) section includes buttons for 'Continua', 'Cuadrada' (selected), and 'Circular'. Below these are 'Limpiar' (Clean) and 'Exportar' (Export) buttons, both with yellow arrows pointing to them. On the right, a 'Caso 9' (Case 9) diagram shows a footing cross-section with layers E1, E2, E3, and E4.

Figura 2.17 Resultado de capacidad de carga por Terzaghi e imagen de la cimentación

2.3.2 Capacidad de carga por SPT

El cálculo de capacidad de carga por SPT es el segundo método que C.CAPS ofrece para el cálculo de esta propiedad. Cuando el usuario presione el botón del Método SPT le aparecerá la ventana mostrada en la Figura 2.18.

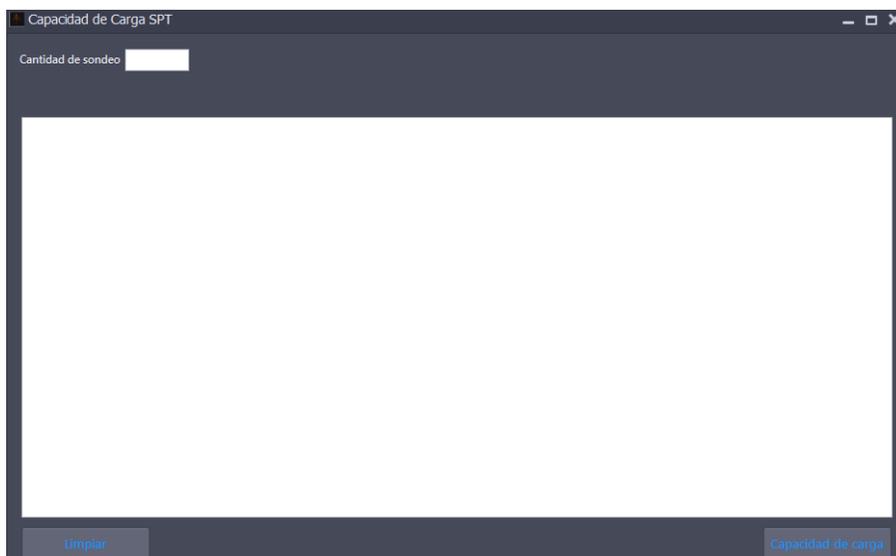


Figura 2. 18. Ventana de inicio del Método SPT

2.3.2.1 Función “Cantidad de sondeo”

En la ventana de inicio del SPT mostrada en la Figura 2.18 el usuario deberá introducir un único dato de entrada y corresponde a la cantidad de sondeos que se desean analizar, este valor lo deberá introducir en el campo que dice “Cantidad de sondeo” y que se ubica en la parte superior izquierda de la ventana (Figura 2.19).

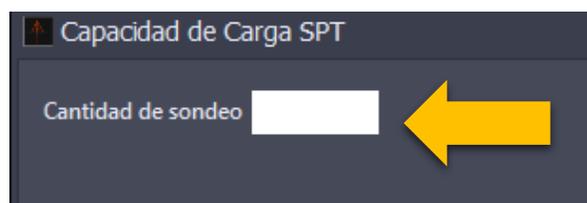


Figura 2.19. Función “Cantidad de sondeos”

2.3.2.2 Ingreso de datos de SPT

Por ejemplo si el usuario ingresa el valor 5 en cantidad de sondeos, al presionar enter en el teclado de la computadora aparecerá lo que se muestra en la Figura 2.20, en ella se puede observar que se creó un panel en la parte izquierda con 5 pestañas una por cada sondeo, las cuales dicen Sondeo 1, Sondeo 2, Sondeo 3, Sondeo 4, Sondeo 5. Todas las pestañas tienen el mismo diseño en el que se introduce la elevación del sondeo, la profundidad del sondeo y

los factores de corrección: por energía (η_1), por longitud de barras (η_2), por tomamuestras (η_3) y por diámetro de perforación (η_4).

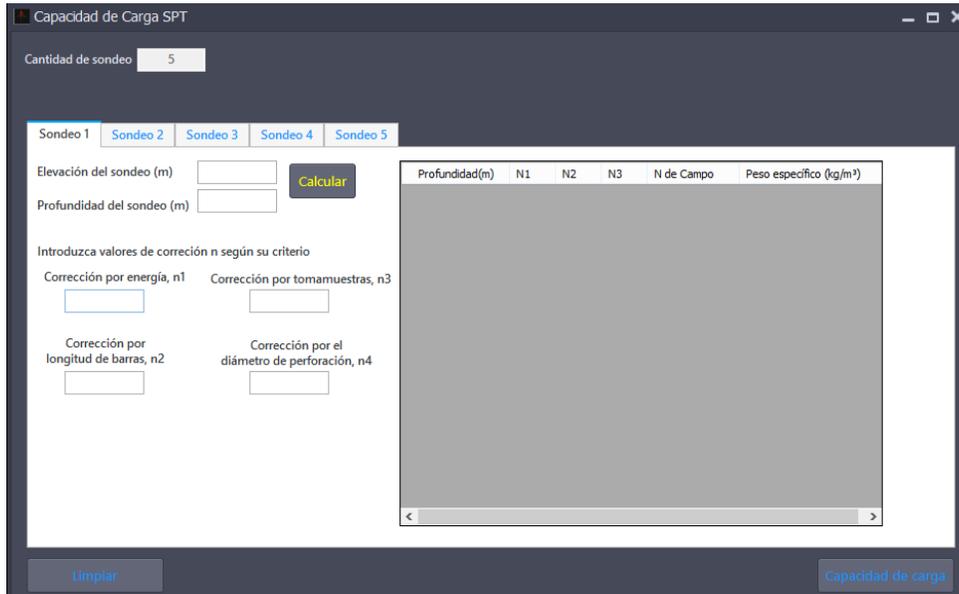


Figura 2.20 Ingreso de elevación y profundidad de sondeo y factores de corrección.

Una vez que se hayan ingresados estos datos el usuario deberá presionar el botón calcular, cuya función es generar los campos en donde se deben de ingresar los números de golpes y el peso específico (Figura 2.21). La ventaja que proporciona este botón es que genera el numero exactos de campos que se deben de llenar con datos, debido a que divide la profundidad del sondeo entre 0.45m que es la longitud de la barra muestreadora.

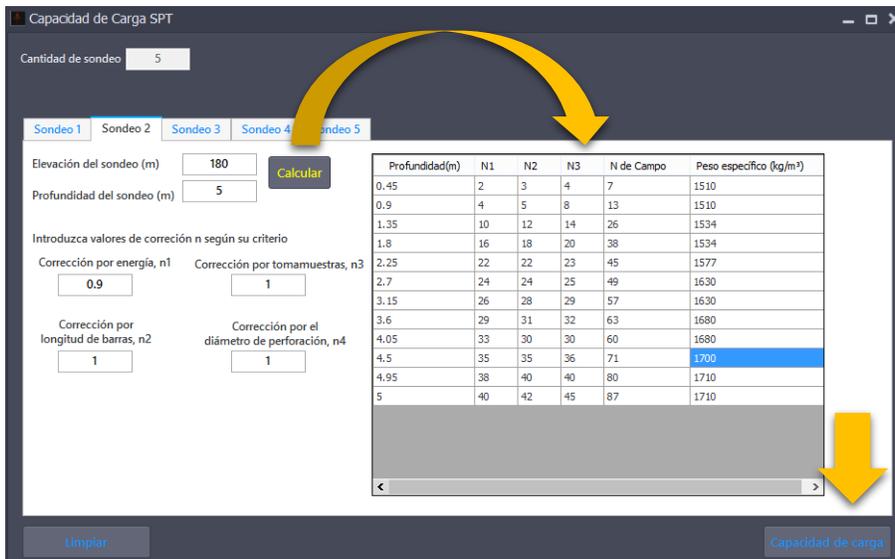


Figura 2.21. Ventana para ingresar el número de golpes y el peso específico

Después de que el usuario ingrese los números de golpes y los pesos específicos por cada profundidad y en cada sondeo, deberá presionar el botón “Capacidad de carga” que se encuentra en la esquina inferior derecha de la ventana, para ver los resultados, tal y como se observan en la Figura 2.22.



Resultado del metodo SPT

Resultados Metodo SPT

Sondeo 1	Sondeo 2	Sondeo 3	Sondeo 4	Sondeo 5
Elevación (m)	Profundidad (m)	N Corregido	Capacidad de	
179.55	0.45	6	1	
179.1	0.9	12	2	
178.65	1.35	23	4	
178.2	1.8	53	9	
177.75	2.25	60	10	
177.3	2.7	62	10	
176.85	3.15	69	11	
176.4	3.6	72	12	
175.95	4.05	65	11	
175.5	4.5	74	12	
175.05	4.95	80	13	
175	5	83	14	

Exportar Resultados

Figura 2.22. Resultado del Método SPT

El software también tiene la opción de exportar los resultados de capacidad de carga del SPT. El usuario solo deberá dar clic en el botón que dice “Exportar resultados”