

5

10

15

20

25

1

Por otra parte, la publicación WO2020185157 se refiere a un aparato, un equipo y un método para la clasificación de una masa de suelo que incluye un módulo de adquisición de imágenes que tiene al menos una fuente de luz, uno o más dispositivos de medición de parámetros del suelo para medir uno o más parámetros del suelo asociados con un tipo de suelo, uno o más accionamientos operables para mover el módulo de adquisición de imágenes y uno o más dispositivos de medición de parámetros del suelo, de manera que dichos uno o más dispositivos de medición del suelo penetren en la masa de suelo, y un procesador que incluye un módulo de clasificación operable para clasificar la masa de suelo en uno de al menos dos tipos de suelo. Sin embargo, esta anterioridad clasifica los suelos con base en los parámetros medidos a través de los dispositivos de medición, lo cual corresponde a un método invasivo que puede introducir errores adicionales al momento de la clasificación, debido a la inclusión de los dispositivos adicionales.

Con base en lo anterior, resulta evidente la necesidad de diseñar un equipo y un método que permita la clasificación de suelos teniendo como referencia el sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) con base en técnicas de esparcimiento óptico, minimizando así los errores derivados de la subjetividad humana y disminuyendo el tiempo total del proceso de clasificación.

DESCRIPCIÓN BREVE DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a un equipo y a un método para clasificar suelos finos en el SUCS (sistema unificado de clasificación de suelos) a través de esparcimiento óptico en medio líquido, cuyo principal objetivo es eliminar la subjetividad y dependencia de la experticia de un operario experto tal como un geotecnólogo, durante el proceso de clasificación, ya que en muchas ocasiones se convierte en una fuente de error al determinar el tipo de suelo de interés.

Asimismo, el equipo y método planteados permiten una reducción del tiempo requerido para la clasificación de suelos, pasando de 48 horas con el método convencional a tan solo una hora, lo anterior facilita el análisis de suelos en áreas grandes donde se pueden encontrar distintos tipos de suelo.

Finalmente, la invención propuesta permite analizar y clasificar suelos en el sitio de interés o sitios remotos, evitando así retrasos en el proceso al tener que desplazar las muestras a lugares o laboratorios que cuenten con los equipos requeridos, ya que se trata de un equipo portátil.

5

DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

La Figura 1 ilustra una vista frontal del equipo (100) para clasificación de suelos finos por medio de esparcimiento óptico que comprende una carcasa (101), una cubeta (102) y una pantalla LCD (103).

10

La Figura 2 ilustra una vista lateral del equipo (100) para clasificación de suelos finos por medio de esparcimiento óptico que muestra los componentes internos del mismo, los cuales corresponden a una cubeta (102), una pantalla LCD (103), una tarjeta de adquisición, procesamiento, análisis y reproducción de datos (104), unos medios de suministro de energía eléctrica (105), un módulo agitación y de posicionamiento de agitador (106), un diodo láser (107), un divisor de haz (108), un módulo de posicionamiento de muestra (109), unos filtros de densidad neutra (110), un sensor óptico (111) y una estructura o chasis (112).

15

La Figura 3 ilustra el comportamiento típico de un suelo fino tipo limo de alta compresibilidad, clasificado en el SUCS como un limo de alta compresibilidad (MH).

20

La Figura 4 ilustra el comportamiento típico de un suelo fino tipo arcilla de baja plasticidad, clasificado en el SUCS como una arcilla de baja compresibilidad (CL).

25

La Figura 5 ilustra el comportamiento típico de un suelo fino tipo limo de baja plasticidad, clasificado en el SUCS como un limo de baja compresibilidad (ML).

La Figura 6 ilustra el comportamiento típico de un suelo fino tipo arcilla de alta plasticidad, clasificado en el SUCS como una arcilla de alta compresibilidad (CH).

La Figura 7 ilustra una vista superior del equipo

La Figura 8 ilustra una vista Frontal del equipo

La Figura 9 ilustra una vista posterior del equipo

La Figura 10 enseña una nueva vista superior del equipo.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a un equipo (100) y a un método para clasificación de suelos teniendo como referencia el SUCS (Sistema unificado de Clasificación de Suelos) con base en técnicas de esparcimiento óptico, los cuales minimizan los errores derivados de la subjetividad humana y reducen el tiempo total del proceso de clasificación.

El equipo (100) comprende una carcasa (101), una cubeta (102), una pantalla LCD (103), una tarjeta de adquisición, procesamiento, análisis y reproducción de datos (104), unos medios de suministro de energía eléctrica (105), un módulo agitación y de posicionamiento de agitador (106), un diodo láser (107), un divisor de haz (108), un módulo de posicionamiento de muestra (109), unos filtros de densidad neutra (110), un sensor óptico (111) y una estructura o chasis (112).

La carcasa (101) protege los componentes ante el ingreso de polvo exterior y evita la entrada de luz al equipo, además está pintada de color negro en su interior con el objetivo de maximizar la funcionalidad de los elementos ópticos. Asimismo, la carcasa (101) está hecha de aluminio para reducir el peso total del equipo y permite el transporte y manipulación de este a través de unas manecillas ubicadas en los costados y en la parte superior (no mostradas).

Por otra parte, la cubeta (102) está dispuesta para recibir la muestra de suelo que se va a analizar junto al medio líquido donde el suelo se precipita, esta cubeta (102) puede estar hecha de vidrio óptico o plástico transparentes y tiene forma rectangular con caras paralelas con el objetivo de evitar el desvío de la luz.

Además, la pantalla LCD (103) permite mostrar todos los datos del proceso de medición y despliega una interfaz de usuario desde donde se controla todos los procesos del equipo (100).

El módulo de posicionamiento de muestra (109) se conforma por una base móvil donde se introduce la cubeta (102), dicha base está soportada por dos ejes lisos y un eje roscado encargado de transmitir el movimiento de un motor de paso DC (113) que se encuentra en la parte

trasera del equipo (100). La finalidad del módulo de posicionamiento de muestra (109) es desplazar la cubeta (102) entre las posiciones de depósito de muestra y homogenizado de la misma. Adicionalmente, el módulo de agitación y posicionamiento de agitador (106) se compone de dos motores DC de 9 V, que giran alrededor de 3000 rpm. El primer motor se instala en la parte superior y está unido a un aspa de cuatro hélices de 9 mm de diámetro, esta disposición denominada agitador, tiene como objetivo agitar durante 2 minutos la muestra (suelo – medio líquido) depositada en la cubeta (102) con el fin de homogenizarla. El segundo motor está instalado en la parte inferior y se une a un eje transmisor de movimiento que posiciona el agitador sobre el interior de la cubeta (102) o lo aleja de la misma (sube y baja).

Por otra parte, el diodo láser (107) es de color rojo, tiene longitud de onda oscila entre los 635-645 nm, trabaja a una potencia de 4.5 mW y funciona a un modo de operación TEM00, es decir, que sobre una pantalla plana produce una iluminación circular. La finalidad del diodo láser (107) es iluminar la muestra homogenizada y los elementos detección.

El divisor de haz (108) se encarga de dividir el haz de luz generado por el diodo láser (107) en dos haces, el primero es utilizado como señal referencia y tiene una potencia del 30% de la potencia inicial del láser, este rayo no atraviesa la muestra homogenizada. Además, el segundo haz generado en el divisor de haz (108) se transmite a la muestra homogenizada contenida en la cubeta (102) con el restante 70% de la potencia inicial del láser.

Por otro lado, los filtros de densidad neutra (110) se encargan de oscurecer el haz que es utilizado como señal de referencia para proteger o no quemar el elemento de detección que lo recibe directamente, dichos filtros realizan una reducción de la potencia del haz de referencia, de manera que la intensidad del haz que incide sobre la muestra es 10 veces la intensidad del haz de referencia.

El divisor de haz permite una intensidad normalizada entre 0 y aproximadamente 2.33 (70/30, que es la relación de transmisión-reflexión del divisor de haz); sin embargo, reduciendo la intensidad de referencia, con la ayuda del filtro de densidad neutra, se lleva a una intensidad relativa que puede oscilar entre 0 y 10, donde el valor 0 significa que el láser no atraviesa la muestra y el valor 10 significa que el sensor registra el máximo valor permitido por el equipo, que se presenta cuando

no se encuentran partículas de suelo en suspensión (el medio líquido está desprovisto de partículas en suspensión).

El sensor óptico (111) se compone de dos fotodiodos de luz visible encargados de recolectar la información de luz de los dos haces generados y transferirla a la tarjeta de procesamiento (104). El primer fotodiodo detecta las variaciones del haz de luz que no interactúa con la muestra o señal de referencia después de pasar por los filtros de densidad neutra (110), mientras que el segundo fotodiodo detecta las variaciones del haz de luz que atraviesa la muestra.

Adicionalmente, la tarjeta de adquisición, procesamiento, análisis y reproducción de datos (104) comprende una memoria que almacena la estructura de la red neuronal implementada y el archivo de entrenamiento que permite realizar la clasificación de las muestras, y un procesador que recibe las señales registradas por los fotodiodos y sobre dicha información realiza un proceso de normalización con el objetivo de minimizar fluctuaciones, donde el proceso de normalización que consiste en dividir la señal obtenida al atravesar la muestra entre la señal de referencia, la normalización se realiza para que si se presentan fluctuaciones de intensidad en la luz que emite el láser, estas fluctuaciones sean compensadas, pues ambas señales deben aumentar o disminuir al mismo tiempo, ya que provienen del mismo láser. Posteriormente, el procesador identifica sobre la señal normalizada características espaciales, temporales y frecuenciales que caracterizan la muestra analizada, tales como la intensidad inicial, la pendiente, intervalos de tiempo, entre otras, dicha información es introducida a un clasificador, previamente entrenado, que basa su funcionamiento en el aprendizaje realizado a partir de una base de datos que contiene las características extraídas del análisis de las curvas de muestras previamente clasificadas por el método convencional de Casagrande.

Después, el clasificador utiliza las características identificadas en la señal normalizada para asignarla a uno de los cuatro clúster en el espacio de características, donde éstos grupos son obtenidos mediante entrenamiento con muestras previamente clasificadas por el método de Casagrande y corresponden a cada uno de los tipos de suelo fino a clasificar, como resultado de lo anterior, el clasificador determina el tipo de suelo fino asignando la muestra analizada a uno de los cuatro grupos previamente establecidos en el SUCS (Sistema unificado de Clasificación de

Suelos), el resultado obtenido es desplegado a través de una interfaz de visualización de la pantalla (103).

El principio de clasificación expuesto anteriormente se realiza teniendo en cuenta que cuando el haz del rayo láser incide sobre la muestra, se presenta una obstaculización del rayo hacia el sensor, donde transcurrido cierto tiempo, el material de estudio empieza a sedimentarse, permitiendo el paso de más intensidad o luz hacia el sensor, son precisamente estas variaciones de intensidad las que permiten la caracterización del material, ya que distintos tipos de suelo presentarán características diferentes que los distinguen entre si.

Además, los medios de suministro de energía eléctrica (105) comprenden una primera fuente de alimentación de 5 V encargada de suministrar energía eléctrica al diodo láser (107) y una segunda fuente de alimentación que genera voltajes de 3.3 V, 5 V y 12 V para suministrar energía eléctrica a los demás componentes electrónicos.

Por otra parte, la estructura o chasis (112) está fabricada con ángulos de aluminio resistentes para soportar el peso de todos los elementos internos del equipo (100).

Otro objeto de la presente invención es un método para clasificar suelos finos a través de esparcimiento óptico en medio líquido, que permite determinar el tipo de suelo fino como resultado de la evaluación de las características en la curva obtenida por esparcimiento óptico de la muestra a evaluar.

Para realizar la clasificación, el método implementa una secuencia de etapas que comprenden en primer lugar depositar la muestra de suelo que se va a analizar junto al medio líquido donde esta se precipita en la cubeta (102), posteriormente se realiza la homogenización de la muestra suelo - medio líquido durante un periodo de tiempo determinado a través del módulo agitación y de posicionamiento de agitador (106).

A continuación, se ilumina la muestra homogenizada con un diodo láser (107) y se divide el haz de luz generado por el diodo láser (107) en dos haces a través de un divisor de haz (108), donde el

segundo haz de luz atraviesa la muestra y el primer haz de luz constituye una señal de referencia que no atraviesa la muestra.

Posteriormente, se reciben los haces de luz divididos a través de dos fotodiodos del sensor óptico (111), donde el primer fotodiodo detecta el haz de luz que no interactúa con la muestra o señal de referencia después de pasar por los filtros de densidad neutra (110), mientras que el segundo fotodiodo detecta las variaciones del haz de luz que atraviesa la muestra.

En seguida, se configura el procesador de la tarjeta de adquisición, procesamiento, análisis y reproducción de datos (104) para recibir las señales registradas por los fotodiodos, realizar la normalización de la intensidad a lo largo del tiempo dividiendo la señal que atraviesa la muestra entre la señal de referencia con el objetivo de minimizar fluctuaciones, identificar sobre la señal normalizada características espaciales, temporales y frecuenciales que caracterizan la muestra analizada, introducir las características espaciales, temporales y frecuenciales identificadas en la señal normalizada al clasificador, previamente entrenado con señales obtenidas de muestras clasificadas por el método de Casagrande, para que las asigne a uno de los cuatro grupos establecidos en el sistema unificado de clasificación de suelos y desplegar el resultado a través de una interfaz de visualización de la pantalla (103).

Las figuras presentadas en esta descripción tienen propósitos ilustrativos, por lo que estas no limitan el alcance de la invención divulgada. Teniendo en cuenta lo anterior, un técnico versado en la materia es capaz de concebir modificaciones posteriores a los principios determinados en el presente documento.

Finalmente, aunque algunas modalidades de la invención se describen en la presente descripción, se apreciará un técnico versado en la materia puede realizar numerosas modificaciones e incluso otras modalidades con posterioridad a la divulgación de la presente invención, sin que esto las aleje del alcance de esta.

EJEMPLO DE REALIZACIÓN DE LA INVENCION

En el equipo y método desarrollados, la técnica de Casagrande se usa para clasificar las muestras que se utilizan para entrenar las redes neuronales que realizan la clasificación. El equipo clasifica la muestra en uno de los cuatro tipos de suelo para los que fue entrenado el clasificador y, de acuerdo al análisis que realiza la red neuronal de las características de la muestra.

El clasificador es una red neuronal (perceptrón multicapa) operando como un clasificador supervisado, entrenado con 40 muestras (32 para entrenamiento y 8 para validación) de acuerdo al estándar utilizado para distribuir las muestras de 80-20.

El equipo entrega una gráfica que muestra la intensidad transmitida contra tiempo a medida que va transcurriendo el ensayo.

Esta gráfica relaciona la evolución del esparcimiento relativo con el tiempo transcurrido. La gráfica obtenida es la curva característica del suelo analizado.

A continuación, se suministran cuatro gráficas típicas obtenidas en los suelos estudiados que corresponden a los diferentes tipos de suelos, derivados del proceso de meteorización de las de rocas, lo cual permite clasificar el SUCS (Sistema unificado de Clasificación de Suelos).

La clasificación del suelo en esta invención se realiza teniendo en cuenta que cuando un haz láser incide sobre la muestra en suspensión, se obstaculiza su paso hacia el sensor. Con el paso del tiempo, el material de estudio empieza a sedimentarse por acción de la gravedad, permitiendo el paso de mayor intensidad de luz hacia el sensor. Son estas variaciones de intensidad las que permiten la caracterización del material, ya que la diferencia entre un suelo fino tipo limo y un suelo fino tipo arcilla, radican en el tamaño de sus partículas. El limo contiene tamaños de partículas que en el SUCS van de 74 micras a 2 micras (0.074 mm a 0.002 mm), mientras que en las arcillas los tamaños son inferiores a 2 micras (< 0.002 mm). Por lo expuesto anteriormente, se concluye que los limos deben sedimentar más rápido que las arcillas, ya que están conformados por partículas de mayor tamaño.

En las Figuras 4 y 6, que corresponden a muestras de arcilla, se puede observar que al comienzo de la medición la intensidad detectada es inferior a 0.05 en ambos casos y que, con el paso del tiempo, la intensidad registrada se incrementa más lentamente, de manera que después de 800 segundos es inferior a 0.3, aproximadamente el 3% de la intensidad máxima, mientras que las figuras 3 y 5, que corresponden en el SUCS a suelos finos tipo limos “M”, se puede observar que la intensidad detectada, rápidamente sobrepasa el valor de 0.2 en ambos casos, lo que evidencia la rapidez de la sedimentación de los limos. Transcurridos alrededor de 800 segundos, la intensidad es superior a 0.5, que corresponde aproximadamente al 5% de la intensidad máxima. De lo anterior podemos concluir que esta invención permite determinar a tiempos cortos de ensayo del orden de los 800 segundos si el tipo de suelo es limo “M” o arcilla “C”.

Como en el SUCS se requiere determinar adicionalmente en el suelo fino, ya sea limo o arcilla, si este es de alta “H” o baja “L” plasticidad; esta invención requiere para poder definir la plasticidad del suelo, que el tiempo de ejecución del ensayo sea hasta 3600 segundos (1 hora) y analizar otros aspectos del comportamiento espaciotemporal de las curvas, por ejemplo, se puede observar en las Figuras 3, 4, 5 y 6 que para los tiempos finales de la prueba, el valor del esparcimiento relativo en orden ascendente es: 0.25 (para la Figura 6 en el SUCS es un suelo “CH” que corresponde aproximadamente al 2.5% de la intensidad máxima); 0.7 (para la Figura 4 en el SUCS es un suelo “CL” que corresponde aproximadamente al 7% de la intensidad máxima); 1.6 (para la Figura 3 en el SUCS es un suelo “MH” que corresponde aproximadamente al 16% de la intensidad máxima) y 2.0 (para la Figura 5 en el SUCS es un suelo “ML” que corresponde aproximadamente al 20% de la intensidad máxima). Esta diferencia de comportamiento en la transmisión de la luz a través de las muestras bajo análisis (limos contra arcillas) se debe a la diferencia en la velocidad de sedimentación entre ambos tipos de suelo y es uno de los fundamentos de este método de clasificación propuesto.

Una característica adicional que se puede observar en las curvas obtenidas para las arcillas (Figuras 4 y 6), es su crecimiento en forma de escalones, mientras que para el caso de los limos (Figuras 3 y 5), el crecimiento es en forma de rizado. Esta característica permite discriminar a priori entre limos y arcillas.

Al analizar estos resultados podemos concluir que esta invención permite determinar mediante el esparcimiento relativo en función del tiempo, la plasticidad del suelo y por consiguiente clasificar el tipo de suelo analizado en uno de los 4 símbolos del SUCS (Sistema unificado de Clasificación de Suelos): arcilla de alta compresibilidad (CH), arcilla de baja compresibilidad (CL), limo de alta compresibilidad (MH) y limo de baja compresibilidad (ML).