

Resultados preliminares de ensayos dilatométricos en suelos limosos de Talcahuano y arenosos de Concón

Karen Leal Lepe (1); Mauro Poblete Freire (2); Felipe Villalobos (3)

- (1) Karen Leal Lepe, Universidad Católica De La Santísima Concepción.
(2) Mauro Poblete Freire, Universidad Católica De La Santísima Concepción.
(3) Felipe Villalobos Jara, Universidad Católica De La Santísima Concepción.

klleal@ing.ucsc.cl; mauro@ucsc.cl; avillalobos@ucsc.cl

Resumen

El dilatómetro plano DMT es un equipo de exploración del suelo cuyo principio de funcionamiento consiste en registrar las presiones de inflado y desinflado sobre una membrana de acero circular montada sobre una de las caras de la paleta del equipo. La paleta del DMT está conectada mediante mangueras que corren a lo largo de las barras que la unen con la unidad de control en la superficie. A pesar de ser un ensayo conocido y usado en varios países del mundo desde hace cuatro décadas, el ensayo DMT es relativamente nuevo en Chile por lo que este estudio presenta algunos de los primeros resultados disponibles con este equipo. El ensayo DMT permite obtener valores de parámetros geotécnicos importantes tales como resistencia al corte, peso unitario, clasificación y rigidez, entre otros. Se presentan los resultados preliminares del DMT en dos suelos limosos de Talcahuano y en suelos arenosos de dunas de Concón. Los resultados obtenidos de los ensayos DMT son comparados con resultados obtenidos con ensayos de terreno de placa de carga y CPT. También se comparan con ensayos de laboratorio de clasificación, edométricos y corte directo.

Palabras-Clave: parámetros geotécnicos, peso unitario, CPT, edométricos, corte directo, DMT.

Abstract

The flat dilatometer DMT is an exploration device of the soil whose operating principle consists in record inflated and deflated pressures by means of tool a circular steel diaphragm mounted on one side of the blade of this equipment. The blade of the DMT is connected by hoses that run along long the rods that connect it with the surface unit control. Despite being a well known test and used in various countries around the world for four decades, DMT test is relatively new in Chile therefore this study presents some of the first results available with this equipment. The DMT allows to obtain values of important geotechnical parameters such as weight, soil classification, and stiffness, among others. Preliminary results, from tests, are presented in two silty soils of Talcahuano and sandy soils from dunes of Concón. The results of the DMT tests are compared with results obtained with plate loading tests and CPT tests. DMT results are also compared to laboratory tests of classification, unit weight, edometer test, shear strength, unit weight and direct shear tests.

Keywords: geotechnical parameters, unit weight, CPT, edometer test, direct shear, DMT.

1 Introducción

El ensayo de dilatómetro plano (DMT) fue desarrollado en Italia por Silvano Marchetti [1] y se introdujo inicialmente en América del Norte y Europa en 1980 [2]. Su uso se extiende por más de 70 países en todo el mundo y su utilización ha sido estandarizada por la ASTM [3] y el Eurocode [4].

De los diferentes ensayos de penetración que existen, una de las principales ventajas del DMT es la de no requerir un sondaje previo y que permite obtener resultados independientes del operador donde la repetitividad está garantizada [5]. Además es una herramienta útil para la exploración del suelo, ya que las distorsiones causadas por la paleta del DMT son apreciablemente menores que las alteraciones con otros ensayos de penetración como el SPT o con puntas cónicas como el CPT [6].

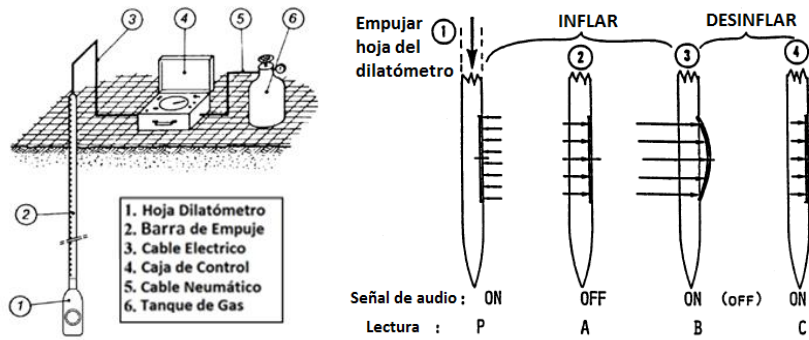


Fig. 1 – Esquema de ejecución del ensayo DMT y secuencia de toma de lecturas [5].

El ensayo de dilatómetro consiste en penetrar una paleta plana ubicada al final de una serie de barras, mediante un equipo de penetración similar a los utilizados en ensayos SPT y CPT. Una vez alcanzada la profundidad requerida, la membrana circular metálica que se ubica en una cara de la paleta, se infla horizontalmente 1,1 mm contra el terreno mediante gas a presión (Fig. 1).

El DMT resulta adecuado para arenas, limos y arcillas, cuyas partículas son pequeñas comparadas con el diámetro de la membrana de 60 mm. No se recomienda su utilización para grava y roca. Sin embargo, la hoja es lo suficientemente resistente para atravesar capas de grava con un espesor del orden de 0,5 m [5], siempre y cuando se cuente con una reacción adecuada en superficie.

2 Datos medidos, parámetros intermedios y correlaciones

2.1 Datos medidos con el equipo

Una vez alcanzada la profundidad de ensayo se obtienen las lecturas A y B. Opcionalmente se puede tomar una tercera lectura C, como se ilustra en la Fig. 1. Las lecturas obtenidas en terreno se deben corregir por efecto de la rigidez propia de la membrana, siendo:

$$p_0 = 1.05(A - Z_m + \Delta A) - 0.05(B - Z_m + \Delta B) \quad (1)$$

$$p_1 = B - Z_m - \Delta B \quad (2)$$

Donde Z_m es la desviación del cero debido a la presión atmosférica [5]. ΔA y ΔB corresponde a las correcciones por la calibración de la membrana que se realiza antes y después de cada ensayo en condiciones controladas.

2.2 Parámetros intermedios

A partir de los valores de p_0 y p_1 se derivan los tres parámetros intermedios propios del ensayo:

- El índice de material I_D : relacionado con el tipo de suelo ($0.1 < I_D < 0.6$ arcillas, $0.6 < I_D < 1.8$ limos y $1.8 < I_D < 10$ arenas) [2].

$$I_D = \frac{p_1 - p_0}{p_0 - u_0} \quad (3)$$

- El índice de empuje horizontal K_D : relacionado con la razón de sobreconsolidación del suelo (OCR) y permite entender el historial de tensiones del suelo [2 y 7].

$$K_D = \frac{p_0 - u_0}{\sigma'_{v0}} \quad (4)$$

- El módulo del dilatómetro E_D : determinado a partir de la teoría de la elasticidad [2].

$$E_D = 34.7(p_1 - p_0) \quad (5)$$

2.3 Parámetros geotécnicos

A partir de los parámetros intermedios y mediante correlaciones obtienen parámetros geotécnicos, que permiten determinar la resistencia, deformabilidad e historia de tensiones del suelo:

- Peso unitario (estratigrafía): se determina de I_D y E_D mediante el ábaco de la Fig.2 [8]
- OCR y K_0 en arcillas: se derivan de K_D y los resultados son satisfactorios en suelos de grano fino no consolidados ($I_D < 1.2$) [2].
- Resistencia al corte no drenada: se estima de K_D y fue propuesto por Marchetti, 1980, Fig.2.
- Ángulo de fricción ϕ : existen dos métodos, el primero [9] proporciona simultáneamente ϕ y K_0 , derivadas del par K_D y q_c (del CPT) y luego utiliza la teoría de Durgunoglu Mitchell, o la gráfica propuesta por Marchetti [9] que se observa en la Fig.2. El segundo método [10] proporciona ϕ sólo basada de K_D a partir de la ecuación que se muestra en la Fig.3.

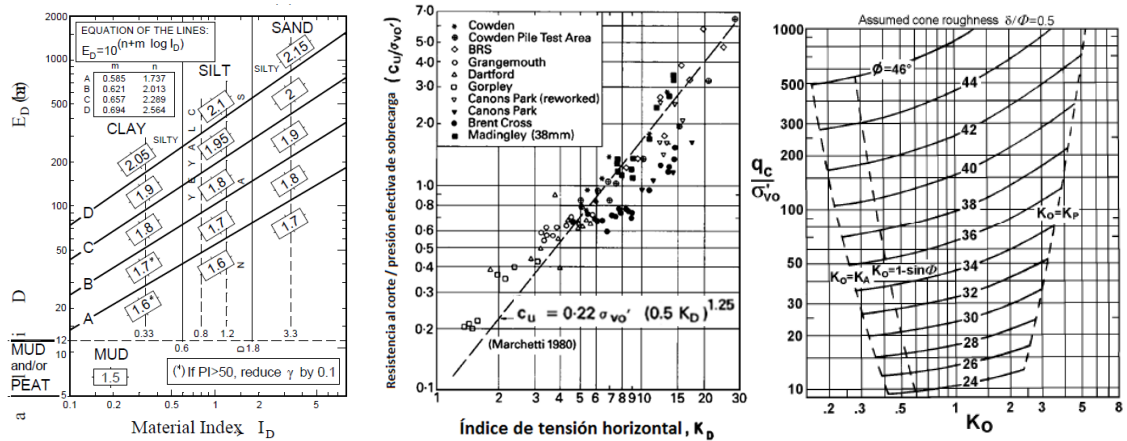


Fig. 2 – Ábaco para estimar el peso unitario [8] y gráfica de la teoría de Durgunoglu Mitchell [9]

- La densidad relativa DR: se puede determinar a partir de K_D usando el ábaco de la Fig.3 válido para arenas no cementadas [11].
- Módulo edométrico M_{DMT} : se obtiene a partir de E_D y de un factor de corrección R_M [2].
- Módulo de Young E' : puede derivarse de M_{DMT} usando la teoría de la elasticidad, tanto en arenas y arcillas [2]. No debe confundirse con el módulo del dilatómetro E_D .

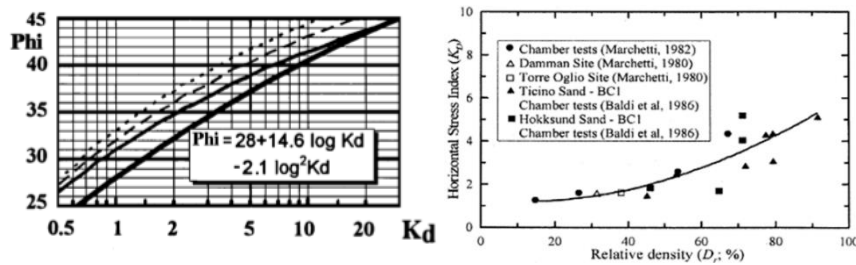


Fig. 3 – Determinación de ϕ a partir de K_D [10] y gráfica para determinar la DR a partir de K_D [11].

3 Resultados preliminares con el dilatómetro plano (DMT)

3.1 El dilatómetro plano (DMT) en suelos finos de Talcahuano

Se realizan mediciones con el DMT en 3 calcatas a 1,2 m de profundidad, en el conjunto habitacional Mirador del Pacifico, sector cerro Centinela de Talcahuano, Región del Bío Bío, Chile. Las curvas granulométricas así los índices de plasticidad (IP), la gravedad específica (G_s) y la clasificación USCS se indica en la Fig. 4.

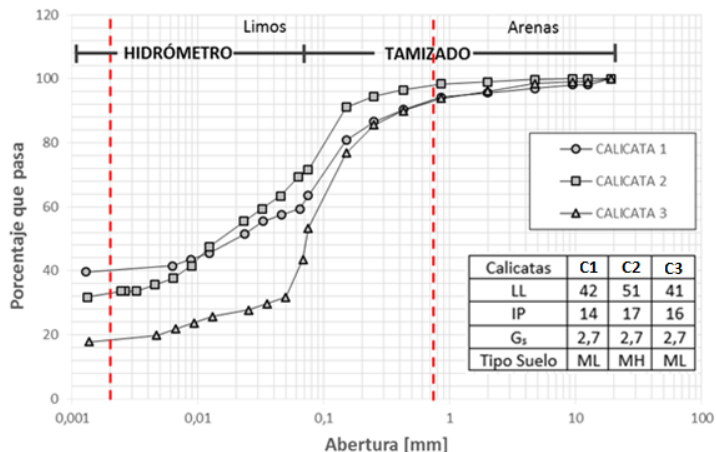


Fig. 4 – Curva granulométrica y propiedades del suelo del Mirador del Pacífico, Talcahuano.

La Tabla 1, muestra los datos medidos en terreno y los parámetros intermedios que permite clasificar el tipo de suelo y los parámetros geotécnicos obtenidos a partir de los parámetros intermedios.

Tabla 1 – Parámetros directos, intermedios y geotécnicos del suelo Mirador del Pacífico.

Z	A	B	p _o	p ₁	I _D	K _D	E _D	Descripción	k _o	OCR	C _u	M _{DMT}	E'	
[m]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[-]	[-]	[MPa]	[-]	[-]	[-]	[kPa]	[MPa]	[MPa]	
C1	1,2	150	310	165	270	0,6	8,8	3,6	limo arcilloso	1,7	9,9	26,2	8,6	7,2
C2	1,2	50	180	66,5	140	1,1	3,5	2,6	limo	0,9	2,5	8,5	3,8	3,1
C3	1,2	90	290	103	250	1,4	5,5	5,1	limo arenoso	-	-	-	9,8	8,1

De ensayos de placa de carga realizados en cada calicata se obtiene el coeficiente de balasto. Para la obtención de este coeficiente existen diversos criterios, para este estudio se consideran los tres criterios más utilizados para el ensayo de placa de carga.

- Método 1: Pendiente de la curva tensión-desplazamiento [12].
- Método 2: Valor preestablecido de asentamiento de 0,125 cm. [13 y 14].
- Método 3: Valor preestablecido de tensión de 0,71 kg/cm² [12].

Conocido el coeficiente de balasto mediante el ensayo de placa de carga, se obtiene el módulo de Young o módulo de la elasticidad del suelo (E_s). Vesic (1961) usando el módulo de Winkler en la teoría de vigas sobre un medio elástico y el coeficiente de Poisson (ν) propuso [15]:

$$E_s = k_s (1 - \nu^2) B' I_s I_f m \quad (3)$$

Donde k_s es el coeficiente de balasto, B' la mitad del ancho de la placa de carga, m es 4 para el centro de la placa, I_s y I_f los factores de forma y profundidad [15]. Otro método directo para la obtención de módulo de Young es propuesto por la norma Asshto del ensayo de placa de carga [16].

$$E_s = k_s (D/4)(1 - \nu^2)\pi \quad (4)$$

Siendo D el diámetro de la placa de carga. La Fig.5 muestra la comparación de los resultados obtenidos del módulo de Young según los diferentes métodos y autores versus el módulo de Young obtenido del dilatómetro plano (DMT).

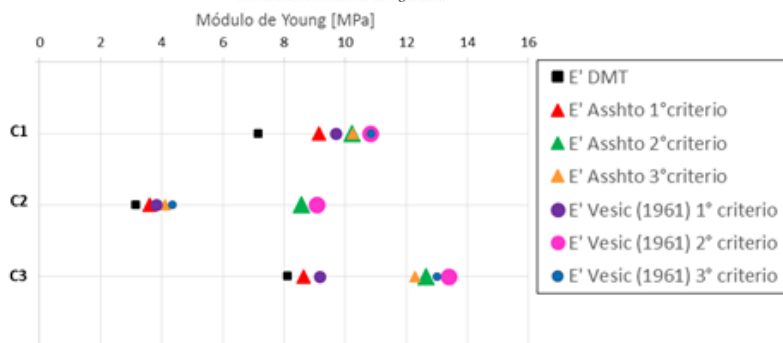


Fig.5 – Comparación del módulo de Young obtenido con el DMT y con la placa de carga.

De la Fig.5 se observa que el valor del módulo de Young obtenido del ensayo de placa de carga que más se ajusta al obtenido del DMT es el calculado con el coeficiente de balasto entregado del método 1 [12], ya que éste considera que el coeficiente de balasto es la magnitud de la pendiente del gráfico tensión-desplazamiento y los otros dos métodos consideran valores establecidos de asentamiento y tensión [12,13 y 14] los que los hace menos representativos.

Se realiza otro ensayo de DMT en suelos limosos del sector Brisas del Sol en Talcahuano, Región del Bío Bío, Chile. La curva granulométrica así como el índice de plasticidad (IP), la gravedad específica (G_s) y la clasificación USCS a 1,5 metros de profundidad se indica en la Fig. 6.

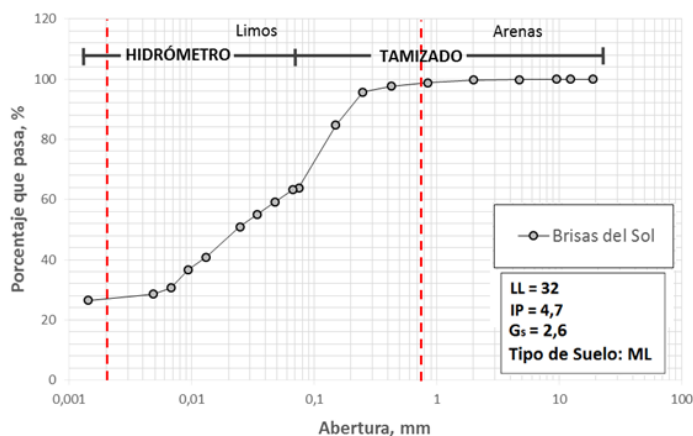


Fig. 6 – Curva granulométrica y propiedades del suelo de las Brisas del Sol, Talcahuano.

Tabla 2 – Parámetros directos e intermedios del suelo de las Brisas del Sol.

Z	A	B	p_0	p_1	I_D	K_D	E_D	Descripción
[m]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[-]	[-]	[MPa]	[-]
1,5	160	490	168	423	1,5	6,4	8,8	limo arenoso
2	160	600	162	533	2,3	4,6	12,8	arena limosa
2,5	190	700	189	633	2,3	4,3	15,4	arena limosa
3	160	800	152	733	3,8	2,8	20,1	arena
3,5	550	2100	497	2033	3,1	7,8	53,3	arena limosa
4	750	2200	702	2133	2,0	9,5	49,6	arena limosa
4,5	950	2400	902	2333	1,6	10,7	49,6	limo arenoso
5	550	1350	534	1283	1,4	5,7	26,0	limo arenoso
5,5	600	1900	559	1833	2,3	5,4	44,2	arena limosa
6	390	1700	349	1633	3,7	3,1	44,5	arena

La Tabla 2, muestra los datos medidos en terreno y los parámetros intermedios que permite clasificar el tipo de suelo. Con los valores leídos directamente del ensayo, se obtienen los parámetros p_0 y p_1 , mostrados en la Tabla 2, que al graficarse muestran una estratigrafía definida, donde se puede interpretar a simple vista las zonas de mayor resistencia del suelo.

En la Fig.7 se aprecia que los valores p_0 y p_1 se incrementan con la profundidad así como la diferencia entre ambos ΔP , presentando una cercanía a los 5m de profundidad pero incrementando posteriormente. El índice del material I_D muestra los valores mayores a 1,2 por lo que clasifican como suelos arenosos. Los valores de E_D y M_{DMT} se mantienen relativamente cercanos en los primeros metros de profundidad, presentando un incremento desde la profundidad de 3,5m debido a que el factor de correlación R_M aumenta cercano a los 2,5. El ángulo de fricción se obtiene según la ecuación de la Fig. 3 obteniendo valores del ángulo de fricción que varían entre los 34 y los 40 grados, menos en las profundidades 4,5 a 5 m que al ser suelos cohesivos no presentan ϕ (Tabla 2).

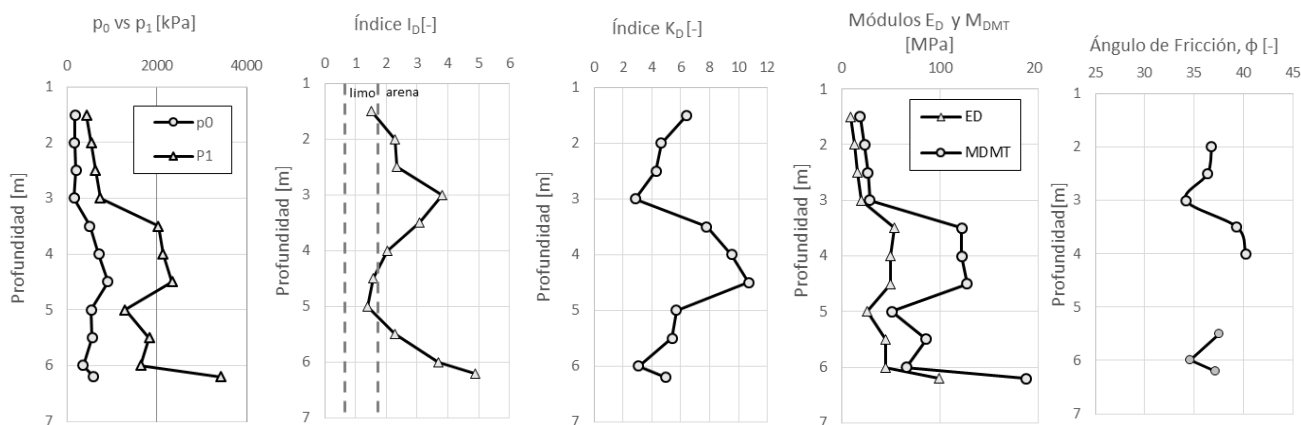


Fig.7 – Resultado del ensayo del dilatómetro plano (DMT) para Las Brisas del Sol, Talcahuano.

Se realiza un ensayo de consolidación a una muestra obtenida a 1,5 metros de profundidad. La muestra se coloca en un anillo de 5 cm de diámetro y aplicando cargas verticales (σ'_v) de 6,25 kPa, 12,5 kPa, 25 kPa, 50 kPa, 100 kPa, 200 kPa y 400 kPa. La extracción de muestras en terreno provoca perturbaciones que influyen en los resultados de los ensayos en laboratorio en términos de la rigidez del suelo. En cambio el ensayo del dilatómetro plano (DMT) se caracteriza por provocar menores distorsiones, obteniendo valores de rigidez del suelo más confiables. En este estudio, el módulo edométrico M_{ed} obtenido con el ensayo de consolidación se compara con el módulo edométrico M_{DMT} obtenido del ensayo del dilatómetro plano (DMT) por medio de dos métodos:

- Método 1: Módulo tangente de la curva tensión-deformación [17].
- Método 2: Ecuación de Lambe y Whitman considerando el suelo normalmente consolidado con la obtención del coeficiente de compresión C_c del gráfico $e-\log\sigma'_v$ [17].

Teniendo en cuenta el perfil del módulo edométrico M_{DMT} obtenido del DMT (Fig.7) y el módulo edométrico M_{oed} obtenido mediante el ensayo de consolidación (Fig.8), se puede observar de la Tabla 3 que la rigidez obtenida mediante el DMT es mayor que la obtenida por el ensayo de laboratorio. Cabe señalar que los resultados de laboratorio son influenciados por perturbaciones causadas a las muestras, ya que es muy difícil obtener muestras completamente inalteradas.

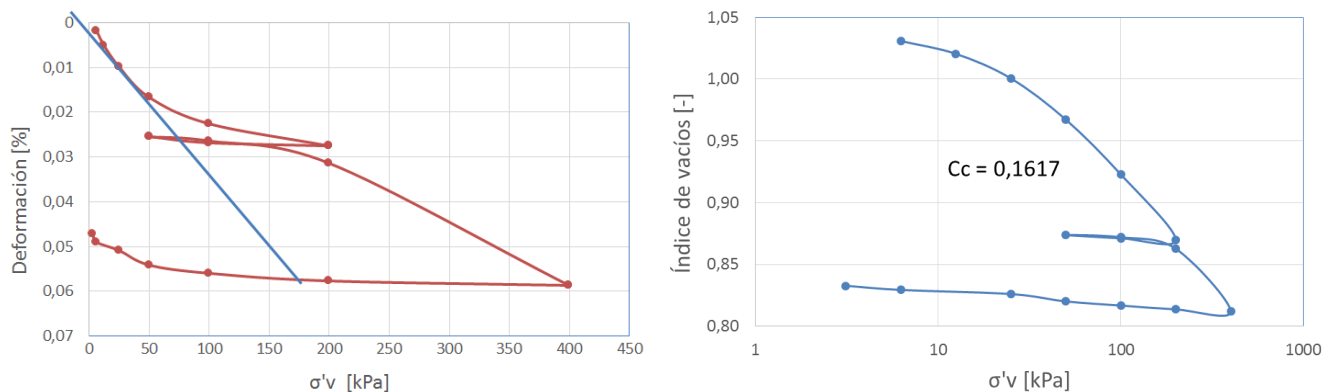


Fig. 8 – Gráficos de tensión vertical efectiva vs deformación vertical y $e-\log\sigma'_v$ para la obtención del coeficiente de compresión C_c del ensayo de consolidación.

Tabla 3 – Comparación entre el módulo edométrico M_{DMT} obtenido del dilatómetro plano (DMT) y obtenido con el módulo edométrico M_{oed} .

Dilatómetro plano (DMT)	M_{DMT}	18,3	[MPa]
Método 1	$M_{ed,M1}$	3,5	[MPa]
Método 2	$M_{ed,M2}$	2,98	[MPa]

Ejemplo semejante al anterior se obtuvo en ensayos realizados para la reconstrucción de la Fábrica de Magneti Marelli, Italia [18], comparando los resultados obtenidos por el DMT, el CPT y ensayos de laboratorio. Donde las correlaciones para los ensayos CPT el módulo edométrico es bastante menor el M_{DMT} del DMT y los resultados de laboratorio están cercano a las correlaciones del CPT, lo que se puede relacionar con lo mencionado acerca de las perturbaciones causadas a las muestras.

3.2 El dilatómetro plano (DMT) en suelos arenosos

Se realiza un ensayo de DMT en las dunas de Concón, Región del Valparaíso, Chile. La curva granulométrica así como los valores del coeficiente de uniformidad C_c , de curvatura C_{cu} , la gravedad específica (G_s) y la clasificación USCS para la cota 1,3 metros se indica en la Fig. 9. La Tabla 4, muestra los datos medidos en terreno y los parámetros intermedios que permite clasificar el tipo de suelo.

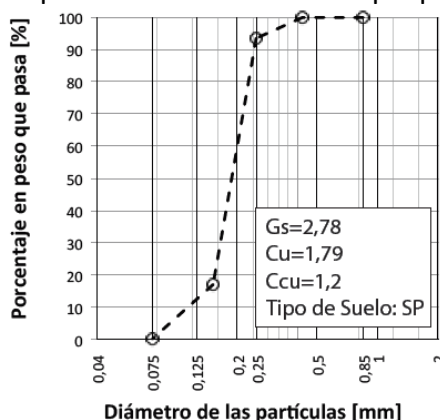


Fig. 9 – Curva granulométrica y propiedades del suelo de la arena de Concón.

Tabla 4 – Parámetros directos e intermedios del suelo de la arena de Concón.

Z [m]	A [kPa]	B [kPa]	p ₀ [kPa]	p ₁ [kPa]	I _D [-]	K _D [-]	E _D [MPa]	Descripción [-]
1,3	60	600	50	570	10,3	2,3	18,0	arena
2	110	800	93	770	7,3	2,7	23,5	arena
4	200	1500	152	1470	8,7	2,1	45,7	arena
6,2	100	1000	72	970	12,4	0,7	31,2	arena
8	350	2500	260	2470	8,5	1,8	76,7	arena
9,8	400	3500	262	3470	12,2	1,5	111,3	arena
11,8	800	5000	607	4970	7,2	2,7	151,4	arena

En la Fig.10 se aprecian los valores leídos directamente de p₀ y p₁, observándose que se incrementan con la profundidad así como la diferencia entre ambos ΔP. El índice del material I_D muestra los valores mayores a 3,3 por lo que clasifican como arenas. Los valores de E_D y M_{DMT} son prácticamente idénticos debido a que el factor de corrección R_M aumenta cercano a 1. El ángulo de fricción se obtiene utilizando la ecuación de la Fig. 3 obteniendo valores conservadores de φ que varían entre los 26 y 34 grados. El perfil de la densidad relativa (DR) para la arena de las dunas de Concón es estimado a partir de K_D, de acuerdo a la Fig. 3.

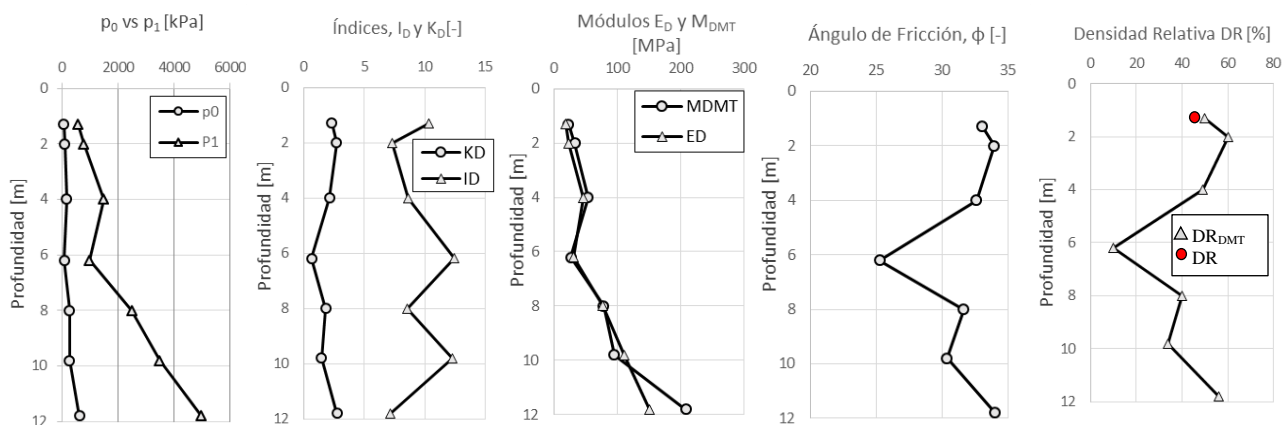


Fig.10 – Resultado del ensayo del dilatómetro plano (DMT) del suelo de la arena de Concón.

Del ensayo de densidad máxima y mínima para la profundidad de 1,3 m se obtiene un peso unitario total (γ_t) de 16,7 kN/m³, un peso unitario seco (γ_d) de 15,9 kN/m³ (la muestra presenta una humedad del 5%), un peso unitario seco mínimo (γ_{d_min}) de 14,34 kN/m³ y un peso unitario seco máximo ($\gamma_{d_máx}$) de 17,7 kN/m³, dando como resultado una densidad relativa (DR) del 52% a 1,3 m de profundidad.

Se realizan ensayos de corte directo a tres probetas remoldeadas a una misma densidad relativa (DR) del 82% y consolidadas a diferentes presiones normales de 60, 90 y 200 kPa [19]. La Fig. 11 muestra los resultados del ensayo de corte directo para la obtención de los ángulos de fricción máximo, residual y crítico de la arena de Concón.

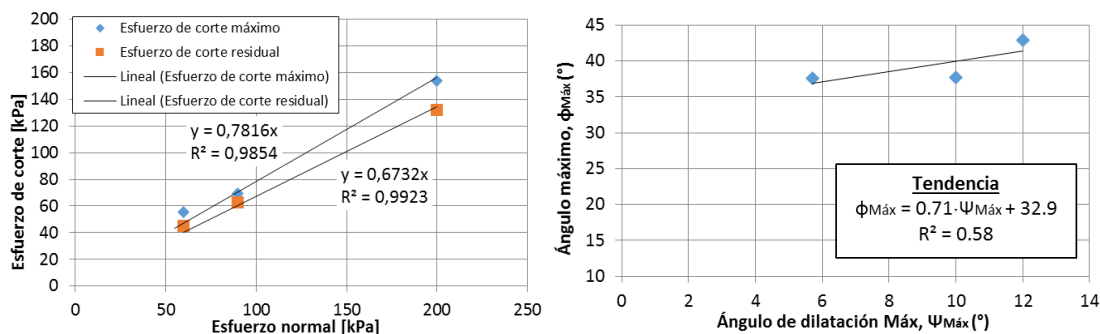


Fig.11 – Resultado del ensayo de corte directo para cálculo de ángulo de fricción máximo, residual y crítico del suelo de la arena de Concón.

Además se realiza un ensayo de ángulo de reposo mediante el método de la construcción de una pila cónica por medio de un embudo [20]. La Tabla 5 muestra los resultados obteniendo del ensayo de corte directo y ángulo de reposo para la arena de Concón.

Tabla 5 – Valores de ángulo de fricción obtenidos mediante ensayos de laboratorios [19].

Ensayos		ϕ [°]
Corte directo	ϕ' máximo	38
	ϕ' residual	34
	ϕ' crítico	32.9
ϕ reposo		30.5

Adicionalmente se obtiene resultados de un ensayo de CPT (Cone Penetration Test) realizado en las arenas de las dunas de Concón. La Fig. 12 muestra el perfil del ángulo de fricción para los ensayos de CPT y DMT, además de los valores del ángulo de fricción obtenidos en laboratorio para la muestra de la cota 1,3 m.

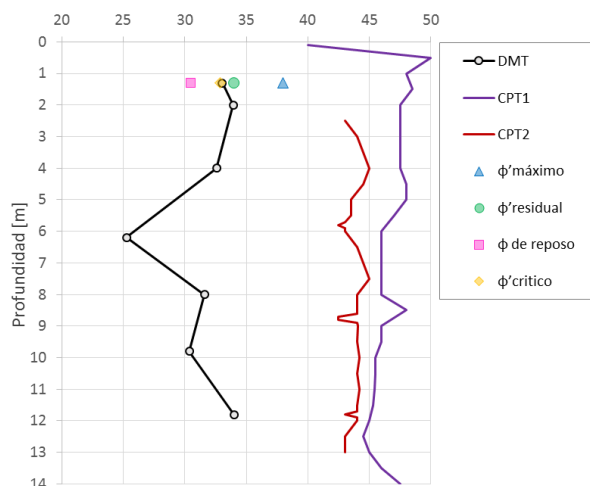


Fig.12 – Ángulo de fricción obtenido mediante ensayos de laboratorios y ensayos de CPT y DMT.

4 Conclusiones

Se presenta el ensayo del dilatómetro plano (DMT) y se describe su funcionamiento y características principales. Se destacan la facilidad y ventajas que presenta frente otros ensayos del subsuelo. Se enumeran y explican los parámetros intermedios I_D , K_D y E_D , y los parámetros geotécnicos que se

pueden obtener a partir de correlaciones de los anteriores. Se presentan resultados del DMT de dos suelos limosos de Talcahuano y se comparan con los resultados de terreno de placa de carga obteniendo una buena aproximación y con ensayo de laboratorio edométrico, el cual presentó diferencias con el DMT. Para los suelos arenosos de Concón, se compra el ángulo de fricción con ensayos de laboratorio de corte directo y ángulo de reposo obteniendo una buena aproximación con los resultados del DMT, pero presentando una diferencia con los resultados de los ensayos CPT.

5 Referencias

- [1] Marchetti, S. "A New in Situ Test for the Measurement of Horizontal Soil Deformability". Proc. Conf. on "In Situ Measurement of Soil Properties", ASCE Spec. Conf., Raleigh; 1975, Vol. 2: 255-259. June.
- [2] Marchetti, S. "In Situ Tests by Flat Dilatometer. Journal of the Geotechnics". Engineering Division, ASCE; 1980, Vol. 106, No. GT3, Proc. Paper 15290, p. 299-321. March.
- [3] ASTM D6635. *Standard Test Method for Performing the Flat Plate Dilatometer*. Book of Standards; 2001 y 2007, 14pp.
- [4] Eurocode 7 EN 1997-2:2007. Geotechnical Design, Part 2: *Ground Investigation and Testing*; 1996 y 2007.
- [5] TC16. *The DMT in soil investigations*. A Report by the ISSMGE Committee TC16; 200, pp 41.
- [6] Baligh, M.M. y Scott, R.F. *Quasi Static Deep Penetration in Clays*. Journal of the Geotechnical Engineering Division 101; 1975, No.11, 1119-1133.
- [7] Jamiolkowski, M., Ghionna, V., Lancellotta, R. & Pasqualini, E. "New Correlations of Penetration Tests for Design Practice". Proc., First International Symposium on Penetration Testing (ISOPT-1), Vol. 1, Balkema, Rotterdam. The Netherlands; 1988, 263-296.
- [8] Marchetti, S. & Crapps, D.K. "Flat Dilatometer Manual". Internal Report of G.P.E. Inc; 1981.
- [9] Marchetti S. *On the Field Determination of K_0 in Sand*. Discussion Session No. 2A, Proc. 11th ICSM FE, S.Francisco; 1985, Vol.5, 2667-2673.
- [10] Marchetti, S. "The Flat Dilatometer: Design Application". Proc. Third International Geotechnical Engineering Conference, Keynote lecture, Cairo University, Jan.; 1997, ISSN 421-448.
- [11] Reyna F. y Chameau J.L. *Dilatometer Based Liquefaction Potential of Sites in the Imperial Valley*. 2nd Int. Conf. on Recent Advances in Geot. Earthquake Engrg. And Soil Dyn. St. Louis. May; 1991.
- [12] ICC-UCV. *Determinación del Módulo de Reacción (Placa De Carga)*. Valparaíso; 2006, ICC. 1:18p
- [13] DIN 18134. Soil -Testing procedures and testing equipment-Plate load test, English translation of DIN 18134; 2012-O4
- [14] NLT-357. Normas NLT. I, *Ensayos de carreteras: NLT 357/98, ensayo de carga con placa*. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas; 1998.
- [15] Bowles, J. *Foundation Analysis and Design*. Fifth Edition; 1996, Chapter 5, 285-310.
- [16] AASHTO T222-78. *Standard Method of Test for Nonrepetitive Static Plate Load Test of Soils and Flexible Pavement Components for Use in Evaluation and Design of Airport and Highway Pavements*.
- [17] Lambe y Whitman. *Mecánica de suelos*. Segunda edición; 1969.
- [18] Fiorelli, F y Franceschini, M. Geotechnical Characterization for the Magneti Marelli Factory in Crevalcore (Bologna): DMT, CPTU and Laboratory Tests Comparasion. 3rd International Conference on the Flat Dilatometer DMT'15, 4-5 June, Italia, Roma. 2015.
- [19] Poblete, M. y Leal, K. Determinación de la resistencia al corte de una arena limpia mediante ensayo de Dilatómetro Plano (DMT). *Revista de Ingeniería de Obras Civiles (RIOC)*. Vol. 5. 20-25. 2015.
- [20] Solaque, D. *Comparación del ángulo de fricción crítico con el ángulo de reposo. Análisis de la influencia de algunos factores en la determinación del ángulo de reposo*. Tesis de Maestría en Ingeniería Civil. Universidad de los Andes. Bogotá. 2008.