

NORMA ESPAÑOLA	Geotecnia ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE UN SUELO EN EDÓMETRO	UNE 103-405-94
<p>1 OBJETO</p> <p>Este ensayo se utiliza para determinar las características de consolidación de los suelos. Para ello, una probeta cilíndrica confinada lateralmente, se somete a diferentes presiones verticales, se permite el drenaje por sus caras superior e inferior, y se miden los asentos correspondientes.</p> <p>2 CAMPO DE APLICACIÓN</p> <p>Este ensayo es aplicable a suelos homogéneos, en los que el tamaño máximo de la partícula no sea superior a la quinta parte de la altura de la probeta.</p> <p>Se utiliza principalmente para determinar la fase de consolidación primaria del suelo; no obstante, también se puede emplear para obtener la de consolidación secundaria.</p> <p>3 NORMAS PARA CONSULTA</p> <p>UNE 103-300 – <i>Determinación de la humedad de un suelo mediante secado en estufa.</i></p> <p>UNE 103-302 – <i>Determinación de la densidad relativa de las partículas de un suelo.</i></p> <p>UNE 103-400 – <i>Ensayo de rotura a compresión simple en probetas de suelos.</i></p> <p>4 APARATOS Y MATERIAL NECESARIO</p> <p>4.1 Equipo edométrico</p> <p>La sala en que se realice el ensayo debe estar aislada de vibraciones, y el equipo protegido de los rayos directos del sol, de fuentes de calor y corrientes de aire.</p> <p>La temperatura de dicha sala debe estar controlada, manteniéndola constante dentro de un margen de $\pm 4^\circ\text{C}$.</p> <p>Los elementos esenciales del equipo edométrico para consolidación unidimensional son los siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Célula edométrica en la que la probeta pueda estar cubierta de agua y sometida a las presiones correspondientes. - Medidor de deformaciones verticales de la probeta. - Bancada que permita la aplicación de las cargas a la probeta, manteniéndolas constantes durante cualquier periodo de tiempo. Generalmente esta bancada es de tipo mecánico actuando a través de un sistema de palanca con pesas. <p style="text-align: right;"><i>Continúa en páginas 2 a 10</i></p>		
Secretaría del CTN MOPTMA	Esta norma anula y sustituye a la Norma UNE 7-392 de fecha junio de 1975 Las observaciones relativas a la presente norma deben ser dirigidas a AENOR - Fernández de la Hoz, 52 - 28010 Madrid	

UNE 103-405-94

Geotechnics. One-dimensional consolidation test in an edometric cell.
Géotechnique. Experience de consolidation unidimensionnelle en cellule
edometrique.

© AENOR 1994

Depósito legal: M 21 118-94

Grupo 5

4.1.1 Célula edométrica. La célula edométrica debe constar de las siguientes componentes:

- Una base metálica, resistente a la corrosión, de un material que no produzca reacciones electro-químicas con el del anillo portaprobeta y construida de forma que pueda albergar a éste en su superficie, quedando centrado con respecto a la base y dispuesto sobre la placa porosa inferior. Ésta se sitúa coaxialmente con la superficie de la base, debiendo tener la placa porosa inferior libre acceso al agua.
- Una pieza del mismo material que la base metálica que fije el anillo portaprobeta sobre la placa porosa inferior y que en el caso de los anillos que se denominan de tipo confinado lateralmente se ajuste al exterior de éste para asegurar su confinamiento lateral.
- Un cuerpo lateral de cierre formando con la base un recipiente estanco y con la altura precisa para que la placa porosa superior quede siempre sumergida en el agua. Puede ser metálico, de las mismas características que la base, o de plástico transparente.
- Un anillo en donde se aloje la probeta de suelo a ensayar, denominado anillo portaprobeta. Puede ser de dos tipos según el modelo de célula: confinado lateralmente y no confinado. En ambos casos debe ser rígido y fabricado con un metal resistente a la corrosión y pulido interiormente. En el caso de un anillo sin confinamiento, debe tener además un espesor tal que asegure que no sufre un aumento de diámetro mayor del 0,05% bajo la acción de la presión más alta a que se vaya a someter a la probeta.

Las dimensiones de la superficie cilíndrica interna deben estar dentro de los siguientes límites:

Diámetro (D) – Mínimo de 45 mm.

Altura (H_0) – No inferior a 12 mm.

Relación entre diámetro y altura (D/H_0) - No inferior a 2,5 en suelos arcillosos o limosos y a 1,5 en turba.

Para determinados procedimientos de preparación de la probeta, el anillo portaprobeta debe tener uno de sus extremos biselados por la cara exterior, con borde cortante.

- Placas porosas. Transmiten la carga a la probeta y permiten su drenaje. Se denominan superior e inferior por su situación encima o debajo de la probeta y pueden ser de material abrasivo o metálicas resistentes a la corrosión, debiendo en cualquier caso permitir el libre drenaje y con un tamaño de poro que evite la intrusión de partículas de suelo. En cualquier caso, el material utilizado debe experimentar una deformación despreciable respecto a la del suelo, bajo la acción de la carga más elevada que pueda aplicarse en el equipo y el espesor de dichas placas debe ser el adecuado para asegurar que no se rompen bajo esa carga.

La placa superior debe estar rígidamente unida al pistón de carga y su diámetro ser menor que el interior del anillo. La diferencia debe estar comprendida entre 0,2 mm y 0,5 mm. La placa puede adoptar una forma troncocónica para evitar posibles acodalamientos, con la base mayor en contacto con la muestra. En tal caso, la exigencia anterior se aplica al diámetro de la mencionada base. La relación entre los diámetros de las bases superior e inferior debe estar comprendida entre 0,97 y 1.

En el caso del modelo de célula con el anillo confinado lateralmente, la placa inferior debe tener un diámetro no inferior que el exterior del anillo portaprobeta. En el caso del anillo no confinado lateralmente, la placa inferior debe ser igual que la superior. Si se adopta la forma troncocónica, se debe colocar en posición invertida, esto es, con la base de mayor diámetro en contacto con la superficie inferior de la probeta.

Antes de montar las placas en el equipo, se deben saturar, hirviéndolas en agua destilada durante 20 min. Se mantienen a continuación inmersas en un recipiente con agua destilada hasta el momento de su uso.

Previamente a la saturación se deben limpiar las superficies externas cuidadosamente, con un cepillo de púas no metálicas, comprobando que están en perfectas condiciones y que los poros no están ocluidos.

- Pistón de carga. Su disposición sobre la placa porosa superior debe ser tal que asegure que en cualquier situación del ensayo, permite el libre drenaje de la probeta. Debe tener una rigidez tal que no sufra deformaciones apreciables durante el proceso de carga. La cara superior del pistón debe ser, en la zona de transmisión de la carga, plana y estar tratada adecuadamente para que la pieza de apoyo, solidaria con el yugo del sistema de aplicación de cargas, no produzca huella en su superficie.

4.1.2 Medidor de deformaciones. Puede ser de tipo mecánico o transductor y con una precisión mínima de 0,01 mm. En ambos casos debe tener un soporte rígido, solidario con la base de la célula y su recorrido no debe ser inferior a 10 mm.

4.1.3 Bancada. Debe estar dotada de un banco rígido para colocación de la célula edométrica, con un dispositivo de centrado de ésta respecto al yugo, y de un sistema de palanca con pesas calibradas, para la aplicación por incrementos de la carga a la probeta, a través del yugo que actúa sobre el pistón. La pieza solidaria al yugo, que apoya directamente sobre el centro de la cara superior plana de dicho pistón de carga, debe ser de diámetro algo menor que éste y tener su extremo en forma de casquete esférico de radio de curvatura grande. Al igual que la superficie del pistón de carga, esta pieza debe estar adecuadamente tratada para evitar que se deforme con el uso.

Se debe comprobar periódicamente que la presión real aplicada a la probeta no difiere en más de 1 kPa de la calculada según las pesas, el brazo de palanca y la sección de la probeta.

El mecanismo de palanca debe ser tal que la aplicación de la carga a la probeta sea inmediata, sin producir impacto.

4.2 Material auxiliar

Adicionalmente se precisan los siguientes elementos para la ejecución del ensayo:

- Balanza de capacidad suficiente, con una precisión de 0,01 g.
- Un disco metálico, indeformable para las presiones máximas a aplicar en el ensayo, con caras planas y paralelas de un diámetro 1 mm menor que el del anillo portaprobeta y de la misma altura que éste.
- Elementos para la determinación de la humedad, según la Norma UNE 103-300.
- Calibre de precisión 0,1 mm.
- Cronómetro, cuchillos, espátulas y cepillos adecuados.
- Extractor de muestras, similar al descrito en la Norma UNE 103-400.
- Elementos necesarios para la compactación de probetas.

5 CALIBRACIÓN

Con cierta periodicidad se deben efectuar las operaciones que se citan a continuación.

5.1 Determinación de la masa y dimensiones del anillo

Cada anillo debe llevar un número de identificación. Se deben comprobar su masa y sus dimensiones, diámetro interior y altura periódicamente, realizando varias mediciones en distintos puntos, para obtener posteriormente el valor medio.

5.2 Medida de las deformaciones del equipo

Se monta el equipo en su totalidad, colocando el disco de metal descrito en el apartado correspondiente al material auxiliar, en lugar de la probeta.

Se aplica el mismo proceso de carga y descarga que en un ensayo normal, midiendo las deformaciones.

Se representa en forma gráfica la relación entre las presiones correspondientes a cada escalón y las deformaciones medidas.

6 PREPARACIÓN DE LA PROBETA

La probeta para el ensayo se puede preparar por diferentes procedimientos, a partir de la muestra de suelo que se disponga.

En todos ellos se debe operar en ambientes que tengan una humedad relativa no inferior al 50%. En el caso de suelos sensibles a los cambios de humedad, es necesario tallar en cámara húmeda o recinto análogo que tenga una humedad relativa del $90\% \pm 5\%$.

6.1 Por extrusión de una muestra inalterada contenida en un tubo portamuestras

Es necesario utilizar un anillo portaprobeta con borde cortante si el diámetro de la muestra es mayor que el diámetro del anillo y se procede de la forma siguiente:

Se sujeta el tubo portamuestra en el equipo de extracción y se coloca el anillo de manera que su eje coincida con el del tubo. Si se utiliza un anillo con borde cortante, éste debe estar en contacto con la superficie de la muestra.

Se extrae la muestra de manera que vaya penetrando en el anillo, hasta que sobresalga del mismo.

Se corta la muestra por el otro extremo con una sierra de hilo, dejando un espesor algo mayor que el del anillo.

Cuando se trate de suelos que contengan partículas gruesas u otros elementos que puedan dar lugar a alteraciones de la probeta durante el proceso de extrusión, se debe utilizar un anillo portaprobeta de borde cortante y cuyo diámetro interior sea igual que el de la muestra.

6.2 Por tallado, partiendo de una muestra inalterada en bloque

Se emplea el anillo con borde cortante, y se procede como se indica a continuación:

Se prepara en la muestra una zona con la superficie horizontal, de un tamaño apreciablemente mayor que el diámetro interior del anillo, con la precaución de mantener la orientación que tenía la muestra en el terreno.

Se sitúa el anillo sobre la mencionada superficie con el borde cortante en contacto con la muestra.

Utilizando como guía la pared exterior del anillo, se talla un cilindro cuyo diámetro es aproximadamente el diámetro exterior del anillo y de altura superior a éste.

Se va introduciendo el anillo en la muestra, hasta que ésta sobresalga por la parte opuesta al borde cortante, cortando seguidamente por debajo de éste.

6.3 Por remoldeo, cuando así se especifique

Se prepara la muestra, realizando la compactación con las condiciones deseadas, en un molde adecuado.

Se aplica seguidamente uno de los procedimientos antes descritos, según sea el caso.

En todos los procedimientos mencionados, se enrasan las dos caras de la probeta de forma que queden planas y al mismo nivel que los bordes del anillo, evitando pulirlas durante el proceso.

Una vez preparada la probeta dentro del anillo se determina su masa inmediatamente y se coloca el conjunto dentro de un recipiente estanco, hasta el momento de montar el ensayo.

7 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

7.1 Montaje de la célula

Se coloca la placa porosa inferior sobre la base de la célula, seguidamente el anillo con la probeta, la placa porosa superior y el pistón de carga, de manera que todos estos elementos queden centrados sobre la superficie de la probeta. A continuación se coloca el cuerpo lateral de cierre. Si el anillo es de tipo confinado se debe acoplar la pieza de engarce entre la base de la célula y aquél.

Cuando se trate de suelos con baja capacidad de absorción, se elimina el agua libre de las placas porosas antes de colocarlas. Por el contrario en suelos con gran capacidad de absorción, se secan al aire antes de colocarlas en el equipo.

7.2 Montaje en la bancada y preparación del ensayo

Se coloca la célula edométrica sobre la bancada, ajustando seguidamente el contrapeso de manera que entren en contacto todos los elementos de transmisión de carga y que el extremo de la palanca en el que se colocan las pesas quede ligeramente por encima de su posición horizontal¹⁾.

Se aplica una ligera presión de ajuste, no superior a 3 kPa, colocando la pesa adecuada en el colgadero.

Se coloca el medidor de deformaciones en su posición, de manera que el vástago tenga suficiente recorrido y se anota la lectura inicial que corresponde al cero de deformaciones.

7.3 Realización del ensayo

7.3.1 Proceso de carga. Se inicia el proceso de carga mediante la aplicación a la probeta de diferentes presiones que se pueden seleccionar de la secuencia de escalones siguientes²⁾:

0,05; 0,1; 0,2; 0,4; 0,8; 1,5; 3,0; 6,0; 10,0; 15,0 kp/cm²

5, 10, 20, 40, 80, 150, 300, 600, 1 000, 1 500 kPa³⁾

Normalmente se deben aplicar al menos seis escalones consecutivos, de manera que cada presión sea aproximadamente el doble de la anterior, manteniendo cada escalón durante 24 h⁴⁾, con el fin de que la curva que relaciona los índices de poros con las presiones, quede bien definida.

La presión inicial en suelos consistentes puede ser la debida al peso propio del terreno o la correspondiente al escalón inmediatamente inferior.

En los suelos expansivos, la presión inicial es el valor inmediatamente superior al de la presión de hichamiento que se determina como se describe más adelante.

Para obtener una mayor precisión en las determinaciones de la presión de preconsolidación, se puede dividir el escalón, dentro del cual se espere alcanzar dicha presión, en varios más pequeños.

La presión final debe ser superior a la presión vertical máxima que se pueda producir en el terreno. En el caso de suelos sobreconsolidados, debe ser por lo menos el doble de la presión de preconsolidación, con un límite superior igual a la capacidad de carga estructural del equipo utilizado.

1) Lo más conveniente es que la inclinación de la palanca por encima de la horizontal al iniciar el ensayo, sea igual a la inclinación por debajo de la horizontal al finalizar el ensayo. No obstante, en la mayoría de los equipos estas ligeras inclinaciones de la palanca no son de gran importancia.

2) Esta secuencia de escalones es la que normalmente se utiliza dadas las características de los equipos edométricos existentes. No obstante puede utilizarse otra con la única condición de que cada escalón sea aproximadamente el doble del anterior.

3) 1kp/cm² = 98,066 5 kPa. Por razones prácticas se ha tomado la relación 1kp/cm² = 100 kPa.

4) Generalmente son suficientes 24 h para completar la consolidación primaria. Sin embargo, hay suelos en los que este periodo debe ser ampliado o puede ser reducido, dependiendo de su naturaleza.

El proceso para determinar la consolidación es el siguiente:

Se toma como lectura inicial del primer escalón, la correspondiente al cero de deformaciones.

Al mismo tiempo que se retira la carga correspondiente a la presión de ajuste, se añaden en la bancada las pesas que corresponden al primer escalón seleccionado, colocándolas cuidadosamente para que no se produzca impacto.

Se llena de agua la célula de manera que quede cubierta la placa porosa superior.

En el caso en que se observe un hinchamiento, se añaden pesas al colgadero de la palanca de manera que el medidor de deformaciones se mantenga en $\pm 0,01$ mm de la lectura inicial corregida, entendiéndose por tal la lectura inicial, cero de deformaciones, tomada al montar el medidor menos el valor determinado en el proceso de calibración, para la presión que corresponde en cada caso.

Una vez alcanzada la situación de equilibrio⁵⁾, se calcula la presión ejercida sobre la probeta, dividiendo la carga aplicada por la sección de la probeta. Este valor es el que se denomina presión de hinchamiento.

Se continua el ensayo aplicando el escalón inmediatamente superior a la presión de hinchamiento determinada.

Se anota la lectura que registra el medidor de deformaciones al cabo de 24 h, denominándose lectura final del escalón⁶⁾.

Si se desea obtener la curva de consolidación, que relaciona las deformaciones producidas con el tiempo en un determinado escalón, es conveniente adoptar en él la siguiente secuencia u otra similar:

10, 15, 30, 45 segundos

1, 2, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 30, 45 minutos

1, 2, 3, 5, 7, 24 horas

Si se desea continuar el proceso de consolidación se toma la siguiente secuencia :

2, 3, 5, 7, 10 días

Los tiempos se miden desde el instante de aplicación de cada escalón.

Se representan las lecturas del medidor de deformaciones en función del logaritmo del tiempo⁷⁾.

Se añaden en el colgadero las pesas necesarias para la aplicación del siguiente escalón, tomando como lectura inicial del medidor de deformaciones, la final del escalón anterior.

Se repite el procedimiento descrito anteriormente, en éste y en los sucesivos escalones, hasta alcanzar el valor máximo seleccionado.

7.3.2 Proceso de descarga. Una vez finalizado el proceso de carga, se inicia el de descarga, partiendo del valor de la presión de consolidación correspondiente al último escalón.

Se va disminuyendo dicha presión, mediante la retirada de pesas del colgadero, seleccionando como mínimo dos escalones adecuadamente distribuidos de entre los señalados en la secuencia especificada en el apartado 7.3.1. u otra similar.

Al igual que en la etapa de carga, se mantiene cada escalón 24 h.

5) Para establecer en qué momento se ha alcanzado en la práctica esta situación es conveniente ir representando la relación entre el valor de las pesas colocadas y el tiempo transcurrido, ya que dicha tiende asintóticamente a la carga correspondiente a la presión de hinchamiento.

6) Aunque en la mayoría de los suelos no ha finalizado la consolidación primaria a las 24 h, a los efectos prácticos de esta norma se considera que ese intervalo de tiempo es suficiente.

7) Si se desea obtener el coeficiente de consolidación secundaria para un determinado escalón, es necesario continuar este proceso hasta que queden bien definidas las distintas etapas de la consolidación.

En el caso de que por tratarse de un suelo expansivo se haya determinado la presión de hinchamiento, el proceso de descarga debe finalizar en ese valor⁸⁾.

Se toma como lectura inicial de deformación, la final del último escalón. Se retiran las pesas necesarias para que la presión que quede aplicada sea la correspondiente al primer escalón seleccionado.

Se anota la lectura del medidor de deformaciones al cabo de 24 h. Se toma este valor como final del escalón y como inicial del siguiente. Se procede de forma análoga con los demás escalones⁹⁾.

Una vez finalizado este proceso, se quitan las pesas que aún queden, se retira la célula de la bancada, se vacía el agua de la misma y a continuación se desmonta la célula retirando el anillo con la probeta en su interior. Se eliminan las gotas de agua que queden en el anillo mediante material absorbente.

Se determina inmediatamente la masa del conjunto, anillo más probeta, con una precisión de 0,01 g, incluyendo cualquier pequeña porción de suelo que pudiera haber quedado adherida a las superficies de las placas porosas.

Se seca la probeta en estufa y se determina su masa, m_d , en gramos.

8 OBTENCIÓN Y EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS

Se determinan las humedades inicial y final de la probeta, según el procedimiento operatorio descrito en la Norma UNE 103-300.

Se calcula la densidad seca inicial, mediante:

$$\rho_d = \frac{m_d}{A H_0} \text{ expresada en g/cm}^3$$

donde

m_d es la masa seca de la probeta en g;

A es la sección del anillo portaprobeta en cm^2 ;

H_0 es la altura del anillo portaprobeta en cm.

Se calcula el grado de saturación inicial mediante :

$$S_r = \frac{w_0 G}{e_0} \text{ expresada en \%}$$

donde

w_0 es la humedad inicial de la probeta en %;

G es la densidad relativa de las partículas sólidas, referida al peso específico del agua, γ_w , a la misma temperatura y determinada según la Norma UNE 103-302;

e_0 es el índice de poros inicial, que se determina mediante la expresión:

$$e_0 = \frac{G}{\rho_d} - 1^{10)}$$

8) Si se desea, se puede completar el proceso de descarga con otros escalones hasta la presión de ajuste inicial.

9) En determinados casos, se puede realizar a continuación otro proceso de carga similar, e incluso interrumpir la descarga en un determinado escalón y proceder seguidamente a reanudar el proceso de carga.

10) La expresión rigurosa es: $e_0 = (G \cdot \rho_w / \rho_d) - 1$, donde ρ_w es la densidad del agua a 20 °C, que a efectos prácticos se ha tomado igual a 1 g/cm³.

Las características de compresibilidad de la probeta ensayada se representan mediante una gráfica que relaciona los índices de poros en ordenadas, en escala lineal con las presiones aplicadas en abscisas, en escala logarítmica. A esta gráfica se le denomina curva edométrica.

Adicionalmente, para aquellos escalones en los que se han obtenido valores de la deformación en función del tiempo, se representan las curvas de consolidación, relacionando las variaciones de altura de la probeta, por medio de la lectura del medidor de deformaciones en ordenadas, en escala lineal, con los tiempos en escala logarítmica, en abscisas¹¹⁾.

Para obtener los índices de poros correspondientes a cada escalón de carga, se opera de la forma siguiente:

Se determina la altura de sólido H_s mediante la expresión:

$$H_s = \frac{H_0}{1 + e_0}$$

Se calcula la altura de la probeta al final de cada escalón mediante:

$$H = H_0 - (\Delta H - c)$$

donde

ΔH es la reducción de altura de la probeta, es decir, la deformación medida desde el inicio del ensayo hasta el final del escalón que se considere, expresada en cm;

c es el valor de la corrección, determinada en la calibración, correspondiente al escalón en cuestión, expresada en cm.

Se calcula el índice de poros correspondiente al final de cada escalón, por medio de:

$$e = \frac{H - H_s}{H_s}$$

Para la expresión de los resultados se utilizan los impresos de las figuras 1 y 2. Se puede emplear un solo impreso de la figura 2 para representar varias curvas de consolidación; en tal caso, junto a cada curva se debe incluir el valor de la lectura inicial del medidor y el intervalo de presiones que le corresponde.

11) Análogamente se podrían representar las deformaciones de la probeta en función de los valores correspondientes de \sqrt{t} , siendo t el tiempo en minutos.

DENSIDAD SECA INICIAL: _____ HUMEDAD INICIAL: _____ DENSIDAD RELATIVA
DE LAS PARTÍCULAS: _____
ÍNDICE DE POROS INICIAL: _____ HUMEDAD FINAL: _____

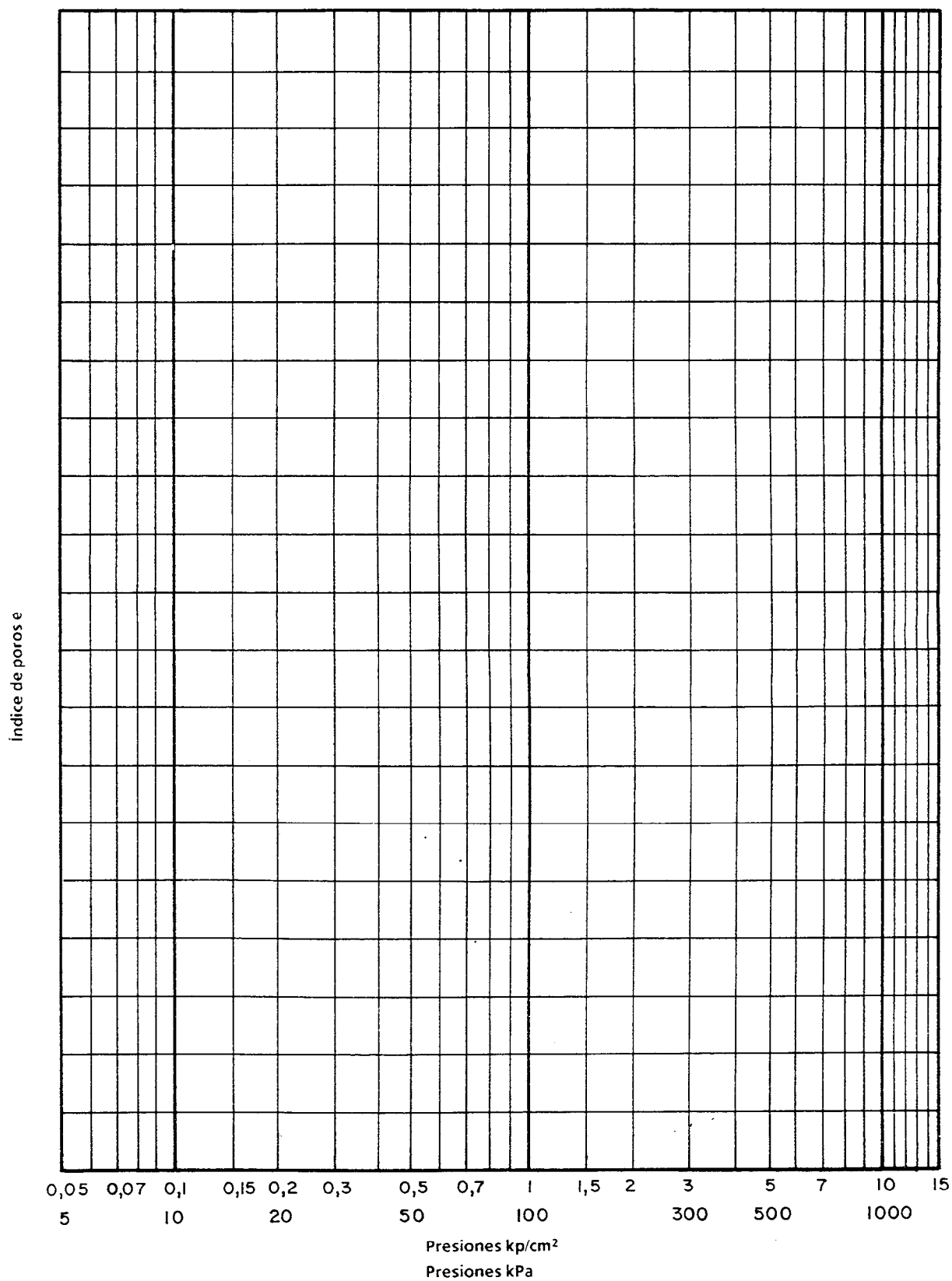


Fig. 1 – Curva edométrica

DIÁMETRO PROBETA: _____

INTERVALO DE PRESIONES ENTRE: _____

ALTURA PROBETA: _____

LECTURA INICIAL MEDIDOR: _____

Lectura del medidor de deformaciones en

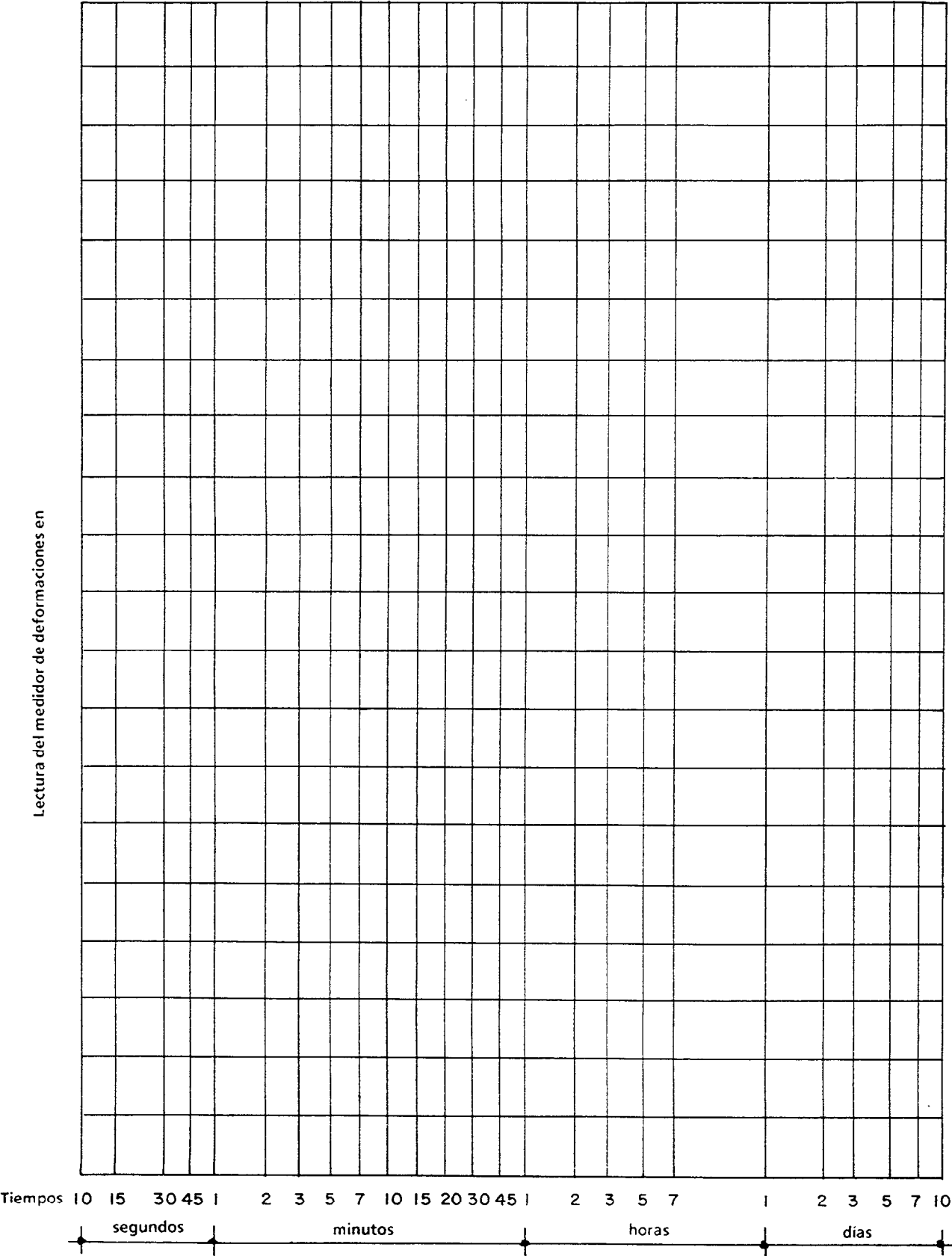


Fig. 2 – Curvas de consolidación