DETERMINACION DE SUELOS EXPANSIVOS

I.N.V. E - 132

1. OBJETO

1.1 Esta norma se refiere a un método para determinar si un suelo es potencialmente expansivo, así como a los métodos para predecir la magnitud del hinchamiento que se pueda producir.

2. DETERMINACION DE SUELOS EXPANSIVOS

2.1 El potencial de expansión de un suelo puede determinarse mediante los límites de Atterberg y la succión natural del suelo.

- Empleando los Métodos normales del INV se determinan el Límite Líquido (LL) INV E-125 Indice de Plasticidad (IP) INV E-126 y la succión del Suelo (τ nat.) AASHTO T-273. Usando estas propiedades índice y con la ayuda de la Tabla No. 1, se puede determinar cualitativamente el potencial expansivo del suelo.

TABLA No.1

Grado de Expansión	LL %	IP %	τ nat (Ton/pie^2)
Elevado	> 60	> 35	> 4
Marginal	50-60	25-35	1.5-4
Bajo	< 50	< 25	< 1.5

2.2 Mediante el aparato de expansión desarrollado por Lambe (Véase Figura No.1), puede medirse la presión de expansión desarrollada por el espécimen de suelo, después de 2 horas de inmersión, para predecir en forma preliminar su Potencial de Cambio Volumétrico (PCV), así:

PCV	Condición para el Suelo
< 2	no crítica
2 - 4	crítica
> 6	muy crítica

2.3 Puede también definirse el PCV, a partir del Indice de Plasticidad y del Límite de Contracción (Véase INV E-127) de acuerdo con los valores de la Tabla No. 2 según Holts y Gibs (1956).

TABLA No. 2

LIMITES DE CONSISTENCIA Y POTENCIAL DE CAMBIO VOLUMETRICO (PCV)

PCV	IP		LIM. CONTRATACION
	Zona Seca	Zona Húmeda	
Bajo	0-15	0-30	>12
Moderado	15-30	30-50	10-12
Alto	> 30	> 50	< 10

2.4 Finalmente, se puede obtener indicación del carácter expansivo del suelo, a partir de a expansión lineal medida en especímenes sumergidos para el ensayo de CBR (Véase INV E-148).

3. DETERMINACION DE LA MAGNITUD DE LA EXPANSION

3.1 La magnitud de la expansión que puede esperarse en una capa de suelo, se determina mediante uno de los métodos que se describen enseguida. Cuando se requiera una determinación más exacta, deberá efectuarse un ensayo de Expansión con Sobrecarga. Debido a lo prolongado del tiempo y a los costos requeridos para efectuarlo, podrá emplearse también un procedimiento empírico llamado el Método del potencial de levantamiento vertical.

3.2 Ensayo de expansión con sobrecarga. Procedimiento de predicción.

- **Método I.**- Prepárese una muestra inalterada para el ensayo de consolidación de acuerdo con el Método INV E-151, teniendo cuidado de evitar la pérdida de humedad durante su preparación. De los recortes de la muestra, determínese la humedad en el terreno y el peso específico del suelo.

  La humedad natural se determina como un porcentaje del peso del suelo secado al horno:

$$\text{Humedad} = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso del Suelo Secado al Horno}} \times 100$$

El peso específico del suelo se determina según la Norma INV E-128.
Después de colocada la muestra en el consolidómetro, se le aplica una carga igual a la sobrecarga existente en el terreno, la cual deberá mantenerse hasta cuando el dial del extensómetro indique que ha cesado cualquier ajuste, por la carga aplicada.
Durante la aplicación de esta carga y durante el período de ajuste, debe tenerse cuidado de evitar el secamiento. Es extremadamente importante que no se pierda humedad en la muestra, lo cual puede lograrse cubriendo el consolidómetro con algodón húmedo. Este procedimiento de carga hace retornar la muestra, en cuanto es posible, a la relación de vacíos de campo, real y a la condición en el terreno, ya que la extrusión permite que las muestras inalteradas reboten inmediatamente en forma elástica.

Las condiciones reales en el terreno están definidas por el punto (1) de la Figura No. 2. En seguida, se inunda la muestra y se le deja alcanzar equilibrio como se indicó anteriormente. Esta condición se define, entonces, con el punto (2) en la misma Figura. La muestra se descarga luego mediante las disminuciones de carga normalmente empleadas en el laboratorio, hasta la presión deseada, obteniéndose en esta forma una curva de expansión desde el punto (2) hasta el (3). A partir de este último punto, se prosigue con un ensayo normal de consolidación con rebote (Véase INV E-151).

Las curvas de carga-expansión forman aproximadamente líneas rectas en un gráfico semilogarítmico; la presión que no implica cambio de volumen, se determina entonces extrapolando las curvas de expansión entre los puntos 2 y 3, hasta intersectar la relación de vacíos en el terreno, representada por el punto (4). Esta se determina en la siguiente forma:

$$ef = \frac{\text{Humedad en el Campo x Peso Específico}}{\text{Porcentaje de Saturación}}$$

- **Método II.**- Se presenta este método porque puede ser necesario abreviar el trabajo; y la sobrecarga existente puede ser tan pequeña, que no tenga significado alguno obtener directamente curvas de expansión.

Este método puede emplearse únicamente después de ejecutados varios ensayos mediante el Método I y de verificar que la pendiente de la curva de rebote, puntos (5) y (6), sea esencialmente la misma que la de expansión, puntos (2) y (3). El método II es igual al Método I hasta el punto en el cual se inunda la muestra y se registra la expansión total. En este punto, se prosigue con una secuencia de carga de consolidación normal con rebote, hasta obtener las curvas deseadas. Puesto que las pendientes de las curvas de expansión y rebote son esencialmente las mismas, puede obtenerse la curva de expansión haciendo pasar una curva a través del punto (2) de la Figura No. 2, que sea paralela a la de rebote. La intersección de esta última con la relación de vacíos en el terreno, corresponde al punto para el cual no hay cambio de volumen, o de potencial máximo de presión de expansión.

- **Cálculos.**- La magnitud de la expansión que puede esperarse en una estrato, se calcula de la siguiente manera:

$$S = \frac{\Delta e\ H}{1 + e_f}$$

Donde:

S = Expansión en cm (pulg.)

Δe = Diferencia de la relación de vacíos, a la presión de la sobrecarga (sin cambio de volumen) y la presión para la sobrecarga deseada.

H = Espesor de la capa en cm (pulg.)

e_f = Relación de vacíos en las condiciones de los esfuerzos existentes en el terreno.

3.3 Predicción del Potencial Vertical de Levantamiento (PVL).

Es necesario para este procedimiento conocer la humedad de cada muestra. Preferiblemente, esas muestras deben tomarse en el momento del muestreo o de núcleos que hayan sido sellados.

Cuando se hayan tomado núcleos, el peso unitario húmedo se determina formando cilindros en los cuales se mide su altura y diámetro, con aproximación a 0.25 mm (0.01"), se pesan con aproximación a 0.5 g (0.001 lb), verificando luego los cálculos necesarios. Cuando hayan sido tomados únicamente recortes durante el muestreo, úsese un peso unitario húmedo de 2025 kg/m^3 (125 lb/pie^3), el cual es un valor medio razonable.

A partir de porciones representativas de recortes o de núcleos, determínese el Límite Líquido, el Indice Plástico y el porcentaje de suelo ligante (pasa tamiz No. 40) en las capas de suelo. Anótense dichos resultados en la Tabla No. 4, en la capa respectiva.

Comenzando con la capa superior en la superficie del terreno y a partir del registro de perforación (Tabla No. 3) prepárese la Tabla No. 4. Determínese si las capas se hallan en condición "húmeda", "seca" o en un estado intermedio.

- Se ha encontrado que 0.2 LL + 9 es la condición seca a partir de la cual se produce poca contracción, pero a la cual el potencial de expansión volumétrica es mayor. Esta es la mínima humedad, hasta la cual generalmente se secan las arcillas expansivas. La condición "húmeda", 0.47 LL + 2, corresponde a la absorción capilar máxima obtenida mediante ensayos de laboratorio sobre especímenes moldeados a la humedad óptima, y con sobrecarga de 7 kPa (1 lb/pulg^2). Esta humedad, análoga a la hallada bajo pavimentos viejos y otras estructuras livianas, es la condición óptima.

Empleando la Figura No. 3 y considerando la condición húmeda, seca, o intermedia, con el IP de la primera capa, sígase verticalmente hasta la curva de expansión que corresponda y léase el porcentaje del cambio volumétrico en la ordenada. Este fue determinado para una sobrecarga de 7 kPa (1 lb/pulg^2).

- Las curvas del potencial de levantamiento vertical (PLV) vs. Carga, de las Figuras No. 4 y No. 5 son para arcillas que se expanden libremente, sin carga; y se basan en un peso unitario húmedo del suelo de 2025 kg/m^3 (125 lb/pie^3). Para emplear estas curvas, se ha encontrado que bajo las condiciones dadas de expansión libre y del cambio volumétrico, bajo una sobrecarga de 7 kPa (1 lb/pulg^2) con base en la Figura No. 3, existe la siguiente relación:

  Porcentaje de cambio volumétrico sin carga = (Porcentaje de cambio volumétrico a 7 kPa (1 lb/pulg^2)) x (1.07) + 2.6.

Ejemplo. De la Figura No. 3 la expansión para l lb/pulg² = 10 Porcentaje sin carga o expansión libre = 10 (1.07) + 2.6 = 10.7 + 2.6 = 13.3.

Estas curvas pueden ser marcadas con lápiz sobre las Figuras Nos. 4 o 5 para lecturas exactas.

- Para la condición óptima pueden considerarse igualmente válidas las relaciones siguientes, en la Figura No. 3.

  a) Porcentaje de cambio volumétrico PCV, con sobrecarga de 7 kPa (1 lb/pulg²) = 0.217 (IP) - 2.9.

  b) Porcentaje de expansión libre = 0.232 (IP) - 0.5

Para cálculos del Potencial de Levantamiento Vertical (PLV), es conveniente emplear capas de 0.6 m (2) en el supuesto de que las humedades y el registro de la perforación lo permitan. El empleo de capas de 0.6 m y el supuesto de que el peso unitario húmedo es de 2025 kg/m^3 (125 lb/pie^3), el cual es generalmente un peso unitario razonable, hace más simple la tabulación. La modificación causada empleando el peso unitario anterior en lugar de 2333 kg/m^3 (144 lb/pie^3) para 7 kPa (1 lb/pulg²), por 0.3 m (pié), ha sido incorporada a las curvas de las Figuras. No. 4 y No. 5. Si varían los pesos unitarios a partir de 2025 kg/m^3 (125 lb/pie^3) y se desea una precisión mayor, deberá aplicarse un factor de corrección a la capa, equivalente a 2025 kg/m^3 (125 lb/pie^3) dividido por el peso unitario húmedo real.

- Análogamente en la capa de 0.6 m, en la superficie, la carga promedia es 7 kPa (1 lb/pulg²); igualmente en la capa de O.6 m a 1.2 m, la carga es de 14 kPa (2 lb/pulg²) para los 0.6 m superiores más la mitad de la capa de 0.6 m a 1.2 m; o de 21 kPa (3 lb/pulg²) en total. Por lo tanto, la carga promedio en cualquier capa de 0.6 m (2'), es la profundidad media de la capa.

Empleando la columna para el material que pasa tamiz de 425 µm (No. 40), el PLV posteriormente determinado, deberá modificarse así:

a) Usese la expansión de cero cuando el porcentaje que pasa tamiz 425 µm (No. 40), sea menor del 25%

b) Multiplíquese la expansión obtenida para la capa, por el porcentaje que pasa tamiz 425 µm (No. 40), cuando el porcentaje exceda del 25%

Empleando la Figura No. 3, determínese el porcentaje de expansión volumétrica en la primera capa de 0 - 0.6 m (0-2'). Puesto que esta expansión es determinada empleando una sobrecarga de 7 kPa (1 lb/pulg²), deberá modificársela por expansión libre, o sea sin sobrecarga, como se anota en el numeral 3.3.. Empleando las Figuras No. 4 y No. 5, y la curva de porcentaje de expansión libre, acabada de determinar, comiéncese a registrar la expansión en la capa.

a) En la capa de 0 a 0.6 m, léase la ordenada (PLV) para la carga de 7 kPa (1 lb/pulg²) de la curva de expansión, y anótese en la Tabla No. 4 como "fondo de la capa".

b) A partir de la curva, léase la carga de 0 en la parte superior de esta capa y anótese en la Tabla No. 4.

c) La diferencia entre estas dos lecturas, es el PLV en la primera capa de 0.6 m, sujeta a la corrección por peso unitario (véase numeral 3.3.b) y por suelo ligante (pasa tamiz No. 40), a que se refiere el numeral 3.3.

Tómese la capa de 0.6 a 1.2 m y determínese el porcentaje de cambio volumétrico, modificándolo con el valor determinado en la Figura No. 3. Sobre esta curva de porcentaje de expansión volumétrica, o sobre un esquema dibujado a lápiz, donde la línea no quede realmente sobre las Figuras No. 4 y No. 5, léase el PLV en la ordenada correspondiente a 21 kPa (3 lb/pulg²) (fondo de la capa) y anótese en la Tabla No. 4. Léase en la misma curva la ordenada correspondiente a 7 kPa (1 lb/pulg²) (parte superior de la capa) y anótese. La diferencia entre las dos lecturas, es la expansión en la capa entre 0.6 y 1.2 m, sometida a modificaciones por peso unitario o suelo ligante (pasa tamiz de 420 µm (No. 40)).

Continúense las determinaciones del PLV en cada capa de 0.6 m, hasta cuando cada capa expansiva haya sido contrabalanceada como lo indica la nivelación horizontal de las curvas de las Figuras No. 4 y No. 5, lo que significa que no hay diferencia cuando se lee el PLV de estas curvas. (Realmente la expansión es despreciable o nula en cualquier punto más allá del extremo de cualquier curva dada, como se muestra en estas dos Figuras). Pueden emplearse capas más gruesas para el cálculo, cuando consistan de suelo uniforme con IP y contenidos similares de humedad.

Compruébese el factor de corrección debido al suelo ligante y al peso unitario para cada capa.

Súmense los PLV en la totalidad de todas las capas, para obtener el PLV total para el sitio.

- La Tabla No.4 ha sido calculada sin considerar cargas debidas a una estructura. Cuando éstas se conozcan, simplemente se agregan en la columna de "carga promedio", kPa (lb/pulg²) y se aumenta cada cifra en la columna, por el incremento de la carga unitaria de la estructura, pero nótese que se reducirá la expansión por causa del aumento de la carga.

Para informar los resultados del ensayo, remítase una copia de la Tabla No. 3 con la identificación de la obra y de su ubicación.

- Frecuentemente, durante el diseño, es necesario estimar el PLV sin conocer las humedades esperadas durante la construcción. En tales casos, el diseño y planeamiento de una obra deberán influir en la escogencia de la línea de la Figura No. 3, que se va a emplear. Si se trata de un clima entre árido y semiárido y los planos y especificaciones no prevén control de la humedad-peso unitario, ni preservación de la humedad, se sugiere emplear la línea para 0.2 LL + 9, pero podrá también emplearse la línea promedia.

  Si los planos y especificaciones exigen control del peso unitario y de la humedad, y el mantenimiento de ésta, podrá emplearse la línea promedio.

  En las regiones de precipitación alta, podrá utilizarse la línea promedio, cuando se contemple la conservación de la humedad; pero si además, se prevé control de la humedad-peso unitario, podrá emplearse, la línea inferior (0.47 LL + 2) de la Figura No. 3.

  La expresión "mantenimiento de la humedad", se refiere al empleo de tramos recubiertos con capas y con bermas amplias de material granular, suelos estabilizados, o membranas asfálticas donde se apliquen con este objeto.

5. CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

AASHTO T-258