

Diseño de software de clasificación de suelo programado en la plataforma .net de Visual Studio bajo las normas de los sistemas SUCS y AASTHO

Design of soil classification software programmed in the .net platform of Visual Studio under the standards of the SUCS and ASSTHO systems

Arce, Wilmor¹ ✉; Ulloa, Horacio¹; Salinas, Kener²; Bustos, Iloe²; Lanzas, Maynor²

¹ Instituto de Geología y Geofísica (IGG- CIGEO), Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua (UNAN-Managua),

² Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua (UNAN-Managua).

Resumen

La caracterización física-mecánica de un suelo como elemento estructural para obras verticales y horizontales es de suma importancia para su estabilidad. La clasificación de los suelos nos permite analizar su comportamiento mediante la ejecución de ensayos de laboratorio siguiendo estándares internacionales.

Es conveniente la digitalización de los datos generados en los ensayos de laboratorio es para su procesamiento, por lo que en este artículo hacemos énfasis del uso de Software geotécnicos

C. Suelos es un software programado en la plataforma Visual Studio en lenguaje C# dirigido al análisis geotécnico. La metodología para el desarrollo del programa consistió en la identificación de ecuaciones estáticas y variables dinámicas de cada método, su desarrollo está basado en los algoritmos establecidos por los sistemas: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) Y La Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (AASTHO). El objetivo de este programa es agilizar los procedimientos para la clasificación de suelos y generar información técnica que permita orientar al usuario en la clasificación de material. El programa genera resultados sobre distribución de tamaños para ensayo de granulometría e hidrometría, curvas granulométricas, valores de Límites de Atterberg, gráfica de carta de plasticidad, porcentajes de suelo según el tamaño de grano, clasificación de suelos y finalmente muestra un reporte de los resultados principales.

Palabras clave: C. suelos, Hidrometría, Límites de Atterberg, Sistema SUCS, Sistemas AASTHO.

1. INTRODUCCIÓN

La clasificación de suelos es una caracterización sistemática de los suelos, basada en características distintivas y en criterios de uso (ASTM, 2000); la obtención de las propiedades físicas y mecánicas determinan si el material posee buena calidad y condiciones necesarias para ser utilizado como terreno de fundación, también permite evaluar el posible uso de suelos como material de construcción, principalmente en los procesos de terracería o como un material de relleno estructural.

De forma general, los métodos de clasificación de suelos establecidos parten de una muestra de suelo seco de peso conocido, y colocado en un juego de tamices de aberturas descendentes, hasta llegar a la malla N° 200 (0.074mm), pesando las cantidades retenidas parciales de suelo en cada tamiz. Después se calculan los porcentajes retenidos parciales, los porcentajes acumulados, y por último los porcentajes que pasan por cada malla o tamiz.

Para la clasificación de suelos existen muchas hojas de Excel y aplicaciones diseñados a partir de otro programa base entre los más usados MATLAB y Visual Studio, también existen software geotécnicos que integran clasificación de suelo como GEO 5 y Plaxis; sin embargo, estos tienen ciertas limitaciones en los procesos de cálculo ya que solicitan directamente al usuario ingresar un resultado para poder clasificar el suelo, en cambio C. suelos realiza el procedimiento para llegar al resultado y posteriormente utilizarlo dentro de las condiciones

✉ wilmor.arce@igg.unan.edu.ni

Abstract

The physical-mechanical characterization of a soil as a structural element for vertical and horizontal works is of major importance for its stability. The classification of soils allows us to infer in their behavior, which can be determined through the execution of laboratory tests following international standards.

The processing of the data generated in the tests is convenient to digitize them, so in this article we emphasize the use of geotechnical software.

Soils is a software programmed in the Visual studio platform in C# language aimed at geotechnical analysis. The methodology for the development of the program consisted in the identification of static equations and dynamic variables of each method, its development is based on the algorithms established by the systems: Unified Soil Classification System (USCS) and the American Association of State Highway and Transportation Officials (AASTHO). The objective of this program is to streamline procedures for the classification of soils and generate technical information to guide the user on the classification of materials.

The program generates results on size distribution for both granulometry and hydrometric tests, granulometric curves, Atterberg Limits, plasticity chart graph, soil percentages according to grain size, soil classification and finally shows a report of the main results.

Keywords: C. Soil, Hydrometry, Atterberg limits, System USCS, System (AASTHO).

para clasificación.

A diferencia de otros, este software posee la capacidad de realizar clasificación de suelo mediante la combinación de tres métodos (granulometría, Límites de Atterberg e hidrometría) siempre y cuando se cumplan las condiciones de los métodos SUCS y AASTHO; por ejemplo, solo con el ensayo de granulometría se puede obtener una clasificación de GW (grava limpia bien graduada); otra de las características más importantes es que en función del análisis granulométrico identifica y solicita al usuario realizar ensayos para identificar suelos finos basados en los porcentajes que pasan en cada malla.

C.suelos es un software gratuito que puede ser utilizado como herramienta con fines educativos y también como componente para estudios geotécnicos, el beneficio directo que brinda el software a los usuarios es la rapidez de obtener un resultado ingresando mínimos datos y principalmente condiciones que indican al usuario errores en el ingreso de los datos y la sugerencia de procedimientos adecuados.

2. MÉTODO

La metodología para la creación del software se basó en dos componentes principales, el análisis de los métodos de clasificación de suelos SUCS de la norma ASTM, AASTHO de la norma HRB y la creación de algoritmos para el código de programación.

Dentro del análisis de los métodos de clasificación se identificaron

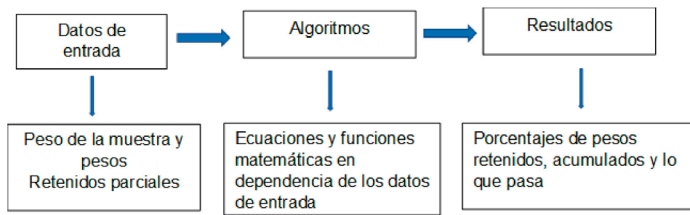


Figura 1. Flujograma de cálculos de granulometría.

componentes esenciales para la dinámica de los algoritmos, tales como: variables, ecuaciones, condiciones y validaciones. Para el diseño del código del programa se utilizaron recursos propios de la programación como condicionadores, librería de gráficos, librería de interfaces, clases, métodos, buscadores y base de datos. Los procesos antes mencionados se desarrollaron en lenguaje C# dentro de aplicación Windows Form del programa Visual Studio 2017.

2.1. Metodología para granulometría de suelos

Generalmente los suelos presentan diferentes tamaños de partículas; esta característica se usa como referencia para clasificarlos en gravas, arenas limos y arcillas; cuando una muestra de suelo se lleva al laboratorio visualmente se puede especular las mallas que pueden ser utilizadas, bajo este principio el software permite seleccionar las mallas que el usuario considere ideales para la realización del ensayo. Se creó un método dinámico el cual permite elegir las siguientes mallas 3", 2 1/2", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 3/8", 1/4", No 3, No 4, No 6, No 8, No 10, No 12, No 16, No 20, No 30, No 40, No 50, No 60, No 70, No 100, No 140, hasta No 200.

Partiendo de las mallas seleccionadas, peso de la muestra y pesos retenidos en cada tamiz el software, mediante un algoritmo matemático y dinámico (Figura 1), generara los cálculos de porcentajes de pesos retenidos parciales, los porcentajes acumulados y por último los porcentajes que pasan por cada malla o tamiz.

2.2. Curva granulométrica

La curva granulométrica de un suelo es una representación gráfica de los resultados cuando se analiza la estructura del suelo desde el punto de vista del tamaño de las partículas que lo forman.

Se utilizó un controlador char (Librería de gráficos) en el cual se establecieron dos campos dinámicos que permiten la generación de la gráfica (Figura 2), el primer campo es el eje de las ordenadas (Y) en este se mandan a guardar los porcentajes que pasan en cada malla, el segundo campo está asignado al eje de las abscisas (X), en el cual se guardan los diámetros de las mallas según la selección del usuario.

2.3. Diámetros correspondientes a los porcentajes 10%, 30% y 60%

Los diámetros correspondientes a los porcentajes 10% 30% y 60% que pasan por los tamices son valores que se obtienen de la curva granulométrica, para determinar estos valores se programó una ecuación de interpolación (Ecuación 1).

El método de interpolación necesita de valores que estén por debajo y por

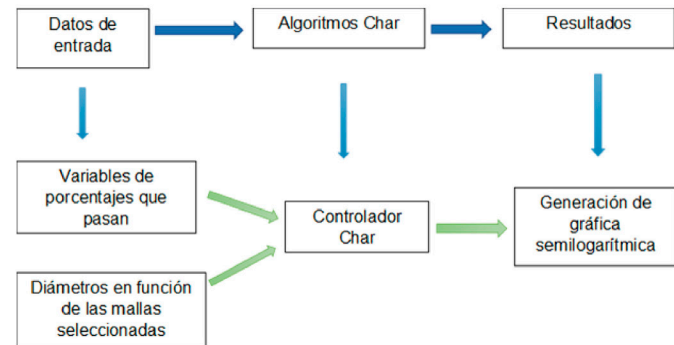


Figura 2. Flujograma de generación de curva granulométrica.

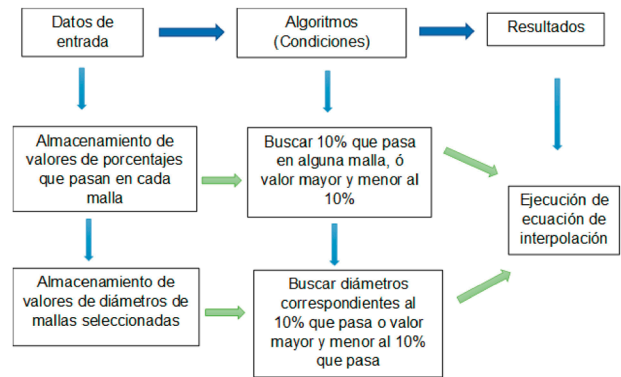


Figura 3. Flujograma de cálculo de D10, D30, D60.

encima del valor a buscar, para obtener estos datos se creó un método dinámico el cual inicia la búsqueda en las variables de almacenamiento de porcentajes que pasan y diámetro de mallas (Figura 3).

$$Dx = \left[\frac{D2 - D1}{\log\%2 - \log\%1} * (\log\%2 - \log\%1) \right] + D1 \quad (1)$$

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

2.4. Cálculo de coeficiente de curvatura y coeficiente de uniformidad.

Realizados los cálculos de D10, D30 y D60 se programó la ecuación para el cálculo de curvatura (Ecuación 2) y uniformidad (Ecuación 3), estas ecuaciones se diseñaron con una estructura estática.

$$Cu = \frac{D60}{D10} \quad (2)$$

$$Cu = \frac{D30^2}{D60 * D10} \quad (3)$$

2.5. Carta de plasticidad

Para clasificar un suelo que contenga una porción de finos considerables se necesita realizar el ensayo de Límites de Atterberg, un gráfico en el que se representan los valores del límite líquido e índice de plasticidad en un campo de coordenadas cartesianas; se creó un algoritmo que permite al usuario ingresar directamente los valores de Límites o calcularlos en función de las ecuaciones y procedimientos que la norma ASTM D4318 establece.

El algoritmo para determinar la ubicación del punto formado por el límite líquido e índice de plasticidad dentro de la carta de plasticidad está estructurado por condiciones matemáticas que definen un conjunto de puntos delimitados por rangos (R1, R2, R3, R4, R5) (Figura 4), por ejemplo, para que un punto esté dentro del área de las arcillas de baja plasticidad (CL), dentro del rango (R1) tendrá que cumplir la siguiente condición:

Límite líquido = Valor x; índice de plasticidad = Valor y

si las x son mayores que cero pero menores o iguales que 20 y las y mayores que 7 pero menores o iguales que 58.4, el punto (x,y) está en (CL).

2.6. Hidrometría

El algoritmo desarrollado se compone de 4 partes principales: almacenamiento de ingreso de las variables, tablas de condiciones, ejecución de ecuaciones y resultados (Figura 5).

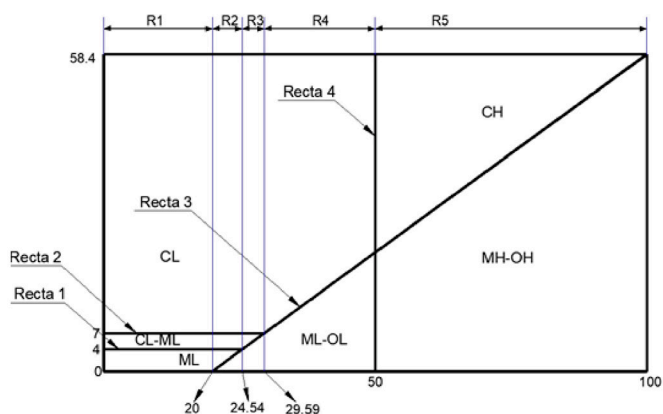


Figura 4. Diagrama de carta de plasticidad.

El almacenamiento de variables se compone de: Peso de la muestra (PM), Lectura del hidrómetro en agua con defloculante (LAF), Lectura del hidrómetro en la solución (LS), temperatura (T), gravedad específica (GS) y tiempo (T).

La programación de tablas de condición permite obtener la profundidad efectiva (L) en función de la lectura corregida del hidrómetro H151, corrección por temperatura (CT) en función de la temperatura y corrección por menisco (CM). Las ecuaciones programadas permiten obtener: lectura del hidrómetro corregido (LR), corrección por defloculante (CF), valor K en función de la gravedad específica y la temperatura, porcentaje de finos (PF), diámetros (D), porcentajes retenidos (PR), porcentajes que pasan (QP).

Para mostrar resultados se programó una ecuación de interpolación para obtener porcentajes de arcilla y limo; el método empleado consistió en crear una tabla dinámica (tabla 1) donde se ordenan datos superiores e inferiores tanto para porcentajes que pasan y diámetros; llenados los campos de la tabla se activa la ecuación de interpolación (Ecuación 4).

$$x = (-1) \left[\frac{(\phi \text{ superior} - \phi \text{ de arcilla})}{(\phi \text{ superior} - \phi \text{ inferior})} \right] (\% \text{ del } \phi \text{ superior} - \% \text{ del } \phi \text{ inferior}) \quad (4)$$

2.7. Sistemas de clasificación

El sistema AASTHO divide en 8 grupos principales, A-1 al A-8, con base en su distribución granulométrica, Límites líquido e índice de plasticidad (Braja M.Das). Los suelos comprendidos en los grupos A-1, A-2 Y A-3 son materiales de grano grueso (con no más del 35% que pasa por el tamiz No 200) y aquellos en los grupos A-4, A-5, A-6, Y A-7 son de grano fino (más del 35% que pasa por el tamiz No 200), la turba, compostas orgánicas y otros suelos altamente orgánicos quedan clasificados en el grupo A-8. 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.

Este sistema de clasificación SUCS puede ser aplicado a la mayoría de los materiales sin consolidar y se representa mediante un símbolo con dos letras, 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 No 200 (Arcilla o limo) en caso contrario será suelo grueso (Das, 2001).

Si menos del 50% pasa por la malla N°200 y tiene entre un 5-12% de

Tabla 1. Configuración de tabla dinámica.

Díametros	% que pasan
Ø superior	% del Ø superior
Ø de arcilla según método	x
SUCS O AASTHO	
Ø inferior	% del Ø inferior

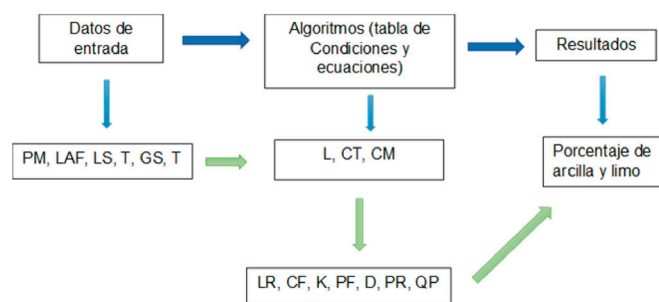


Figura 5. Flujograma de programación de hidrometría.

finos, pasantes del tamiz N° 200 se considera que ambas distribuciones de granos tienen un efecto significativo para las propiedades ingenieriles del material, en esos casos se recomienda usar doble notación, por ejemplo: GW-GM correspondiente a "grava bien graduada" y "grava con limo".

Si menos del 50% pasa por la malla N°200 y tiene más del 12% de finos, pasantes del tamiz N° 200 el material predominante (Arena o grava) estará acompañado por el tipo de fino (Arcilla o limo), por ejemplo, SM correspondiente a "arena limosa"

Metodología de clasificación

Una vez ingresados los datos de entrada de los ensayos de granulometría, Hidrometría y Límites de Atterberg el programa realiza los algoritmos de cálculo e inicia la búsqueda de condiciones de clasificación de suelos (Figura 6); por ejemplo, para clasificar una arena limosa (SM) mediante el método SUCS el programa detendrá su búsqueda cuando encuentre las siguientes condiciones.

Esta condición se activa cuando el usuario elige los ensayos de granulometría y límites de Atterberg.

1. Si el porcentaje que pasa la malla N° 200 es menor que 50% y el porcentaje que pasa la malla N° 4 es mayor que el 50% y además el porcentaje que pasa la N° 200 es mayor a 12% y el punto formado por el límite líquido e índice de plasticidad se encuentra dentro del área de los limos de la carta de plasticidad, el suelo es un SM.

Esta condición se activa para la combinación de ensayos de granulometría e hidrometría.

2. Si el porcentaje que pasa la malla N° 200 es menor que 50% y el porcentaje que pasa la malla N° 4 es mayor que el 50% y el porcentaje que pasa la N° 200 es mayor a 12% y si en los resultados de hidrometría el porcentaje de limo es mayor al porcentaje de arcilla, el suelo es un SM.

Esta condición se activa para la combinación de ensayos de granulometría, límites de Atterberg e hidrometría.

3. Si el porcentaje que pasa la malla N° 200 es menor que 50% y el porcentaje que pasa la malla N° 4 es mayor que el 50% y el porcentaje de fino es mayor a 12% y el punto formado por el límite líquido e índice de plasticidad se encuentra dentro del área de los limos de la carta de plasticidad o si en los resultados de hidrometría limo es mayor que arcilla, el suelo es un SM.

3.RESULTADOS

C.suelos es un software desarrollado en lenguaje de programación C# dentro de la plataforma .Net de Visual Studio, para su instalación y

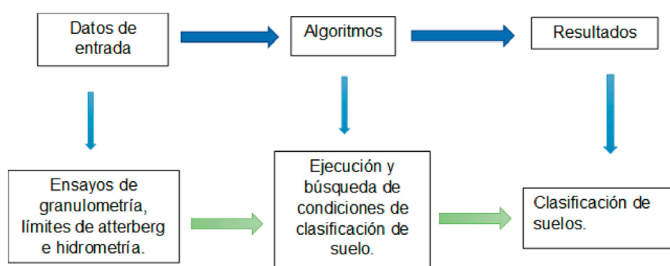


Figura 6. Flujograma de clasificación de suelos.



Figura 7. Interfaz de inicio del programa.

funcionamiento se requiere de SQL SERVER, Reporte Viewer, Sistema operativo Windows XP o nuevas versiones, sistema operativo de 32 o 64 bits y un mínimo de memoria RAM de 500 MB.

El software presenta dos opciones principales (Nuevo o búsqueda), si se presiona el botón Nuevo se abrirá una pestaña para el ingreso de la información (Figura 7) y una vez completado abrirá el interfaz de trabajo. Para la validación del software, se realizaron varias pruebas, las cuales consistieron en ingresar datos de granulometría, Límites de Atterberg e hidrometría de diferentes suelos con el objetivo de obtener distintas clasificaciones, siendo validadas con otras herramientas de investigación. Para mostrar el interfaz del software, ingreso de datos, funcionamiento y resultados, se presentan datos de pesos retenidos de un suelo al que se le realizó el cribado por diferentes mallas Tabla 2.

En la Tabla 1 se observa que los datos fueron generados por 2 ensayos de laboratorio, por lo cual, como primer paso, se seleccionaron los ensayos de granulometría y Límites (Figura 8), activada la pestaña de granulometría se seleccionaron las mallas con las cuales se realizó el ensayo y se ingresaron los datos de: peso de la muestra, peso retenido,

límite líquido y límite plástico. Del ingreso de la información de pesos retenidos, se obtuvieron los porcentajes que pasan en cada malla y curva granulométrica (Figura 9), además se obtuvieron los diámetros correspondientes al 10%, 30% y 60% que pasa.

Para el ejemplo, se observa que el porcentaje que pasó en la No200 es 22% lo cual según el sistema SUCS es un suelo grueso con una cantidad alta de suelo fino, debido a que el porcentaje que pasa en la malla No200 es mayor que 12%.

En función de los datos de Límite líquido y plástico el programa definió dentro de la carta de plasticidad el tipo de fino, se obtuvo una clasificación de ML-OL el cual pertenece a un suelo limoso de baja plasticidad (Figura 10).

En función de los datos de Límite líquido y plástico el programa definió dentro de la carta de plasticidad el tipo de fino, se obtuvo una clasificación de ML-OL el cual pertenece a un suelo limoso de baja plasticidad (Figura 10).

Tabla 2. Datos de pesos retenidos, límite líquido y plástico.

Tamiz	Peso retenido (gr)	Tamiz	Peso retenido (gr)
3/8"	2.22	N° 60	12.33
N° 4	42	N° 100	9.16
N° 10	55	N° 140	3.87
N° 20	39.62	N° 200	45
N° 40	25.7	Pasa N° 200	65.1
Límite líquido			40
Límite plástico			30

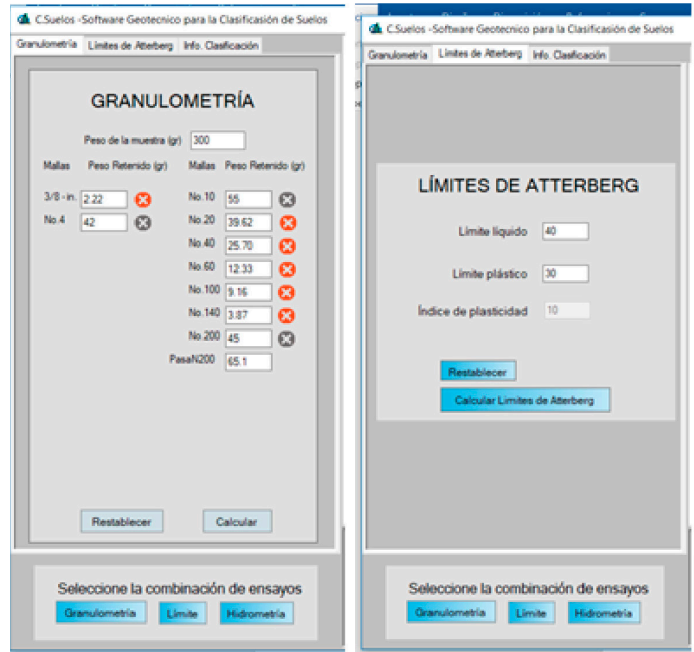


Figura 8. Selección de ensayos e ingreso de información.

Con los resultados de granulometría y límites de Atterberg el programa inicia la búsqueda de condiciones para la clasificación de suelos, según el programa C. suelos y a partir de los datos ingresados, el suelo por el método SUCS se clasifica como una arena limosa (SM) con porcentajes de grava de 15%, arena 64% y fino 22%, por el método AASTHO como un suelo A-2-4(-3) grava y arena limo-arcillosa, porcentaje de grava de 33%, arena 45% y fino de 22% (Figura 11).

4. DISCUSIÓN

El software integra funciones básicas y esenciales, acompañado con interfaces que facilitan la comprensión del usuario referente al ingreso de datos, procesos, gráficas resultados y reportes, en la pantalla de inicio el usuario podrá elegir la opción que dese ejecutar, ya sea realizar o buscar un proyecto, si el usuario elige realizar un nuevo trabajo este deberá llenar un formulario con información del proyecto al que pertenece la muestra de suelo.

Dentro de una interfaz dinámica se presentan una serie de mallas desde la 3", hasta la No200, de la cual el usuario según su criterio podrá elegir las mallas que considere adecuadas para el análisis, así mismo los ensayos que el suelo permita ejecutarle (granulometría, Límites de Atterberg e hidrometría).

La curva granulométrica es una gráfica dinámica que depende del diámetro de las mallas seleccionadas y los porcentajes que pasan en cada una, para suelos gruesos con cierta cantidad de finos la curva es completada mediante los resultados de la prueba de hidrometría la cual determina diámetros menores 0.075 mm.

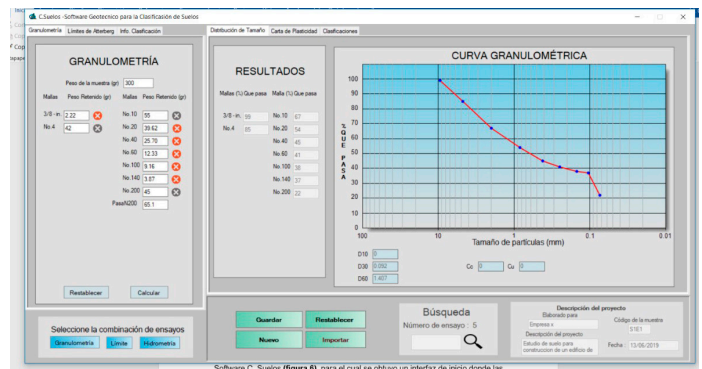


Figura 9. Porcentajes que pasan y curva granulométrica.

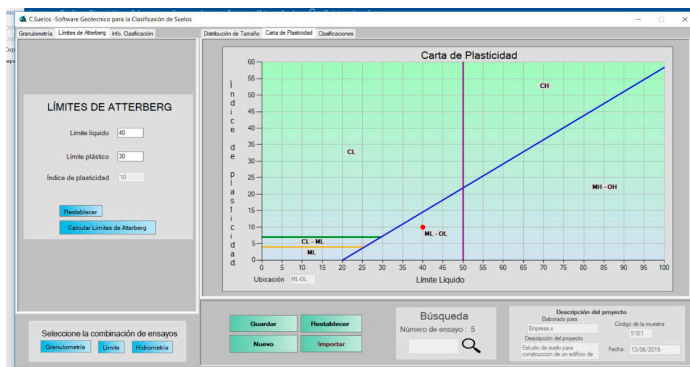


Figura 10. Ubicación del punto (LL, IP) dentro de la carta de plasticidad.

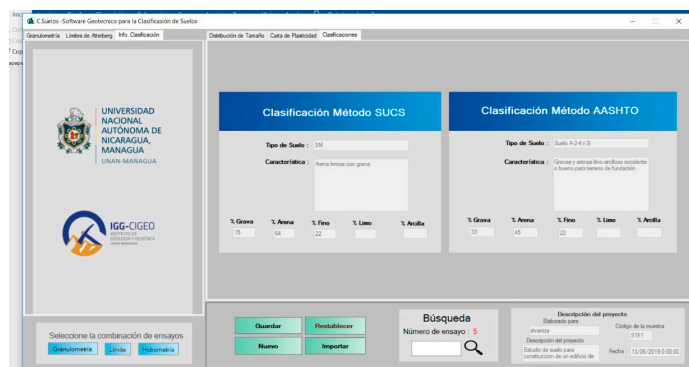


Figura 11. Clasificación y porcentajes de tipos de suelos, método SUCS y AASTHO.

Para caracterizar la textura de los suelos se calculan los coeficientes de curvatura y uniformidad mediante el uso de los diámetros correspondiente al porcentaje que pasan para el 10%, 30% y 60%. La carta de plasticidad igualmente es una gráfica dinámica generada mediante controles de programación y algoritmos matemáticos, el programa permite ingresar de manera directa los valores de Límite líquido y Límite plástico o calcularlos mediante el ingreso de los datos de laboratorio, como resultado el programa devuelve la clasificación del suelo según el área donde se ubique el punto.

5. CONCLUSIÓN

Como resultado del análisis y programación de los métodos de clasificación de suelos, ensayos de granulometría, límites de Atterberg e hidrometría se creó el Software C. suelos el cual integra un interfaz dinámico, con pestañas para el ingreso de datos, resultados y reportes. El método dinámico tanto de mallas y ensayos son procesos funcionales que podrán ser elegidos a criterio del usuario, estos aseguran que los algoritmos referentes a los métodos de clasificación cumplan las condiciones para poder definir de manera confiable el tipo de suelo. La curva granulométrica y la carta de plasticidad son gráficas dinámicas que orientan al usuario sobre el tipo de suelo y son partes esenciales integradas en las condiciones programadas, mediante estas gráficas el programa define la uniformidad y plasticidad de los suelos. La clasificación del suelo es un método dinámico ya que, a medida que se llenan los campos de cada ensayo, el programa recorre condiciones de clasificación; los resultados están basados en la simbología que los métodos SUCS y AASTHO establecen, acompañados de los porcentajes de suelo (grava, arena, arcilla y limo) y características referentes a la construcción.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a Marcel Chow y Kerlyn Orozco por su colaboración en la asesoría de métodos matemático y geotécnicos para implementación en el software, a las personas que apoyaron la idea de realizar este proyecto, a la dirección del instituto de geología y geofísica IGG-CIGEO por el apoyo incondicional para la finalización del programa.

REFERENCIAS

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.

Crespo, C. (2007). *Mecánica de suelos y cimentaciones* (Sexta ed.). D.F, México: Limusa

González, J. (2003). *El lenguaje de programación C#*.

Gottfried, B. (2005). *Programación en C*. México: McGraw-Hill

AASTHO. (2001) *Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing*, Washington D.C