

# IDENTIFICACION Y ENSAYOS EN SUELOS DISPERSIVOS

Hilda Garay Porteros <sup>(1)</sup>  
Jorge E. Alva Hurtado <sup>(1)</sup>

## RESUMEN

En el pasado, los suelos arcillosos fueron considerados altamente resistentes a la erosión al fluir el agua, pero en los últimos años tiende a ser más claramente sobreentendido que en la naturaleza existen ciertas arcillas que son altamente erosionables. Estos suelos son conocidos como suelos formados por arcillas dispersivas.

La dispersión es un proceso por el cual un suelo deflocula espontáneamente cuando está expuesto al agua que tenga poco o nada de velocidad hidráulica. Se piensa que la dispersión generalmente es causada por la repulsión electrostática entre las partículas de la arcilla, resultando en la formación de una suspensión coloidal estable del suelo.

Los suelos dispersivos no pueden ser identificados con una clasificación visual del suelo o con índice de normas de ensayos, tales como el análisis granulométrico o los límites de Atterberg. Por lo tanto, a causa de ésto, han sido ideados otros ensayos. Las arcillas deben ser ensayadas por características dispersivas como un procedimiento de rutina realizable durante los estudios para presas de tierra y otras estructuras hidráulicas en las cuales éstas puedan ser empleadas.

El trabajo desarrollado se inicia presentando brevemente conceptos de los factores que implican la dispersión de un suelo arcilloso, para luego indicar los ensayos desarrollados para identificar la arcilla dispersiva y finalmente, sobre la base de los resultados obtenidos de los ensayos, señalar la mejor forma de identificar estos suelos.

## 1. INTRODUCCION

El presente trabajo surge de la inquietud por investigar más sobre los suelos dispersivos. Este tipo de suelo de arcilla dispersiva fue conocido primero por los ingenieros agrónomos hace 100 años, y su naturaleza fundamental fue bien entendida por los científicos de suelos e ingenieros agricultores hace casi 50 años. La importancia del tema en la práctica de la Ingeniería Civil ha sido reconocida aproximadamente desde 1940, pero no fue ampliamente

---

(1) Laboratorio Geotécnico CISMID – FIC - UNI

apreciada sino hasta comienzos de 1960. Se inicia en Australia cuando, se investiga las fallas de socavación en presas de tierra y se observa el comportamiento de la arcilla dispersiva en presas pequeñas de arcilla. Desde este tiempo, muchas investigaciones han sido ejecutadas a fin de mejorar los procedimientos para identificar a las arcillas dispersivas.

En nuestro país se desarrolló una Tesis de Grado por el Ing. Marcelo Perla León en la Pontificia Universidad Católica del Perú en 1985. El trabajo que se presenta ahora desarrolla los métodos físicos más empleados que existen actualmente para identificar los suelos dispersivos, y busca dar a conocer más sobre este tipo de suelo no muy conocido en nuestro medio.

La tendencia a la erosión dispersiva en un suelo dado depende de muchas variables, tales como la mineralogía, la química de la arcilla y las sales disueltas en el agua de los poros del suelo y la erosión del agua. Para una mejor comprensión de ésta, es necesario conocer estas variables para identificar mejor a este tipo de suelo.

El reconocimiento de las arcillas dispersivas en años recientes da a los ingenieros más perspicacia para el diseño de las estructura usando las arcillas erosivas. Alrededor de 1976, muchos científicos de suelos e ingenieros comenzaron a incluir al “estado de dispersión” de los suelos arcillosos en sus prácticas para el diseño de estructuras sujetas al daño potencial de la erosión. El reconocimiento de que existen ciertas arcillas dispersivas en la naturaleza es una contribución importante y fundamental para la Ingeniería Geotécnica, y particularmente para el arte de la construcción de terraplenes y presas.

## **2. DESCRIPCION DE LOS SUELOS DISPERSIVOS**

Las arcillas dispersivas son fácilmente erosionables debido al estado físico-químico de la fracción de la arcilla de un suelo que causa a las partículas individuales de la arcilla a deflocularse (dispersarse) y se rechazan en la presencia del agua relativamente pura. Las arcillas en este estado son altamente erosivas por los bajos gradientes hidráulicos del flujo del agua y en algunos casos por el agua en reposo. Cuando el suelo de arcilla dispersiva es sumergido en agua, la fracción de arcilla tiende a comportarse de manera semejante a las partículas granulares, es decir las partículas de arcilla tienen una atracción mínima de electroquímica y fallan hasta adherirse cercanamente o enlazarse con otras partículas de suelo. Así, el suelo de arcilla dispersiva erosiona con la presencia del agua que fluye cuando las plaquetas individuales de la arcilla son partidas y transportadas. Tal erosión puede ser provocada por una filtración inicial a través de la presa, por ejemplo, en las áreas de suelos con alta permeabilidad, especialmente alrededor de los conductos, contra las estructuras de concreto y en los contactos de las cimentaciones, el secado de grietas, el asentamiento diferencial de las fisuras, la saturación del asentamiento de las fisuras, y/o el fracturamiento hidráulico. La principal diferencia entre las arcillas dispersivas y las ordinarias es su resistencia a la erosión; las arcillas aparecen en la naturaleza de los cationes en los poros del agua de la masa de arcilla. Las arcillas dispersivas tienen una preponderancia de cationes de

sodio, en tanto las arcillas ordinarias tienen una preponderancia de cationes de calcio, potasio y magnesio en el agua de poros.

### **3. TIPOS DE ENSAYOS DE CLASIFICACION**

La identificación de los suelos dispersivos debería comenzar con el reconocimiento en campo para determinar si existe alguna indicación en la superficie, como un inusual estampado erosional de túneles y hondonadas profundas, junto con una turbidez excesiva en cualquier depósito de agua. Las áreas de producción con poca cosecha y el crecimiento mal desarrollado también pueden indicar suelos altamente salinos, muchos de los cuales son dispersivos. Sin embargo, los suelos dispersivos pueden también presentarse en suelos neutrales o en suelos ácidos y pueden apoyar al crecimiento frondoso del césped. Aunque la superficie pueda dar un fuerte indicio de suelos dispersivos, la falta de tal evidencia no excluye en sí la presencia de arcillas dispersivas en la profundidad, y se debería proceder con exploraciones adicionales. Una evaluación inicial de las características dispersivas en el campo podría ser muy útil.

Ensayos simples y rápidos en campo pueden ser útiles para realizar una evaluación preliminar del carácter de un suelo dispersivo o no dispersivo. Sin embargo, se debe reconocer que la confiabilidad de estos ensayos es limitada y los ensayos de laboratorio deberían usarse para definir las dispersabilidad de los suelos.

Mientras que los ensayos en laboratorio son un camino útil para identificar los suelos dispersivos, también pueden ser determinados por la observación del comportamiento de los suelos en campo. Por ejemplo:

- La presencia de quebradas profundas y fallas por tubificación en pequeñas presas, habitualmente indican la presencia de suelos dispersivos.
- La erosión en grietas de los caminos, la erosión tipo túnel a lo largo de las líneas de quebradas y la erosión de intemperización o arcillas unidas en roca pueden señalar suelos potencialmente dispersivos.
- La presencia de agua nublada en presas pequeñas y charcos de agua después de la lluvia indica suelos dispersivos.

Se puede deducir la mineralogía de la arcilla a partir de tales técnicas de observación. Algunas guías de consulta son reproducidas por Ingles & Metcalf (1972). La geología del área también puede ser una guía de la dispersividad. Sherard & Decker (1977) señalan que:

- Muchas arcillas dispersivas son de origen aluvial. (La experiencia de los autores es similar pero hay muchas arcillas aluviales no dispersivas. Algunas arcillas de las laderas de lechos de río son también dispersivas).

- Algunos suelos derivados de la lutita y la arcillita bajo un medio marítimo son también dispersivos.
- Los suelos derivados de la intemperización de las rocas ígneas y metamórficas son casi todos no dispersivos, pero pueden ser erosionables, (por ejemplo, la arena limosa derivada de la granodiorita).
- Suelos con un alto contenido orgánico probablemente no son dispersivos (esto necesita ser tratado con cautela, desde que muchos suelos tipo “algodón negro” son dispersivos).

Los ensayos investigados en este trabajo son los llamados ensayos físicos y los que en seguida se indican. También existen ensayos químicos, los cuales no serán tratados aquí.

### **a) El Ensayo de Crumb**

El ensayo de Emerson Crumb (Emerson, 1967) fue desarrollado como un procedimiento simple para identificar el comportamiento dispersivo en campo, pero ahora es muy frecuentemente usado en el laboratorio. En la Figura 1 se observa el ensayo de Crumb desarrollado en el laboratorio.

El ensayo de Crumb entrega una buena indicación del potencial de erosionabilidad de los suelos de arcilla; sin embargo un suelo dispersivo puede a veces dar una reacción no dispersiva en el ensayo de Crumb. Si el ensayo de Crumb señala dispersión, lo más probable es que el suelo sea dispersivo.



Figura 1. Ensayo de Crumb

## b) El Ensayo del Doble Hidrómetro

El ensayo del Servicio de Conservación del Suelo de EEUU, también conocido como Ensayo del Doble Hidrómetro, o el Ensayo de Dispersión en Porcentaje (Norma de la Asociación de Australia, 1980). Este ensayo implica dos ensayos del hidrómetro en suelos tamizados a través de la malla de 2.36 mm. Los ensayos del hidrómetro son conducidos con y sin dispersante. La dispersión en porcentaje es:

$$\frac{P}{Q} \times 100$$

donde

P = porcentaje de suelos más finos que 0.005 mm para el ensayo sin dispersante.

Q = porcentaje de suelos más finos que 0.005 mm para el ensayo con dispersante.



Figura 2. Ensayo de Doble Hidrómetro

Sherard et al (1976) señalan que los suelos con un porcentaje de dispersión mayor que el 50% son susceptibles a la dispersión y a las fallas de tubificación en presas, y aquellos con un porcentaje de dispersión menor que el 15% no son susceptibles. Ellos también señalaron que existe una buena correlación entre el ensayo de Dispersión en Porcentaje y el Ensayo de Pinhole descrito a continuación. La Figura 2 presenta el ensayo del doble hidrómetro.

### c) El Ensayo de Pinhole

La clasificación de dispersión de Pinhole, conocido también como Ensayo de Pinhole, o Ensayo de Pinhole Sherard (Norma de la Asociación de Australia, 1980).

Este ensayo fue desarrollado por Sherard et al (1976). Un hueco de 1.0 mm de diámetro es perforado en el suelo a ser ensayado, y a través del agujero se pasa agua bajo diferentes cargas y duraciones variables. El suelo es tamizado a través del tamiz de 2.36 mm y compactado aproximadamente en el límite plástico a una proporción de densidad del 95% (las condiciones a simular en un terraplén de presa con una fisura o agujero en el suelo). En la Figura 3 se presenta el ensayo de pinhole.

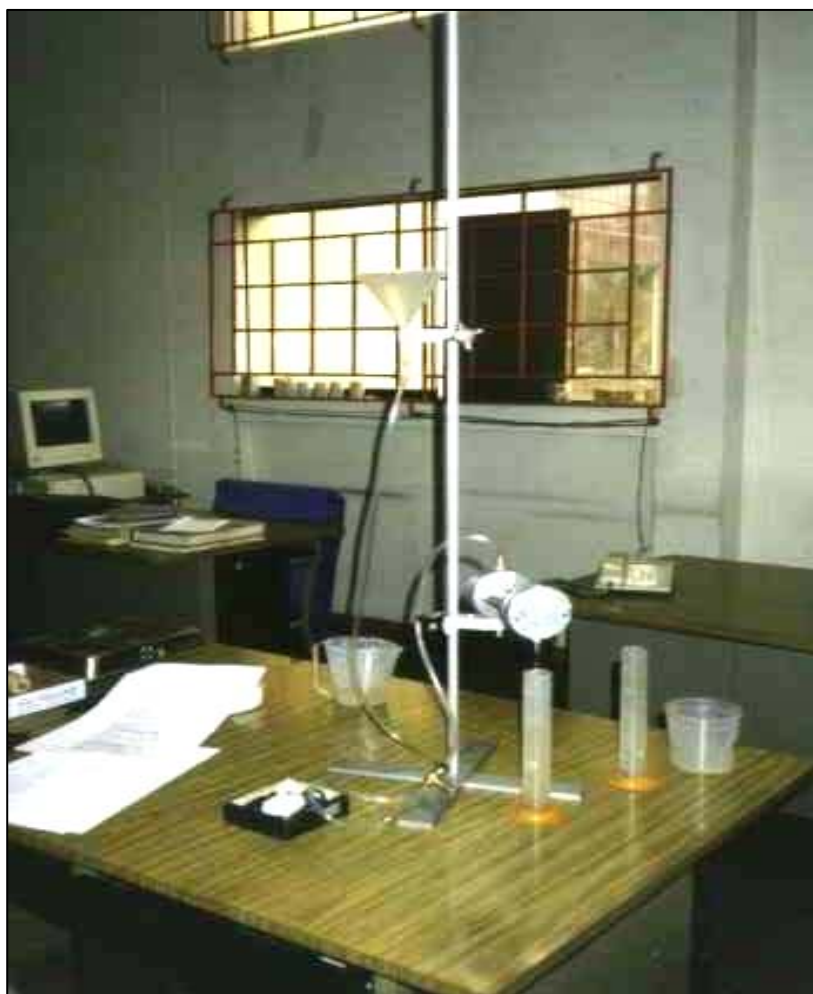


Figura 3. Ensayo de Pinhole

## 4. MUESTRAS Y ENSAYOS REALIZADOS

Los ensayos se realizaron en el Laboratorio Geotécnico del CISMID de la FIC-UNI. La realización de estos ensayos se basa en las Normas ASTM, excepto para el ensayo de Crumb que se rige en una Norma del USBR. En el caso del ensayo de Pinhole, fue necesario la adquisición de equipo. Se programó ensayos de clasificación de suelos

para determinar la composición granulométrica y la plasticidad de las muestras. Luego se realizaron los ensayos de dispersión.

A continuación se indican las muestras ensayadas:

- a) Muestras de la Laguna de Oxidación de San José-Chiclayo (Muestras N° 1 y 2).
- b) Muestra de la Cantera de UNICON en Jicamarca-Lima (Muestra N° 3).
- c) Muestra del Proyecto Rehabilitación de la Carretera Ilo-Desaguadero en Puno (Muestras N° 4 y 5).
- d) Muestra de la Presa Tinajones en Lambayeque (Muestra N° 6).
- e) Muestra de la Presa Cuchoquesera en Ayacucho (Muestra N° 7)

Los ensayos de dispersión de suelos realizados para determinar las características dispersivas fueron:

- Ensayo de Crumb,
- Ensayo del Doble Hidrómetro,
- Ensayo del Pinhole.

#### **4.1. Ensayo de Crumb (USBR 5400-89)**

El ensayo consiste en preparar un espécimen cúbico de 15 mm de lado o eligiendo un suelo Crumb secado al aire de igual volumen (sería preferible usar un suelo Crumb con su humedad natural). El espécimen es colocado cuidadosamente en alrededor de 250 ml de agua destilada. Mientras el suelo Crumb se comienza a hidratar, se observa la tendencia de las partículas coloidales para deflocularse y entrar en suspensión.

La tendencia para que las partículas de arcilla entren en suspensión coloidal es observada después de 5-10 minutos de inmersión, usando la siguiente guía de interpretación:

##### **Grado 1.**

Ninguna reacción: El desmenuzado puede desmoronarse y esparcirse en el fondo del cubilete en amontonamiento plano, sin ningún signo de agua nublada causada por coloidales en suspensión.

##### **Grado 2.**

Reacción ligera: Simple insinuación de nubosidad en agua en la superficie del Crumb (si la nubosidad es fácilmente visible, use el grado 3).

##### **Grado 3.**

Reacción moderada: Nubosidad de coloides fácilmente reconocible en suspensión. Usualmente diseminado en trazas delgadas en el fondo del cubilete.

#### Grado 4.

Reacción fuerte: Nubosidad coloidal cubre casi la totalidad del fondo del cubilete, usualmente en una superficie muy delgada. En casos extremos toda el agua en el cubilete se vuelve nubosa.

#### 4.2. Ensayo del Doble Hidrómetro (ASTM D 4221-90)

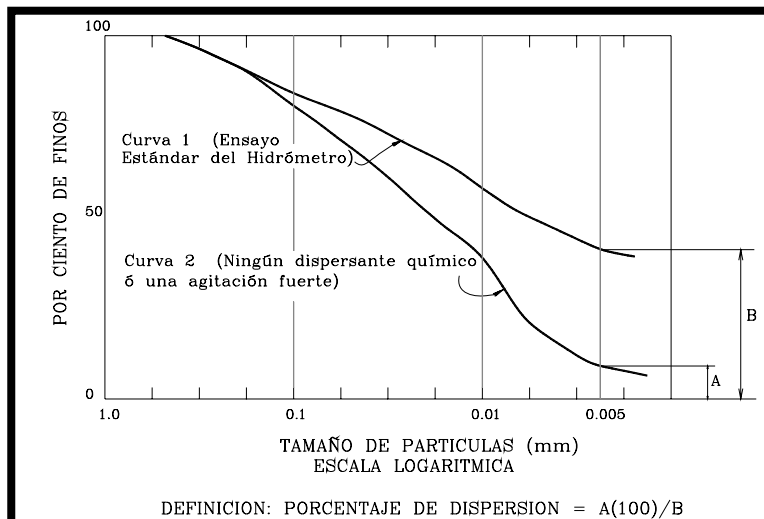
La distribución del tamaño de partículas es determinada empleando primero el Ensayo Estándar del Hidrómetro en el que el espécimen del suelo es dispersado en agua destilada con una fuerte agitación mecánica y con un dispersante químico. Un ensayo paralelo al hidrómetro es realizado después en un espécimen duplicado, pero sin agitación mecánica y sin dispersante químico. El "porcentaje de dispersión" es la relación de transformación de las partículas de 0.005 mm de diámetro del segundo ensayo al primero, expresado en porcentaje (Figura 4).

El criterio para la evaluación del grado de dispersión usando los resultados del ensayo del Doble Hidrómetro es:

Porcentaje de Dispersión	Grado de Dispersión
<30	No dispersivo
30 a 50	Intermedio
>50	Dispersivo

Numerosos ensayos deben realizarse porque la dispersividad del suelo puede variar grandemente en distancias cortas dentro de un área de préstamo a lo largo de una alineación de un canal o dentro de un terraplén existente. Existen evidencias que un alto porcentaje de suelos con características dispersivas mostró 30% de dispersión o más, cuando se ensayaron con este método (Sherard y Decker, 1977).

Una variación de este método es llamado Ensayo del Triple Hidrómetro: 1) Ensayo normal del Hidrómetro con dispersante y agitación; 2) Ensayo solamente con agua destilada, 3) Ensayo con agua de río. En la Figura 4 se presenta resultados del ensayo del Doble Hidrómetro.





### 4.3. Ensayo de Pinhole (ASTM D 4647-93, USBR 5410-90)

El Ensayo del Pinhole fue desarrollado para una medida directa de la erosionabilidad de los suelos de grano fino compactados y consiste en hacer fluir agua a través de un pequeño agujero en un espécimen de suelo donde el flujo de agua a través del Pinhole simula el flujo del agua a través de una grieta u otra estructura. Un agujero del 1 mm de diámetro es introducido o taladrado a través de un espécimen de suelo cilíndrico de 25 mm de largo por 35 mm de diámetro. Agua destilada es percolada a través del Pinhole bajo una carga de 50, 180 y 380 mm de agua y la velocidad con el efluente y la turbidez quedan registrados. Las cargas de 50, 180 y 380 mm resultan en flujos con velocidades de rangos aproximadamente de 30 a 160 cm/s y con gradientes hidráulicos en rangos aproximadamente desde 2 a 15. El ensayo fue desarrollado por Sherard et al (1976) y en pocos años se ha convertido en un ensayo físico ampliamente usado. Es importante que el ensayo sea hecho sobre suelo con contenido de humedad natural, porque secándolo podría afectar los resultados. Si el material contiene partículas gruesas de arena o grava, éstas deben ser eliminadas tamizando la muestra a través del tamiz de 2 mm (Nº 10). El contenido de humedad natural debe ser determinado y el contenido de agua deseado para la compactación debe alcanzarse agregando la cantidad de agua requerida (o gradualmente secándolo al aire, sí está demasiado mojado). Toda el agua añadida debe ser agua destilada.

## 5. RESULTADOS DE ENSAYOS

En la Tabla 1 se muestran los resultados previos a los ensayos de dispersión para cada una de las muestras investigadas. Con las muestras 4 y 5 no se realizó el ensayo de compactación, debido al poco material con que se contaba para el ensayo.

**Tabla 1.- Características de los Suelos Analizados**

MUESTRA Nº	$\omega$ (%)	CLASIF. SUCS	PESO ESPEC. ( $G_s$ )	LIMITES DE ATTERBERG (%)			PROCTOR ESTANDAR DE COMPACTACION	
				LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE DE PLASTICIDAD	$\gamma_d$ (MAX)	OCH (%)
1	7.93	SC	2.695	35.25	23.56	11.69	1.869	12.8
2	4.93	SC	2.710	37.00	17.91	19.09	1.803	16.0
3	15.81	CL	2.700	27.90	18.04	09.86	1.875	14.0
4	21.12	CL	2.623	32.32	20.30	12.02	---	---
5	16.44	CL	2.710	39.69	18.69	21.00	---	---
6	3.44	CL	2.707	28.32	14.14	14.18	1.883	12.9
7	27.81	CL	2.762	45.40	26.06	19.34	1.527	26.2

En la Tabla 2 se puede apreciar los resultados de dispersión de las muestras indicadas. Cabe mencionar que el Ensayo de Pinhole se realizó con varios tiempos de curado, remoldeado al contenido de humedad natural para las muestras 4 y 5, en las que no se contaba con los datos del grado óptimo; para el resto se evaluó al contenido del óptimo sin curar y con tiempos de curado de 24 horas, 48 horas y 7 días.

La nomenclatura empleada para clasificar un suelo dispersivo de acuerdo a la Norma del Ensayo de Pinhole según el Método A y C es la siguiente:

- Dispersivo (D1,D2),
- Dispersivo leve a moderado (ND4,ND3) y
- No dispersivo (ND2,ND1).

**Tabla Nº 2 Resultados de los Ensayos de Dispersión**

MUESTRA Nº	ENSAYO DE CRUMB	ENSAYO DEL DOBLE HIDROMETRO	ENSAYO DE PINHOLE
1	Grado 2	Dispersivo	ND3 <sup>3</sup> ND4 <sup>4</sup> ND1 <sup>5</sup>
2	Grado 1	No Dispersivo	ND1 <sup>3</sup>
3	Grado 3	No Dispersivo	D2 <sup>2</sup> D2 <sup>3</sup> ND4 <sup>4</sup> ND4 <sup>5</sup> ND1 <sup>6</sup>
4	Grado 3	No Dispersivo	D2 <sup>2</sup> ND2 <sup>4</sup>
5	Grado 1	Intermedia Dispersión	ND3 <sup>3</sup>
6	Grado 1	Intermedia Dispersión	ND <sup>3</sup> ND1 <sup>4</sup> ND1 <sup>5</sup>
7	Grado 1	No Dispersivo	ND1 <sup>3</sup>

- 2 Especímen remoldeado en su contenido de humedad natural
- 3 Especímen remoldeado en su OCH y sin ningún curado
- 4 Especímen remoldeado en su OCH y 24 horas de curado
- 5 Especímen remoldeado en su OCH y 48 horas de curado
- 6 Especímen remoldeado en su OCH y 7 días de curado

Luego de estos resultados, podemos concluir:

- Las muestras 2 y 7 no son dispersivas
- La dispersión del resto de las muestras varía de ligera a alta
- El tiempo de curado en el estado compactado de los especímenes influye en los resultados del ensayo de Pinhole. A un mayor tiempo de curado, el suelo tiende a ser menos dispersivo.

## 6. CONCLUSIONES

- \* El propósito principal de los ensayos presentados es la identificación real de las arcillas dispersivas, que son la causa de fallas en presas de tierra y serias erosiones en otras estructuras de tierra.
- \* Es recomendable utilizar más de un ensayo para comprobar la dispersividad de un suelo. La opción más simple y económica sería emplear los ensayos de Crumb y de Pinhole. Otros ensayos que también ayudan a identificar las arcillas dispersivas son los ensayos químicos del Análisis de las Sales Disueltas en el Agua de Poros del Suelo (SAR) y el Ensayo del Porcentaje de Sodio Cambiable (ESP).
- <
- \* De los tres ensayos físicos analizados, comprueba que con frecuencia los resultados no concuerdan, y que el ensayo de Pinhole es el más fiable, por ser un ensayo cuantitativo y cualitativo; por lo tanto, es el ensayo físico que modela las condiciones de servicio y evalúa la dispersión.
- \* Las arcillas dispersivas son altamente susceptibles a la tubificación por los procesos de erosión coloidal. Estas arcillas tienen un predominio de cationes de sodio disueltos en el agua de poros, mientras que las arcillas ordinarias, resistentes a la erosión, tienen al calcio y al magnesio como los cationes disueltos dominantes.
- \* De los ensayos físicos realizados, se observa que existe una buena correlación entre los ensayos de Pinhole y de Crumb.
- \* Un suelo con muchas sales hace al suelo dispersarse mas fácilmente.
- \* El Ensayo de Pinhole se sugiere para las situaciones donde el agua estaría fluyendo (por ejemplo: en el caso de una presa) y el Ensayo de Emerson Crumb para las condiciones quietas, (por ejemplo en reservorios).

- \* Es importante para el ingeniero ser capaz de identificar las arcillas dispersivas en un proyecto dado, teniendo especial cuidado y atención durante el diseño y construcción en las áreas críticas en las que estos materiales fueran a ser usados.

## 7. REFERENCIAS

- Sherard, J.L., Dunnigan L.P. y Decker, R.S. (1976), "Identification and Nature of Dispersive Soils", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 102, GT4, Abril, pp 287-301.
- Sherard, J.L., Dunnigan L.P. Decker, R.S. y Steel E.F. (1976), "Pinhole Test for Identifying Dispersive Soils", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol 102, N° GT-1, pp. 69-85.
- Bulletin of Committee on Materials for Fill dams by USCOLD under the guidance of L.O. Timblin, Jr., "Dispersive Soils in Embankment Dams", Commission Internationale des Grands Barrages-151, bd Haussmann, 75008 Paris.
- Sherard, J.L., y Decker, R.S., (1977), eds., "Dispersive Clays, Related Piping, and Erosion n Geotechnical Projects", STP 623, ASTM, Philadelphia, Pensylvania.
- Perla León M. (1985) Tesis de Grado - Pontificia Universidad Católica del Perú
- Stapledon, F.M., (1992), "Geotchnical Engineering of Embankment Dams", pp. 288-317.
- Tosun, H., (1997), "Comparative Study on Physical Test of Dispersibility of Soils Used for Earthfill Dams in Turkey", Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, Vol. 20, N° 2, June.
- Ingles D.G. y Metcalf M. (1972), "Soil Stabilization", Butterworsths, Sydney, Australia.
- Sherard, J.L. y Decker, R.S. (1977), "Some Engineering Problems with Dispersive Clays", Proc. Symposium on Dispersive Clays, Related Piping, Erosion in Geotechnical Projects, ASTM SPT G23, pp. 3-12.
- Emersson W.W. (1977), "A Classification of Soils Aggregates Base on their Coherence in Water", Australian Journal of Soil Research, Vol. 2., pp 211-217.