

CORRECCIÓN DEL ÍNDICE DE RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN (SPT) CONSIDERANDO LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL EQUIPO

Pietro DE MARCO Z.

Universidad Central de Venezuela. Fac. Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Dept. Minas. Caracas.
Correo-e: pietrodemarco@cantv.net

RESUMEN

Se presentan las correcciones que deben aplicarse a los índices de penetración (N_{SPT}) de campo, de acuerdo con el Procedimiento Internacional de Referencia (IRTP), con el fin de obtener los valores de $N_{1(60)}$, requeridos en la utilización de las nuevas correlaciones y para la interpretación de la forma espectral del subsuelo, definida en la nueva Norma para Edificaciones Sismorresistentes COVENIN 1756-1998.

Se deduce el valor del factor de corrección (C) por el cual deben ser afectados los índices de campo, para referirlos a una energía del 60%, considerando la energía incidente neta (E_i) para Venezuela. Así mismo, se presenta una expresión simplificada para determinar el (C_N), que considera el efecto de confinamiento.

Finalmente, se proponen algunas correlaciones entre los parámetros de resistencia al corte y los valores de $N_{1(60)}$ del subsuelo.

INTRODUCCIÓN

La tendencia mundial en la interpretación del ensayo de penetración estándar (SPT), es considerar que la energía teórica suministrada por el equipo de perforación durante la realización de la prueba en campo, debe ser ajustada y referida a una energía de referencia del 60 ó 70%, para obtener los valores corregidos del N_{SPT} que serán utilizados en las diferentes correlaciones que permiten estimar los parámetros de resistencia al corte.

Así mismo, la norma COVENIN 1756-98, Edificaciones Sismorresistentes, sugiere definir la forma espectral del perfil del subsuelo de fundación, con base en correlaciones entre el Índice SPT y los valores característicos para la velocidad de propagación de las ondas de corte en el subsuelo.

En concordancia con el estado actual de conocimientos sobre el Ensayo de Penetración Estándar (SPT), el índice de penetración utilizado en las correlaciones ($N_{1(60)}$), corresponde al número de golpes SPT corregido por efecto de la presión de confinamiento y por la eficiencia energética del equipo.

El objetivo principal de este artículo es presentar en una forma simplificada, como obtener el valor del factor de corrección (C) por el cual deben ser afectados los índices de campo, para referirlos a una energía de entrega del 60%, considerando la energía incidente neta (E_i) para Venezuela y de acuerdo con el Procedimiento Internacional de Referencia (IRTP 1988). Para completar la corrección en materiales granulares, se propone una expresión simplificada para determinar el (C_N), que considera el efecto de la presión de confinamiento, en la resistencia a la penetración.

En el desarrollo del trabajo se plantean diferentes correlaciones para estimar el ángulo de fricción interna (ϕ) en suelos granulares, y la resistencia al corte en suelos cohesivos y en rocas descompuestas, utilizando los valores de $N_{1(60)}$.

ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR SPT

A manera de resumen y como recordatorio, se presentan a continuación algunas de las consideraciones básicas del ensayo de penetración estándar.

El SPT determina la resistencia que ofrece el suelo (en el fondo de una perforación) a la penetración de un muestreador circular de acero, que a la vez, permite recuperar una muestra perturbada para fines básicamente de identificación. La resistencia a la penetración puede ser relacionada con las características y variables del terreno, principalmente en suelos granulares y arcillas saturadas.

El fundamento del ensayo consiste en dejar caer un martillo de 63,5 kg de peso sobre una cabeza de hınca, desde una altura de 76 cm. El número de golpes necesario para lograr la penetración de 30 cm del muestreador (luego de su descenso por gravedad e hınca de 15 cm para apoyo) se reporta como resistencia a la penetración N_{SPT} .

El izado del martillo típicamente se realiza mediante un mecate de yute ($\varnothing 7/8''$), con dos vueltas alrededor del tambor del malacate, con una rata máxima de aplicación de 30 golpes por minuto, es decir, un golpe cada 2 seg.

El extremo superior del sacamuestras (*cuchara partida*) que sirve de acople a barras, debe tener una válvula sin retorno, con agujeros de alivio para expulsar aire o agua que pueda entrar al sistema. La válvula debe

proporcionar un sello o barrera para que el agua no afecte a la muestra durante el alzado del muestreador.

La perforación debe estar limpia antes de realizar el ensayo y la prueba se realiza en suelo no disturbado, en el fondo del sondeo. Si se usa agua para el avance y limpieza, debe utilizarse un sistema que permita la descarga lateral del fluido de perforación, por lo menos 10 cm por encima del extremo (punta) del útil cortante. No debe permitirse la mala práctica de inyectar agua a través del muestreador (eliminando la válvula superior) y tomar la muestra inmediatamente en la profundidad deseada.

El peso de las barras de perforación debe estar entre 5 y 8 kg/m, siendo las más utilizadas en Venezuela las del tipo AW, de aproximadamente 20 kg de peso por elemento de 3 m de longitud. El diámetro de la perforación debe ser el menor posible, y debe estar entre 63 y 150 mm.

Es importante recordar que en el muestreo de arenas y limos, el nivel del agua de perforación debe mantenerse por encima del nivel freático, especialmente mientras se izan las barras de perforación, lo cual crea un gradiente hidráulico ascendente que ocasiona una disminución de los esfuerzos efectivos, que puede inducir a la licuación de los materiales en el fondo del sondeo y la pérdida de la muestra.

PROCEDIMIENTO INTERNACIONAL DE REFERENCIA DEL ENSAYO SPT

El estado del conocimiento adquirido durante los últimos años en la investigación del subsuelo a partir del ensayo de penetración estándar, ha mostrado la necesidad de medir o evaluar la energía de entrega o incidente para lograr la hincada del muestreador durante el ensayo. La tendencia de las investigaciones, se ha orientado a proponer correcciones a los valores obtenidos en los procedimientos rutinarios, normalizando los valores del número de golpes a una energía de referencia, que permita la generalización de las correlaciones empíricas entre las propiedades de los materiales del subsuelo y hacerlas comparables a nivel mundial.

Para la realización de ensayos cuyos resultados sean comparables mundialmente, DÉCOURT *et al.* (1988), propusieron el Procedimiento Internacional de Referencia para el Ensayo de Penetración Estándar (IRTP), basados en su propia experiencia y en múltiples publicaciones y reportes de estados del arte presentados al respecto. Un resumen de los procedimientos propuestos, así como de algunas de las modificaciones y restricciones posteriores, se presentan a continuación:

Procedimiento para la hincada del muestreador

Hincada para asiento del muestreador: Con el fin de considerar la falta de apoyo del muestreador al inicio de

la prueba, la *cuchara partida* debe hincarse hasta lograr una penetración de 15 cm en el suelo, registrando el número de golpes requerido para alcanzar dicha penetración. Si los 15 cm de penetración no se obtienen en 50 golpes, se detiene la hincada, se registra la profundidad de penetración obtenida y se tomará como punto de inicio para el ensayo.

Hincada para la realización del ensayo: El número de golpes requerido para lograr los siguientes 30 cm de penetración, es denominado resistencia a la penetración N_{SPT} , registrando el valor requerido para cada intervalo de 15 cm.

La hincada debe suspenderse al alcanzar los 50 golpes durante la realización del ensayo en cualquiera de los intervalos de 15 cm, registrando la penetración parcial alcanzada.

Si no se alcanza la penetración de 45 cm, debe aplicarse el concepto de resistencia a la penetración extrapolada (N_{EXT}), definido por Décourt *et al.* (1989), adoptando: $N_{EXT} = 4 N_1 \text{ ó } N_{EXT} = 2,4 N_2$ donde N_1 es el número de golpes para lograr la penetración de los primeros 15 cm del muestreador en el subsuelo y N_2 para la penetración de 15 cm a 30 cm. Se sugiere reportar el menor de estos valores.

Principales factores de corrección.

Si se considera que la energía teórica por caída libre del martillo es:

$$E^* = W_M \times h = 63,5 \text{ kg} \times 0,76 \text{ m} = 48,26 \text{ kg.m}$$

entonces las pérdidas de energía necesariamente involucradas en los procedimientos asociados al ensayo, imponen la necesidad de considerar los siguientes factores de eficiencia que afectan el valor de E^* , para así, obtener la energía incidente neta, E_i :

$$E_i = e_1 \times e_2 \times e_3 \times E^* \text{ siendo:}$$

- e_1 : Eficiencia dada por el método de levantar y soltar el martillo. Es un factor de corrección de energía cinética y es función del número de vueltas del mecate alrededor del tambor del malacate y de su diámetro (SKEMPTON 1986). Considerando que se recomienda utilizar 2 vueltas y que el diámetro del tambor comúnmente utilizado es de 20 cm, este factor varía entre 0,57 y 0,75, de acuerdo al gráfico presentado por Skempton, el cual se reproduce en la Fig. 1.

- e_2 : Eficiencia o pérdida de transmisión de energía del martillo al *cabezote* (yunque) y que depende básicamente del peso del último. En el país se utilizan *cabezotes* de hincada, que además, poseen un acople para el alzado de los forros, por lo que su peso es generalmente de unos 8 kg. Para esta condición, se obtiene de la gráfica correspondiente, que el factor de eficiencia por *entrega* (SCHMERTMANN & PALACIOS 1979) varía entre 0,65 y 0,81 (Fig. 2).

- e_3 : Eficiencia por longitud crítica del varillaje de perforación. La longitud crítica es aquella para la cual el

propio peso de las barras es igual al del martillo (Schmertmann & Palacios *op. cit.*). Cuando la longitud del varillaje es menor que la longitud crítica, debe

aplicarse un factor de eficiencia (e_3) que depende de la relación (m) entre el peso del varillaje y del martillo.

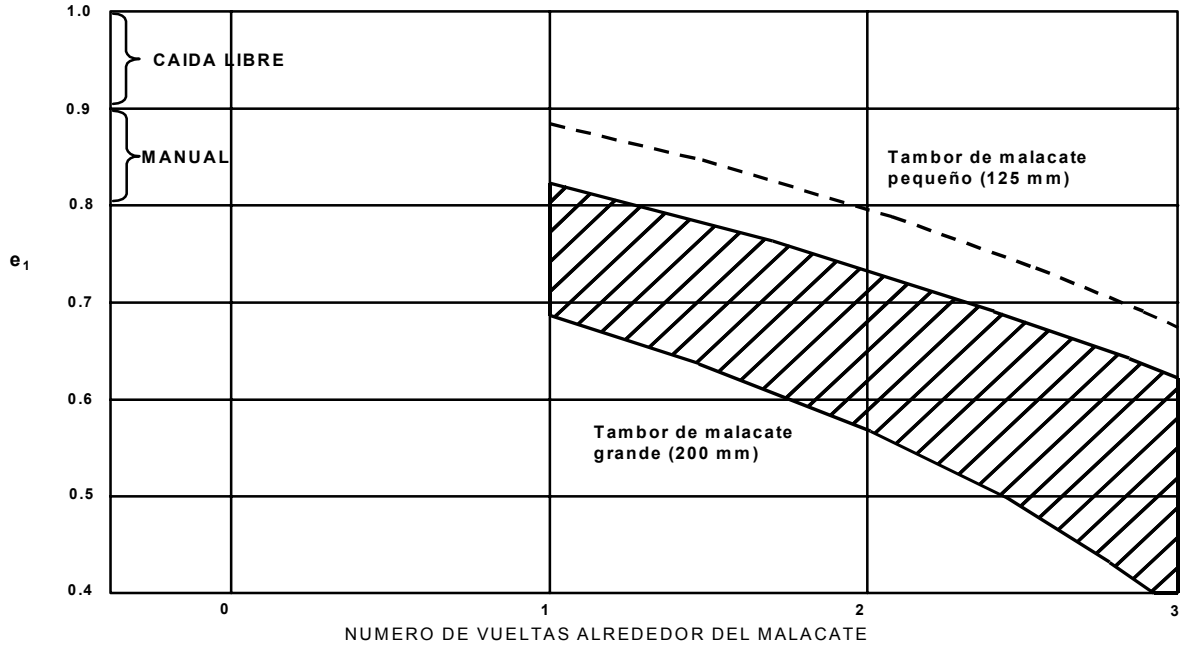


Figura No. 1 Factor de eficiencia e_1 en función del mecanismo de liberación del martillo (Tomado de Décourt, 1989)

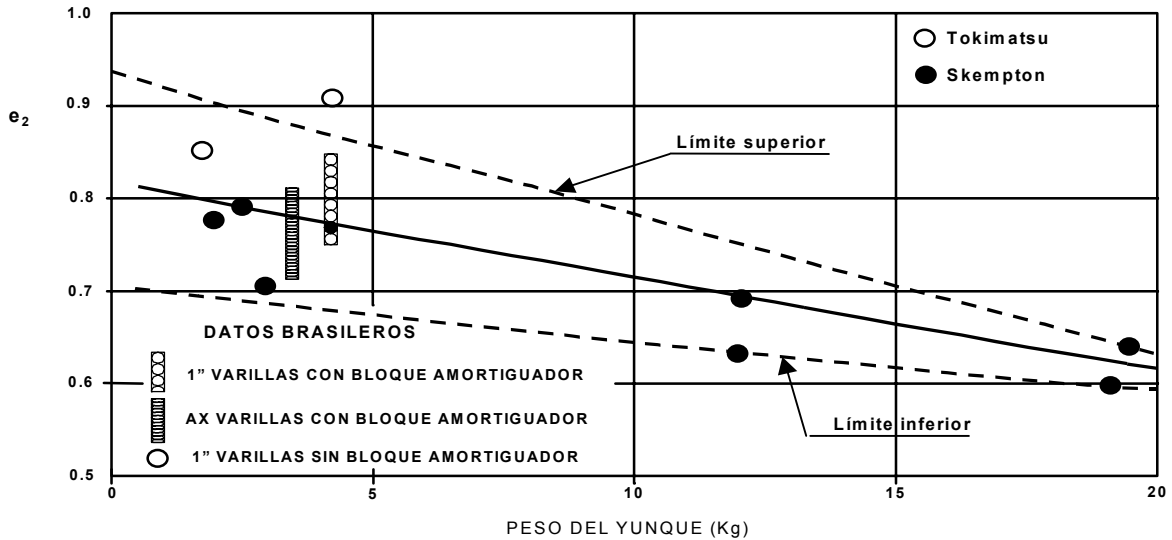


Figura No. 2 Factor de eficiencia e_2 en función del peso del yunque (cabezote de hinca) (Tomado de Décourt, 1989)

La Tabla 1 adaptada del IRTP, muestra los valores de e_3 en función de m , los cuales para mayor ilustración, se

han relacionado además, con la longitud del varillaje de perforación en metro.

Tabla 1: Factor de eficiencia e_3 , en función de m .

m	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
e_3	0,33	0,55	0,70	0,80	0,85	0,90	0,93	0,96	0,99	1,0
Long. (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Considerando que el muestreador (*cuchara partida*) tiene una longitud de unos 80 cm, la profundidad de la toma de muestra puede considerarse igual a la longitud del varillaje, con excepción de los dos primeros metros, en los cuales se utiliza por lo general, la mitad de la barra (1.5 m) o directamente una barra. En este sentido y en concordancia con las recomendaciones de SEED (1985) y SKEMPTOM & PALACIOS (1979), se sugiere limitar el valor de e_3 a 0,75.

En resumen, para ensayos SPT realizados a profundidades iguales o mayores a los 10 m, se recomienda utilizar un valor de $e_3 = 1.0$, en los primeros 3 m del perfil utilizar un factor de reducción de 0,75, y entre 4 y 9 m de profundidad, aplicar los valores presentados en la tabla anterior.

Considerando el promedio de los valores presentados para los factores e_1 y e_2 , y para ensayos realizados a profundidades \geq a 10 m, se obtendría para Venezuela que: $E_i = e_1 \times e_2 \times e_3 \times E^* = 0,66 \times 0,73 \times 1 \times 48,26 \text{ kg.m} = 23,25 \text{ kg.m}$.

Es decir, la eficiencia energética del sistema ($n = E_i/E^*$) es del 48 %, teniendo presente que el valor debe corregirse por el correspondiente factor e_3 , para las pruebas realizadas hasta los 9 m de profundidad.

Finalmente, con el objeto de simplificar el procedimiento de corrección y para fines prácticos, se sugiere considerar, al igual que como se hizo para los factores e_1 y e_2 , un promedio de los valores de e_3 entre 4 y 9 m de profundidad (0,88), proponiendo así, para los ensayos realizados en Venezuela, una energía incidente o eficiencia energética promedio de $n = 42\%$

Resulta interesante señalar que, DÉCOURT *et al.* (1989), presenta en su tabla de Valores de Energía de Entrega promedio para diferentes países, una eficiencia energética para Venezuela, del 43 %.

Energía incidente de referencia (60%)

Hay un consenso mundial en que los valores de N_{SPT} deben ser normalizados (o referidos) a una energía estándar, desde que SCHMERTMANN & PALACIOS (1979), probaron que los valores del número de golpes son inversamente proporcionales a la llamada energía incidente o de entrega: $N_1/N_2 = E_2/E_1$

La mayoría de los investigadores e ingenieros argumentan que para propósitos de comparación, una energía de entrega del 60% de la energía teórica por caída libre, debe ser considerada como referencia (N_{60}), valor igualmente recomendado en la Norma Venezolana objeto de este estudio. En este sentido y sustituyendo el

valor de eficiencia energética propuesto, en la ecuación anterior, se obtiene que:

$$N_{60} = N_{SPT} \times E_{42}/E_{60} = N_{SPT} \times 42/60$$

Es decir, que el factor (C) por el cual deberían ser afectados los valores de N_{SPT} de campo obtenidos en Venezuela, para referirlos a una energía incidente del 60% , es: $N_{60} = 0,7 \times N_{SPT}$

Influencia del nivel de esfuerzos

La resistencia a la penetración en arcillas, es muy poco afectada por la profundidad o mas precisamente por el incremento de la presión de sobrecarga; sin embargo, en arenas esta resistencia depende esencialmente de la presión de confinamiento.

Muchos factores de corrección han sido propuestos para tomar en cuenta el efecto de la presión de sobrecarga, en los índices de resistencia a la penetración. La idea mas aceptada es que dichos índices sean normalizados al valor correspondiente bajo una presión efectiva vertical de 10 t/m².

Una revisión de los factores de corrección propuestos recientemente, permiten sugerir la utilización del siguiente factor de fácil obtención: $C_N = (10/\sigma'_{vo})^{0,5}$ donde σ'_{vo} : Esfuerzo vertical efectivo a la profundidad del ensayo (para $\sigma'_{vo} \geq 2,5 \text{ t/m}^2$)

Como conclusión de los análisis realizados en los puntos anteriores, se propone que los valores $N_{1(60)}$ a utilizar para estimar mediante correlaciones, el ángulo de fricción (ϕ) ó las velocidades de transmisión de las ondas de corte (V_s), en arenas, sean obtenidos mediante la siguiente expresión simplificada: $N_{1(60)} = 0,7 \times C_N \times N_{SPT}$.

En este sentido, para facilidad de los profesionales que necesiten utilizar las correlaciones se ha preparado la Tabla 2, de la cual se puede obtener el valor de $N_{1(60)}$ correspondiente a un valor de N_{SPT} de campo, modificado por eficiencia energética del equipo, referido al 60% de energía incidente y corregido por efecto de la presión de sobrecarga, σ'_{vo} .

CORRELACIONES

Los resultados de la prueba de penetración estándar, son ampliamente utilizados para establecer correlaciones con el ángulo de fricción del material (ϕ), la densidad relativa (D_r), el peso unitario (γ), la resistencia al corte sin drenar (s_u) e incluso, para estimar el módulo esfuerzo-deformación (E_s).

Tabla 2. Índice de penetración n_{spt} de campo referidos al 60% de energía corregidos por efecto del esfuerzo efectivo vertical ($n_{1(60)}$)

σ_{vo} t/m ²	2,5	5	10	15	20	30	40	50	σ_{vo} t/m ²	2,5	5	10	15	20	30	40	50
N	(N ₁)	(N ₁)	(N ₁)	(N ₁)	(N ₁)	(N ₁)	(N ₁)	(N ₁)	N	(N ₁)	(N ₁)	(N ₁)	(N ₁)	(N ₁)	(N ₁)	(N ₁)	(N ₁)
CAMPO	60	60	60	60	60	60	60	60	CAMPO	60	60	60	60	60	60	60	60
0	0	0	0	0	0	0	0	0	51	71	50	36	29	25	21	18	16
1	1	1	1	1	0	0	0	0	52	73	51	36	30	26	21	18	16
2	3	2	1	1	1	1	1	1	53	74	52	37	30	26	21	19	17
3	4	3	2	2	1	1	1	1	54	76	53	38	31	27	22	19	17
4	6	4	3	2	2	2	1	1	55	77	54	39	31	27	22	19	17
5	7	5	4	3	2	2	2	2	56	78	55	39	32	28	23	20	18
6	8	6	4	3	3	2	2	2	57	80	56	40	33	28	23	20	18
7	10	7	5	4	3	3	2	2	58	81	57	41	33	29	23	20	18
8	11	8	6	5	4	3	3	3	59	83	58	41	34	29	24	21	18
9	13	9	6	5	4	4	3	3	60	84	59	42	34	30	24	21	19
10	14	10	7	6	5	4	4	3	61	85	60	43	35	30	25	21	19
11	15	11	8	6	5	4	4	3	62	87	61	43	35	31	25	22	19
12	17	12	8	7	6	5	4	4	63	88	62	44	36	31	25	22	20
13	18	13	9	7	6	5	5	4	64	90	63	45	37	32	26	22	20
14	20	14	10	8	7	6	5	4	65	91	64	46	37	32	26	23	20
15	21	15	11	9	7	6	5	5	66	92	65	46	38	33	27	23	21
16	22	16	11	9	8	6	6	5	67	94	66	47	38	33	27	23	21
17	24	17	12	10	8	7	6	5	68	95	67	48	39	34	27	24	21
18	25	18	13	10	9	7	6	6	69	97	68	48	39	34	28	24	22
19	27	19	13	11	9	8	7	6	70	98	69	49	40	35	28	25	22
20	28	20	14	11	10	8	7	6	71	99	70	50	41	35	29	25	22
21	29	21	15	12	10	8	7	7	72	101	71	50	41	36	29	25	23
22	31	22	15	13	11	9	8	7	73	102	72	51	42	36	30	26	23
23	32	23	16	13	11	9	8	7	74	104	73	52	42	37	30	26	23
24	34	24	17	14	12	10	8	8	75	105	74	53	43	37	30	26	23
25	35	25	18	14	12	10	9	8	76	106	75	53	43	38	31	27	24
26	36	26	18	15	13	11	9	8	77	108	76	54	44	38	31	27	24
27	38	27	19	15	13	11	9	8	78	109	77	55	45	39	32	27	24
28	39	28	20	16	14	11	10	9	79	111	78	55	45	39	32	28	25
29	41	29	20	17	14	12	10	9	80	112	79	56	46	40	32	28	25
30	42	30	21	17	15	12	11	9	81	113	80	57	46	40	33	28	25
31	43	31	22	18	15	13	11	10	82	115	81	57	47	41	33	29	26
32	45	32	22	18	16	13	11	10	83	116	82	58	47	41	34	29	26
33	46	33	23	19	16	13	12	10	84	118	83	59	48	42	34	29	26
34	48	34	24	19	17	14	12	11	85	119	84	60	49	42	34	30	27
35	49	35	25	20	17	14	12	11	86	120	85	60	49	43	35	30	27
36	50	36	25	21	18	15	13	11	87	122	86	61	50	43	35	30	27
37	52	37	26	21	18	15	13	12	88	123	87	62	50	44	36	31	28
38	53	38	27	22	19	15	13	12	89	125	88	62	51	44	36	31	28
39	55	39	27	22	19	16	14	12	90	126	89	63	51	45	36	32	28
40	56	40	28	23	20	16	14	13	91	127	90	64	52	45	37	32	28
41	57	41	29	23	20	17	14	13	92	129	91	64	53	46	37	32	29
42	59	42	29	24	21	17	15	13	93	130	92	65	53	46	38	33	29
43	60	43	30	25	21	17	15	13	94	132	93	66	54	47	38	33	29
44	62	44	31	25	22	18	15	14	95	133	94	67	54	47	38	33	30
45	63	45	32	26	22	18	16	14	96	134	95	67	55	48	39	34	30
46	64	46	32	26	23	19	16	14	97	136	96	68	55	48	39	34	30
47	66	47	33	27	23	19	16	15	98	137	97	69	56	49	40	34	31
48	67	48	34	27	24	19	17	15	99	139	98	69	57	49	40	35	31
49	69	49	34	28	24	20	17	15	100	140	99	70	57	49	40	35	31
50	70	49	35	29	25	20	18	16	101	141	100	71	58	50	41	35	32

La validez de las correlaciones ha sido siempre objeto de discusión, sin embargo, el conocimiento del problema específico, la experiencia y el uso prudente de los resultados obtenidos, permitirá su aplicación en la solución de problemas de fundaciones, estabilidad de taludes y vialidad. La revisión y adaptación de las correlaciones recientes, permiten sugerir el uso de las siguientes expresiones simplificadas:

En arenas

La resistencia a la penetración en arenas, es un reflejo de su capacidad portante, lo que puede relacionarse directamente con el ángulo de fricción (ϕ), utilizando algunas de las siguientes relaciones:

$$\phi = (15 N_{1(60)})^{0.5} + 15 \text{ para vialidad y puentes}$$

(adaptada del Japanese Railway Standards –JRS–)

$$\phi = 0,3 N_{1(60)} + 27 \text{ para fundaciones superficiales}$$

(adaptada del JRS)

El autor propone para uso general las siguientes expresiones:

$$\phi = 25 + 0,63 N_{1(60)} \text{ para } 5 \leq N_{1(60)} \leq 20$$

$$\phi = 34 + 0,18 N_{1(60)} \text{ para } 20 < N_{1(60)} \leq 70$$

A manera de comparación y para facilidad de los profesionales que necesiten utilizar las correlaciones, se elaboró la Tabla 3, de la cual se puede obtener el valor de ϕ correspondiente a un valor de $N_{1(60)}$, para las diferentes ecuaciones propuestas.

En arcillas

Para estimar la resistencia a la compresión sin confinar (q_u) y la resistencia al corte sin drenar (s_u) en suelos cohesivos saturados, se propone utilizar las siguientes expresiones:

$$q_u = 0.10 N_{(60)} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

$$s_u = 0.05 N_{(60)} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

En roca descompuesta

Para lutitas o esquistos cuarzo - micáceos, descompuestos, la resistencia al corte puede estimarse utilizando con prudencia las siguientes expresiones:

$$s = 0.066 N_{(60)} \text{ (kg/cm}^2\text{) para } 5 \leq N_{(60)} \leq 40$$

$$s = 0.083 N_{(60)} \text{ (kg/cm}^2\text{) para } 40 < N_{(60)} \leq 70$$

Tabla 3. Comparación entre las diferentes correlaciones de $n_{1(60)}$ y ϕ

$(N_1)_{60}$	ϕ vías	ϕ_{fund}	ϕ_{PDM}	$(N_1)_{60}$	ϕ vías	ϕ_{fund}	ϕ_{PDM}
5	24	29	28	38	39	38	41
6	24	29	29	39	39	39	41
7	25	29	29	40	39	39	41
8	26	29	30	41	40	39	41
9	27	30	31	42	40	40	42
10	27	30	31	43	40	40	42
11	28	30	32	44	41	40	42
12	28	31	33	45	41	41	42
13	29	31	33	46	41	41	42
14	29	31	34	47	42	41	42
15	30	32	34	48	42	41	43
16	30	32	35	49	42	42	43
17	31	32	36	50	42	42	43
18	31	32	36	51	43	42	43
19	32	33	37	52	43	43	43
20	32	33	38	53	43	43	44
21	33	33	38	54	43	43	44
22	33	34	38	55	44	44	44
23	34	34	38	56	44	44	44
24	34	34	38	57	44	44	44
25	34	35	39	58	44	44	44
26	35	35	39	59	45	45	45
27	35	35	39	60	45	45	45
28	35	35	39	61	45	45	45
29	36	36	39	62	45	46	45
30	36	36	39	63	46	46	45
31	37	36	40	64	46	46	46
32	37	37	40	65	46	47	46
33	37	37	40	66	46	47	46
34	38	37	40	67	47	47	46
35	38	38	40	68	47	47	46
36	38	38	40	69	47	48	46
37	39	38	41	70	47	48	47

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La metodología propuesta se basa en los criterios presentados en el Procedimiento Internacional de Referencia (IRTP) y permite deducir una expresión simplificada para obtener los valores de $N_{1(60)}$ en Venezuela.

Se recomienda aplicar el concepto de N_{EXT} , para la obtención del índice de penetración en los casos en los cuales no se logra la penetración total del muestreador, durante la realización del ensayo SPT.

En la actualidad, la prueba de penetración normal (SPT), sigue siendo un complemento útil y de bajo costo, para estimar la capacidad de carga y resistencia al corte, principalmente de materiales arenosos.

Las correlaciones recomendadas, pueden ser utilizadas como una forma conservadora de estimar la capacidad de carga y resistencia al corte de los materiales en estudio. Sin embargo, la realización de pruebas en sitio y de ensayos de laboratorio, permitiría aprovechar el máximo de la capacidad de los materiales a utilizar en el diseño geotécnico.

La últimas recomendaciones tendientes a uniformizar el procedimiento para la realización de la prueba SPT y su normalización a una energía de referencia, ha promovido el establecimiento de correlaciones de uso confiable, que seguramente permitirán formular correlaciones de uso universal en el diseño de fundaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- ALVIAR, J. D., J. I. PENELA. & H. ECHEZURÍA. 1986. Desarrollo de un sistema de medición para evaluar la eficiencia energética en el campo del SPT. *Memorias IX Seminario de Geotecnia*, SVMSIF, Caracas, p. 1-28
- BOWLES J. 1991. *Foundation Analysis and Design*. Mc Graw Hill, New York, 816 p.
- COVENIN. 1999. *Norma 1756-98. Edificaciones sismo-resistentes*. Fondonorma, Caracas, 113 p.
- DÉCOURT L., MUROMACHI, NIXON, SCHMERTMANN, THORNBURN & ZOLKOV. 1988. The Standard Penetration Test, State of the art report. *ISOPT I*, Orlando, USA, 3:26.
- , BELICANTA & QUARESMA FILHO. 1989. *Brazilian experience on SPT*.
- DE MARCO P. 2000. Determinación de la forma espectral tipificada del terreno de acuerdo con la norma COVENIN 1756-98. *Memorias XVI Seminario Venezolano de Geotecnia*, SVMSIF, Caracas, p. 363-374.
- SKEMPTON A. W. 1986. Standard Penetration Test, procedures and the effects in sand of overburden pressure, relative density, particle size, ageing and over consolidation. *Géotechnique*, 36(3): 425-447.
- SCHMERTMANN J. & A. PALACIOS. 1979. Energy dynamics of SPT. *ASCE Journal of the Geotechnical Engineering Division*, 105(GT 8): 909-926.
- SEED H. B. et al. 1985. Influence of SPT in soil liquefaction resistance evaluation. *ASCE Journal of the Geotechnical Engineering Division*, 12: 1425- 1445