

**XVI CONGRESO NACIONAL DE INGENIERIA CIVIL
AREQUIPA – PERU
DEL 01 AL 05 DE OCTUBRE DEL 2,007**

APLICABILIDAD DEL “CONO DINAMICO TIPO PECK”

Vivar Romero Germán, Ing° Civil

Geotecnia & Pavimentos E.I.R.Ltda. gvivar@terra.com.pe

RESUMEN

El “Cono Dinámico Tipo Peck” es un equipo usado en el Perú y en ninguna otra parte del mundo como técnica de auscultación de suelos, que utiliza el mismo equipo del Ensayo de Penetración Estándar (SPT), pero cambiando la cuchara de “caña partida” por una punta cónica, de tal manera que se logra la ventaja sobre el SPT de una hincada continua y por lo tanto más rápida.

La Norma E.050 - SUELOS Y CIMENTACIONES del R.N.E., acepta al Cono Dinámico Tipo Peck como una Técnica de Auscultación Recomendada para suelos granulares de los tipos SW, SP, SM y SC-SM; y como una Técnica de Auscultación de Aplicación Restringida, para suelos de los tipos CL, ML, SC, MH y CH, haciendo las salvedades de la necesidad de investigación adicional de suelos para su interpretación y de que no sustituye al Ensayo de Penetración Estándar. Sin embargo, se encuentra en la práctica que el Cono Tipo Peck se aplica indistintamente sobre suelos gravosos y en los suelos indicados, pero sin calibración previa con el SPT, lo que conduce a serias incertidumbres sobre la validez de sus resultados.

En esta ponencia se revisan los antecedentes del uso del Cono Tipo Peck en el Perú y se analiza la validez de los factores de corrección que se vienen utilizando en los diferentes tipos de suelos.

Se concluye en la necesidad de contar con una norma de ensayo del INDECOPI, que avale este ensayo y se propone una metodología para su correcta aplicación.

ABSTRACT

The “Dynamic Cone Type Peck” is an apparatus used in Peru and not in other part of the world as a soil auscultation technique that uses the same equipment than the Standard Penetration Test (SPT), but replacing the split barrel sampler for a conic end one, which will add the advantage of a continuous faster digging.

The R.N.E. Standard E.050 – Soils and Foundations, accept the Dynamic Cone Type Peck as an recommended auscultation technique for granular soils type SW, SP, SM and SC-SM; and as a restricted application auscultation technique for soils type CL, ML, SC, MH and CH. In both cases, it indicates the need for further investigation of the soil before the interpretation of the test results, and that this test does not substitute the SPT. However, this test has been used in an indiscriminate way in gravel soils and the later fine soils without the proper calibration with the SPT, which lead to serious uncertainties about the validation of the results.

This paper reviews the background about the use of the Cone type Peck in Peru and analyzes the validation of the correction factors that are currently being used in the different types of soils.

It is concluded that there is a need to have an INDECOPI Standard Test Method that will validate this test. It is also proposed a methodology for its proper application.

1. ANTECEDENTES

1.1 ORIGEN DEL NOMBRE “CONO DE PECK”

A inicios de los años 1970, se efectuó un programa comparativo de ensayos SPT con un equipo de auscultación con punta cónica denominado “Cono de Peck”, sobre suelos arenosos finos del tipo SP, encontrándose la siguiente relación [RM + Ass (1971)]:

$$N = 0.5 c \quad (\text{ec. 1})$$

donde:

N = Número de golpes por 30 cm de penetración en el ensayo estándar de penetración (SPT); y
 c = número de golpes por 30 cm de penetración con el “Cono de Peck”.

Los consultores de aquél Estudio le dieron ese nombre al ensayo por un dispositivo mostrado en una publicación [Peck et al, 1953)], recomendado para investigar la densidad relativa de depósitos de arenas y gravas sin el uso de tuberías de revestimiento (casing), (Figura 1).

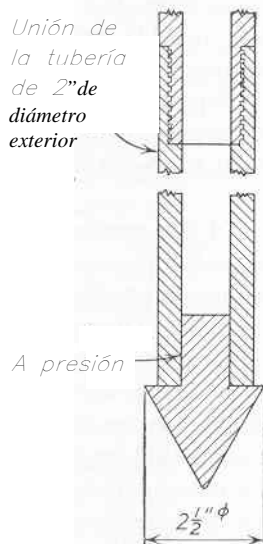


Figura 1. Penetrómetro de punta cónica {tomado de Peck et al, 1953)}.

Peck et al (1,953), describen al dispositivo como: *un cono que se coloca suelto en el fondo de una hilera de tuberías que se introduce en el terreno por medio de un martillo con una altura constante de caída. Se toma un registro continuo del número de golpes requerido para hincar la punta un pie de profundidad. Cuando la punta ha alcanzado su elevación final, se retira la tubería y el cono queda perdido en el fondo de la perforación. La fricción de la tubería es minimizada haciendo el diámetro del cono algo mayor que el diámetro exterior de la tubería. Las pruebas de este tipo se pueden hacer más rápidamente y de manera más económica que los ensayos de Penetración Estándar. Sus resultados se pueden correlacionar con los valores N (del SPT), realizando diferentes series de ensayos de Penetración Estándar en perforaciones adyacentes a la ubicación de los ensayos de penetración con el cono.*

Como se puede apreciar, Peck et al, no describen el peso del martillo, ni la altura de caída, aunque si muestran un diámetro exterior del varillaje, similar al del ensayo SPT. Por tal razón, RM + Ass, utilizaron el mismo equipo del SPT, al que

solamente le cambiaron la cuchara de “caña partida”, por una punta cónica a 60°, similar a la mostrada en la Figura 1.

1.2 USO Y REGLAMENTACION DEL CONO DE PECK EN EL PERU

1.2.1 USO

Moreno, D. J. J. (1998), menciona que: *en los últimos 30 años en el Perú se ha venido extendiendo el uso de otro método de exploración llamado Cono de Peck (CP), el cual muestra una configuración, uso y presentación de resultados bastante parecida con el SPT; sin embargo, los algoritmos y métodos de diseño están basados en los resultados de este último, por lo que ha sido necesario encontrar una correlación entre ambos.....Esta correlación (ec. 1), ha sido utilizada por RM & Asociados y por la mayoría de consultores usuarios del CP a través de los años, sin un conocimiento pleno de las limitaciones en cuanto a las aplicaciones prácticas de los resultados del mismo.*¹

Moreno presentó una correlación obtenida de más de 2,000 estudios efectuados a través de 30 años en suelos granulares con nivel freático superficial o a poca profundidad, en los cuales existen registros de CP y SPT muy cerca.....descartándose aquellos valores donde el perfil de suelos presentaba lentes de suelos finos, un contenido de suelos finos muy alto (> 30%), o algo de grava. En la Figura 2 se muestra la correlación hallada por Moreno, la misma que valida la ec. 1.

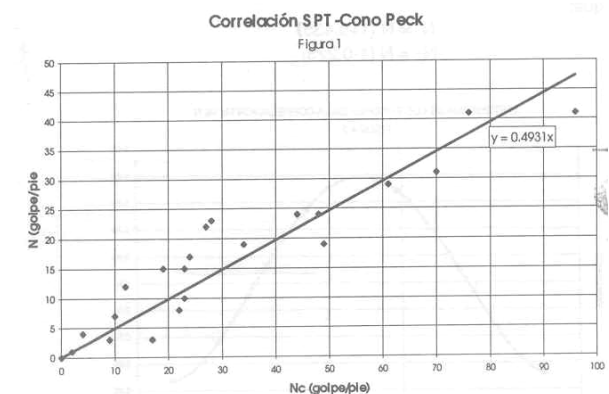


Figura 2. Tomado de Moreno, D. J. J. (1998)

1.2.2 REGLAMENTACION

Aparte de este documento, no existía en la literatura otra referencia al Cono de Peck, hasta la publicación del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) el año 2,006, en el que se considera al Cono Dinámico Tipo Peck (Tabla N° 2 de la norma E.050 Suelos y Cimentaciones), como una Técnica de Investigación del tipo “auscultación dinámica”, que requiere investigación adicional de suelos para su interpretación y que no sustituye al Ensayo de Penetración Estándar. La norma aplicable para la ejecución de este ensayo es según la E.050 la norma española UNE 103-801:1994, manteniendo el peso del martillo, la altura de caída y el método de ensayo, pero con las siguientes excepciones:

- a) las barras de perforación serán reemplazadas por las “AW” que son usadas en el ensayo SPT (normas NTP 339.133 y ASTM D1586);

¹ El sub-rayado es nuestro.

- b) la punta cónica se reemplazará por un cono de 6.35 cm (2.5 pulgadas de diámetro y 60° de ángulo en la punta, según se muestra en la Figura 3; y

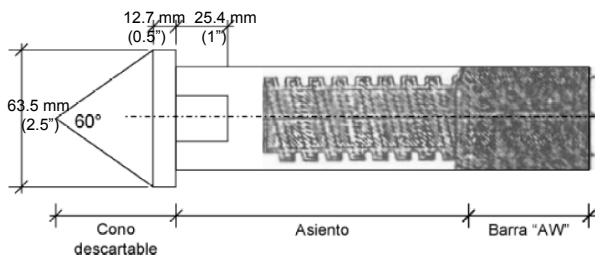


Figura 3. Tomado de Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2,006).

- c) el número de golpes se registra cada 0.15 m y se grafica cada 0.30 m, siendo C_n la suma de golpes por cada 0.30 m.

Además, la E.050 recomienda su aplicación irrestricta en suelos de los tipos SW, SP, SM y SC-SM; y una aplicación restringida en suelos de los tipos CL, ML, SC, MH y CH, no recomendando su aplicación en los demás tipos de suelos, que se sobreentiende son los de los tipos GW, GP GM, GC, OL, OH y Pt.

2. EL PROBLEMA

El problema de la aplicación del CP en el Perú tiene muchas aristas. Algunas de las más importantes son:

- Se ha estado usando en todo tipo de suelos, incluyendo los restringidos y los no recomendados por la E.050;
- Se ha estado usando con diferentes tipos de cono (Figura 4);



Figura 4. Diferentes tipos de conos usados en el Perú antes de la norma E.050 del RNC (2006).

- Se ha estado usando dentro de perforaciones previamente efectuadas para el SPT, sin conocerse la estratigrafía de los materiales que atraviesa; y principalmente,
- Se ha estado usando la correlación mostrada en la ec. 1 para todos los suelos incluyendo las gravas,

excepto para suelos cohesivos (arcillas y limos), en los que se usa la siguiente expresión:

$$N = 1.0 c \quad (\text{ec. 2})$$

sin ensayos previos de correlación que la sustenten.

3. ANALISIS

3.1 COMPARACION ENTRE DIFERENTES EQUIPOS

La norma española UNE 103-801:1994 en la que se basa la E.050, tiene su correlato en dos documentos de la Sociedad Internacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones [ISSMFE. (1988) e ISSMFE. (1989)], así como en la norma británica BS 1377: Part 9: 1990, los cuales están basados en experiencias previas a nivel mundial en más de 25 países y con diferentes tipos de penetrómetros de punta cónica.

Los penetrómetros de la ISSMFE, del BS y de la UNE, son idénticos en sus características. El CP en cambio, tiene diferencias sustanciales en la masa del yunque y de la guía, en el diámetro exterior de la varilla y en el ángulo y diámetro del cono (ver Tabla N° 1 y Figuras 3 y 5). Como consecuencia de ello, los trabajos específicos por golpe de cada tipo de equipo difieren, siendo la energía transmitida por el CP, comparable con la de un ensayo de penetración dinámica mediana (DPM), debiendo serlo con la de un ensayo de penetración dinámica super pesada (DPSH).

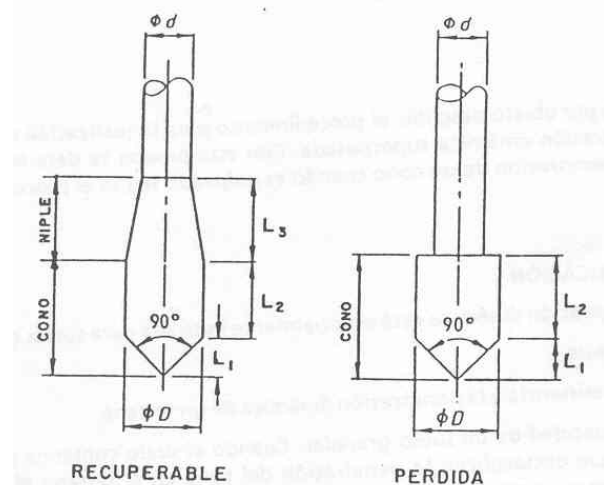


Figura 5. Conos de la UNE y la BS. La ISSMFE también permite el uso de conos "descartables".

3.2 VALIDEZ DE LAS RELACIONES N vs C_n

Moreno, D. J. J. (1998), presentó una correlación entre N y C_n , sobre 21 ensayos (Figura 2) de los *más de 2,000 estudios efectuados*, sin llegar a definir a los "suelos granulares" sobre los que desarrolló esa correlación. Solamente descartó de la correlación *a los suelos que presentaban lentes de suelos finos* (se entiende que se refiere a suelos de los tipos CL, ML, MH y CH) y *a los suelos con contenidos de suelos finos mayores de 30%* (se entiende que se refiere a suelos de los tipos SM y SC) o "algo" de grava.

Con el objeto de verificar si esa relación es aplicable a otros tipos de suelos arenosos, se ha efectuado pruebas SPT y CP adyacentes, sobre estratos de arenas gruesas, limos y arenas

finas. En la Figura 6, se muestra una correlación entre N del SPT y C_n del CP. Se aprecia que hasta $C_n = 30$ la ec. 1 es conservadora.

Tabla N° 1. Datos técnicos de los equipos

Elemento	DPSH/UNE/BS ¹	CP ²
Masa del martillo, kg	63.5± 0.5	63.5± 0.5
Altura de caída, m	0.75± 0.02	0.76± 0.01
Masa del yunque y de la guía (máx), kg	30	50
Longitud/diámetro (D) del martillo	≥ 1, ≤ 2	≥ 1, ≤ 2
Diámetro del yunque, mm	100<d<0.5D	100<d<0.5D
Long. de varilla, m	1 – 2 ± 0.1%	---
Masa de varilla (máx), kg/m	8	8
Desviación de la varilla (máx) en los primeros 5 m, %	0.1	---
Desviación de la varilla (máx) debajo de los 5 m, %	0.2	---
Excentricidad de la varilla (máx), mm	0.2	0.2
Diámetro exterior de la varilla, mm	32 ± 0.3	41.2
Diámetro interior de la varilla, mm	---	---
Angulo del cono, grados	90	60
Area en la base del cono, cm²	20	32
Diámetro del cono, mm	51± 0.5	63.5
Diámetro mín. del cono, mm	49	---
Long. del manguito del cono, mm	51± 0.2	50± 0.5
Angulo superior del cono, °	11	---
Long. de la punta del cono, mm	25.3 ± 0.4	25 ± 0.2
Máx. desgaste de la punta, mm	5	---
Número de golpes por cm de penetración	20 cm; N₂₀	15 cm / 30 cm; C_n
Rango estándar de golpes	5 – 100	---
Trabajo específico por golpe MgH/A, kJ/m²	238	149³

¹ Según ISSMFE (1,989), UNE 103-801-94 y BS 1377: Part 9 : 1994.

² Según norma E.050 (2,006).

³ Valor calculado.

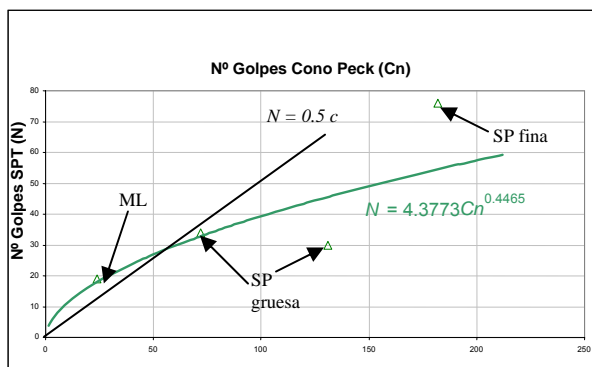


Figura 6. Correlación entre SPT y CP para diferentes suelos arenosos y limosos secos.

Análogamente, se han efectuado pruebas SPT y CP sobre arcillas de mediana plasticidad, cuyas correlaciones se muestran en la Figura 7. Se observa una correlación consistente en los estratos arcillosos puros (CL); y se observa asimismo que hasta $C_n = 50$ la ec. 1 es conservadora.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La técnica de auscultación de suelos usando el Cono de Peck es única en el mundo y no cuenta con una norma de ensayo que la avale. Se recomienda al Comité Encargado de la Revisión de la norma

E.050 del R.N.E., presentar a INDECOPI, una norma específica denominada “Prueba de Penetración Dinámica con el Cono de Peck”, elaborada en base a la norma española UNE 103-801-94, con las correcciones indicadas a pie de la Tabla N° 2 de dicha norma, toda vez que la E.050 es una norma de aplicación y no una de ensayos, con el agravante de tener modificaciones sustanciales no en el mismo Anexo, sino como nota de pie de tabla, que puede inducir a severos errores a los usuarios de la norma.

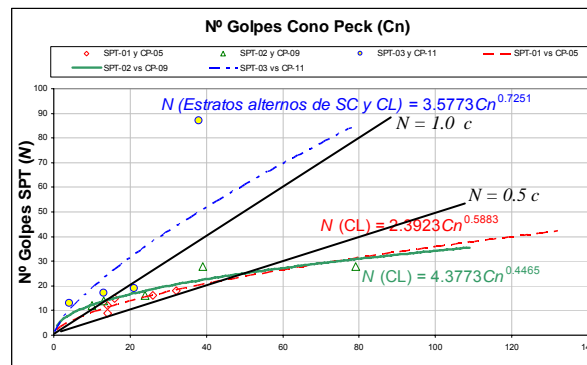


Figura 7. Correlación entre SPT y CP para diferentes suelos arcillosos sin N.F.

- El CP permite un registro continuo pero “ciego” de la resistencia a la penetración, ya que no es posible conocer los tipos de suelos que está atravesando, por lo que requiere de técnicas adicionales de investigación para su validación, tales como calicatas, trincheras o perforaciones, incluyendo muestreo. Esto invalida a las auscultaciones hechas con el CP en el fondo de perforaciones hechas para pruebas SPT.
- La correlación $N = 0.5 N_c$, solamente ha sido validada para suelos arenosos finos del tipo SP [Moreno, D. J. J. (1,998)], por lo que el CP no debe usarse indiscriminadamente en todo tipo de suelos, sin una correlación previa con el SPT. En depósitos de suelos arenosos comprobadamente uniformes, se recomienda un SPT por cada cinco CP como máximo.
- La correlación $N = 1.0 N_c$ que algunos Consultores utilizan para suelos arcillosos, no ha sido validada y puede inducir a graves errores por exceso, por lo que se recomienda efectuar correlacionar un SPT por cada tres CP como máximo, en suelos arcillosos.
- No es posible establecer una correlación entre el N del SPT con el C_n del CP en suelos gravosos, con grava o con bolonería, toda vez que el SPT no es aplicable a esos tipos de suelos. En consecuencia, el Cono de Peck no debe usarse en ningún tipo de suelo gravoso, a menos que se quiera verificar una profundidad o potencia. En este caso, se recomienda cambiar el Cono de Peck (a 60°, ver Figura 3) por el cono del DPSH (a 90°, ver Figura 5), a fin de conseguir un mayor trabajo específico de hincia por golpe.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

BS 1377: Part 9: 1,990. British Standard Methods of test for Soils for civil engineering purposes. Part 9. In situ tests.

ISSMFE. (1,988). Dynamic Probing (DP): Internacional referent test procedure. Penetration Testing 1988, ISOPT-1, De Ruiters (ed.). Balkema Rotterdam, ISBN 90 61 91 801 4.

ISSMFE. (1,989). Report of the ISSMFE Technical Committee on Penetration Testing of Soils – TC 16. Appendix C: International Reference Test Procedures for Dynamic Probing (DP).

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2,006). Reglamento Nacional de Edificaciones. D.S. N° 011-2006-Vivienda del 5 de Mayo del 2,006.

Moreno, D. J. J. (1,998). Correlación del SPT y Cono de Peck – Limitaciones de su Uso. VIII Congreso Nacional GeoLima'98.

Norma Española UNE 103-801:1994. Geotecnia. Pruebas de Penetración Super Pesada. Julio 1994.

Peck, R.; Hanson, W. y Thornburn, T. (1,953). Foundation Engineering, pag. 109. John Wiley & Sons, Inc.

RM + Ass (1,971) Estudio de Suelos Definitivo para la Ciudad Satélite Buenos Aires, presentado al Proyecto Chimbote – CRYRZA del Ministerio de Vivienda.