

ENSAYO DE CORTE EN SUELOS COHESIVOS USANDO LA VELETA DE CAMPO

INV E – 170 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma establece el procedimiento del ensayo de veleta de campo en suelos arcillosos y limosos saturados, para determinar la resistencia al corte en condición no drenada. Para valorar la aplicación y la interpretación de la prueba, es necesario conocer la naturaleza del suelo en el cual se va a realizar cada ensayo. El ensayo no es aplicable a suelos arenosos, los cuales pueden permitir el drenaje durante el ensayo.
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E–170–07.

2 DEFINICIONES Y SÍMBOLOS

2.1 *Definiciones generales:*

- 2.1.1** *Sensibilidad* – Efecto del remoldeo sobre la consistencia de un suelo cohesivo.
- 2.1.2** *Ensayo de corte con veleta* – Un ensayo de corte en el lugar, en el cual una varilla con paletas delgadas en su extremo es forzada dentro del suelo para determinar la resistencia a la rotación de la varilla.

2.2 *Definiciones de términos específicos de esta norma:*

- 2.2.1** *Resistencia al corte en condición no drenada* – Resistencia al corte de suelos finos (principalmente arcillas y limos arcillosos) bajo carga rápida, sin drenaje de la presión de poros.
- 2.2.2** *Resistencia al corte de suelo remoldeado en condición no drenada* – Resistencia al corte de suelos finos bajo carga rápida con poco o ningún drenaje de la presión de poros, luego de la falla significativa y del remoldeo de la estructura inicial del suelo.
- 2.2.3** *Veleta* – Dispositivo con cuatro paletas metálicas, delgadas y planas, dispuestas de manera que cada una forme ángulos de 90° con las

vecinas, el cual se inserta en el suelo y luego se rota alrededor de un eje vertical para realizar un ensayo de corte (Figura 170 - 1).

2.2.4 *Zapata de la veleta* – Sección de tubería de revestimiento al final de la cual se puede retraer la veleta mientras se perfora o empuja (Figura 170 - 2).

2.3 Símbolos generales:

2.3.1 *Resistencia al corte (S_u)* – Resistencia máxima del suelo al esfuerzo cortante en condición no drenada.

2.4 Símbolos específicos de esta norma:

2.4.1 *Resistencia al corte pico no drenada (S_u)_{fv}* – Resistencia medida durante la rotación inicial de la veleta en un ensayo de corte con veleta.

2.4.2 *Resistencia al corte remoldeada no drenada (S_{ur})_{fv}* – Resistencia medida tras la falla significativa del suelo y luego de 5 a 10 rotaciones de la veleta en un ensayo de corte con veleta.

2.4.3 *Sensibilidad (S_t)_{fv}* – Relación $(S_u)_{fv} / (S_{ur})_{fv}$. La resistencia al corte remoldeada se mide luego de someter el suelo a una gran deformación de corte (Ver numerales 7.7 y 8.3).

2.4.4 *Torque (T)* – Momento requerido para rotar la veleta.

Nota 1: En la presente norma se usan indistintamente los términos torque y momento de torsión.

2.4.5 *Relación de área de la veleta (V_A)* – Relación entre la sección transversal de la veleta y el área circular que ella genera al girar, expresada en porcentaje (ver Figura 170 - 3).

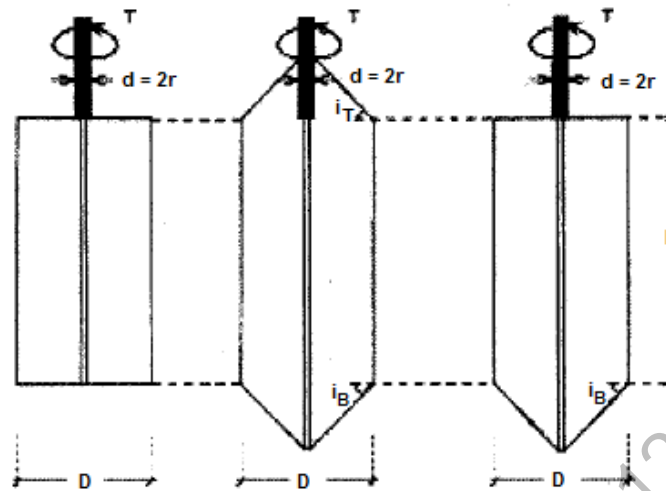


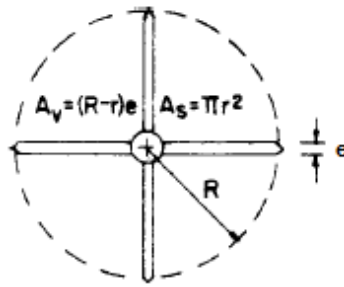
Figura 170 - 1. Geometría de las veletas



Figura 170 - 2. Zapata de la veleta

3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1** El ensayo de corte con veleta consiste, básicamente, en colocar una veleta de cuatro paletas dentro del suelo inalterado y girarla desde la superficie para determinar el torque necesario para cortar una superficie cilíndrica con ella. Este torque o momento de torsión se convierte en una resistencia unitaria al corte de la superficie de falla, mediante un análisis de equilibrio límite. La fricción de la varilla se minimiza durante las lecturas mediante un encamisado especial o teniéndola en cuenta y sustrayéndola del torque total para determinar el torque aplicado a la veleta.



$$V_A = \frac{4(R-r)e + \pi r^2}{\pi R^2} \times 100$$

V_A = Relación de área de la veleta

R = Radio del círculo de falla, mm (pg)

r = Radio del eje de la veleta, mm (pg)

e = Espesor de la paleta de la veleta, mm (pg)

TIPO DE VELETA	DIÁMETRO DE LA VELETA	DIÁMETRO DEL EJE	ESPESOR DE PALETA	RELACIÓN DE ÁREA (%)
Miniatura	12.7 mm (0.50")	3.5 mm (0.1275")	0.5 mm (0.019")	13.7

Figura 170 - 3. Ejemplo de cálculo de la relación de área de una veleta

4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1** Este método de ensayo da una indicación de la resistencia al corte en el lugar, en condición no drenada, de suelos finos arcillosos y limosos u otros geomateriales finos como residuos de minas, lodo orgánico y otras sustancias a las cuales se les requiera determinar la resistencia al corte en condición no drenada. El ensayo es aplicable a suelos con resistencias inferiores a 200 kPa, en condición no drenada. Los suelos muy sensibles pueden ser remoldeados con la simple inserción de la veleta.
- 4.2** Este método de ensayo se emplea en una gran variedad de exploraciones geotécnicas para hacer análisis de esfuerzos totales de arcillas y limos saturados. El ensayo se realiza de manera rutinaria en conjunto con otras pruebas de campo y de laboratorio.
- 4.3** Generalmente, la resistencia al corte pico no drenada del ensayo de la veleta se corrige para determinar la resistencia al corte no drenada requerida en los

estudios geotécnicos. En el Anexo A se presenta información en relación con el uso de los factores de corrección.

- 4.4** Este método no se puede emplear en arenas, gravas u otros suelos de alta permeabilidad. Con las velocidades de corte descritas en esta norma, los lentes de arena, si los hay, permiten el drenaje total o parcial. En corte rápido, los suelos con alta permeabilidad se pueden dilatar o colapsar, generando presiones de poros negativas o positivas que se pueden disipar en el proceso de corte. Es importante verificar el tipo de suelo que se ensaya con este método; en ese orden de ideas, resulta útil muestrear el suelo antes o después del ensayo, para comprender sus condiciones de permeabilidad.
- 4.5** A menudo, este ensayo se realiza en orificios de sondeos o mediante métodos de auto empuje, auto barrenado o empuje (zapata de veleta). El método aplica, también, a ensayos de corte con la veleta manual a muy poca profundidad; sin embargo, el equipo manual es menos preciso, por cuanto es más difícil mantener la estabilidad y la verticalidad del conjunto varilla-veleta.

5 EQUIPO

- 5.1** *Veleta* – Dispositivo de cuatro paletas, como el mostrado en la Figura 170 - 1. Normalmente, las paletas están construidas en acero. Se pueden emplear aleaciones diferentes, como el níquel-cromo, o procesos sobre el acero como el endurecimiento, para reducir el espesor de las paletas. Los extremos de la veleta pueden ser rectos o ahusados. Las dimensiones deben ser las siguientes, con referencia a los símbolos de la Figura 170 - 1.

- Diámetro de la veleta, $D = 35$ a 100 mm (1.5 a 4 "");
- Diámetro de la varilla, $d = 12.5$ a 16.5 mm (0.5 "");
- Altura de la veleta, $H =$ De una a dos veces y media su diámetro;
- Ángulo de ahusado, i : Usualmente 0° (rectangular) o 45° (ahusado).

- 5.1.1** Para una buena resolución del torque, se debe escoger un diámetro de veleta lo suficientemente grande para proporcionar una resolución óptima. El diámetro elegido está relacionado directamente con la consistencia del suelo que se va a ensayar. En suelos blandos se requiere una veleta grande, para obtener una buena resolución. En suelos duros resultan más adecuadas las veletas pequeñas, para evitar

el daño del dispositivo de medida del torque. Cuando se usa en orificios barrenados, el tamaño máximo de la veleta depende del diámetro interior del sondeo o de la tubería de revestimiento.

- 5.1.2** *Espesor de las paletas (e)* – El espesor máximo debe ser menor de 3 mm. El espesor promedio debe ser 2 mm. El borde la paleta se puede biselar para reducir la perturbación del suelo durante la inserción.
- 5.1.3** El diámetro “d” del eje de la veleta (mostrado también como “2r” en la Figura 170 - 1) debe ser menor de 17 mm encima de la parte superior de las paletas y no debe exceder de 14 mm en el centro de la veleta.
- 5.1.4** *Relación de área de la veleta (V_A)* – Debe ser menor de 12 %. Cuando las paletas son ahusadas y sus bordes biselados, se puede reducir a menos de 10 %.
- 5.1.5** La distancia “l” desde la parte superior de la veleta hasta donde se puede incrementar el diámetro de la varilla de torque es 5d, siendo d el diámetro del eje de la veleta en la parte superior de ésta. Si se usa un diámetro mayor de acoplamiento de fricción o de collar de la varilla de torque, la distancia “l” deberá ser 150 mm (6”).
- 5.1.6** Una veleta con los bordes superiores ahusados tiene la ventaja de que no requiere un encamisado exterior.
- 5.1.7** El borde inferior de las paletas de la veleta debe ser afilado para facilitar la penetración dentro del suelo. Los bordes de las caras laterales de las paletas pueden ser afilados y biselados para contrarrotar contra un acoplamiento de fricción.
- 5.2** *Dispositivo para la medida del torque* – El torque se debe aplicar a las varillas y de allí a la veleta. Ello se logra con un dispositivo de fijación y un aparato de aplicación de torque instalado en la parte superior de las varillas. La exactitud de la lectura del torque debe ser tal, que no se produzca una variación mayor de $\pm 1\text{kPa}$ ($\pm 20.9\text{ lbf/pie}^2$) en el esfuerzo de corte computado.
- 5.2.1** Es preferible aplicar el torque a la veleta con un engranaje de transmisión. Si no lo hay, se acepta aplicarlo directamente a mano con una llave de torsión o una herramienta equivalente. Cuando el torque se aplique manualmente, se deberá colocar un asterisco junto al resultado del esfuerzo cortante, incluyendo, además, la anotación:

“momento de torsión aplicado manualmente”. La duración del ensayo se deberá controlar de acuerdo con lo indicado en el numeral 7.6.

5.2.2 Algunos dispositivos para la medida del torque presentan los resultados en papel o en registros computacionales. Otros, usan anillos de torque y diales micrométricos. Los sistemas automáticos son ventajosos, ya que se reduce el error del operario y se obtiene un registro continuo durante la ejecución del ensayo.

5.3 *Varillas de torque* – La veleta está unida a la superficie por medio de varillas de torque elaboradas en acero. Su diámetro varía de 18 a 25 mm (0.5 a 1"). Deben tener diámetro suficiente para que su límite elástico no sea excedido cuando la veleta es esforzada a su máxima capacidad (nota 2). Se deben acoplar de manera que las salientes de los extremos del macho y de la hembra empalmen para prevenir cualquier posibilidad de que se apriete el acoplamiento cuando se aplica el torque durante el ensayo.

5.3.1 *Revestimiento de protección y zapata de la veleta* – Las varillas de torque se pueden encamisar en una tubería de revestimiento de menor diámetro, para reducir la fricción de la varilla. Si se usa un revestimiento de este tipo o una tubería en conjunto con una zapata de veleta, las varillas de torque deben estar equipadas con cojinetes bien lubricados donde ellas pasan a través del revestimiento. Los cojinetes deben estar provistos de sellos para prevenir la inclusión de suelo. El revestimiento puede requerir alivio de las presiones de poros. Las varillas de torque deben ser guiadas de manera de prevenir la fricción que se pueda desarrollar entre ellas y las paredes de la tubería o del barreno.

5.3.2 Se permiten las medidas de la fricción de la varilla bajo la condición sin carga (como usar una varilla lisa en el lugar donde debe ir la veleta), solamente si el torque es aplicado mediante un momento balanceado que no dé como resultado un empuje lateral. A medida que el momento de torsión se hace mayor durante un ensayo, un empuje lateral en el instrumento se traduce en un aumento de fricción que no es tenido en cuenta para las lecturas iniciales de la condición sin carga. No existen instrumentos que consideren el empuje lateral. La varilla de la veleta debe tener la rigidez suficiente para que no sufra una torsión excesiva bajo condiciones de carga plena; de lo contrario, se debe realizar una corrección antes de dibujar las curvas torque–rotación. La mayoría de las varillas que cumplen los requisitos de esta norma sufren

torsión durante el ensayo y se requiere una corrección si se va a determinar la rotación de la veleta.

Nota 2: Si se van a determinar las curvas torque-rotación, se deben calibrar las varillas de torque. La magnitud de la torsión de las varillas se indica en grados/metro por torque unitario. Esta corrección se hace progresivamente más importante a medida que la profundidad de ensayo aumenta, y se debe hacer, al menos, a la máxima profundidad anticipada de ensayo. De modo alterno, la torsión se puede calcular con base en las propiedades de la varilla. Si se calcula la torsión, en el informe del ensayo se deben mencionar las suposiciones sobre las propiedades del material.

- 5.4 Acoplamiento de fricción** – La conexión entre la veleta y las varillas puede incluir un dispositivo de acoplamiento de fricción o de acoplamiento deslizante. El dispositivo se usa con sistemas de varilla simple, donde la veleta puede ser llevar en avance respecto de la tubería de revestimiento. El dispositivo está diseñado de manera de no comprometer la veleta sino hasta cierta cantidad de rotación, típicamente 15 grados, y permitir así la determinación de la fricción de la varilla antes del ensayo. Se prefiere usar este acoplamiento al ensayo de varilla lisa para determinar la fricción de la varilla, puesto que las medidas se hacen directamente en el suelo ensayado.
- 5.5 Centralizadores** – En los ensayos que se realizan en barrenos, es necesario equipar las varillas de torque con centralizadores, para asegurar un empuje vertical y prevenir el alabeo de la varilla. Los centralizadores están diseñados para soportar las varillas, mientras minimizan cualquier fricción de ellas cuando se deflecan. Los centralizadores deben tener un diámetro menor que el del barreno y deben estar diseñados para permitir el paso de los fluidos de la perforación.
- 5.6 Equipo de avance** – Cuando la veleta se usa en orificios de sondeos, los dispositivos del aparejo del equipo de perforación se pueden usar para empujar la veleta más abajo del fondo de la perforación. Es importante que se mantenga la verticalidad del equipo de veleta. Los centralizadores se pueden usar en conjunto con la tubería de revestimiento, para garantizar que el empuje sea recto.
- 5.7 Tubería de reacción** – En aplicaciones de perforación, donde el cabezal del torque se sujeta a la tubería, puede ser necesario el uso de una tubería superior con salientes para asegurar la reacción del torque. Típicamente, la barrena de vástago hueco (norma ASTM D 6151) proporciona la reacción suficiente para un cabezal del torque sin salientes. La necesidad de esta tubería se puede establecer por el deslizamiento de la tubería de revestimiento o de las barrenas durante el ensayo, lo que produce caídas

periódicas o intermitentes en el torque. Si ocurre deslizamiento, se usa la tubería de reacción o se le hace menos limpieza a los pasos de la barrena.

- 5.8** *Tubería de revestimiento de la veleta* – Algunos sistemas de veleta están diseñados para retraerse dentro de una tubería equipada con una broca cortante (broca de arrastre de cuatro hojas). Los fluidos pueden circular a través de la herramienta de corte. Cuando se alcanza la profundidad de ensayo, la veleta se puede empujar dentro del suelo en el intervalo elegido para el ensayo.

6 CALIBRACIÓN

- 6.1** El dispositivo para medir el torque se calibra insertando en él una varilla con un volante de inercia. Se cuelgan de la varilla unos pesos conocidos (W) con un radio establecido (R_w) y se toman medidas del momento de torsión que se comparan con los torques aplicados ($T = W \times R_w$).
- 6.2** El dispositivo para medir el torque se debe calibrar a unos intervalos regulares de tiempo o de uso, de acuerdo con un plan de calidad sistemático. Los registros de calibración de cada instrumento se deben mantener a mano, para revisión durante los ensayos.
- 6.3** Si el dispositivo para medir el torque sufre algún deterioro, se deberá calibrar de nuevo luego de la reparación.
- 6.4** El informe de calibración debe incluir la fecha de construcción del dispositivo, la fecha de calibración y un registro del uso al cual ha sido sometido desde la última calibración.

7 PROCEDIMIENTO

- 7.1** Se ubica el equipo de avance sobre el lugar del ensayo. La prueba se puede efectuar en un barreno elaborado con anterioridad; presionando desde la superficie, o perforando a través de una tubería de revestimiento para la veleta.
- 7.2** De ser necesario, se pone una tubería de reacción para transferir fuerzas al cabezal de torque sin torsión o deslizamiento.

- 7.3** Cuando se perfora sin revestimiento, se suspende la perforación a una profundidad tal, que la punta de la veleta pueda penetrar suelo inalterado por una profundidad de, por lo menos, 5 veces el diámetro del barreno (Figura 170 - 4). Si se usa una veleta con revestimiento, se avanza el revestimiento hasta una profundidad no menor de 5 veces el diámetro del revestimiento, por encima de la profundidad deseada de la punta de la veleta.

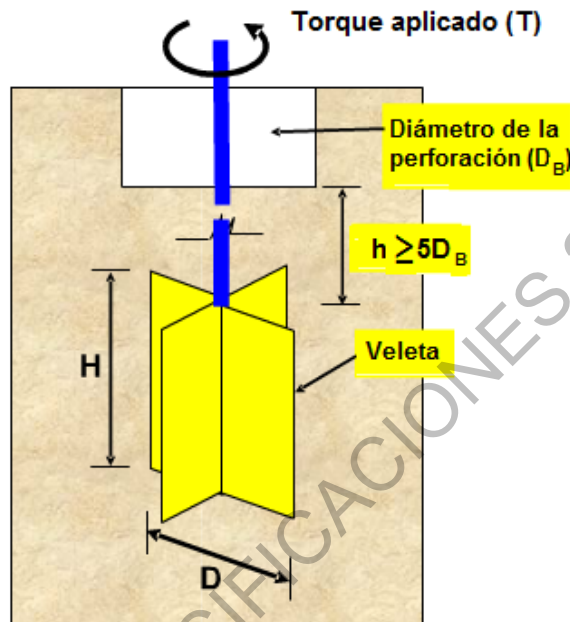


Figura 170 - 4. Caso de perforación sin revestimiento

- 7.4** Se deberá penetrar la veleta desde el fondo del agujero o de su revestimiento, mediante un empuje simple, hasta la profundidad a la cual se va a efectuar el ensayo, cuidando que no se apliquen golpes, vibración o rotación durante dicho empuje. No se debe aplicar torque durante el empuje.

7.5 *Determinaciones de fricción:*

7.5.1 *Fricción desde acoplamientos para deslizamiento* – Para veletas con acoplamientos para deslizamiento, luego de empujar la veleta, la primera parte del ensayo consistirá en aplicar un torque y medir la fuerza requerida para rotar las varillas sobre el acoplamiento de deslizamiento. La fuerza se debe aplicar a la misma velocidad de carga real de la veleta (Ver numeral 7.6). Se anota la fricción de la varilla.

7.5.2 *Ensayos de fricción de la varilla lisa (sin la veleta)* – En el caso donde el suelo está en contacto con las varillas de torque, y no hay

acoplamiento para deslizamiento, se determina la fricción entre el suelo y la varilla por medio de ensayos de momento de torsión conducidos sobre varillas similares y a profundidades similares, sin la veleta acoplada. Estas pruebas se pueden realizar en los intervalos entre los ensayos de veleta. El ensayo de fricción de la varilla se debe efectuar por lo menos una vez en cada sitio, mediante una serie de pruebas de torque a diferentes profundidades.

- 7.6** El tiempo transcurrido entre el final de la penetración de la veleta y el comienzo de la rotación no debe ser superior a 5 minutos. Con la veleta en posición, se deberá aplicar el giro a una velocidad que no exceda de $0.1^\circ/\text{segundo}$ (se acepta un rango de 0.05 a $0.2^\circ/\text{s}$). Generalmente, se requieren entre 2 y 5 minutos para la falla, excepto en arcillas muy blandas, en las cuales el tiempo de falla puede elevarse a 10 o 20 minutos. En materiales más duros, que alcanzan la falla con una deformación pequeña, se puede reducir la rata del desplazamiento angular, de tal manera que se pueda obtener una determinación razonable de las propiedades esfuerzo-deformación. Durante la rotación de la veleta, ésta se deberá mantener a una altura fija. Se deberá registrar el momento de torsión máximo. Con aparatos con diales de lectura manual, es aconsejable anotar los valores intermedios del momento de torsión que se va obteniendo a intervalos de 15 segundos o menores, si se requiere. Si ocurre algo inusual durante el ensayo, se deberá dejar constancia escrita de ello.
- 7.7** Después de determinar el máximo momento de torsión, se rota rápidamente la veleta un mínimo de 5 a 10 revoluciones. La determinación de la resistencia remoldeada debe comenzar inmediatamente después de que se complete la rotación rápida y nunca más de 1 minuto después del proceso de remoldeo (nota 3).

Nota 3: Se puede obtener la resistencia residual de muchos suelos sensitivos, con una o dos revoluciones menos. Cuando se estén ensayando tales suelos, se recomienda obtener varias resistencias en condición remoldeada usando el número de revoluciones normalizado (5 a 10) para verificación. Si no se advierten mayores diferencias en las resistencias remoldeadas, éstas se podrán obtener con un número de revoluciones inferior al normalizado.

- 7.8** Cuando se combine con métodos de rotación, puede ser ventajoso tomar muestras en el intervalo de ensayo con un tubo de pared delgada o una barrena de tubo doble. El sobre-muestreo permitirá inspeccionar el suelo en la zona de ensayo. A menudo, se encuentran evidencias de la zona de corte en las muestras. Cuando esto suceda, se deberá describir el suelo (o los suelos) presente(s) en ella.

- 7.9** Se deben conducir ensayos de veleta en condición intacta y remodelada, a intervalos de no menos de 0.50 a 0.75 m, a través del perfil del suelo, cuando las condiciones lo permitan (nota 4). No se deben realizar ensayos de veleta en suelos que permitan el drenaje o se dilaten durante la época del ensayo, como las arcillas duras, arenas o limos arenosos, o suelos donde la veleta encuentra piedras o conchas que puedan afectar los resultados.

Nota 4: El intervalo solo puede ser modificado por el ingeniero a cargo del estudio.

8 CÁLCULOS

- 8.1** Se calcula la resistencia al corte del suelo en condición no drenada (S_{uv}) con las ecuaciones que se presentan en seguida, las cuales se pueden encontrar en cualquier sistema de unidades, siempre y cuando haya consistencia en las unidades de resistencia al corte, torque y diámetro.

- 8.1.1** Para una veleta rectangular de $H/D = 2$:

$$(S_u)_{fv} = \frac{6 T_{m\acute{a}x}}{7 \pi D^3} \quad [170.1]$$

Donde: $(S_u)_{fv}$: Resistencia al corte no drenada del ensayo de la veleta;

$T_{m\acute{a}x}$: Valor del torque máximo medido, corregido por la fricción del aparato y la varilla;

D: Diámetro de la veleta (Figura 170 - 1).

- 8.1.2** Para veletas ahusadas y otros tipos (publicación ASTM STP 1014, páginas 88–103):

$$(S_{ur})_{fv} = \frac{12 T_{m\acute{a}x}}{\pi D^2 \left(\frac{D}{\cos(i_T)} + \frac{D}{\cos(i_B)} + 6H \right)} \quad [170.2]$$

Donde: $(S_u)_{fv}$: Resistencia al corte no drenada del ensayo de la veleta;

$T_{m\acute{a}x}$: Valor del torque máximo medido, corregido por la fricción;

D: Diámetro de la veleta (Figura 170 - 1);

- H: Altura de la veleta (Figura 170 - 1);
- i_T : Ángulo del ahusamiento de la veleta en la parte superior (Figura 170 - 1);
- i_B : Ángulo del ahusamiento de la veleta en la parte inferior (Figura 170 - 1);

8.1.3 La lectura de torque del instrumento puede requerir el uso de una constante de calibración, según el tipo de aparato empleado.

8.2 *Resistencia al corte pico no drenada $(S_u)_{fv}$* – Se calcula a partir del máximo torque registrado para la primera carga de la veleta, en acuerdo con el numeral 8.1 (nota 5).

Nota 5: La resistencia al corte pico no drenada del ensayo de la veleta se debe multiplicar por un factor de corrección para la veleta (μ), para dar un valor de campo movilizado de la resistencia no drenada $(S_u)_{campo}$ para análisis geotécnico. Ver Anexo A.

8.3 *Resistencia al corte remoldeada no drenada $(S_{ur})_{fv}$* – Se calcula en acuerdo con el numeral 8.1, luego de rotar la veleta como se especifica en el numeral 7.7 y midiendo el torque residual.

8.4 *Sensibilidad $(S_t)_{fv}$* – Se calcula con la expresión $(S_u)_{fv} / (S_{ur})_{fv}$.

9 INFORME

9.1 Para cada ensayo de veleta se deben registrar los siguientes datos:

9.1.1 Fecha del ensayo.

9.1.2 Número del apique o perforación.

9.1.3 Tamaño y forma de la veleta (ahusada o rectangular).

9.1.4 Profundidad del extremo de la veleta.

9.1.5 Profundidad del extremo de la veleta por debajo del revestimiento o fondo del hueco.

9.1.6 Tiempo desde que se termina la penetración hasta que comienza la rotación.

- 9.1.7** Lectura máxima del momento de torsión (torque) y, si se requieren, lecturas intermedias para el ensayo inalterado.
- 9.1.8** Tiempo del ensayo hasta la falla.
- 9.1.9** Resistencia al corte pico no drenada $(S_u)_{fv}$.
- 9.1.10** Número de revoluciones para el ensayo remoldeado.
- 9.1.11** Velocidad del remoldeo.
- 9.1.12** Lectura máxima del momento de torsión (torque) para el ensayo remoldeado.
- 9.1.13** Resistencia al corte remoldeada no drenada $(S_{ur})_{fv}$.
- 9.1.14** Determinaciones de fricción.
- 9.1.15** Sensibilidad $(S_t)_{fv}$.
- 9.1.16** Notas sobre cualquier clase de desviaciones con respecto al procedimiento normal de ensayo.
- 9.2** *Informe resumen* – Debe incluir la información que se indica a continuación, así como dibujos y tablas que muestren los datos de resistencia:
- 9.2.1** Descripción de la veleta y del método de avance; esto es, si tenía camisa o no.
- 9.2.2** Descripción del método para aplicar y medir el momento.
- 9.2.3** Cálculos, incluyendo las medidas de fricción de la varilla.
- 9.2.4** Anotaciones sobre la resistencia de la veleta al empuje.
- 9.2.5** Información sobre la calibración del dispositivo para la medida del torque.
- 9.3** Adicionalmente, se deben anotar las siguientes observaciones sobre la perforación:
- 9.3.1** Número del sondeo.

- 9.3.2 Sitio.
- 9.3.3 Condiciones del suelo en el sitio.
- 9.3.4 Cota de referencia.
- 9.3.5 Método de ejecución de la perforación.
- 9.3.6 Nombres del inspector de la perforación y del ingeniero supervisor.

10 PRECISIÓN Y SESGO

- 10.1 *Precisión* – No se presentan datos sobre precisión, debido a la naturaleza de este método de ensayo. En el momento no es posible o resulta muy costoso convocar diez o más agencias de vialidad para participar en un programa de ensayos in-situ en un lugar específico.
- 10.2 *Sesgo* – No hay un valor de referencia aceptado para este método de ensayo y, por lo tanto, no se puede determinar el sesgo.

11 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 2573 – 08

ANEXO A (Informativo)

FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA VELETA

- A.1 Es muy importante corregir la resistencia medida con la veleta, antes de usarla en análisis de estabilidad que involucren terraplenes sobre suelos blandos, capacidad portante y excavaciones en arcillas blandas. La resistencia movilizada al corte está dada por la expresión:

$$\tau_{\text{movilizada}} = \mu_v (S_u)_{fv} \quad [170.3]$$

Donde μ_v es un factor empírico de corrección, que se relaciona con el índice de plasticidad y/o el límite líquido u otros parámetros basados en el retrocálculo de registros históricos sobre casos de fallas en proyectos reales. La sensibilidad se basa en la relación en bruto entre las resistencias pico y remodelada en su estado original y, por lo tanto, no necesita corrección.

A.2 A continuación se presenta uno de los factores de corrección propuestos para los datos de la veleta de campo. Esta información no es de utilización obligatoria al emplear esta norma de ensayo y se presenta solamente para llamar la atención sobre la necesidad de aplicar algún factor de corrección.

A.2.1 A partir de una extensa revisión de los factores y relaciones que afectan las medidas con la veleta en arcillas y limos con $IP > 5$, se sugiere la siguiente expresión:

$$\mu_v = 1.05 - b (IP)^{0.5} \quad [170.4]$$

Donde el parámetro “b” es un factor de velocidad que depende del tiempo transcurrido hasta la falla (t_f en minutos) en la falla real del suelo (no en el ensayo de campo), y está dado por:

$$b = 0.015 + 0.0075 (\log t_f) \quad [170.5]$$

Las relaciones combinadas se muestran en la Figura 170A - 1. Como una guía, los terraplenes sobre suelos blandos están asociados con tiempos hasta la falla de 10^4 minutos, debido al tiempo involucrado en la construcción con el uso de equipo pesado. En este caso, la ecuación 170.4 se convierte en:

$$\mu_v = 1.05 - 0.045 (IP)^{0.5} \quad [170.6]$$

A.2.2 Curiosamente, se ha encontrado que la relación sin corrección (S_{uv}/σ_{vo}') aumenta con la plasticidad. Por el contrario, el factor de corrección (μ_v) decrece con el IP. El efecto neto, es que la resistencia movilizada calculada por retrocálculo a partir de casos históricos de falla que involucran terraplenes, fundaciones y excavaciones en suelos blandos es, esencialmente, independiente de la plasticidad. Aas et al. (nota A.1) han propuesto un método de corrección que utiliza la

relación (S_{uv}/σ_{vo}') como una variable independiente en lugar del índice plástico.

Nota A.1: AAS, G., LACASSE, S., LUNNE, T., AND HOEG, K., "Use of In Situ Tests for Foundation Design on Clay," Use of In Situ Tests in Geotechnical Engineering, S.P., Clemence, Ed., GSP 6, American Society of Civil Engineers, New York, 1986, pp. 1-30.

- A.2.3** La literatura técnica presenta factores de corrección alternativos, basados en recopilaciones de información sobre fallas de excavaciones, fundaciones y terraplenes, sobre datos de ensayos en el terreno y en el laboratorio; sobre consideraciones de estabilidad tridimensional, y sobre análisis de esfuerzos efectivos.

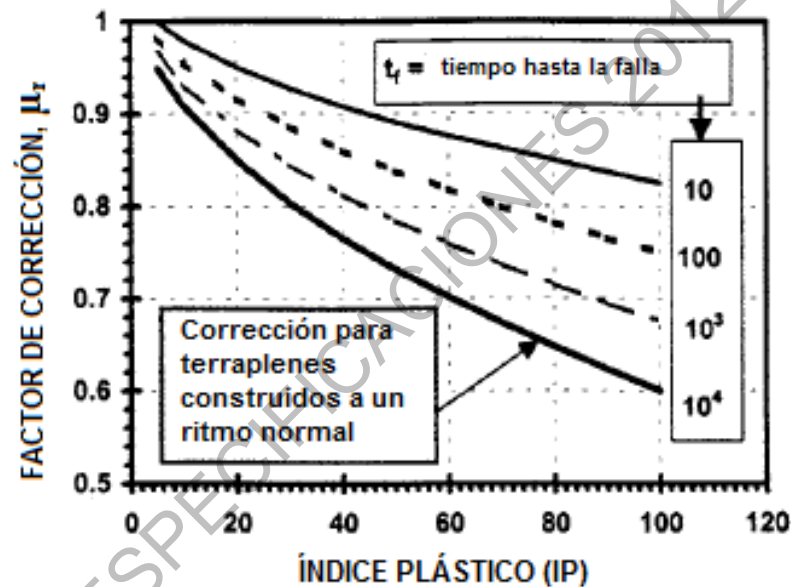


Figura 170A - 1. Factor de corrección propuesto para el corte con veleta, a partir del IP del suelo