



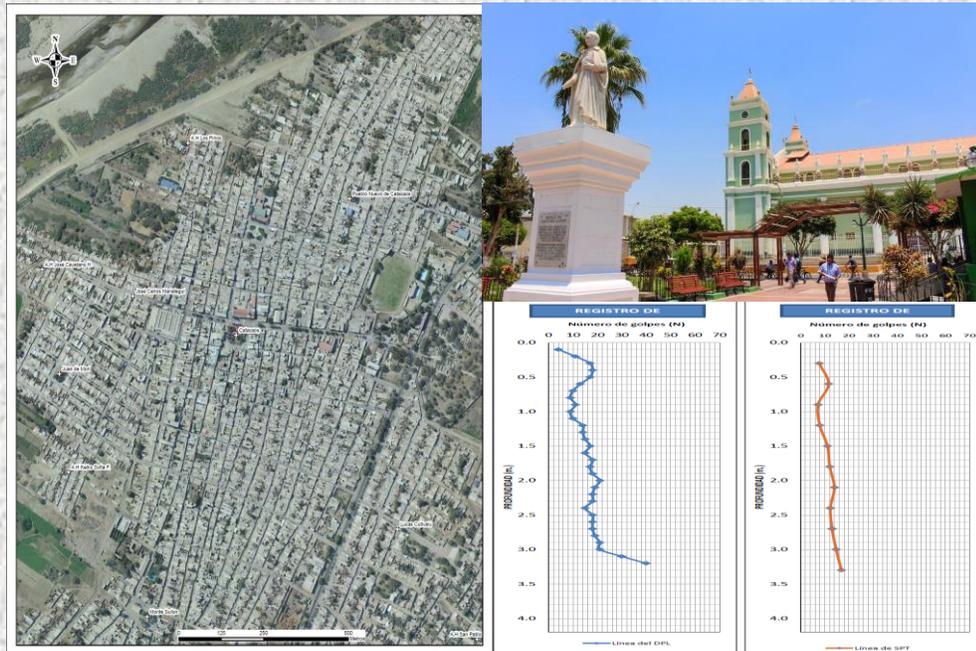
PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú



ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA EN SUELOS ARENOSOS EMPLEANDO EL ENSAYO DPL Y SU APLICACIÓN EN LOS ESTUDIOS DE ZONIFICACIÓN SÍSMICA GEOTÉCNICA - CASO CATACAOS



UNIDAD DE GEODINÁMICA SUPERFICIAL

Responsable: Ortiz Yovera, Segundo Carlos

Lima - Perú

2020

**ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA EN SUELOS
ARENOSOS EMPLEANDO EL ENSAYO DPL Y SU APLICACIÓN EN
LOS ESTUDIOS DE ZONIFICACIÓN SÍSMICA GEOTÉCNICA - CASO
DE CATACAOS**

DEPARTAMENTO DE PIURA

Responsable del Proyecto

Ing. Juan Carlos Gómez

Desarrollo del Proyecto

Ing. Segundo Carlos Ortiz

RESUMEN

El Ensayo de Penetración Dinámica Ligera (DPL), forma parte de una serie de ensayos IN SITU, que sirve para estimar el ángulo de fricción interno de los suelos. Aunque el método provee valores estimados, se obtienen resultados razonables iniciales. El objetivo de este ensayo busca estimar, a través del número de golpes, el ángulo de fricción interno mediante el análisis de correlaciones, intentando encontrar cuales se ajustan más a los suelos arenosos de la ciudad de Catacaos.

La información se analizó a través del método experimental, puesto que los resultados son netamente de ensayos realizados. En la ciudad de Catacaos se ejecutaron 10 calicatas a cielo abierto y 14 ensayos DPL. El número de golpes DPL se correlacionaron con el número de golpes SPT. Con el número de golpes SPT se estimó el ángulo de fricción interna de los suelos de cimentación y éstos se compararon con los datos obtenidos a través de laboratorio de suelos.

Como resultado se ha obtenido que, al zonificar el área de estudio por capacidad de carga admisible, esto nos permitió un incremento del 25% del área de trabajo con respecto a realizar el estudio sin el DPL.

Al concluir el desarrollo de la investigación se pudo determinar, con un importante nivel de confianza, la fiabilidad del uso del DPL en los estudios de zonificación sísmica geotécnica, empleando las correlaciones del DPL con el SPT y los datos obtenidos en laboratorio de suelos (corte directo).

Palabras claves: SPT, DPL, capacidad de carga

ÍNDICE

RESUMEN	2
ÍNDICE	3
1.- INTRODUCCIÓN.....	4
1.1.- Objetivo general.....	5
1.2.- Hipótesis	5
1.3.- Área de estudio	5
2.- METODOLOGÍA Y DATOS	7
3.- ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA LIGERA (DPL) – NORMA DIN4094 y NTP 339.159:2001	7
4.- ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT) – NTP 339.133, ASTM D1586.....	9
5.- CORRELACIÓN N_{dpl} con el N_{spt} Y ESTIMACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA.....	10
6- RESULTADOS.....	12
6- CONCLUSIONES.....	17
7- REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS	17

1.- INTRODUCCIÓN

Los estudios geotécnicos del subsuelo son fundamentales para la elaboración de cualquier proyecto de zonificación sísmica geotécnica, porque permite conocer las características del suelo y obtener parámetros necesarios para el dimensionamiento de cualquier tipo de cimentación en las construcciones, a través de diferentes ensayos directos (calicatas) e indirectos (posteos, ensayos DPL, SPT).

El ensayo de Penetración Estándar (SPT), tiene como finalidad la obtención de parámetros de resistencia del suelo (fricción y cohesión), a través de un martillo que tiene 63.5 kg., y una caída de 0.75 m., (altura) y mide el número de golpes para penetrar 0.30 m. de terreno, sin embargo este ensayo resulta muy costoso, complicado y requiere de mucho personal (4 a 8 personas), razón por la cual, se ha decidido correlacionar los valores obtenidos del ensayo de Penetración Dinámica Ligera (DPL) con el SPT y datos obtenidos en el laboratorio de suelos.

Martins y Miranda (2003) informan que el DPL también es utilizado en Europa para correlaciones con la capacidad de carga en fundaciones en Brasil, Nilsson (2003) desarrolló un equipo de DPL y propuso algunas prácticas con este tipo de ensayo. Nilsson y Cunha (2004) señalan el potencial de usar estas pruebas en el dimensionamiento de cimientos profundos, Ávila y Conciani (2005, 2006) señalan las experiencias de usar DPL para estimar la capacidad de carga y sus correlaciones con el ensayo SPT.

El presente trabajo tiene como objetivo correlacionar el número de golpes medidos en campo con el ensayo de DPL con el SPT, con la finalidad de estimar, mediante fórmulas empíricas, el ángulo de fricción interno de los suelos y con ese parámetro calcular la capacidad de carga admisible para cimientos corridos usando la fórmula de Terzaghi, y usarlo en los estudios de zonificación sísmica geotécnica. Ya que con el DPL, por ser un equipo menos costoso y más práctico, nos permite realizar mayor número de sondeos, abarcando mayor área de trabajo de manera confiable.

Debemos recordar que el ensayo DPL no reemplaza al ensayo SPT, ya que cada uno cumple un rol importante de acuerdo al tipo de investigación en los suelos.

1.1.- Objetivo general

- Estimar los parámetros resistentes del suelo de cimentación y con ellos, posteriormente, calcular la capacidad de carga admisible para un cimiento corrido de una vivienda convencional en los estudios de Zonificación sísmica-geotécnica de la ciudad de Catacaos.

1.2.- Hipótesis

¿Es posible correlacionar y calibrar los Ensayos de Penetración Estándar (SPT) con el Ensayo de Penetración Dinámica Ligera (DPL) para suelos no cohesivos, a fin de obtener ciertos parámetros para el cálculo de la capacidad de carga admisible?

1.3.- Área de estudio

El ámbito de estudio corresponde al distrito de Catacaos, ubicado a 11 km al suroeste de Piura, provincia y departamento de Piura, localizada en las coordenadas UTM: 535893 E, 9417975 N y cota promedio de 30 msnm., Figura 01. Limita por el norte con los distritos de Piura y Castilla; por el sur con los distritos de La Arena, Cura Morí y Sechura; por el este con las provincias de Morropón y Lambayeque y por el oeste con las provincias de Paita y Sechura.

Estimación de parámetros de resistencia en suelos arenosos empleando el ensayo DPL y su aplicación en los estudios de Zonificación Sísmica Geotécnica - caso Catacaos

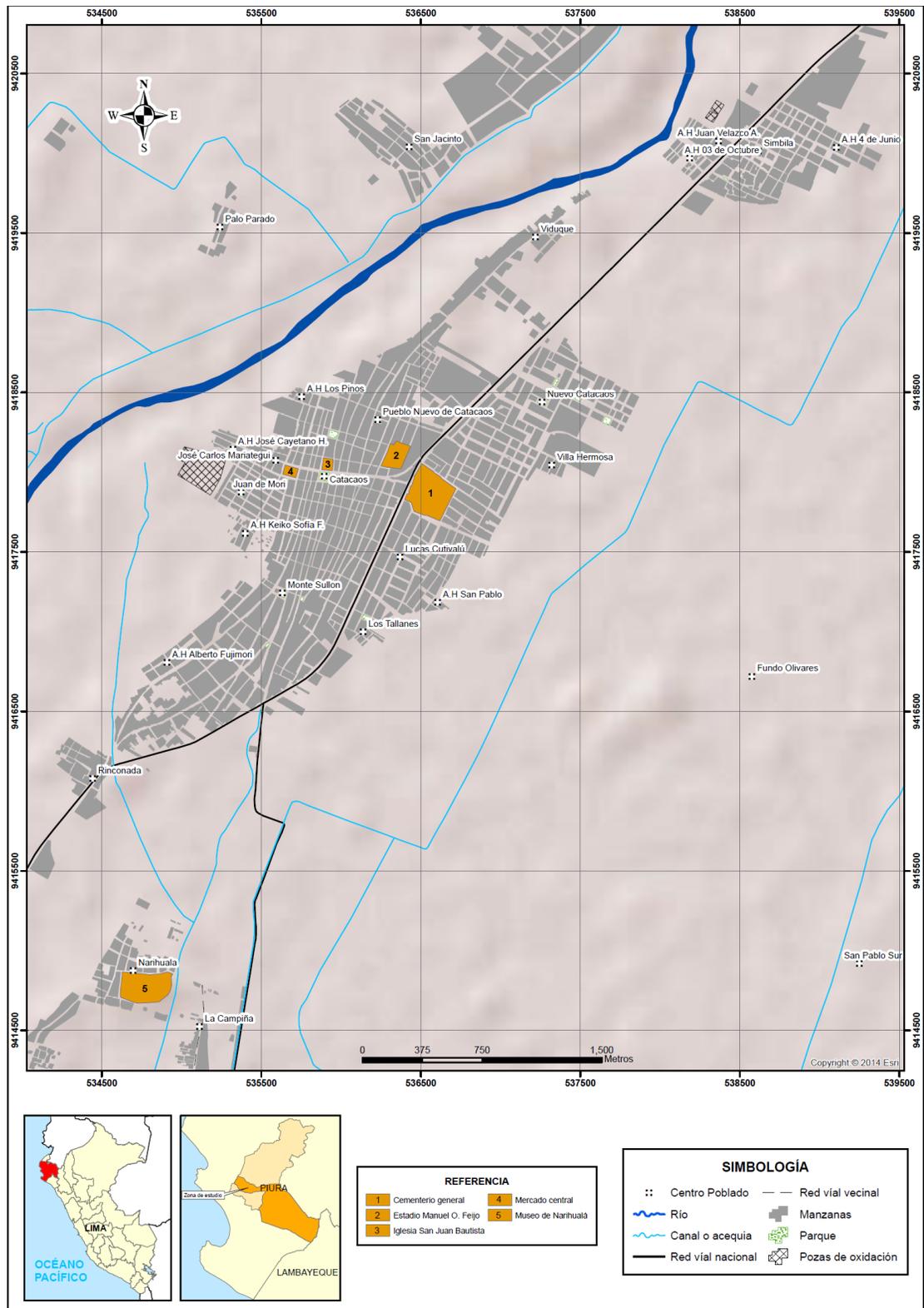


Figura 01: Ubicación del área de estudio

2.- METODOLOGÍA Y DATOS

Se desarrolló una metodología práctica y eficiente para el análisis comparativo del ángulo de fricción interno obtenido mediante los ensayos de corte directo y la correlación del DPL con el SPT, para los suelos presentes en el área urbana de Catacaos.

Luego de obtener el ángulo de fricción interno, se procede a calcular la capacidad de carga admisible usando la teoría de Terzaghi. Para ellos se ha seguido el siguiente proceso:

- Seleccionar los ensayos DPL que se han realizado junto a las calicatas.
- Depurar información que no sea relevante para fines de la investigación, que cuente con los datos que se desea trabajar.
- Realizar un control de calidad con la información resultante, seleccionando solo los DPL que han pasado el metro de profundidad.
- Generar tablas dinámicas en formato Excel para el análisis de correlación del DPL vs SPT con la finalidad de obtener el N_{spt} corregido y algunos parámetros (ángulo de fricción interna y cohesión) para el posterior cálculo de la capacidad de carga admisible, aplicando el criterio de Terzaghi.
- Determinar el % de error en comparación del ángulo de fricción interna calculado con el N_{spt} y el ángulo de fricción interna obtenido con ensayo de laboratorio, así mismo, se realizará lo mismo con el cálculo de la capacidad de carga.

3.- ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA LIGERA (DPL) – NORMA DIN4094 y NTP 339.159:2001

O Dynamic Probing Light, se encuentra normalizado en el Reglamento Nacional de Edificaciones (2006), en el capítulo de E-050 de Suelos y Cimentaciones.

El ensayo DPL es un método de prospección indirecta (auscultación) para análisis geotécnico de suelos que permite estimar la resistencia de los suelos a través del número de golpes.

Es un cono de metal con un diámetro de 35.7 mm y 1.00 m de largo. La punta de este cono tiene un ángulo de 60° . Este cono se introduce al suelo a través de una energía de un martillo de acero con un peso de 10 kg. Este martillo se deja caer por gravedad desde una altura de 0.50 m., medido desde la parte superior del tambor de

acero, para profundizar tramos cada 10 cm., contabilizando el número de golpes (Ndpl), Figura 02, tabla 01.

La auscultación se detendrá cuando en número de golpes “Ndpl” sea mayor a 50 en 10 cm.

La ventaja de este instrumento es que es un equipo muy práctico y se puede transportar fácilmente.

Cabe destacar que, los ensayos DPL requieren investigaciones adicionales de suelos para su interpretación (prospecciones directas como calicatas o perforaciones) y no sustituyen al ensayo de penetración estándar, tampoco se recomienda realizar ensayos DPL dentro de las calicatas debido a la pérdida de confinamiento de los suelos.

En el distrito de Catacaos se han ejecutado 14 ensayos de DPL de los cuales, todos tienen profundidad mayor a un metro, 6 se han realizado junto a una calicata, 2 se encuentran cercana (< 5 m.) a una calicata y 6 no se tiene mayor información, tal como: densidad húmeda y seca, ángulo de fricción interna, cohesión y capacidad de carga última y admisible. Dato que servirán para hacer el análisis comparativo de los parámetros del DPL correlacionado con el SPT.



Figura 02: Equipo y accesorios que conforman el DPL

Tabla 01: Datos técnicos del equipo DPL

Características del equipo	Factor	DPL
Características del martillo	Peso del martillo (kg)	10 ± 0.1
	Altura de caída (m)	0.5 ± 0.01
	Masa guía y yunque (kg)	6
	Rebote (max.)%	50
	Relación largo a Diámetro (D) del martillo	1 ≤ ≤2
	Diámetro de yunque (d), mm	100 <d< 0.5D
Características de la varilla	Longitud de la varilla, m	1 ± 0.1%
	Masa máxima de la varilla, kg/m	3
	Desviación máxima de la varilla en los primeros 5 m, %	0.1
	Desviación máxima de la varilla debajo de los 5 m, %	0.2
	Excentricidad de la varilla (máx.), mm	0.2
	Diámetro exterior de la varilla, mm	22 ± 0.2
	Diámetro interior de la varilla, mm	6 ± 0.2
Características del cono	Ángulo del cono, grados	90
	Área nominal del cono, cm ²	10
	Diámetro del cono nuevo, mm	35.7 ± 0.3
	Diámetro del cono gastado, mm	34
	Longitud tramo recto del cono, mm	35.7 ± 1
	Ángulo de la parte inclinada del cono, grados	11
	Longitud de la punta del cono, mm	17.9 ± 0.1
	Desgaste máx. de la longitud de la punta del cono, mm	3
Penetración	Número de golpes por cm. de penetración	10 cm, N10
	Rango estándar del N° de golpes	3 - 50
Energía por golpe	Trabajo específico por golpe, MgH/A KJ/m ²	50

Fuente: Atala Abad, C (2011). Estudio experimental sobre Cimentaciones en suelos granulares finos (arenas) compactados, usando equipo de penetración

4.- ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT) – NTP 339.133, ASTM D1586

O Standard Penetration Test – SPT, fue desarrollado en la década de 1920 y actualmente es una herramienta más utilizada en la exploración de suelos y existe literatura abundante con respecto al tema. Existen varias revisiones periódicas a la fecha y el método se ha estandarizado como ASTM D 1586, desde 1958.

Este ensayo consiste en hincar un toma muestra partido con un diámetro de 50.8 mm., en la parte inferior de la excavación, acoplado a él una barra de perforación de 45 cm, dividido en 3 secciones de 15 cm. Luego, se deja caer libremente un martillo de 65 kg, de peso desde una altura de 75 cm., contabilizando el número de golpes necesarios para penetrar cada 15 cm.

El valor normalizado de penetración N es para 30 cm., y se expresa en golpes/cm. El ensayo se detiene cuando al superar los 50 golpes en 30 cm., entonces se dice que el suelo ofrece rechazo.

Aunque se dice que es un ensayo estándar, el ensayo tiene muchas variantes en especial al aplicarle la energía para ejecutar los golpes. Es por ello que, para todas esas variantes hay factores de corrección a la energía teoría y el valor del número de golpes (N_{spt}), dentro de las correcciones tenemos, por energía, nivel freático, por eficiencia, por longitud y por corrección de diámetro; con la finalidad de obtener el N_{spt} corregido, dicho valor será usado en los análisis continuos.

5.- CORRELACIÓN N_{dpl} con el N_{spt} Y ESTIMACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA

El ensayo DPL al no contar con correcciones normadas para la obtención del ángulo de fricción interna, es por ello que, los valores obtenidos del número de golpes del ensayo DPL (N_{dpl}) fueron correlacionados con el número de golpes del ensayo de penetración estándar (N_{spt}), a fin de determinar el ángulo de fricción interna corregido, y posteriormente calcular la capacidad de carga admisible usando la fórmula de Terzaghi.

En base a las características del terreno se utilizó un fórmula empírica que relaciona los parámetros de los equipos de DPL y SPT, tales como: peso del martillo, altura de caída del martillo, área de la punta cónica, el espesor de la hinca y el número de golpes obtenidos con el DPL, tal como se detalla a continuación:

$$N_1 = N_2 \frac{W_1 * H_1 * A_2 * e_2}{W_2 * H_2 * A_1 * e_1}$$

Dónde:

N_1 = Número de golpes equivalente en SPT

N_2 = Número de golpes obtenidos en DPL

W_1 = Peso del martillo del DPL

W_2 = Peso del martillo SPT

H_1 = Altura de caída de DPL

H_2 = Altura de caída del SPT

A_1 = Área de la punta cónica del DPL

A_2 = Área de la punta cónica del SPT

e_1 = Espesor de la hinca del DPL

e_2 = Espesor de la hinca del SPT

Una vez calculado los valores de golpes con el SPT (N_{spt}), se realizó las siguientes correcciones: por nivel freático, eficiencia, longitud y diámetro, para así obtener el nuevo número de golpes corregido por ensayo SPT (N_{spt}), con este último se procede a estimar el ángulo de fricción interna de los suelos.

Finalmente, una vez obtenido el ángulo de fricción interna de los suelos de cimentación, usamos la fórmula propuesta por Osaki (1959), existen diversas fórmulas empíricas propuesta por diversos autores, sin embargo, la de Osaki es la más usada internacionalmente y sus resultados son conservadores, respecto a otros autores, Cuadro 01.

Cuadro 01: Valores de ángulo de fricción interna según varios autores en función al N_{spt}

Referencia	(θ) Ángulo de fricción interna
DUMHAM	$\theta = \sqrt{12 \times N_{spt}} + 25$
TERZAGHI & PECK (1948)	$\theta = 28.5 + 0.25N_{spt}$
OSAKI (1959)	$\theta = \sqrt{20 \times N_{spt}} + 15$
MEYERHOF (1965)	$\theta = 23.7 + 0.57 \times N_{spt} - 0.0006 \times N_{spt}^2$
KISHIDA (1969)	$\theta = 15 + \sqrt{20 \times N_{spt}}$
MUROMACHI (1974)	$\theta = 3.5 \times \sqrt{N_{spt}} + 20$
PECK (1975), DAS (1995) Y WOFF (1989)	$\theta = 27.1 + (0.3 \times N_{spt}) - 0.00054 \times N_{spt}^2$
KATANAKA Y UCHIDA (1996)	$\theta = \sqrt{20 \times N_{spt}} + 20$
MONTENEGRO & GONZALES (2014)	$\theta = 12.79 + \sqrt{25.86 \times N_{spt}}$

En el cuadro 02 y figura 03, se muestra en análisis comparativo del cálculo del ángulo de fricción interna según 09 autores, que son: Dunham, Terzaghi & Peck (1948), Osaki (1959), Meyerhof (1965), Kishida (1969), Muromachi (1974), Peck (1974), Das (1995) y Woff (1989), Hatanaka y Uchida (1996) y Montenegro y Gonzales (2014), cada uno con su respectiva formula (cuadro 01). Si observamos en la figura 02, la curva de Osaki se encuentra muy cercana a la Kishida y Montero &

Gonzales, y las que presentan alto valor en el ángulo son las de Dunham, Hatanaka & Uchida y Terzaghi.

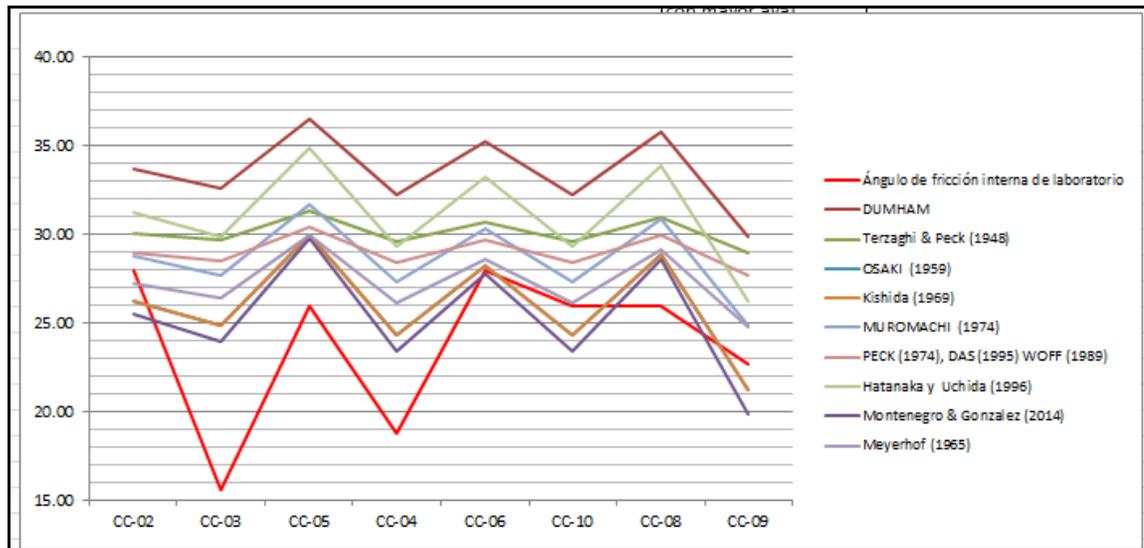
En la figura 03, CC-03, se muestra un pico negativo que no coincide con los demás autores, esto se debe a que pertenece a una arcilla de baja plasticidad.

Cuadro 02: Cálculo del ángulo de fricción interno, usando los valores del N_{spt}

Muestra	N_{spt} (golpes)	Ángulo de fricción interna de laboratorio	ϕ'_{spt} (°)								
			DUMHAM	Terzaghi & Peck (1948)	OSAKI (1959)	Meyerhof (1965)	Kishida (1969)	MUROMACHI (1974)	PECK (1974), DAS (1995) WOFF (1989)	Hatanaka y Uchida (1996)	Montenegro & Gonzalez (2014)
CC-02	6.29	28.00	33.7	30.1	26.2	27.3	26.2	28.8	29.0	31.2	25.5
CC-03	4.84	15.57	32.6	29.7	24.8	26.4	24.8	27.7	28.5	29.8	24.0
CC-05	11.13	26.00	36.6	31.3	29.9	30.0	29.9	31.7	30.4	34.9	29.8
CC-04	4.35	18.78	32.2	29.6	24.3	26.2	24.3	27.3	28.4	29.3	23.4
CC-06	8.71	28.00	35.2	30.7	28.2	28.6	28.2	30.3	29.7	33.2	27.8
CC-10	4.35	26.00	32.2	29.6	24.3	26.2	24.3	27.3	28.4	29.3	23.4
CC-08	9.68	26.00	35.8	30.9	28.9	29.2	28.9	30.9	30.0	33.9	28.6
CC-09	1.94	22.64	29.8	29.0	21.2	24.8	21.2	24.9	27.7	26.2	19.9

Fuente: Propia

Figura 03: Cálculo del ángulo de fricción interno, usando los valores del N_{spt}



Fuente: Autor

6- RESULTADOS

En el distrito de Catacaos se han ejecutado 14 ensayos de DPL, de estos 8 cuentan con: profundidad requerida (> 1.0 m.), junto o cercana a una calicata (distancia máxima de 5 m.), y contar con información de mecánica de suelos (ángulo de fricción interna, cohesión, densidad húmeda y seca, capacidad de carga última y admisible, y tipo de suelos SUCS), Cuadro 03.

Cuadro 03: Ensayos seleccionados que cumplen los requisitos para realizar la correlación del DPL y SPT

NÚMERO	CÓDIGO DE MUESTRA	CALICATA CERCANA	TIPO DE SUELOS SUCS	NIVEL FREÁTICO (m)	LABORATORIO					
					DENSIDAD NATURAL (gr/cm3)	DENSIDAD SECA (gr/cm3)	Angulo de fricción interna (ϕ)	COHESIÓN (c)	CAPACIDAD DE CARGA (qu)	CARGA ADMISIBLE (qa)
1	CC-02		SM	3.60	1.75	1.34	28.00	0.00	2.24	0.75
2	CC-03	SI	CL	N.P	1.60	1.32	15.57	0.04	1.13	0.30
3	CC-05		SM	N.P	1.69	1.31	26.00	0.00	1.80	0.60
4	CC-04	SI	SM	2.90	1.93	1.49	18.78	0.01	1.01	0.34
5	CC-06		SM	2.30	1.85	1.53	28.00	0.00	2.38	0.79
6	CC-10		SM	3.10	1.68	1.51	26.00	0.00	1.82	0.61
7	CC-08		SM	1.40	1.06	0.82	26.00	0.00	1.13	0.38
8	CC-09	SI	SM	2.40	1.09	0.81	22.64	0.07	2.24	0.75

Fuente: Autor

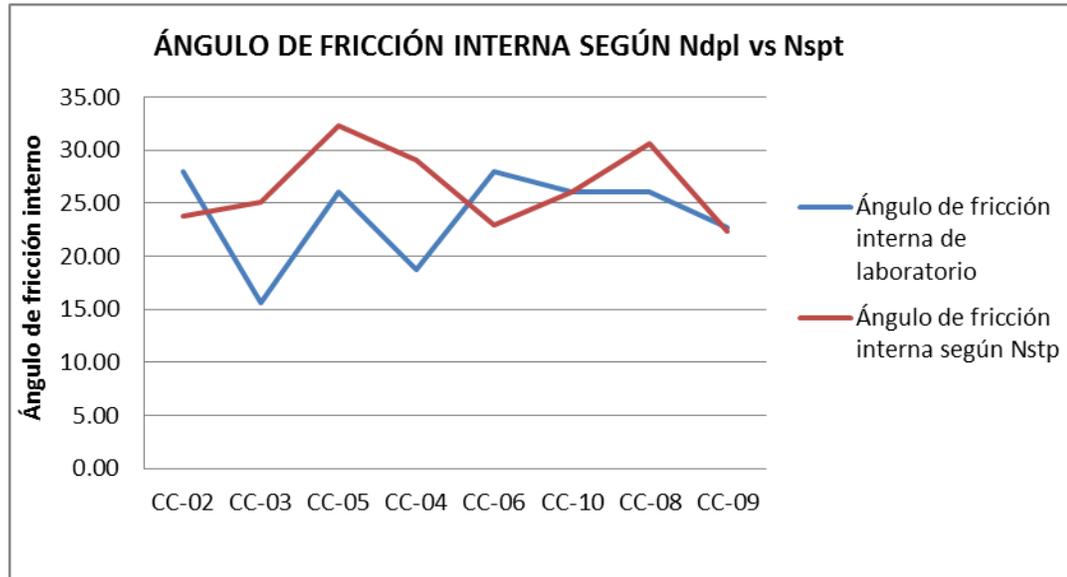
Se realizó el análisis comparativo por ángulo de fricción interna, con datos obtenidos en laboratorio de suelos y se calculó la correlación del Ndpl con el Nspt, dando como resultado errores desde 1.52% hasta 37.97%, con un promedio de 8.32%, Cuadro 04, figura 04.

Cuadro 04: Cuadro comparativo del ángulo de fricción interna calculado en laboratorio y el estimado por la correlación, los rectángulos en rojo son los porcentajes de error muy altos

NÚMERO	MUESTRA	DPL	TIPO DE SUELOS SUCS	DENSIDAD NATURAL (gr/cm3)	DENSIDAD SECA (gr/cm3)	NIVEL FREÁTICO (m)	LABORATORIO				SEGÚN N _{SPT}			ERROR DE ϕ (%)
							Ángulo de fricción interna (ϕ)	COHESIÓN (c)	CAPACIDAD DE CARGA (qu)	CARGA ADMISIBLE (qa)	Ángulo de fricción interna (ϕ)	CAPACIDAD DE CARGA (qu)	CARGA ADMISIBLE (qa)	
1	CC-02	DPL-01	SM	1.75	1.34	3.60	28.00	0.00	2.24	0.75	23.80	1.54	0.51	-17.65
2	CC-03	DPL-03	CL	1.60	1.32	N.P	15.57	0.04	1.13	0.30	25.10	2.20	0.73	37.97
3	CC-05	DPL-05	SM	1.69	1.31	N.P	26.00	0.00	1.80	0.60	32.30	3.31	1.10	19.50
4	CC-04	DPL-06	SM	1.93	1.49	2.90	18.78	0.01	1.01	0.34	29.10	2.34	0.78	35.46
5	CC-06	DPL-07	SM	1.85	1.53	2.30	28.00	0.00	2.38	0.79	22.90	1.52	0.51	-22.27
6	CC-10	DPL-08	SM	1.68	1.51	3.10	26.00	0.00	1.82	0.61	26.00	1.82	0.61	0.00
7	CC-08	DPL-09	SM	1.06	0.82	1.40	26.00	0.00	1.13	0.38	30.60	1.75	0.58	15.03
8	CC-09	DPL-11	SM	1.09	0.81	2.40	22.64	0.07	2.24	0.75	22.30	2.19	0.73	-1.52

Fuente: Autor

Figura 04: líneas de tendencia son casi simultáneas, lo que significa que el porcentaje de error por ángulo de fricción interna es mínimo



Fuente: Autor

Después de estimar el ángulo de fricción interna de los suelos a través de la correlación del Ndpl con el Nspt, se procede a calcular la capacidad de carga admisible, manteniendo el factor de seguridad especificado por la norma E 0.50 de diseño de cimentación. Estos para una profundidad de cimentación de 1.50 m y 1.00 de ancho.

Cabe destacar que, para el cálculo de la capacidad portante de los suelos se ha usado la fórmula por corte general y local de Terzaghi (1943), de acuerdo al tipo de suelo, mediante la siguiente expresión:

Formula para falla por corte general:

$$q_u = c \cdot N_c + q \cdot N_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma$$

Formula para falla por corte local:

$$q_u = \frac{2}{3} \cdot c \cdot N'_c + q \cdot N'_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N'_\gamma$$

C : cohesión

q : carga ($\gamma \cdot D_f$)

N_c, N_q, N_x : Factores de carga.

Una vez obtenido el ángulo de fricción interna se realizó el cálculo de la capacidad de carga admisible de los 8 datos obtenidos en campo.

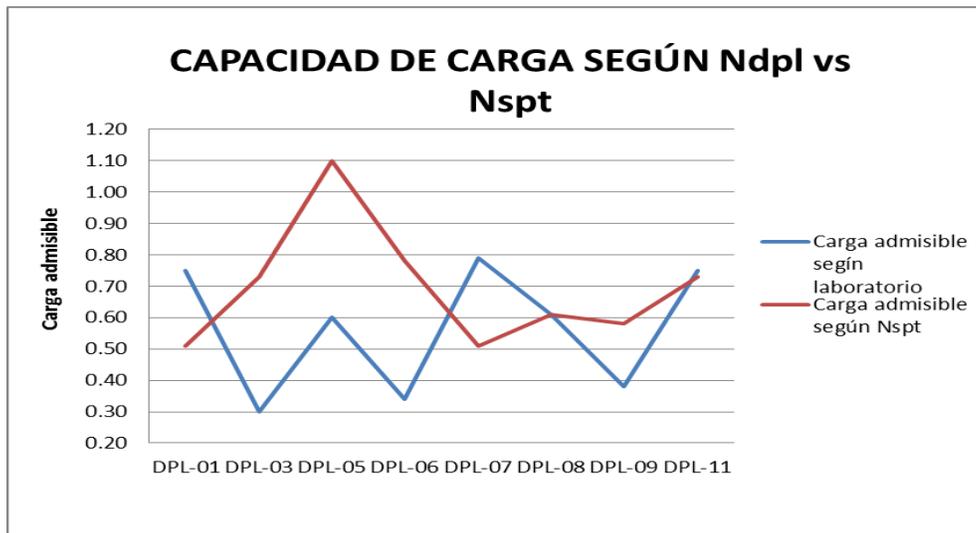
En el siguiente análisis se ha podido observar que, mientras exista error en el ángulo interno, ese mismo error se traslada al cálculo de la capacidad de carga admisible, sin embargo son más reducidos, estos errores varían desde 0.91% hasta 18.42%, con un promedio de 3.75%, que es muy bajo para estudios de mediana escala, Cuadro 05.

Cuadro 05: Análisis comparativo de la capacidad de carga obtenida mediante laboratorio de suelos y la estimada por la correlación del N_{dpl} y N_{spt}

NÚMERO	CALICATA	MUESTRA	TIPO DE SUELOS SUCS	DENSIDAD NATURAL (gr/cm ³)	DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	NIVEL FREÁTICO (m)	LABORATORIO	SEGÚN N_{SPT}	ERROR DE CARGA ADMISIBLE (%)
							CARGA ADMISIBLE (q_a)	CARGA ADMISIBLE (q_a)	
1	CC-02	DPL-01	SM	1.75	1.34	3.60	0.75	0.51	15.58
2	CC-03	DPL-03	CL	1.60	1.32	N.P	0.30	0.73	-19.55
3	CC-05	DPL-05	SM	1.69	1.31	N.P	0.60	1.10	-15.11
4	CC-04	DPL-06	SM	1.93	1.49	2.90	0.34	0.78	-18.80
5	CC-06	DPL-07	SM	1.85	1.53	2.30	0.79	0.51	18.42
6	CC-10	DPL-08	SM	1.68	1.51	3.10	0.61	0.61	0.00
7	CC-08	DPL-09	SM	1.06	0.82	1.40	0.38	0.58	-11.43
8	CC-09	DPL-11	SM	1.09	0.81	2.40	0.75	0.73	0.91

Fuente: Autor

Figura 05: Porcentaje de error en la estimación de la capacidad de carga admisible.



Fuente: Autor

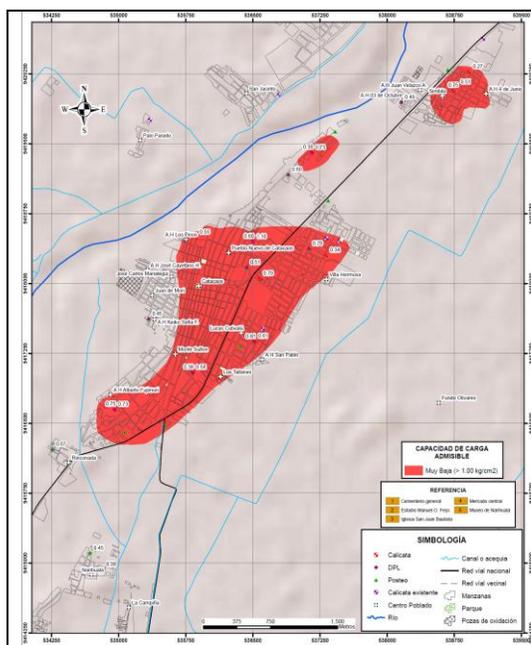


Figura 06: Mapa de zonificación de carga admisible utilizando datos de laboratorio de suelos obtenidos después del muestreo por calicatas

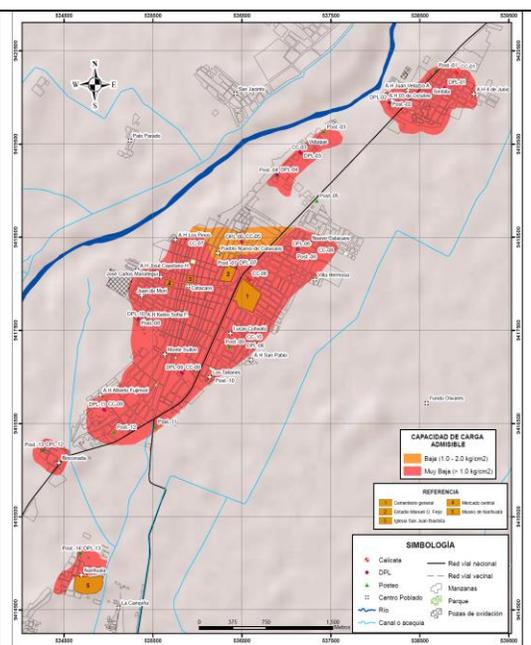


Figura 07: Mapa de zonificación de carga admisible con el apoyo del ensayo de DPL, abarca el 25% más del área de trabajo

6- CONCLUSIONES

- El DPL ha demostrado ser una herramienta principal en la investigación geotécnica para suelos arenosos, ya que es un equipo muy práctico y accesible para los trabajos de zonificación sísmica – geotécnica.
- Se obtuvieron 8 correlaciones para el ángulo de fricción interno del suelo a partir del ensayo de SPT, y se comparó con diversos autores y de diferentes países. Además, se comparó con los datos de corte directo y se determinó que los estimados mediante laboratorio, son más conservadores que los obtenidos al correlacionar el número de golpes del método de penetración estándar. Sin embargo, este método de comparación nos permite obtener mucho más muestras, mayores datos, mayor área de estudio y menor costo en la operatividad de los ensayos.
- Los resultados presentados en este trabajo son preliminares, puesto que la data comparativa es muy poca, por lo tanto se requiere mayor información y de mejor calidad para poder reducir el porcentaje de error y calibrar el equipo DPL.
- Se recomienda usar una punta cónica para ejecutar los ensayos en suelos arenosos y otra para suelos arcillosos, así como también mejorar los formatos en Excel para obtener mejores resultados.
- Se recomienda realizar ensayo DPL junto a los posteos, y estos deben ir en zonas intermedias de las calicatas, y dos junto a calicatas esto con la finalidad de hacer la correlación o comparación con datos de laboratorio.
- Se recomienda ejecutar los ensayos DPL, después de haber ejecutado las calicatas con la finalidad de tener un plano SUCS y definir donde deben ir los ensayos DPL, así se sabrá los lugares donde se van a ejecutar.

7- REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- Átala Abad, C (2011). Estudio Experimental sobre Correlaciones en suelos Granulares finos (arenas) compactados, Usando Equipos de Penetración. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- ÁVILA, S. P. & CONCIANI, W. Primeiras experiências com cone dinâmico em Mato Grosso. In: SEMINÁRIO MATO-GROSSENSE DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL, I. 2005, Cuiabá, Anais eletrônicos CD ROM, Cuiabá: CEFET-MT / UFMT, 2005. 5p.

- Braja Das, (2011) - Principles of Foundation Engineering, Seven Edition, pág. 139-140.
- De Marco, Pietro, (2002) - Corrección del índice de resistencia a la penetración. Caracas: Universidad Central de Venezuela, 2002. 315p.
- Howie D., & Sy, (2003) - A method for correlating large penetration test (LPT) to standard penetration test (SPT) blow counts.
- Juárez, E., y Rico, A. (2005) - Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Segunda Edición. Limusa S.A. México D.F.
- Martins, J, & Miranda, T. (2003). Ensaio de Penetração nos solos graníticos da região norte de Portugal: Algumas correlações. Universidade Do Minho. Departamento De Engenharia Civil, 17(1) ,5-18.
- Meyerhof, G., G., (1956) – Penetration Test and Bearing Capacity of Cohesion less Soils. Journal of the Soils Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol 82 N°SM1, Proc. Paper 886, Jan. 1956, pp-19.
- Nilson, T. (2004). Comparações entre DPL Nilsson e SPT. Geosul 2004-IV Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica da Região sul.
- Terzaghi, K. Peck, B., G. & Mesri, G., (1948) – Soil mechanics in engineering practice, New York: Wiley.