

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**CORRELACIÓN DE LOS VALORES  $N_{SPT}$  CON  $N_{DPL}$  EN  
LOS SUELOS ARENOSOS DE LA ASOCIACIÓN  
AGROPECUARIA SUMAC PACHA - LURIN**

**TESIS**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. ROJAS PARCO FRANK GABRIEL  
Bach. ZAMORA ORTIZ JHOW MCKEVIN**

**ASESOR: Msc. Marco Antonio Hernández Aguilar**

**LIMA - PERÚ**

**AÑO : 2015**

### Dedicatoria:

A mi padre Mariano, a mi madre Carmela, a mis hermanos Marieth, Frenel y Baguer, y a mi compañera Estefanía por su constante apoyo. Al ingeniero Marco Hernández Aguilar por su apoyo incondicional.

Jhow Mckevin Zamora Ortiz

Deseo dedicarle este trabajo a Dios que me acompaña y me guía a lo largo de mi carrera; a mi padre y madre por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda y por estar ahí cuando más los necesité; a mis hermanos, abuelos y familia por su preocupación, apoyo, consejos, comprensión.

Dedicarle a la persona que me acompaña en estos últimos 4 años Brigitte, e hizo realidad este trabajo.

Frank Gabriel Rojas Parco

## AGRADECIMIENTO

Agradecer a todas las personas que contribuyeron en el desarrollo de la presente tesis.

Agradecemos a la empresa Geomaster S.A.C. por los equipos brindados durante la ejecución de los ensayos de campo, así mismo agradecemos a la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Civil por permitirnos utilizar el laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Ricardo Palma, para el análisis de nuestras muestras.

ÍNDICE GENERAL	
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1. Descripción de la realidad problemática	3
1.2. Formulación del Problema	4
1.2.1. Problema Principal	4
1.2.2. Problemas Específicos	4
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.	5
1.3.1. Objetivo Principa	5
1.3.2. Objetivos Específicos	5
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	6
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	7
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	7
2.2. BASES TEÓRICAS	10
2.2.1. Ensayo SPT	10
2.2.1.1. Evolución histórica	10
2.2.1.2. Ensayo de Penetración Estándar (S.P.T.)	11
2.2.1.3. Normalización del método según ASTM	13
2.2.1.4. Aplicabilidad del Método SPT	14
2.2.1.5. Descripción del Ensayo	15
2.2.1.6. Ventajas y Desventajas del SPT	16
2.2.1.7. Factores que Afectan los valores “N” del SPT	16
2.2.2. Ensayo DPL	26
2.2.2.1. Ensayo Dinámico de Penetración Ligera (D.P.L.)	26
2.2.2.2. DIN 4094	28
2.2.2.3. ALCANCE	28
2.2.2.4. INFLUENCIA SOBRE LOS RESULTADOS DEL SONDEO	28
2.2.2.5. Equipo	29
2.2.2.6. Alcances del Ensayo DPL	32
2.2.2.7. Precauciones, Controles y Comprobaciones	32
2.2.3. Definiciones Conceptuales	33
2.2.4. Formulación de Hipótesis	35
2.2.4.1. Hipótesis General	35
2.2.4.2. Hipótesis Específicas	35

2.2.4.3.	Variables	35
2.2.4.4.	Definición de las Variables	35
2.2.4.5.	Operacionalización de las Variables	36
CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO		37
3.1.	Tipo y nivel de la investigación.	37
3.2.	Diseño de la investigación	37
3.3.	Universo, Población y Muestra	37
3.4.	Técnicas e Instrumentos de recolección de datos	38
3.4.1.	Descripción de los Instrumentos	38
3.4.2.	Validez y confiabilidad de los Instrumentos	38
3.5.	Técnicas para el procesamiento y análisis de los datos	38
CAPÍTULO IV: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS		39
4.1.	Análisis e interpretación de los resultados	39
4.1.1.	Trabajos de campo y laboratorio	39
4.1.1.1.	Trabajos de campo:	39
4.1.1.2.	Ensayos de Penetración Estándar	43
4.1.1.3.	Ensayos de Penetración Ligera	55
4.1.1.4.	Resumen de los ensayos de campo ejecutados y procesados	71
4.1.1.5.	Ensayos de laboratorio:	72
4.1.1.6.	ANÁLISIS GRANULOMETRICO	73
4.1.1.7.	LIMITES DE CONSISTENCIA	75
4.1.1.8.	HUMEDAD NATURAL	77
4.1.1.9.	DENSIDAD NATURAL	78
4.1.1.10.	ENSAYO DE CORTE DIRECTO	80
4.1.1.11.	GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SOLIDOS	88
4.1.1.12.	Resumen de los ensayos de laboratorio realizados	89
4.1.1.13.	PERFIL ESTRATIGRÁFICO DE LAS CALICATAS REALIZADAS	90
4.2.	Resultados de la investigación	103
4.2.1.	Primera Correlación: ensayo SPT-01 con el ángulo de fricción del suelo SP a 0.50m	103
4.2.2.	Segunda Correlación: ensayo SPT-01 con el ángulo de fricción del suelo SP a 1.50m	105
4.2.3.	Tercera Correlación: ensayo SPT-02 con el ángulo de fricción del suelo SM a 0.50m	106
4.2.4.	Cuarta Correlación: ensayo SPT-02 con el ángulo de fricción del suelo SM a 1.50m	107
4.2.5.	Correlación entre los ensayos $N_{SPT}$ y $N_{DPL}$	108

4.3.	Contrastación de Hipótesis	110
4.4	Discusión.	110
	CONCLUSIONES	112
	RECOMENDACIONES.	115
	FUENTES DE INFORMACIÓN	116
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	116
	ANEXOS:	118
	ANEXO 01. MATRIZ DE CONSISTENCIA:	118
	ANEXO 02. ENSAYOS DE GRANULOMETRÍA	120
	ANEXO 03. LÍMITES DE CONSISTENCIA	129
	ANEXO 04. CONTENIDO DE HUMEDAD	138
	ANEXO 05. DENSIDAD IN SITU	143
	ANEXO 06. PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE LOS SÓLIDOS	148
	ANEXO 07. ENSAYOS DE CORTE DIRECTO	157

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Aplicabilidad del Método SPT	14
Tabla 2. Ventajas y Desventajas del Ensayo de Penetración Estándar	16
Tabla 3. Factores de corrección por sobrecarga (Carter y Bentley 1991)	19
Tabla 4. Factor de corrección por longitud de barra (Cetin, 2004)	24
Tabla 5. Corrección $E_D$ por diámetro de perforación	24
Tabla 6. Factores de corrección considerando tubo muestreador	25
Tabla 7. Factores de corrección considerando tubo muestreador	25
Tabla 8. Datos técnicos del equipo DPL	30
Tabla 9. Operacionalización de las Variables	36
Tabla 10. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	38
Tabla 11. Reporte de los Ensayos SPT-01	47
Tabla 12. Reporte de los Ensayos SPT-02	48
Tabla 13. Factores de Corrección para el cálculo del $N'_{60}$ del SPT - 01	50
Tabla 14. Factores de Corrección para el cálculo del $N'_{60}$ del SPT - 02	53
Tabla 15. Reporte de los Ensayos DPL-01	57
Tabla 16. Reporte de los Ensayos DPL-02	58
Tabla 17. Reporte de los Ensayos de DPL-03	58
Tabla 18. Reporte de los Ensayos de DPL-04	59
Tabla 19. Reporte de los Ensayos de DPL-05	60
Tabla 20. Resumen de los ensayos SPT realizados	71
Tabla 21. Resumen de los ensayos DPL realizados	72
Tabla 22. Reporte de la granulometría de la Calicata C-01	74
Tabla 23. Reporte de la granulometría de la Calicata C-02	74
Tabla 24. Reporte de la granulometría de la Calicata C-03	74
Tabla 25. Reporte de la granulometría de la Calicata C-04	75
Tabla 26. Límites de consistencia de la Calicata C-01	75
Tabla 27. Límites de consistencia de la Calicata C-02	76
Tabla 28. Límites de consistencia de la Calicata C-03	76
Tabla 29. Límites de consistencia de la Calicata C-04	76
Tabla 30. Contenido de Humedad Natural de la Calicata C-01	77
Tabla 31. Contenido de Humedad Natural de la Calicata C-02.	77

Tabla 32. Contenido de Humedad Natural de la Calicata C-03	78
Tabla 33. Contenido de Humedad Natural de la Calicata C-04	78
Tabla 34. Densidad Natural de la Calicata C-01	78
Tabla 35. Densidad Natural de la Calicata C-02	79
Tabla 36. Densidad Natural de la Calicata C-03	79
Tabla 37. Densidad Natural de la Calicata C-04	79
Tabla 38. Resultados del ensayo de corte directo para la calicata C-01	80
Tabla 39. Resultados del ensayo de corte directo para la calicata C-02	83
Tabla 40. Resultados del ensayo de corte directo para la calicata C-03	84
Tabla 41. Resultados del ensayo de corte directo para la calicata C-04	86
Tabla 42. Resultados del ensayo de gravedad específica de los sólidos para la calicata C-01	88
Tabla 43. Resultados del ensayo de gravedad específica de los sólidos para la calicata C-02	88
Tabla 44. Resultados del ensayo de gravedad específica de los sólidos para la calicata C-03	88
Tabla 45. Resultados del ensayo de gravedad específica de los sólidos para la calicata C-04	89
Tabla 46. Resumen de resultados de los ensayos de laboratorio	89
Tabla 47. Ángulo de fricción promedio, por tipo de suelo y profundidad	89
Tabla 48. Valores de $N_{SPT}$ y $N_{DPL}$ , medidos y ordenados	108

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Equipo SPT de Gow	10
Figura 2. Sacamuestra partido ASTM D156 84	14
Figura 3. Colocación de la caña partida en el suelo perforado	15
Figura 4. Comparación entre factores de corrección propuesto por diferentes autores	18
Figura 5. Sistema de sogas y malacate	21
Figura 6. Relación de la energía que absorbe la cabeza de golpeo durante el impacto	23
Figura 7. Esquema del cono y barra	31
Figura 8. Perfil de la calicata C-01 realizada a cielo abierto; se observa la profundidad de 1.50m	40
Figura 9. Obtención de muestras de la calicata C-01	40
Figura 10. Vista del ensayo SPT realizado en la zona de estudio	41
Figura 11. Vista del ensayo DPL realizado en la zona de estudio	42
Figura 12. Vista de los trabajos de evaluación de la resistencia del suelo con la profundidad con equipo SPT	45
Figura 13. Vista del equipo SPT	45
Figura 14. Vista de las muestras recuperadas en el ensayo SPT, con la posteadora manual, y con el tubo muestreador de caña partida	46
Figura 15. Vista del ensayo SPT-01	47
Figura 16. Vista del ensayo SPT-02	48
Figura 17. Vista del material recuperado con la tubería de caña partida (0.50m-0.95m)	49
Figura 18. Vista del material recuperado con la tubería de caña partida (1.50m - 1.95m)	50
Figura 19. Gráfico N(SPT-01) vs. Profundidad	51
Figura 20. Vista de la muestra obtenida a la profundidad de 0.50m	52
Figura 21. Vista de todas las muestras obtenidas durante la ejecución del ensayo SPT 02	53
Figura 22. Gráfico N(SPT-02) vs. Profundidad	54
Figura 23. Vista del equipo DPL instalado en el primer punto de exploración, listo para comenzar con el ensayo	56

Figura 24. Vista del martillo de 10 Kg., el tubo guía y la varilla de penetración	56
Figura 25. Vista del ensayo DPL - 01, ubicado en la zona nor-oeste de la zona en estudio	61
Figura 26. Gráfico N(DPL-01) vs. Profundidad	62
Figura 27. Vista del ensayo DPL - 02, ubicado en la zona nor-este del terreno en estudio	63
Figura 28. Gráfico N(DPL-02) vs. Profundidad	64
Figura 29. Vista del ensayo DPL - 03	65
Figura 30. Gráfico N(DPL-03) vs. Profundidad	66
Figura 31. Vista del ensayo DPL - 04	67
Figura 32. Gráfico N(DPL-04) vs. Profundidad	68
Figura 33. Vista del ensayo DPL - 05	69
Figura 34. Gráfico N(DPL-05) vs. Profundidad	70
Figura 35. Gráfico de la envolvente del ensayo de corte directo en la calicata C-01, M-01	81
Figura 36. Gráfico de la envolvente del ensayo de corte directo en la calicata C-01, M-02	82
Figura 37. Gráfico de la envolvente del ensayo de corte directo en la calicata C-02, M-01	83
Figura 38. Gráfico de la envolvente del ensayo de corte directo en la calicata C-02, M-02	84
Figura 39. Gráfico de la envolvente del ensayo de corte directo en la calicata C-03, M-01	85
Figura 40. Gráfico de la envolvente del ensayo de corte directo en la calicata C-03, M-02. Fuente: Elaboración propia	86
Figura 41. Gráfico de la envolvente del ensayo de corte directo en la calicata C-04, M-01	87
Figura 42. Gráfico de la envolvente del ensayo de corte directo en la calicata C-04, M-02	87
Figura 43. Vista de la ubicación de la calicata C-01	91
Figura 44. Vista del perfil estratigráfico de la calicata C-01	92
Figura 45. Perfil estratigráfico de la calicata C-01	93
Figura 46. Vista de la ubicación de la calicata C-02	94
Figura 47. Vista del perfil estratigráfico de la calicata C-02	95

Figura 48. Perfil estratigráfico de la calicata C-02	96
Figura 49. Vista de la ubicación de la calicata C-03	97
Figura 50. Vista del perfil estratigráfico de la calicata C-03	98
Figura 51. Perfil estratigráfico de la calicata C-03	99
Figura 52. Vista de la ubicación de la calicata C-04	100
Figura 53. Vista del perfil estratigráfico de la calicata C-04	101
Figura 54. Perfil estratigráfico de la calicata C-04	102
Figura 55. Correlación del Ángulo de Fricción y el valor N del SPT (Peck, Hanson y Thorburn.). Correlación del ensayo SPT-01, con el ángulo de fricción del suelo SP a 0.50m	103
Figura 56. Correlación del Ángulo de Fricción y el valor N del SPT (Peck, Hanson y Thorburn.). Correlación del ensayo SPT-01, con el ángulo de fricción del suelo SP a 1.50m	105
Figura 57. Correlación del Ángulo de Fricción y el valor N del SPT (Peck, Hanson y Thorburn.). Correlación del ensayo SPT-02, con el ángulo de fricción del suelo SM a 0.50m	106
Figura 58. Correlación del Ángulo de Fricción y el valor N del SPT (Peck, Hanson y Thorburn.). Correlación del ensayo SPT-02, con el ángulo de fricción del suelo SMA 1.50m	107
Figura 59. Gráfico de curvas exponenciales, ajustadas a los ensayos de campo	108
Figura 60. Correlación SPT - DPL	109

## RESUMEN

El presente trabajo de tesis, trata sobre las correlaciones de 2 diferentes equipos de penetración, en los suelos arenosos de la Asociación Agropecuaria Sumac Pacha ubicado en el distrito de Lurín, a fin de establecer ecuaciones de correlación entre ellas.

Para el desarrollo de la presente investigación, cuyo objeto es correlacionar el número de golpes del ensayo SPT con el número de golpes DPL. Para ello se realizaron los ensayos de campo en un terreno Arenoso de 25x40m (1000 m<sup>2</sup>) de la Asociación Agropecuaria Sumac Pacha, ubicado en el distrito de Lurín.

El ensayo SPT, es un ensayo de campo estandarizado que sirve para la determinación de la resistencia a la penetración del suelo y que se realiza dentro de una perforación, desde la superficie del terreno y con una profundidad y penetración definida. El ensayo DPL es un ensayo de campo para la determinación de la resistencia a la penetración del suelo. Se realiza el ensayo en terrenos arenosos con profundidades de hasta 8m.

Se realizó un estudio tipo no experimental transversal, que se llevaron a cabo en un depósito arenoso con poca presencia de finos. Se realizaron las caracterizaciones correspondientes por medio de ensayos de granulometría, Límites de Atterberg, Corte Directo, Humedad natural, Densidad natural.

Los Ensayos de Penetración se hicieron en suelos con características SP y SM en su mayoría, y de alto estado de densidad que varía de 1.483gr/cm<sup>3</sup> hasta 2.182gr/cm<sup>3</sup>.

Los resultados obtenidos sobre la correlación entre los valores  $N_{SPT}$  y  $N_{DPL}$  fueron 2 ecuaciones que fueron hallados por diferentes métodos estadísticos. Concluye que las correlaciones obtenidas serán válidas hasta los 1.80 m de profundidad; siendo las ecuaciones de correlación únicas y exclusivas para la zona de estudio (Terreno de 1000m<sup>2</sup> dentro de la Asociación Agropecuaria Sumac Pacha) de donde se puede deducir que el número de golpes  $N_{SPT}$  y  $N_{DPL}$  son directamente proporcionales.

**Palabras claves:**

Ensayo de Penetración Estándar (SPT), Ensayo Dinámico de penetración ligera (DPL), Número de golpes medido en campo, durante la ejecución del ensayo SPT( $N_{SPT}$ ), Número de golpes medido en campo, durante la ejecución del ensayo DPL ( $N_{DPL}$ ).

## **ABSTRACT**

This thesis, deals with two different tools correlations penetration in the sandy soils of the Agricultural Association Sumac Pacha located in the district of Lurín, in order to establish correlation equations between them.

For the development of this research, which principal trial is to correlate the number of strokes of the SPT with the number of strokes DPL. To do field trials were conducted on sandy ground of 25x40m (1000 m<sup>2</sup>) of the Agricultural Association Sumac Pacha, located in the district of Lurín.

The SPT is a standardized test field serving for the determination of resistance to soil penetration and is performed within a borehole from the earth surface and a defined penetration depth. The DPL assay is a field for determining the resistance to penetration of the soil. The trial in sandy soils with depths of up to 8m is performed.

A transverse non-experimental study, which was conducted in a sandy deposit with little presence of fines was performed. The corresponding characterizations by tests of grain, Attemberg limits, Straight Cut, natural humidity, natural density were performed.

Penetration tests were done in soil characteristics SP and SM mostly state and high density ranging from 1.483gr / cm<sup>3</sup> to 2.182gr / cm<sup>3</sup>.

The results on the correlation between NSPT and NDPL values were two equations were found by various statistical methods. It concludes that the correlations obtained are valid until 1.80 m depth; equations being unique and exclusive correlation for the study area (1000m<sup>2</sup> land within the Agricultural Association Sumac Pacha) where it can be deduced that the number of strokes and NDPL NSPT are directly proportional.

**Keywords:**

Standart Penetration Test (SPT), Dynamic Probing Ligth (DPL), Number of strokes measured in the field, during the execution of SPT ( $N_{SPT}$ ), Number of strokes measured in the field, during the execution of DPLtrial ( $N_{DPL}$ )

## INTRODUCCIÓN

El ensayo de penetración estándar (SPT por sus siglas en inglés Standart Penetration Test), tiene como finalidad principal la obtención de los parámetros de resistencia del suelo (fricción y cohesión), a través de la energía de caída de un martillo de 63.5 kg. a una altura de 0.76m, medida como número de golpes necesarios para penetrar 0.30m dentro del terreno; sin embargo, este ensayo, resulta costoso, complicado y requiere de un personal mínimo de 4-8 personas, razón por la cual, se ha decidido correlacionar los valores obtenidos a través de dicho ensayo (SPT), con los valores obtenidos, a través del ensayo de penetración dinámica ligera (DPL por sus siglas en inglés Dynamic Probing Ligth), un ensayo más sencillo, menos costoso, y que requiere con un mínimo de 02 personas para su ejecución.

Al identificar ciertas variables de los ensayos de penetración SPT y DPL, que guardan relación con la densidad del suelo, se abre la posibilidad de relacionar variables de  $N_{SPT}$  y  $N_{DPL}$ , a fin de encontrar una ecuación o factor. Esto conlleva a utilizar equipos, a través de ensayos de penetración menos costosos, como es el caso del DPL, para realizar mayor número de sondeos de manera confiable.

Es indispensable abordar los parámetros y características del suelo, para limitar la investigación. Es por este motivo, que se decidió realizar la investigación en un terreno arenoso que se encontraba disponible, en el cuál se ejecutaron todos los ensayos necesarios para dicho fin. El material de la zona de estudio está conformado por un deposito arenoso, que por zonas presenta materiales finos – limosos.

La presente investigación tiene como objetivo correlacionar el valor de número de golpes medido en campo con el equipo de Penetración estándar (SPT) y el valor del número de golpes medido en campo con el equipo dinámico de penetración ligera(DPL). Además se ha tomado como parte de la investigación verificar si el Gráfico propuesto por Peck, Hanson y Thorburn es aplicable para la zona de estudio.

La estructura de esta investigación, se presenta por capítulos que están claramente diferenciados.

El primer capítulo, aborda al planteamiento del problema, resaltando la descripción del problema, objetivos y justificación.

En el segundo capítulo, se describen los aspectos teóricos de carácter general y específico.

El tercer capítulo, hace referencia al diseño metodológico de toda la investigación, describiendo el alcance y tipo de investigación.

En el cuarto capítulo, se describen todos los ensayos de campo y laboratorio realizados, mostrando a detalle, los registros, tablas y gráficos, presentados como resultados.

En el quinto capítulo, se aprecian las discusiones, conclusiones y recomendaciones de la investigación.

Finalmente, en los anexos, se pueden apreciar los ensayos de laboratorio realizados y la matriz de consistencia.

## **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. Descripción de la realidad problemática.**

El Ensayo de Penetración Estándar (SPT – Norma NTP N°339.133) consiste en penetrar ciertos tipos de suelos con un muestreador denominado de “caña partida”, utilizando una cantidad de energía que se obtiene al soltar una masa de 63.5 kg desde una determinada altura de 0.76 m, luego de lo cual podemos medir las distancias que fueron penetradas en el referido suelo en tramos de 15 cm, con lo cual obtendremos parámetros característicos del suelo estudiado que nos ayudaran a entender su comportamiento mecánico, pero este ensayo es muy dificultoso y requiere, entre otros, de los siguientes requisitos:

- Un área de trabajo de al menos 20 m<sup>2</sup>.
- Personal en un número mínimo de cuatro a ocho (4-8) personas para la manipulación y ejecución del ensayo y una para tomar los registros.
- Los tiempos para la ejecución de los ensayos son bastante elevados.

Todo lo anterior sumado nos conduce a que este tipo de ensayo deberá ser simplificado de alguna manera.

La Firma “ELE International“ En los años 50, se desarrollo un instrumento llamado PORTABLE DINAMIC CONE PENETROMETER (Penetrómetro Dinámico Ligero - DPL), el cual tiene los mismos principios del Ensayo de Penetración Estándar, pero con la ventaja de que este nuevo instrumento es manual y mucho más liviano, como su nombre lo indica; por lo tanto el ensayo sería más rápido, con menos

área requerida y con menos personal (solo dos personas para ejecutar el ensayo).

En la presente propuesta de investigación se propone correlacionar el N (DPL) con el N (SPT) para así dar caracterizaciones rápidas y coherentes en el suelo arenoso de Lurín, usando además correlaciones de otros autores con los parámetros del suelo a diferentes profundidades.

Evidentemente, estos ensayos los debemos complementar con los que hacemos en el laboratorio para acabar de definir las características físicas y químicas del terreno.

## **1.2. Formulación del Problema.**

### **1.2.1. Problema Principal.**

¿Cuál será la correlación de los valores  $N_{SPT}$  con los valores  $N_{DPL}$  en los suelos arenosos de la Asociación Agropecuaria Sumac Pacha-Lurín?

### **1.2.2. Problemas Específicos.**

¿Cuál será el Relación del valor N del ensayo de resistencia SPT con la Profundidad?

¿Cuál será la relación del Ángulo de Fricción obtenido en el Ensayo de Corte Directo con el gráfico ( $N_{60}$  vs Ángulo de Fricción) de Peck, Hanson y Thorburn?

¿Cuál será la relación del valor N del ensayo de resistencia DPL con la Profundidad?

### **1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.**

#### **1.3.1. Objetivo Principal.**

Correlacionar los valores  $N_{SPT}$  con los valores  $N_{DPL}$  en los suelos arenosos de la Asociación Agropecuaria Sumac Pacha-Lurín.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos.**

1. Relacionar el valor  $N$  del ensayo de resistencia SPT con la Profundidad.
2. Relacionar el Ángulo de Fricción obtenido en el Ensayo de Corte Directo con el gráfico ( $N_{60}$  vs Ángulo de Fricción) de Peck, Hanson y Thorburn.
3. Relacionar el valor  $n$  del ensayo de resistencia DPL con la Profundidad.

### **1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.**

La presente investigación hace referencia de dos equipos de penetración como son el Ensayo de Penetración Estándar (S.P.T.) y el Ensayo de Penetración Dinámica Ligera (D.P.L.). Para fines de la presente investigación, se correlacionará ambos ensayos en los terrenos arenosos de la Asociación Agropecuaria Sumac Pacha de Lurín.

El Ensayo de Penetración Estándar, tiene una diferencia particular al Ensayo de Penetración Ligera (D.P.L.), que es la de obtener muestras a la profundidad del ensayo y determinar el tipo de material que se evalúa. Es necesario efectuar un mínimo de perforaciones con el SPT para verificar la estratigrafía de terreno.

La finalidad de la investigación es conocer, mediante un proceso simple y rápido, las propiedades del suelo y correlacionando los números de golpes obtener mayores parámetros relacionados al SPT. Por un lado, el ensayo DPL

en comparación al SPT, es más económico y rápido de ejecutar, esto hace que tenga mayor alcance.

Recordar que el ensayo DPL no reemplaza al ensayo SPT, ya que este solo es recomendado en terrenos arenosos.

### **1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.**

Esta investigación contempla geográficamente los terrenos arenosos de la Asociación Agropecuaria Sumac Pacha, es decir, que los resultados de correlación son únicos del lugar.

La investigación se limita en profundidad de exploración, en número de golpes y tipo de suelo.

El presupuesto limitó a 4 ensayos SPT y a 12 ensayos DPL.

La presente investigación limita los parámetros como ángulo de fricción, densidad del suelo, clasificación del suelo, número de golpes ( $N_{60}$ ).

### **1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.**

La investigación recolectó suficientes datos como para obtener una relación entre los parámetros de suelo y el número de golpes de los ensayos de penetración.

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.**

### **2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.**

#### **En el ámbito Nacional.**

Atala (2011) tuvo como objetivo correlacionar los diferentes equipos de penetración, en un suelo arenoso igualmente compactado.

Los ensayos experimentales se llevaron a cabo en un pozo de 2.00 metros de diámetro y 10.00 metros de profundidad, excavado en una zona de jardín situado frente al Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería, relleno con arena fina no plástica, compactada por capas con Densidad Relativa  $D_r=18.19\%$ , correspondiente a un grado de compactación de  $GC=90\%$  y Densidad Relativa de  $D_r=69.27\%$  correspondiente a un grado de compactación de  $GC=100\%$ , referido a la Máxima Densidad Seca del Proctor Modificado.

Concluyó en establecer diferentes ecuaciones de correlación en diferentes ensayos de penetración en suelos arenosos, obteniéndose coeficientes de determinación  $R^2$ , cercanos a 1.

Martins y Miranda (2003) tuvo como objetivo obtener correlaciones entre resultados de 2 ensayos SPT-DPH; CPT-DPL; CPT-DPH y DPH-CPT.

Los numerosos ensayos experimentales se llevaron a cabo en suelos residuales alrededor de la Región do Porto, Braga y Guimarães, donde tuvo como resultado correlacionar  $N_{DPH} - N_{SPT}$ ;  $N_{DPL} - R_p$ ;  $N_{DPH} - R_p$ ;  $N_{DPL} - N_{DPH}$  y concluyó que las correlaciones son bastante útiles a

partir de ensayos con penetrómetros dinámicos que son simples, rápidos y poco costosos.

Nilsson (2004) tuvo como objetivo obtener parámetros a partir de ensayos DPL. El artículo presenta enfoques y parámetros geotécnicos del aparato de prueba de campo DPL Nilsson, de accionamiento manual por dos personas. Se obtienen los parámetros primas por golpes y prueba de torsión. Algunos de los parámetros geotécnicos obtenidos de dimensionamiento son la resistencia a la punta, lado de fricción, compacidad y consistencia. Ventajas significativas de este equipo es el acceso a distancia sitios, alta producción, de transporte, de bajo costo y los aspectos ecológicos positivos.

Concluyó que el valor N10 de DPL permite enfoques rápidos de características del suelo como resistencia, compacidad y consistencia. A partir de estos ensayos, es posible estimarse valores de resistencia al esfuerzo cortante.

Norma Técnica Peruana (2013) tuvo como objetivo establecer los requisitos para la ejecución de estudios de la mecánica de suelos con fines de asegurar estabilidad y permanencia de las obras civiles.

La presente Norma no toma en cuenta los efectos de los fenómenos de geodinámica externa y no se aplica en los casos que haya presunción de la existencia de ruinas arqueológicas; galerías u oquedades subterráneas de origen natural o artificial. En ambos casos deberán efectuarse estudios específicamente orientados a confirmar y solucionar dichos problemas.

Lopez Menardi (2003) tuvo como objetivo analizar los puntos más importantes que se asocian con el Ensayo de Penetración Estándar (SPT).

La investigación consiste en examinar a detalle las técnicas de ejecución del ensayo y del sacamuestras correspondiente, como también los apartamientos del método original. Se evalúan los factores de corrección para comparar los resultados de la resistencia a penetración (N) con los valores supuestamente normalizados ( N60) .

Concluyó en dar referencia a un procedimiento de cálculo basado en N60 para estimar capacidad de carga admisible y los asentamientos de cimentaciones en arenas.

Olivares y Ramírez (2012) tuvo como objetivo correlacionar los resultados de las auscultaciones por cono Peck con los resultados del ensayo de penetración estándar.

Debido a la gran difusión de la auscultación cono de Peck en el Perú y a su poca afinada correlación con el ensayo SPT, basada actualmente en un reducido número de datos, se propuso ajustar dicha correlación para suelos granulares sin presencia de nivel freático y evaluar si ésta varía en función de otros parámetros como la profundidad y el número de golpes. Con el fin de lograr este objetivo, se estuvo trabajando con un importante número de estudios de suelos realizados en diferentes zonas del país. A través de estos estudios, se pudo obtener los resultados de los ensayos de SPT y de cono de Peck, que permitieron juntar una data de pares de puntos de ambos ensayos que facilitaron el desarrollo de un soporte estadístico adecuado que permitió respaldar o, en su defecto, corregir los valores de correlación usados en nuestro país.

Concluyó en establecer ajustes en los diferentes resultados de las correlaciones de las auscultaciones como Peck con los resultados del ensayo SPT.

## 2.2. BASES TEÓRICAS.

### 2.2.1. Ensayo SPT

#### 2.2.1.1. Evolución histórica.

En el año 1902, el coronel Charles Crow, comenzó a hacer perforaciones exploratorias utilizando muestreadores hincados, de 1 pulgada de diámetro, utilizando golpes repetitivos de un martillo de 110 lb para contribuir en la estimaciones de costos de excavación manual de caissons con campana. En la Figura 1, se muestra el equipo SPT de Gow.

Con ello, desarrolló la práctica de hincar en el suelo y obtener muestras marcando el inicio del muestreo dinámico.



*Figura 1. Equipo SPT de Gow.*

Fuente. Historia de la Geotecnia - Terzaghi y el SPT. (2015). Apuntes de Geotecnia con énfasis en laderas. Disponible en <http://geotecnia-sor.blogspot.pe/search/label/SPT>

En 1922, la compañía Raymond Concrete Pile difundió esta metodología para estimar la resistencia del material y densificación del suelo, en base al trabajo de hinca del tubo. Inicialmente los penetrómetros fueron hechos para apreciar la compacidad de los suelos no cohesivos.

En el año 1927 H.A. Mohr diseña la cuchara partida de 2'' de diámetro exterior, basándose en el trabajo de campo en Philadelphia realizado por G. A. Fletcher. En 1930 Harry Mohr comenzó a reglamentar la cuchara de 2'' de diámetro empleando una masa de 140 lb y dejándola caer a una altura de 30 pulgadas.

El concepto de Terzaghi de utilizar el número de golpes "estándar" para estimar las propiedades del suelo no se comprendió hasta 1947, cuando este se puso a trabajar con Harrys Mohr, y desarrollaron correlaciones entre la presión de carga admisible y el número de golpes (SPT) en arenas; luego en el mismo año Terzaghi bautizó al muestreador Crow en "Standard Penetration Test".

#### **2.2.1.2. Ensayo de Penetración Estándar (S.P.T.)**

Esta prueba consiste en contar el número de golpes N necesarios para hincar 30cm dentro del suelo con un sacamuestras normalizado. El hincado del muestreador se hace dejando caer un peso de 63.5Kg desde una altura de 76.2cm. Para ejecutar la prueba se limpia primero la parte donde se va a hincar el muestreador, luego se ajusta cuidadosamente el muestreador al suelo y a la barra-guía del peso y se comienza a golpear la cabeza de la barra para que el sacamuestras penetre 15 cm en el suelo. A partir de este instante se cuenta el número de golpes N necesarios para que el sacamuestras penetre 30cm más. Hecho esto, se saca el muestreador y se extrae para su examen el material recogido en su interior.

Si las gravas, arenas o mezclas de ellas contienen menos de 5% de arena fina o limo, aumentese en 5° los valores del ángulo de fricción interna.

De acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones (2006), en el capítulo E-050 Suelos y cimentaciones, el ensayo SPT puede ser utilizado como técnica de investigación para perforaciones y auscultaciones, en caso de perforaciones, para suelos del tipo SP, SW, SM, SC-SM para obtener el parámetro  $N_{SPT}$  (número de golpes); y en caso de ser utilizado como herramienta de auscultación, puede ser utilizado en todo tipo de terreno, excepto en gravas, para obtener el valor de la cohesión y la fricción. La norma E-050 no recomienda realizar el ensayo en el fondo de las calicatas, debido a la pérdida de confinamiento.

Según el Manual de Ensayo de Materiales (EM 2000 - MTC E 119-2000), Este modo operativo está basado en las Normas ASTM D 1586 y AASHTO T 206, las mismas que se han adaptado al nivel de implementación y a las condiciones propias de nuestra realidad. Cabe indicar que este Modo Operativo está sujeto a revisión y actualización continua.

Este método describe el procedimiento generalmente conocido como Ensayo de Penetración Normal (Standart Penetration Test - SPT), para hincar un muestreador de tubo partido con el fin de obtener una muestra representativa del suelo y una medida de la resistencia de dicho suelo, a la penetración del muestreador. Puede ser usado en cualquier suelo con bajo contenido de gravas, pero su mayor confiabilidad esta dado para suelos arenosos.

Este método proporciona una muestra de suelo para investigación y ensayos de laboratorio a partir de un muestreador, el cuál puede producir gran alteración en la muestra debido a la deformación por corte. Es ampliamente usado en la gran mayoría de proyectos de exploración geotécnica, y por lo tanto pueden existir correlaciones locales de la cuenta de golpes  $N$ , con el comportamiento en ingeniería de obras de tierra y fundaciones.

Por lo tanto, podemos decir que el ensayo SPT, es un ensayo que se realiza "in situ", con el cuál es posible conocer los parámetros de resistencia del suelo, a través de un tubo muestreador que ingresa al interior del suelo, contándose el número de golpes necesario para que penetre 30cm; tal como indica la norma, de preferencia, se recomienda su uso en suelos del tipo arenosos, como es nuestro caso.

### **2.2.1.3. Normalización del método según ASTM.**

Una de las primeras publicaciones por el ASTM sobre el SPT fue publicada en 1958 y se denominó "Método tentativo de ensayo de penetración y toma de muestras del suelo con tubo testigo hundido longitudinalmente".

En el año 1967 la ASTM lo transformo en un método normalizado. La normalización actual D1568-84. En la Figura 2, se muestra el sacamuestra partido, según la norma ASTM D1568-84.

Las características principales del método de la ASTM son las siguientes:

1. Masa de 63.5 kg.
2. Altura de caída: 76 cm.
3. Sacamuestras: de diámetro externo=(50 mm ó 2").
4. Sacamuestras: de diámetro interno=(35 mm ó 1 3/8").
5. Variante con diámetro interno 38 mm y tubo portamuestras (diámetro interno final 35 mm)
6. Mecanismo de liberación del martinete mediante soga y malacate.
7. Barras de sondeo.
8. Cabezó de golpeo.

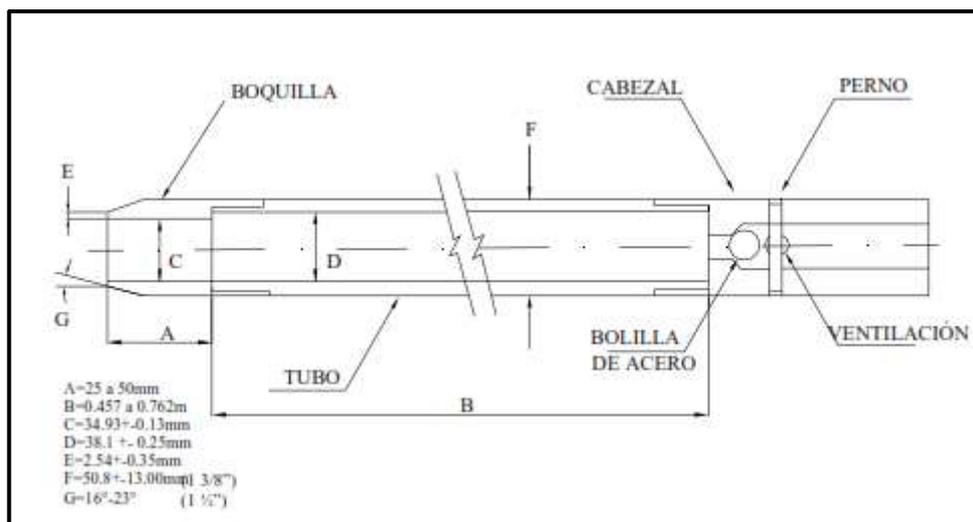


Figura 2. Sacamuestra partido ASTM D156 84.

Fuente: Atala Abad, C (2011). *Estudio Experimental sobre Correlaciones en suelos granulares finos (arenas) compactados, Usando Equipos de Penetración.*

#### 2.2.1.4. Aplicabilidad del Método SPT.

La Tabla 1, muestra la aplicabilidad del método SPT.

Tabla 1. Aplicabilidad del Método SPT.

Parámetros del subsuelo	Aplicabilidad del SPT
Tipo de suelo	B
Perfil estratigráfico	B
Densidad relativa ( $D_r$ )	B
Angulo de fricción ( $\phi$ )	C
Resistencia al corte ( $UU$ )	C
Presión neutra ( $U$ )	N
Relación de preconsolidación	N
Módulos ( $E$ y $G$ )	N
Compresibilidad ( $m_v$ & $c_c$ )	C
Consolidación ( $c_v$ )	N
Permeabilidad ( $k$ )	N
Curva (s-e)	N
Resistencia a la licuación	A

Fuente. Atala Abad, C (2011). *Estudio Experimental sobre Correlaciones en suelos granulares finos (arenas) compactados, Usando Equipos de Penetración.*

Referencias de Aplicabilidad.

A: Aplicabilidad Alta.

B: Aplicabilidad Moderada.

C: Aplicabilidad Limitada.

D: Aplicabilidad Nula.

#### **2.2.1.5. Descripción del Ensayo.**

El Ensayo consiste en lo siguiente:

1. Colocar el muestreador de caña partida de 2" de diámetro exterior a una distancia de 50 cm en el suelo de fondo perforado, como se muestra en la Figura 3 .



*Figura 3. Colocación de la caña partida en el suelo perforado.*

2. Contar el número de golpes para que el muestreador ingrese a los 2 últimos tramos de 15 cm cada uno.

3. Utilizar la masa de 63.5 kg que cae libremente desde la altura de 76 cm.

#### **2.2.1.6. Ventajas y Desventajas del SPT.**

El Ensayo de Penetración Estándar es uno de los usados en pruebas in-situ, debido a la simplicidad y sus datos reunidos anteriormente.

En la Tabla 2, se muestran las ventajas y desventajas del Ensayo de Penetración Estándar.

*Tabla 2. Ventajas y Desventajas del Ensayo de Penetración Estándar*

Ventajas	Desventajas
Sencillo y de bajo costo	Muestra alterada, solo para caracterización.
Se obtiene muestras representativas del suelo.	No aplicable en gravas, arcillas blandas y limos.
Disponibilidad en todo el mundo.	Uso en estratos que no contenga bolonería.
Penetra capas densas y arena gruesa.	Limitada para suelos cohesivos y arenas gruesas sin gravas ni cantos rodados.

Fuente. Atala Abad, C (2011). *Estudio Experimental sobre Correlaciones en suelos granulares finos (arenas) compactados, Usando Equipos de Penetración.*

#### **2.2.1.7. Factores que Afectan los valores “N” del SPT.**

Los factores pueden llegar a afectar el valor medido de la resistencia de la penetración del SPT. Estos factores pueden llegar a aumentar o disminuir los valores “N”, esto puede afectar a estimar los parámetros del suelo.

Es importante la comprensión de los factores, estos son útiles para al ingeniero en el campo para que se hagan las correcciones correspondientes.

### a) Factores de corrección por sobrecargas en arenas

La necesidad de corregir y normalizar resultados del Ensayo de Penetración Estándar en arenas que corresponden a la sobrecarga fueron publicados por Gibbs y Holtz.

#### **Factores de Corrección Publicados.**

El factor de corrección  $C_n$  de SPT se define como la relación de resistencia SPT medida por una presión vertical efectiva dada en un nivel  $S_v$  y la presión medida a un nivel de presión estándar ( $S_v$ ), normalmente representada por  $1 \text{ kg/cm}^2$ . En la práctica, la resistencia de SPT, "N" es medido y entonces normalizado o corregido a  $N_1$  usando la ecuación:

$$N_1 = C_n \times N$$

En 1982 la estandarización del SPT va por un proceso muy estricto, por ello proponen una norma de interpretación común de factores de corrección por sobrecarga.

Se propone un factor de corrección simple el cual es comparable con cualquier factor propuesto de otros autores como se ve en la Figura 4.

$$C_n = \sqrt{\frac{1}{\sigma_v}} \left( \sigma_v \text{ en } \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

La comparación del factor  $C_n$  de diferentes autores se muestra en la Figura 4.

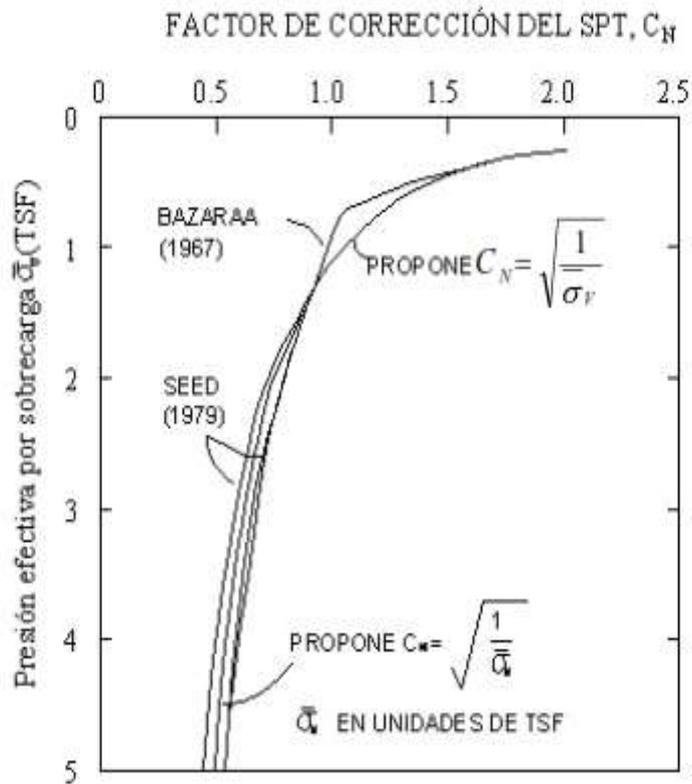


Figura 4. Comparación entre factores de corrección propuesto por diferentes autores.

Fuente. Atala Abad, C (2011). *Estudio Experimental sobre Correlaciones en suelos granulares finos (arenas) compactados, Usando Equipos de Penetración.*

La Tabla 3 hace referencia a factores de corrección por sobrecarga de diferentes autores.

Tabla 3. Factores de corrección por sobrecarga (Carter y Bentley 1991)

Referencia	Factor de corrección ( $C_N$ )	Unidades de los esfuerzos por sobrecarga ( $\sigma'_v$ )
Gibbs y Holtz (1959) Teng (1962)	$C_N = \frac{50}{10 + \sigma'_v}$	psi
Bazaraa (1967)	$C_N = \frac{4}{1 + 2\sigma'_v} \quad \text{cuando } s'_v \leq 1.5$ $C_N = \frac{4}{3.25 + 0.5\sigma'_v} \quad \text{cuando } s'_v > 1.5$	ksf
Peck, Hanson, y Thornburn (1974)	$C_N = 0.77 \log \frac{20}{\sigma'_v}$	kg/cm <sup>2</sup> , tsf
Seed (1976)	$C_N = 1 - 1.25 \log \sigma'_v$	kg/cm <sup>2</sup> , tsf
Tokimatsu y Yoshimi (1983)	$C_N = \frac{1.7}{0.7 + \sigma'_v}$	kg/cm <sup>2</sup> , tsf
Liao y Whitman (1986)	$C_N = \sqrt{\frac{1}{\sigma'_v}}$	kg/cm <sup>2</sup> , tsf (Nota $C_N \leq 2$ ) *
Skempton (1986)	$C_N = \frac{2}{1 + \sigma'_v}$	Arena fina de mediana densidad relativa
	$C_N = \frac{3}{2 + \sigma'_v}$	Arenas normalmente consolidadas gruesas
	$C_N = \frac{1.7}{0.7 + \sigma'_v}$	Arenas finas consolidadas
Youd et. al.(2001) NCERR / NSF (1996 - 1998)	$C_N = \frac{2.2}{1.2 + \sigma'_{v0}/P_a}; C_N \leq 1.7$	Kg/cm <sup>2</sup>
Boulanger and Idriss (2004)	$C_N = \left( \frac{Pa}{\sigma'_v} \right)^{0.784 - 0.0768\sqrt{(N_1)_{60}}}; C_N \leq 1.7$	Kg/cm <sup>2</sup>

Fuente. Atala Abad, C (2011). *Estudio Experimental sobre Correlaciones en suelos granulares finos (arenas) compactados, Usando Equipos de Penetración.*

**b) Corrección por Energía Entregada a la barra.**

Este aspecto es conflictivo en cada localidad.

Una cuestión es que la energía potencial de un martinete preparado para ser liberado en caída libre es de 4200 lb-in. La energía liberada en el origen de la caída es completamente diferente a la energía que recibe el sacamuestras, esta importante diferencia ha llevado a obtener diferentes tipos de liberación de energía en barras de perforación y distintas cabezas de golpeo.

Es evidente que el número de golpes está directamente relacionado con la energía de hincado, el cual es calculado de acuerdo a las siguientes relaciones:

$$E_t = \frac{1}{2}mv^2 \dots \dots \dots (1)$$

$$v = \sqrt{2gh} \dots \dots \dots (2)$$

Sustituyendo (1) en (2) se obtiene:

$$E_t = Wh \dots \dots \dots (3)$$

Donde:

W = Peso de la masa del martillo.

h = Altura de caída.

Entonces la energía de hincado teórico será:

$$E_t = 474.5 J \dots \dots \dots (4)$$

Con una velocidad de caída libre de:

$$V = 386.65 \frac{cm}{seg} \dots \dots \dots (5)$$

Muchos autores como Kovas y Salomone (1982) encontraron que la energía de hincado del muestreador para producir la penetración puede variar del 30 a 80% de la energía teórica.

La costumbre adoptada en EE.UU. de emplear un malacate (Ver Figura 5) para izar y liberar el martinete con la ayuda de una soga que envuelve el tambor, evidentemente genera una pérdida de energía respecto a la caída libre teórica.

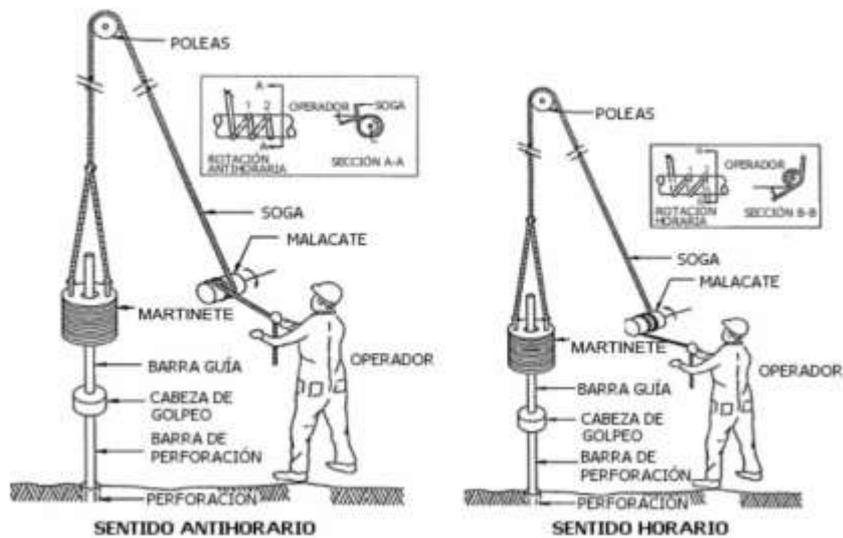


Figura 5. Sistema de soga y malacate.

Fuente. Atala Abad, C (2011). *Estudio Experimental sobre Correlaciones en suelos granulares finos (arenas) compactados, Usando Equipos de Penetración.*

El rendimiento del impacto sobre la cabeza de golpeo se denomina  $E_r$  (relación de energía a la barra). Seed establece que este rendimiento son:

$$E_r = \frac{E_i}{E_t} \approx 60\% \dots \dots \dots (6)$$

Donde:

E<sub>i</sub>: Energía real entregada a la cabeza de golpeo.

E<sub>t</sub>: Energía desarrollada en caída libre teórica.

El valor E<sub>r</sub> puede escribirse como la relación de energías cinéticas:

$$E_r = \frac{1/2 \cdot m \cdot V_m^2}{1/2 \cdot m \cdot V_t^2} = \frac{V_m^2}{V_t^2} \dots \dots \dots (7)$$

Donde:

m: masa del martillo.

V<sub>m</sub>: velocidad real medida sobre la cabeza de golpeo

V<sub>t</sub>: Velocidad teórica de caída libre.

Por razones de uso y costumbre se adopto en EE.UU como energía de referencia.

$$E_i = 60\% \cdot E_t \dots \dots \dots (8)$$

El número de golpes o Resistencia a la penetración en relación a la energía de E<sub>r</sub>=60% se denomina como N<sub>60</sub>.

**c) Pérdida de energía en la cabeza de golpeo (E<sub>c</sub>).**

La pérdida de energía en la cabeza, se relaciona con la energía que se absorbe durante el impacto. Decourt en 1989 publico la corrección E<sub>c</sub>, que se muestra en la Figura 6, ligada al peso de la cabeza de golpeo.

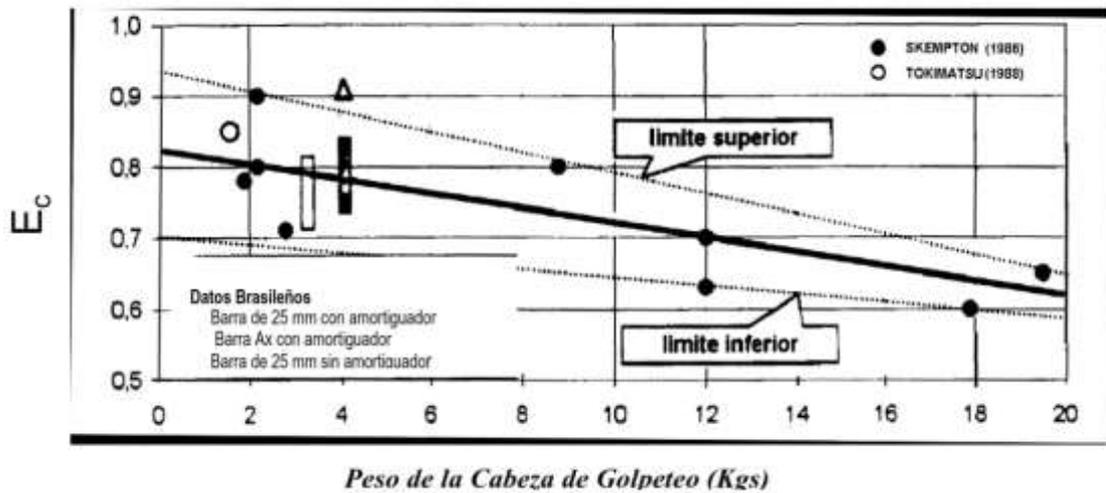


Figura 6. Relación de la energía que absorbe la cabeza de golpeo durante el impacto.

Fuente. Atala Abad, C (2011). *Estudio Experimental sobre Correlaciones en suelos granulares finos (arenas) compactados, Usando Equipos de Penetración.*

**d) Pérdida de energía por reflexión.**

La reducción de energía producida por los golpes está relacionado por la longitud de las barras. Esta reflexión genera el aumento de la resistencia a la penetración. La reducción de energía se evalúa a través de la relación:

$$E_t = f \left( \frac{M_r}{M_h} \right) \dots \dots \dots (9)$$

Donde:

$M_r$ : Peso de las barras.

$M_h$ : Peso del martinete.

En la Tabla 4, se presentaran los factores de corrección por longitud de barra de diferentes autores.

Tabla 4. Factor de corrección por longitud de barra (Cetin, 2004).

Longitud de la barra	Factor de corrección por longitud de barra ( $E_j$ )				
	Seed et al. (1984)	Skempton (1986)	Morgano y Liang (1992)	Youd et al. (2001)	Youd et al (2001) National Center for Earthquake Engineering research (NCEER)
<10 ft (< 3 m)	0.75	0.75	1.00	0.75	0.75
10-13 ft (3-4 m)	1.00	0.75	0.96 – 0.99	0.80	0.80
13-20 ft (4-6 m)	1.00	0.85	0.90 – 0.96	0.85	0.85
20-30 ft (6-10 m)	1.00	0.95	0.96 – 0.99	0.95	0.95
>30 ft (> 10 m)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Fuente. Atala Abad, C (2011). *Estudio Experimental sobre Correlaciones en suelos granulares finos (arenas) compactados, Usando Equipos de Penetración.*

**e) Diámetro de las perforaciones ( $E_D$ ).**

Las correcciones por diámetro del número de golpes N no tiene mucha relevancia.

Skemton (1986), presenta en la Tabla 5, pequeñas correcciones.

Tabla 5. Corrección  $E_D$  por diámetro de perforación.

Diámetro de perforación	$E_D$
60 –120 mm	1
150 mm	1,05
200 mm	1,15

Fuente: Atala Abad, C (2011). *Estudio Experimental sobre Correlaciones en suelos granulares finos (arenas) compactados, Usando Equipos de Penetración.*

**f) Diámetro interno del sacamuestras ( $E_s$ )**

Los sacamuestras partidos según la ASTM, tienen un diámetro interno constante de 35 mm (1 3/8”) incluyendo tubo portamuestras.

La Tabla 6 y la Tabla 7, muestran los factores de corrección de diferentes autores.

*Tabla 6. Factores de corrección considerando tubo muestreador.*

Corrección por muestreador ( $E_s$ )		
Condición	$E_s$	Valor base N es demasiado alto con el tubo muestreador
Sin tubo muestreador	1.00	
Con tubo muestreador: Arena densa, arcilla	0.80	
Arena dura	0.90	

Fuente: Atala Abad, C (2011). *Estudio Experimental sobre Correlaciones en suelos granulares finos (arenas) compactados, Usando Equipos de Penetración.*

*Tabla 7. Factores de corrección considerando tubo muestreador.*

Condición	Robertson & Wride (1997)	Bowles (1996)	Skepmton (1986)
Sin tubo Muestreador	1.1 – 1.3	1	1.2
Con tubo Muestreador Arena suelta	1	0.9	1
Con tubo Muestreador arena densa, arcilla	1	0.8	1

Fuente: Atala Abad, C (2011). *Estudio Experimental sobre Correlaciones en suelos granulares finos (arenas) compactados, Usando Equipos de Penetración.*

## Resumen de Correcciones.

La modificación de N se puede corregir mediante la siguiente ecuación:

$$N'_{60} = \frac{N_F \cdot C_N \cdot E_r \cdot E_c \cdot E_l \cdot E_D \cdot E_S}{0.60} \dots \dots \dots (10)$$

Donde:

N'60: Valor corregido para la energía específica.

N<sub>F</sub>: Número de golpes de campo.

C<sub>n</sub>: Ajuste por presión de sobrecarga efectiva.

E<sub>r</sub>: Corrección por la eficiencia del martillo.

E<sub>c</sub>: Corrección debido al peso de la cabeza de golpeo.

E<sub>l</sub>: Corrección por reflexión de la onda de compresión en las barras.

E<sub>D</sub>: Corrección por diámetro de la perforación.

E<sub>s</sub>: Corrección por diámetro interno del sacamuestra.

Las correcciones que se aplican para determinar el potencial de licuefacción de las arenas.

### 2.2.2. Ensayo DPL.

#### 2.2.2.1. Ensayo Dinámico de Penetración Ligera (D.P.L.)

De acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones (2006), en el capítulo E-050 Suelos y cimentaciones, el Método de ensayo normalizado para la auscultación con penetrómetro dinámico ligero de punta cónica (DPL) NTP 339.159:2001, Las auscultaciones dinámicas son ensayos que requieren investigación adicional de suelos para su interpretación y no sustituyen al Ensayo de Penetración Estándar (SPT). Los parámetros obtenidos con este ensayo (C<sub>n</sub>) deberán ser

correlacionados con los parámetros de los ensayos SPT (N) en el sitio de estudio, o en el caso de control de rellenos, con el grado de compactación.

No se recomienda ejecutar ensayos DPL en el fondo de calicatas, debido a la pérdida de confinamiento.

Para determinar las condiciones de cimentación sobre la base de auscultaciones dinámicas, debe conocerse previamente la estratigrafía del terreno obtenida mediante la ejecución de calicatas, trincheras o perforaciones. Recomienda como aplicación recomendada, realizar la auscultación en suelos tipo SW, SP, SM, SC-SM, con el fin de obtener el valor del  $N_{DPL}$  (Número de golpes).

Según la NTP 339.159 (2001) Método de ensayo normalizado para la auscultación con penetrómetro dinámico ligero de punta cónica (DPL), la NTP establece procedimientos y equipos para la prospección indirecta (auscultación) del suelo realizada con una sonda (Penetrómetro dinámico ligero de punta cónica - DPL), como parte de las Investigaciones geotécnicas según la Norma Técnica Nacional E-050. Esta NTP describe también el análisis de los resultados de la auscultación del suelo. Además de las prospecciones indirectas, se requiere de prospecciones directas, como calicatas o perforaciones. La NTP tiene como objetivo evitar las estimaciones erradas de las condiciones de los suelos de cimentación.

Con los equipos descritos en esta NTP se pueden alcanzar profundidades de hasta 8m.

Por lo tanto, podemos llegar a la conclusión de que el ensayo DPL, es un ensayo, valga la redundancia, realizado también "in situ", que no recupera muestras; pero sí calcula la resistencia del suelo al esfuerzo cortante, a determinada profundidad; éste ensayo puede ser correlacionado con el valor del SPT, para un mismo suelo y una misma profundidad.

#### **2.2.2.2. DIN 4094**

La norma DIN 4094 valida la aplicación y evaluación de sondajes por percusión y por presión en el terreno, con fines del reconocimiento e investigación del subsuelo.

#### **2.2.2.3. ALCANCE**

El uso de la expresión sondeo se usa para indicar el registro continuo en contraste con el Ensayo de Penetración Estándar (SPT). El objetivo del ensayo dinámico es medir el esfuerzo exigido al manejar un cono a través del suelo para obtener la resistencia que corresponde a las propiedades mecánicas del suelo.

**Prueba Dinámica Ligera (DPL)** Representando el bajo rango de masa de penetrómetro dinámico. La profundidad máxima recomendada es de 8 m.

#### **2.2.2.4. INFLUENCIA SOBRE LOS RESULTADOS DEL SONDEO.**

Al sondear, se establece la resistencia del suelo y como resultados del sondeo se determinan:

##### **Sondaje por Percusión.**

El número de golpes por cada 10 cm de penetración.

##### **Sondaje a Presión.**

Las densidades máximas relativas.

La resistencia a la penetración se compone con la resistencia de la punta y la resistencia lateral, la cual depende por las características de densidad y deformación del suelo.

El sondeo dinámico es principalmente usado en suelos poco cohesivos.

Los resultados en pruebas DPL pueden usarse para evaluar la trabajabilidad y laborabilidad de los suelos.

La calibración apropiada del equipo DPL es importante para poder conseguir una estimación de propiedades de los suelos como por ejemplo:

- Densidad Relativa.
- Compresibilidad.
- Resistencia al esfuerzo cortante.
- Consistencia.

La interpretación de resultados de ensayos DPL están limitados por suelos poco cohesivos.

#### **2.2.2.5. Equipo.**

La Tabla 8 muestra los datos técnicos del equipo DPL.

**Tabla 8. 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 de 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	Angulo del cono, grados	90
	Área nominal del cono, cm <sup>2</sup>	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, N <sub>10</sub>
	Rango estándar del N° de golpes	3-5
Energía por golpe	Trabajo específico por golpe, MgH/A kJ/m <sup>2</sup>	50

Fuente: Atala Abad, C (2011). *Estudio Experimental sobre Correlaciones en suelos granulares finos (arenas) compactados, Usando Equipos de Penetración.*

### **Dispositivo de golpeteo.**

El martillo tendrá un agujero axial de 3 a 4 mm aproximadamente más grande el diámetro del tubo guía. La relación entre la longitud y el diámetro del martillo cilíndrico estará en 1 y 2 respectivamente.

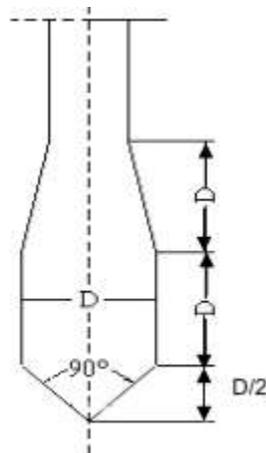
La base debe estar conectada rígidamente a las barras. El diámetro será menor de 100 mm y no más de la mitad del diámetro del martillo.

### **Barras de extensión.**

Las dimensiones de las barras se especifican en la Tabla 8. El dispositivo será de un material de acero de alta resistencia, alta dureza a bajas temperaturas y una resistencia a la alta fatiga.

### **Conos.**

El cono es la parte cónica de la punta, con la extensión cilíndrica como se observa en la Figura 7.



*Figura 7. Esquema del cono y barra.*

Fuente: Atala Abad, C (2011). *Estudio Experimental sobre Correlaciones en suelos granulares finos (arenas) compactados, Usando Equipos de Penetración.*

El cono se conectara a la barra de manera que no se suelte durante el procedimiento de golpeteo.

#### **2.2.2.6. Alcances del EnsayoDPL**

Los equipos de sondeo se apoyaran de manera vertical y se apoyara firmemente sobre el terreno. Las barras serán niveladas inicialmente, antes del golpe.

Se requerirá una perforación previa de poca profundidad.

El diámetro del agujero será mayor al diámetro del cono para que pueda posicionarse de manera cómoda.

#### **Hincado**

El Penetrómetro será continuamente hincado en el subsuelo. La velocidad debe estar en el rango de 15 a 30 golpes por minuto. Las excepciones de velocidad de 60 golpes por minuto será permitido en suelos de arena o gravas.

Las velocidades de hincado tiene poca influencia en los resultados.

Se deberá tomar en cuenta las interrupciones en el sitio. Factores asociados al ensayo pueden influir en la resistencia a la perforación. Se recomienda que el hincado no sobrepase los 8 m de profundidad.

#### **2.2.2.7. Precauciones, Controles y Comprobaciones.**

El martillo se deberá levantar despacio para asegurar que el martillo caiga de la altura deseada o definida.

Las deflexiones con respecto a la línea recta de la barra de 1 m no será mayor a 1mm para las 5 primeras tuberías.

La máxima desviación del equipo de prueba es de 2%.

### **2.2.3. Definiciones Conceptuales.**

**Ausculación de suelos:** La ausculación de Suelos con Sonda es un proceso indirecto de prospección de suelos de cimentación, que consiste en introducir una sonda generalmente de manera perpendicular, midiendo los parámetros de resistencia a la penetración.

**Determinación de la resistencia a la penetración:** La determinación de la resistencia a la penetración, consiste en introducir una sonda en el suelo empleando un martinete con una altura de caída invariable, registrando el número de golpes para conseguir una profundidad de penetración definida.

**Ensayo normalizado de penetración o SPT (Standart Penetration Test):** El SPT es un ensayo de campo estandarizado que sirve para la determinación de la resistencia a la penetración del suelo y que se realiza dentro de una perforación, desde la superficie del terreno y con una profundidad de penetración definida.

**Sonda:** La sonda es una serie de varillas (varillaje) con una punta de 90°.

**Equipo:** El equipo para realizar la auscultación está compuesto por una sonda, un equipo de medición y un dispositivo de introducción.

**Profundidad límite:** La profundidad límite es la profundidad desde la cual la resistencia a la penetración permanece casi constante cuando las condiciones son las mismas. La resistencia a la penetración aumenta notoriamente con la profundidad, desde el punto en que se inicia la determinación del suelo hasta la profundidad límite.

**Ensayo dinámico de penetración ligera o DPL (Dynamic Probing Ligth):** Hace referencia al ensayo de campo que se realiza para calcular la resistencia del suelo al esfuerzo cortante.

**Yunque o cabezote:** Es la pieza cilíndrica que el pisón golpea y a través del cual la energía se transmite a las varillas o tubos de perforación.

**Malacate de rotación:** el cilindro o tambos de rotación o tomo, alrededor del cual el operador enrolla un cable para subir y dejar caer el martillo, jalando y aflojando sucesivamente el cable envuelto alrededor del cilindro.

**Varillas o tubos de perforación:** Varillas o tubos empleados para transmitir hasta abajo la fuerza y el giro a la broca de perforación, mientras se perfora el hueco. También se emplean para avanzar por simple percusión y lavado.

**Martinete o Ensamblaje:** Conjunto de equipos consistente en un martillo o pesa, guía para la caída de este, y/o cualquier sistema que haga caer el martillo.

**Martillo o pesa:** La parte del martinete que consta de una pesa (aprox. 63.5 kgs en caso del SPT y 10 kgs en caso del DPL) que produce el impacto, la cual sucesivamente se levanta y suelta para que al caer, proporcione la energía necesaria para efectuar el muestreo y la penetración.

**Sistema de caída del martillo o pesa:** La parte del martinete mediante la cual el operador logra el levantamiento y la caída del martillo o pesa para producir el golpe.

## **2.2.4. Formulación de Hipótesis.**

### **2.2.4.1. Hipótesis General.**

El valor  $N_{SPT}$  es directamente proporcional al valor  $N_{DPL}$ .

### **2.2.4.2. Hipótesis Específicas.**

A mayor Ángulo de Fricción del suelo mayor será el  $N_{S.P.T.}$

A mayor profundidad del suelo de Lurín mayor será el  $N_{S.P.T.}$

A mayor profundidad del suelo de Lurín mayor será el  $N_{D.P.L.}$

### **2.2.4.3. Variables.**

Número de golpes SPT

Número de golpes DPL

Ángulo de Fricción

### **2.2.4.4. Definición de las Variables.**

**Número de golpes SPT ( $N_{SPT}$ ):** Es el número de golpes que representa la resistencia a la penetración del tubo partido en el suelo. El valor N, relacionado como golpe por pie, es igual a la suma del número de golpes requeridos para hincar el "muestreador" en el intervalo de profundidad de 150mm a 450mm. (RNE E-050).

**Número de golpes DPL ( $N_{DPL}$ ):** Es el número de golpes por cada 0,10 m de penetración mediante auscultación con el muestreador de punta cónica DPL(RNE E-050).

**Ángulo de fricción ( $\phi$ ):** El ángulo de fricción interna es función de la uniformidad de las partículas del suelo, del tamaño y la forma de los granos y de la presión normal. (Aburto y Rodríguez, 2012).

### 2.2.4.5. Operacionalización de las Variables.

La Tabla 9, muestra todas las variables que intervienen en la investigación.

Tabla 9. Operacionalización de las Variables.

VARIABLES	DEFINICIONES CONCEPTULES	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICION
<b>HIPOTESIS GENERAL</b>				
El valor $N_{SPT}$ es directamente proporcional al valor $f_{DPL}$	Es el número de golpes que representa la resistencia a la penetración del tubo partido en el suelo. El valor $N$ , relacionado como golpe por pie, es igual a la suma del número de golpes requeridos para hincar el "muestreador" en el intervalo de profundidad de 150 a 450 mm, (RNE E-050).	Parámetros de Resistencia	Mide la resistencia del Suelo	Resistencia al esfuerzo cortante
	Número de golpes por cada 0,10 m de penetración mediante auscultación con DPL. (RNE E-050).	Parámetros de Resistencia	Mide la resistencia del Suelo	Resistencia al esfuerzo cortante
<b>HIPOTESIS ESPECIFICA</b>				
A mayor Ángulo de Fricción del suelo mayor será el NS.P.T.	El ángulo de fricción interna es función de la uniformidad de las partículas del suelo, del tamaño y la forma de los granos y de la presión normal. (Aburto y Rodríguez, 2012)	Parámetros de Resistencia	Mide la resistencia del Suelo	Resistencia al esfuerzo cortante
A mayor profundidad del suelo de Lurín mayor será el NS.P.T.	Profundidad límite, es la profundidad desde el cual la resistencia a la penetración permanece casi constante cuando las condiciones son las mismas. La resistencia a la penetración aumenta notoriamente con la profundidad, desde el punto en que inicia la determinación del suelo hasta la profundidad límite.	Estrato	Tipo de Suelo	Espesor del Suelo
A mayor profundidad del suelo de Lurín mayor será el nD.P.L.	Profundidad límite, es la profundidad desde el cual la resistencia a la penetración permanece casi constante cuando las condiciones son las mismas. La resistencia a la penetración aumenta notoriamente con la profundidad, desde el punto en que inicia la determinación del suelo hasta la profundidad límite.	Estrato	Tipo de Suelo	Espesor del Suelo

Fuente: Elaboración Propia.

## **CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO.**

### **3.1. Tipo y nivel de la investigación.**

El tipo de Investigación a realizarse es de tipo Cuantitativa ya que las variables principales  $N_{SPT}$  y  $N_{DPL}$  se medirán de manera numérica.

El estudio comienza con un planteamiento de alcance correlacional porque asociara valores del  $N_{SPT}$  y  $N_{DPL}$  a fin de establecer una relación entre ellas.

### **3.2. Diseño de la investigación.**

Es no experimental, porque las variables  $N_{SPT}$  y  $N_{DPL}$  no sufrirán cambios intencionales.

Es transversal, porque los ensayos de penetración y la recolección de información ( $N_{SPT}$  y  $N_{DPL}$ ) se harán en un único momento.

Es correlacional, porque asociara valores del  $N_{SPT}$  y  $N_{DPL}$  a fin de establecer una relación entre ellas.

### **3.3. Universo, Población y Muestra**

La población estará definida como todos los depósitos eólicos que se encuentran en la zona sur de la ciudad de Lima, que en su mayoría son arenas; de igual forma, la muestra estaría definida por un terreno de 1000m<sup>2</sup> ubicado en la Asociación Agropecuaria Sumac Pacha, en el distrito de Lurín.

### 3.4. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

La Tabla 10, muestra todos los instrumentos utilizados en la recolección de datos de la presente investigación.

*Tabla 10. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.*

<b>Técnica</b>	<b>Instrumento</b>
Ensayo de Penetración Estándar según NTP N° 339.133	Equipo SPT
Ensayo de Penetración Ligera según NTP N° 339.159	Equipo DPL
Ensayo de densidad de campo con cono y arena según NTP N°339.143	Equipo de cono y arena
Ensayo de corte directo según NTP N° 339.171	Equipo de corte directo

Fuente: Elaboración Propia.

#### 3.4.1. Descripción de los Instrumentos.

Se realizaron ensayos de campo dentro del terreno de 1000m<sup>2</sup>, ubicado en la Asociación Agropecuaria Sumac Pacha. Las variables medidas fueron: Número de golpes del SPT, Número de golpes del DPL, ángulo de fricción.

#### 3.4.2. Validez y confiabilidad de los Instrumentos.

Las variables medidas fueron evaluadas, analizadas y validadas por especialistas en la investigación sobre la correlación del valor N de campo de los ensayos SPT y DPL.

### 3.5. Técnicas para el procesamiento y análisis de los datos.

Para el procesamiento y análisis de los datos, se usó un método estadístico paramétrico, que es el coeficiente de correlación de Pearsson y regresión lineal. Para ello, se ordenaron las variables en orden creciente. Los gráficos presentes en los resultados, son ajustados a un modelo matemático, por el método de mínimos cuadrados, que puede ser una ecuación lineal, exponencial, polinómica, etc.; las cuales, se reflejan en los resultados mostrados en la investigación.

## **CAPÍTULO IV: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

### **4.1. Análisis e interpretación de los resultados**

#### **4.1.1. Trabajos de campo y laboratorio**

##### **4.1.1.1. Trabajos de campo:**

Con la finalidad de correlacionar los valores N de campo de los ensayos SPT y DPL, y además, relacionar los valores obtenidos en campo, a través de dichos equipos, con los valores obtenidos con ayuda del gráfico de Peck, Hanson y Thorburn, se han realizado 02 ensayos SPT, ubicados estratégicamente dentro de la zona en estudio; de igual manera, se han realizado 05 ensayos de DPL; y paralelamente se han realizado 04 calicatas de exploración. Todo esto con la finalidad, primero, de relacionar el valor del número de golpes obtenido con uno y otro equipo (Correlacionar el valor N de campo del ensayo SPT con el del ensayo DPL), y en segundo lugar, relacionar los resultados obtenidos con cada uno de los ensayos, con el valor real (parámetros obtenidos a través del ensayo de corte directo en el laboratorio).

Las 04 calicatas, que fueron realizadas a cielo abierto y de forma manual (un operario con pico y lampa), alcanzaron profundidades uniformes, llegándose hasta los 1.50m de profundidad en todas las calicatas, de los perfiles estratigráficos definidos de cada calicata se extrajeron muestras representativas alteradas de los estratos encontrados, debidamente identificadas para luego enviarlas al laboratorio de Mecánica de Suelos a las cuales le han realizado los ensayos normales y especiales según las normas estándar ASTM de mecánica de suelos para determinar los parámetros de resistencia de cada uno de los estratos, para luego ser comparados con los valores obtenidos a través de los ensayos SPT y DPL. En las Figuras 8 y 9, se muestran la ejecución y obtención de muestras de la calicata C-01, proceso que fue repetido en las calicatas posteriores.



*Figura 8. Perfil de la calicata C-01 realizada a cielo abierto; se observa la profundidad de 1.50m.*



*Figura 9. Obtención de muestras de la calicata C-01.*

También fueron realizados ensayos de resistencia del suelo con la profundidad con equipo SPT (Ver Figura 10) y toma de muestras alteradas con el muestreador de caña partida. Se tomaron dos puntos, elegidos estratégicamente, que nos servirán como puntos representativos, que serán comparados con el ensayo de DPL; y paralelamente, los resultados obtenidos con los mismos, serán comparados con los obtenidos con el ensayo de corte directo.



*Figura 10. Vista del ensayo SPT realizado en la zona de estudio.*

De igual manera, fueron realizados ensayos de resistencia del suelo con la profundidad con equipo DPL (Ver Figura 11). Se tomaron en total cinco puntos, elegidos estratégicamente, que nos servirán como puntos representativos, que serán comparados con el ensayo SPT; y paralelamente, los resultados obtenidos con los mismos, serán comparados con los obtenidos en el laboratorio a través del ensayo de corte directo.



*Figura 11. Vista del ensayo DPL realizado en la zona de estudio.*

Todos los trabajos de campo fueron realizados con el apoyo de algunas personas especializadas en los ensayos de campo, acompañados de los tesisistas, que supervisaron en todo momento las labores realizadas.

En resumen podemos indicar que el programa de campo para el desarrollo de la tesis "Correlación de los valores N de campo de los ensayos SPT y DPL" fue el siguiente:

- Ejecución de 04 calicatas a cielo abierto de una profundidad máxima de 1.50m para comparación con los ensayos de penetración.
- Ejecución de ensayos SPT a diferentes profundidades en dos puntos estratégicos de la zona en estudio.
- Obtención de muestra alterada con muestreador de caña partida del SPT.
- Ejecución de ensayos DPL a diferentes profundidades en cinco puntos estratégicos de la zona en estudio.
- Clasificación Manual Visual de Suelos Norma ASTM D 2487.
- Ensayo de densidad "in situ", con el método del cono de arena.
- Determinación del perfil estratigráfico.

#### 4.1.1.2. Ensayos de Penetración Estándar:

Los ensayos de penetración estándar fueron desarrollados utilizando tuberías de perforación AQ con un muestreador de caña partida de diámetro de 60 mm estandarizado para el ensayo SPT, las mismas que son hincadas mediante golpes con un martillo que cae de una altura de 76 cm. con peso de 140 Lb. Que fue impulsado a través de la fuerza humana, sujeto a una soga que corre a través de una polea.

Se contabilizó el número de golpes por cada 15 cm de penetración para una penetración total de 45 cm.

Las pruebas fueron realizadas a diferentes profundidades, teniéndose un material altamente compactado, la resistencia del suelo de la zona, era directamente proporcional a la profundidad; es decir, a medida que aumentaba la profundidad de la perforación, aumentaba el número de golpes, llegándose al rechazo en profundidades muy cercanas a los 2 - 3m.

Los número de golpes obtenidos en campo, se normalizaran en gabinete, con la siguiente fórmula:

$$N_{60} = NC_N C_B C_R C_S C_E$$

Donde:

$C_N$  : Presión calculada de sobrecarga.

$C_B$  : Factor de corrección por diámetro.

$C_R$  : Factor de corrección por longitud.

$C_S$  : Factor de corrección por muestreador.

$C_E$  : Factor de corrección por energía.

$N$  : Número de golpes contabilizados en campo.

## **EQUIPOS UTILIZADOS**

Para la ejecución de los ensayos realizados se contaron con los siguientes equipos, materiales y herramientas:

- 1) EQUIPO DE PENETRACIÓN ESTANDAR DEL TIPO SPT montada sobre un trípode variable de hasta 5m de altura, equipado con todos los accesorios necesarios de perforación, como son:
  - 01 Martillo de acero de 140 Lb de peso según norma ASTM.
  - 01 Trípode desmontable de acero telescópico de 5m. de altura.
  - 01 Poleas para guiar los golpes del martillo
  - 02 Sogas para sujetar el martillo que gira a través de la polea
  - Barras de Perforación guías Línea AQ de hasta 10 ml.
  - Block Elevador.
- 2) Herramientas para las operaciones de izamiento del varillado, acople y desacople de las tuberías AQ y caña partida.
- 3) Accesorios para desmontaje de muestras y colocación de tuberías.
- 4) Muestreadores de caña Partida del tipo SPT con puntas cónicas abiertas.
- 5) Cajas Porta testigos de plástico para colocación de muestras recuperadas, que luego serán ensayadas en el laboratorio.

En las Figuras 12, 13 y 14, se observa la ejecución y obtención de muestras, durante el procedimiento del ensayo SPT.



*Figura 12. Vista de los trabajos de evaluación de la resistencia del suelo con la profundidad con equipo SPT, en la vista se observa el martillo de 140 Lb, que cae de una altura de 76cm. Donde se mide el número de golpes por cada 15 cm, de penetración.*



*Figura 13. Vista del equipo SPT, donde se aprecia el martillo de 140 Lb, de peso y tubería de penetración donde se indican los tramos a medir la resistencia.*



*Figura 14. Vista de las muestras recuperadas en el ensayo SPT, con la posteadora manual, y con el tubo muestreador de caña partida.*

## **RESUMEN DE LOS TRABAJOS**

Los ensayos SPT se realizaron con la finalidad de evaluar la resistencia del suelo con la profundidad y correlacionar los valores del número de golpes en campo con los obtenidos a través del ensayo de DPL, estos trabajos de perforación nos ha permitido conocer la estratigrafía del suelo y determinar las características geotécnicas del suelo de cimentación, en general, el terreno de apoyo corresponde a un depósito eólico arenoso, observándose un suelo arenoso en toda la zona, las pruebas de resistencia, con la profundidad ofrecieron valores altos, debido a que los depósitos arenosos, se encuentran en un alto estado de compacidad, proposición que fue comprobada al momento de realizar los ensayos de densidad de campo, donde se obtuvieron altos valores.

Las Tablas 11 y 12, muestran el reporte de ensayos SPT. Las Figuras 15 y 16, muestran los ensayos SPT-01 y SPT-02 respectivamente.

Tabla 11. Reporte de los Ensayos SPT-01

ENSAYO SPT - 01		N <sub>15</sub>	N <sub>30</sub>	N <sub>45</sub>	N
Nº de Ensayo	Profundidad (m)				
01	0.50 – 0.95	14	20	24	44
02	1.50 – 1.95	11	13	16	29
03	2.50 – 2.95	20	45	>50	Rech.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 15. Vista del ensayo SPT-01, se puede observar al personal preparando el equipo para comenzar con el ensayo de penetración estándar.

Tabla 12. Reporte de los Ensayos SPT-02

ENSAYO SPT - 02		N <sub>15</sub>	N <sub>30</sub>	N <sub>45</sub>	N
Nº de Ensayo	Profundidad (m)				
01	0.50 – 0.95	11	16	29	45
02	1.50 – 1.95	8	18	50	68
03	2.50 – 2.95	13	28	42	70
04	3.50 - 3.95	18	29	>50	Rech.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 16. Vista del ensayo SPT-02, realizado en el segundo punto.

## **REGISTRO GENERAL DE LOS TRABAJOS EJECUTADOS:**

### **ENSAYO SPT-01: PROFUNDIDAD 0.50m. – 0.95m.**

Los primeros 0.50m, se perforaron con la ayuda de una posteadora manual, que nos permitió retirar el material de relleno suelto que se encontraba en la parte superficial; por lo tanto, la evaluación de la resistencia del suelo se efectuó a partir de los 0.50m de profundidad, obteniéndose un valor de resistencia del suelo de  $N=44$  golpes/pie que corresponde a un suelo arenoso bien graduado del tipo SW, como se observa en la Figura 17.



*Figura 17. Vista del material recuperado con la tubería de caña partida (0.50m-0.95m), donde se observa claramente el material arenoso recuperado de la zona.*

### **ENSAYO SPT-01: PROFUNDIDAD 1.50m. – 1.95m.**

La evaluación de la resistencia del suelo se efectuó a los 1.50m de profundidad, obteniéndose un valor de resistencia del suelo de  $N=29$  golpes/pie que corresponde a un material más fino que el anterior, un suelo del tipo limo-arenoso, como se observa en la Figura 18. No se pudo continuar con el ensayo, debido a que el suelo rechazó a partir de los 2.50m de profundidad.



Figura 18. Vista del material recuperado con la tubería de caña partida (1.50m-1.95m), donde se puede ver un material más fino que el anterior.

La Tabla 13, muestra los ensayos efectuados, así como el número de golpes normalizado a través de las correcciones de la presión efectiva, del diámetro de la perforación, de la longitud, del muestreador utilizado en la ejecución, y de la energía. En la Figura 19, se observa el gráfico del  $N(SPT-01)$  vs profundidad.

Tabla 13. Factores de Corrección para el cálculo del  $N'_{60}$  del SPT - 01

Datos			Resultados							
Prof. (m.)	N	$\gamma_r$ (Kg/m <sup>3</sup> )	$\sigma'$ (KPa)	N	$C_H$	$C_B$	$C_R$	$C_s$	$C_E$	$N'_{60}$
0,50	14	1986	9,93	44	1,700	1,150	0,75	1,00	0,60	38,71
	20									
0,95	24									
1,50	11	1483	27,30	29	1,700	1,150	0,75	1,00	0,60	25,51
	13									
1,95	16									

Fuente: Elaboración propia.

# SPT-01

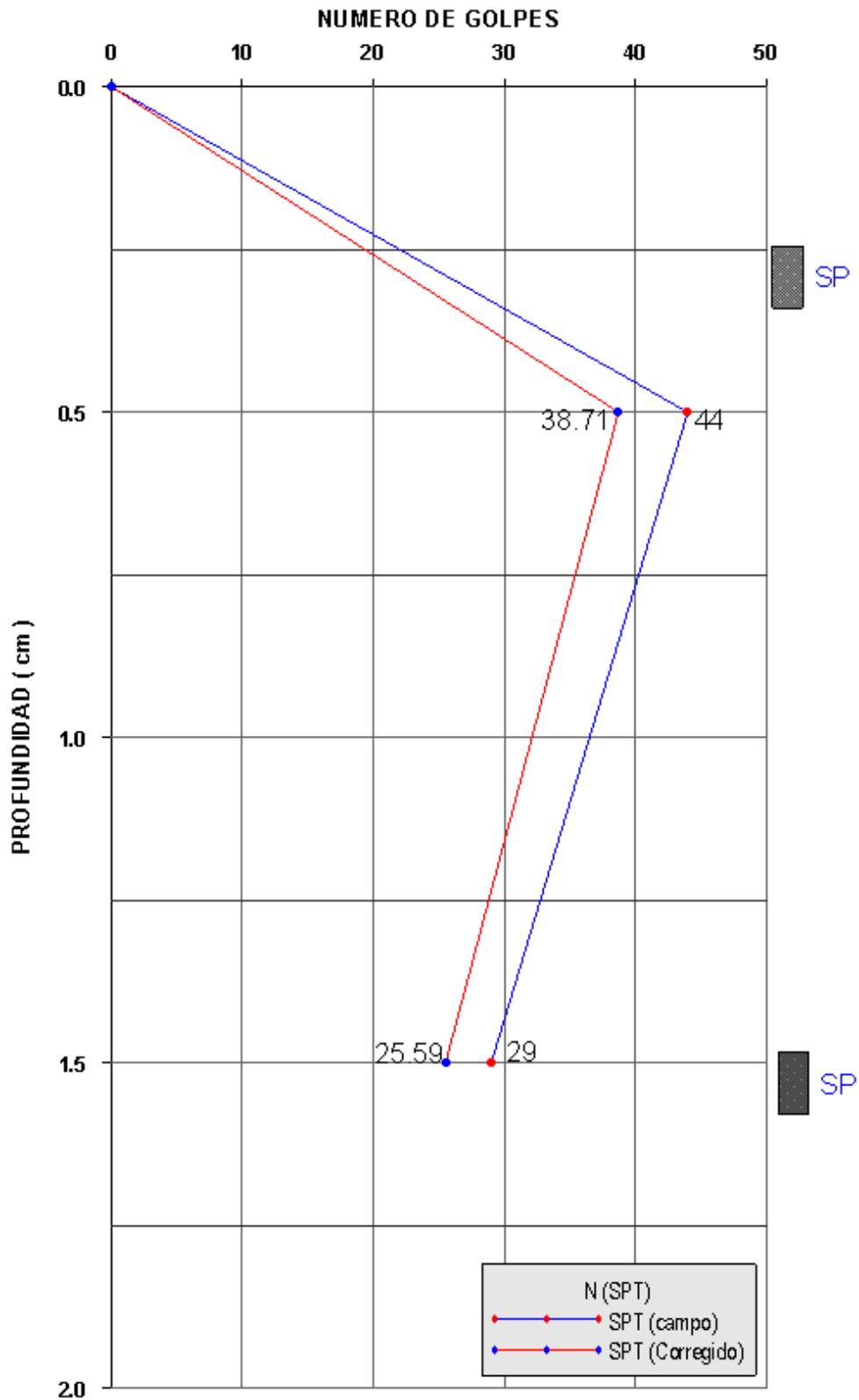


Figura 19. Gráfico N(SPT-01) vs. Profundidad. Fuente: Elaboración propia.

### **ENSAYO SPT-02: PROFUNDIDAD 0.50m. – 0.95m.**

Los primeros 0.50m, se perforaron con la ayuda de una posteadora manual, que nos permitió retirar el material de relleno suelto que se encontraba en la parte superficial; por lo tanto, la evaluación de la resistencia del suelo se efectuó a partir de los 0.50m de profundidad, obteniéndose un valor de resistencia del suelo de N=45 golpes/pie que corresponde a un suelo arenoso mal graduado del tipo SP como se observa en la Figura 20.



*Figura 20. Vista de la muestra obtenida a la profundidad de 0.50m, se observa un material arenoso de color gris.*

### **ENSAYO SPT-02: PROFUNDIDAD 1.50m. – 1.95m.**

La evaluación de la resistencia del suelo se efectuó a los 1.50m de profundidad, obteniéndose un valor de resistencia del suelo de N=68 golpes/pie que corresponde a un material muy similar al anterior, arenoso, del tipo SP.

### **ENSAYO SPT-02: PROFUNDIDAD 2.50m. – 2.95m.**

La evaluación de la resistencia del suelo se efectuó a los 2.50m de profundidad, obteniéndose un valor de resistencia del suelo de N=70 golpes/pie que corresponde a un material de similares características al anterior; No se pudo continuar con el ensayo, debido a que el suelo rechazó a partir de los 3.50m de profundidad.



Figura 21. Vista de todas las muestras obtenidas durante la ejecución del ensayo SPT 02, en general, se puede observar un material arenoso, aparentemente homogéneo.

La Tabla 14 muestra los ensayos efectuados, así como el número de golpes normalizado a través de las correcciones de la presión efectiva, del diámetro de la perforación, de la longitud, del muestreador utilizado en la ejecución, y de la energía. En la Figura 22, se observa el gráfico del  $N(SPT-02)$  vs profundidad.

Tabla 14. Factores de Corrección para el cálculo del  $N'_{60}$  del SPT - 02.

Datos			Resultados							
Prof. (m.)	N	$\gamma_r$ (Kg/m <sup>3</sup> )	$\sigma'$ (kPa)	N	$C_H$	$C_B$	$C_R$	$C_S$	$C_E$	$N'_{60}$
0,50	11	2182	10,91	45	1,700	1,150	0,75	1,00	0,60	39,59
	16									
0,95	29									
1,50	8	1607	31,34	68	1,700	1,150	0,75	1,00	0,60	59,82
	18									
1,95	50									
2,50	13	1607	47,41	70	1,452	1,150	0,75	1,00	0,60	52,62
	28									
2,95	42									

Fuente: Elaboración propia.

## SPT-02

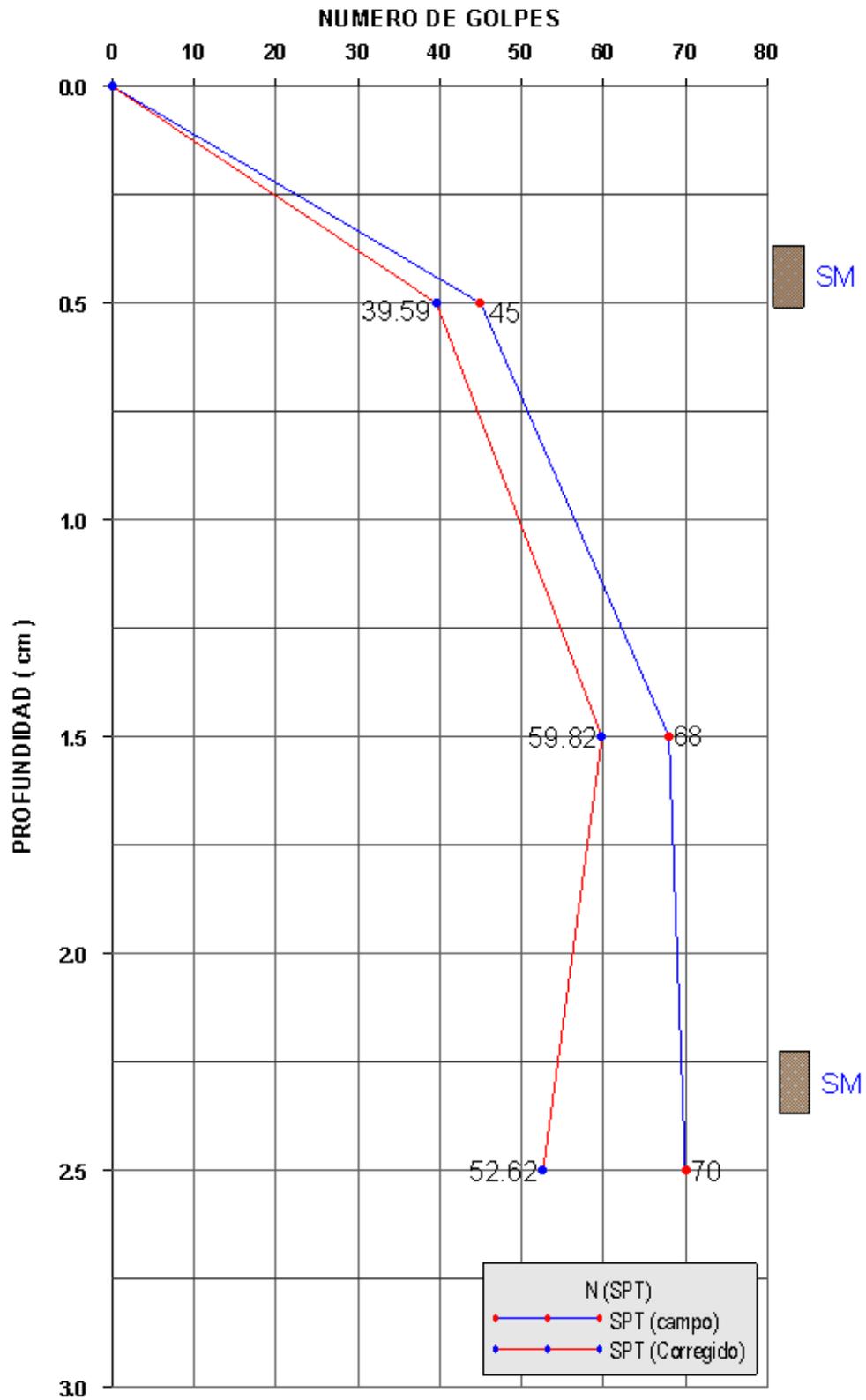


Figura 22. Gráfico N(SPT-02) vs. Profundidad. Fuente: Elaboración propia.

#### **4.1.1.3. Ensayos de Penetración Ligera:**

Los ensayos de penetración ligera DPL fueron desarrollados utilizando la varilla de punta cónica, estandarizado para el ensayo DPL, las mismas que son hincadas mediante golpes con un martillo que cae de una altura de 50 cm. con peso de 10Kg. Que fue impulsado a través de un operario especializado en el ensayo, con una velocidad de ejecución de prueba de 15 a 30 golpes por minuto, tal como indica la norma NTP 339.159.

Se contabilizo el número de golpes por cada 10 cm de penetración, continuándose con el ensayo, hasta la profundidad donde se produzca el rechazo.

Las pruebas fueron realizadas a diferentes profundidades, teniéndose un material arenoso altamente compactado, la resistencia del suelo de la zona, era directamente proporcional a la profundidad; es decir, a medida que aumentaba la profundidad de la perforación, aumentaba el número de golpes, llegándose al rechazo en profundidades muy cercanas a los 2 - 3m.

Una vez obtenido el valor del número de golpes para cada 0.10m de profundidad, se tomó un promedio para cada uno de los estratos de nuestro terreno en estudio, para luego pasar directamente a los ábacos correspondientes que nos permitirán calcular los parámetros de resistencia del suelo.

### **EQUIPOS UTILIZADOS**

Para la ejecución de los ensayos realizados se contaron con los siguientes equipos, materiales y herramientas:

- 1) EQUIPO DE PENETRACIÓN DINÁMICA LIGERA DEL TIPO DPL, equipado con todos los accesorios necesarios de penetración (ver Figura 23), como son:
  - 01 Martillo de acero de 10 Kg. de peso (ver Figura 24).
  - 01 Una varilla de punta cónica de acero.
  - 01 Varilla de acero, con la contra masa.

2) Herramientas para el acople de varillas, tales como llaves inglesas y stilson.



*Figura 23. Vista del equipo DPL instalado en el primer punto de exploración, listo para comenzar con el ensayo.*



*Figura 24. Vista del martillo de 10 Kg., el tubo guía y la varilla de penetración.*

## RESUMEN DE LOS TRABAJOS:

Los ensayos DPL se realizaron con la finalidad de evaluar la resistencia del suelo con la profundidad, estos trabajos de penetración nos han permitido calcular los parámetros de resistencia del suelo en estudio, en general, el terreno de apoyo corresponde a un depósito eólico arenoso, observándose un suelo arenoso en toda la zona, las pruebas de resistencia, con la profundidad ofrecieron valores altos, debido a que los depósitos arenosos, se encuentran en un alto estado de compacidad, proposición que fue comprobada al momento de realizar los ensayos de densidad de campo, donde se obtuvieron altos valores.

Las Tablas 15, 16, 17, 18 y 19, muestran los reportes de los ensayos DPL realizados:

*Tabla 15. Reporte de los Ensayos DPL-01*

<b>ENSAYO DPL - 01</b>		<b>N</b>
<b>Nº de Ensayo</b>	<b>Profundidad (m)</b>	
<b>01</b>	0.50 – 0.60	32
<b>02</b>	0.60 – 0.70	35
<b>03</b>	0.70 – 0.80	50
<b>04</b>	0.80 - 0.90	Rech.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16. Reporte de los Ensayos DPL-02

<b>ENSAYO DPL - 02</b>		<b>N</b>
<b>Nº de Ensayo</b>	<b>Profundidad (m)</b>	
<b>01</b>	0.60 – 0.70	23
<b>02</b>	0.70 – 0.80	40
<b>03</b>	0.80 – 0.90	48
<b>04</b>	0.90 - 1.00	Rech.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17. Reporte de los Ensayos de DPL-03

<b>ENSAYO DPL - 03</b>		<b>N</b>
<b>Nº de Ensayo</b>	<b>Profundidad (m)</b>	
<b>01</b>	0.50 – 0.60	25
<b>02</b>	0.60 – 0.70	36
<b>03</b>	0.70 – 0.80	48
<b>04</b>	0.80 - 0.90	13
<b>05</b>	0.90 - 1.00	Rech.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18. Reporte de los Ensayos de DPL-04

<b>ENSAYO DPL - 04</b>		<b>N</b>
<b>Nº de Ensayo</b>	<b>Profundidad (m)</b>	
<b>01</b>	0.50 – 0.60	19
<b>02</b>	0.60 – 0.70	40
<b>03</b>	0.70 – 0.80	47
<b>04</b>	0.80 - 0.90	Rech.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19. Reporte de los Ensayos de DPL-05

<b>ENSAYO DPL - 05</b>		<b>N</b>
<b>Nº de Ensayo</b>	<b>Profundidad (m)</b>	
<b>01</b>	0.50 – 0.60	13
<b>02</b>	0.60 – 0.70	20
<b>03</b>	0.70 – 0.80	24
<b>04</b>	0.80 - 0.90	30
<b>05</b>	0.90 - 1.00	49
<b>06</b>	1.00 - 1.10	15
<b>07</b>	1.10 - 1.20	15
<b>08</b>	1.20 - 1.30	22
<b>09</b>	1.30 - 1.40	19
<b>10</b>	1.40 - 1.50	20
<b>11</b>	1.50 - 1.60	26
<b>12</b>	1.60 - 1.70	34
<b>13</b>	1.70 - 1.80	41
<b>14</b>	1.80 - 1.90	Rech.

Fuente: Elaboración propia.

## REGISTRO GENERAL DE LOS TRABAJOS EJECUTADOS:

### ENSAYO DPL-01: PROFUNDIDAD 0.50m. – 0.80m.

Los primeros 0.50m, se perforaron con la ayuda de una posteadora manual, que nos permitió retirar el material de relleno suelto que se encontraba en la parte superficial; por lo tanto, la evaluación de la resistencia del suelo se efectuó a partir de los 0.50m de profundidad, obteniéndose un valor promedio de resistencia del suelo de  $N=39$  golpes que corresponde a un suelo arenoso bien graduado SW; a partir de los 0.80 m de profundidad, se vio un rechazo del suelo, ya que se efectuaron los 50 golpes, y la varilla no penetró los 0.10 m que debía penetrar. En la Figura 25, se muestra la ejecución del ensayo DPL - 01, y en la Figura 26, se muestra el gráfico  $N(DPL-01)$  vs. profundidad.



*Figura 25. Vista del ensayo DPL - 01, ubicado en la zona nor-oeste de la zona en estudio; se puede apreciar la punta cónica de la varilla de penetración, y también el tope y la contra masa donde se impulsará el martillo.*

# DPL-01

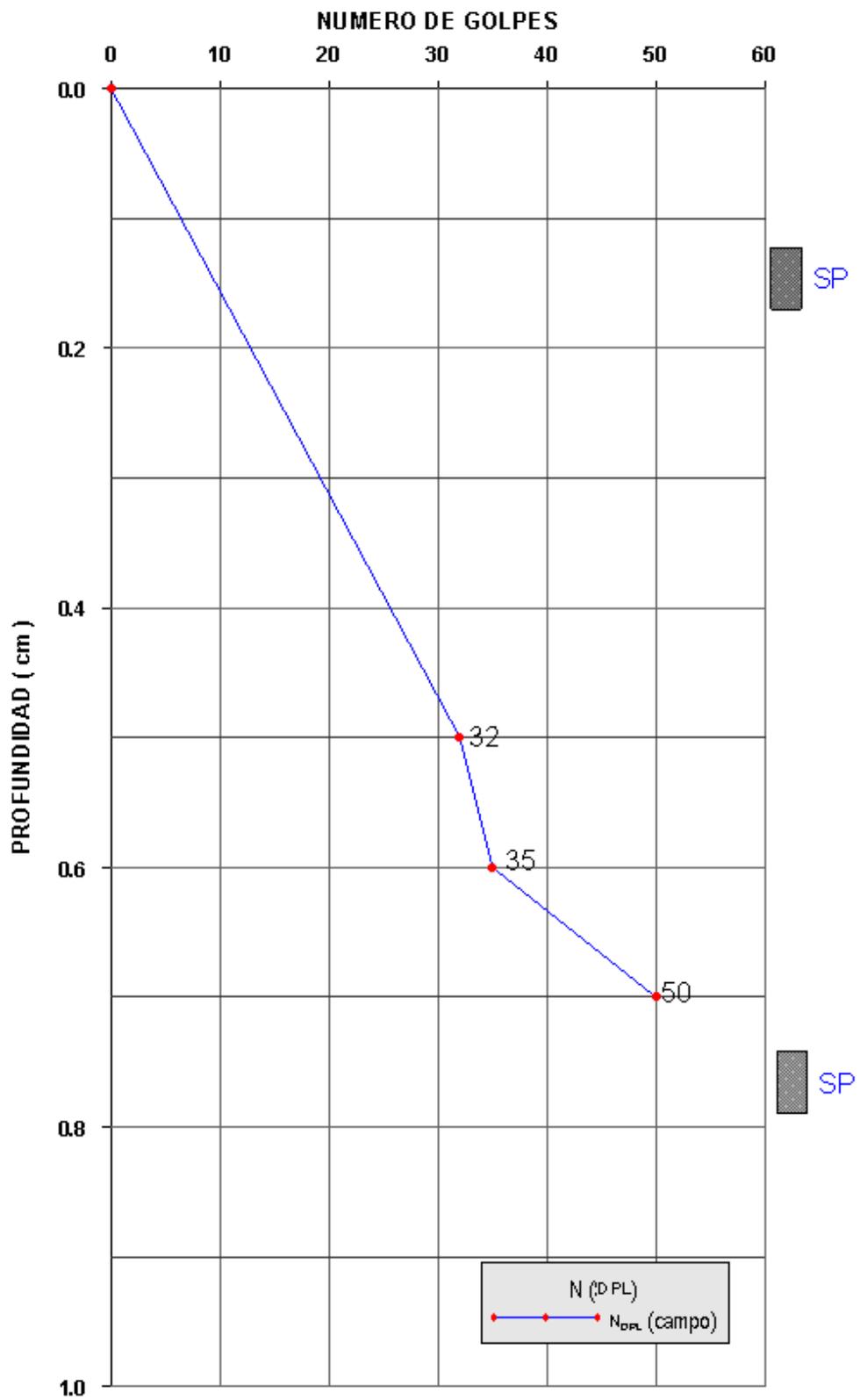


Figura 26. Gráfico N(DPL-01) vs. Profundidad. Fuente: Elaboración propia.

### **ENSAYO DPL-02: PROFUNDIDAD 0.60m. – 0.90m.**

Los primeros 0.60m, se perforaron con la ayuda de una posteadora manual, que nos permitió retirar el material de relleno suelto que se encontraba en la parte superficial; por lo tanto, la evaluación de la resistencia del suelo se efectuó a partir de los 0.50m de profundidad, obteniéndose un valor promedio de resistencia del suelo de  $N=37$  golpes que corresponde a un suelo arenoso pobremente graduado SP; a partir de los 0.90 m de profundidad, se vio un rechazo del suelo, ya que se efectuaron los 50 golpes, y la varilla no penetró los 0.10 m que debía penetrar. En la Figura 27, se muestra la ejecución del ensayo DPL - 02, y en la Figura 28, se muestra el gráfico  $N(DPL-02)$  vs. profundidad.



*Figura 27. Vista del ensayo DPL - 02, ubicado en la zona nor-este del terreno en estudio; en la imagen se puede observar al personal, debidamente protegido, realizando los ensayos de penetración dinámica.*

## DPL-02

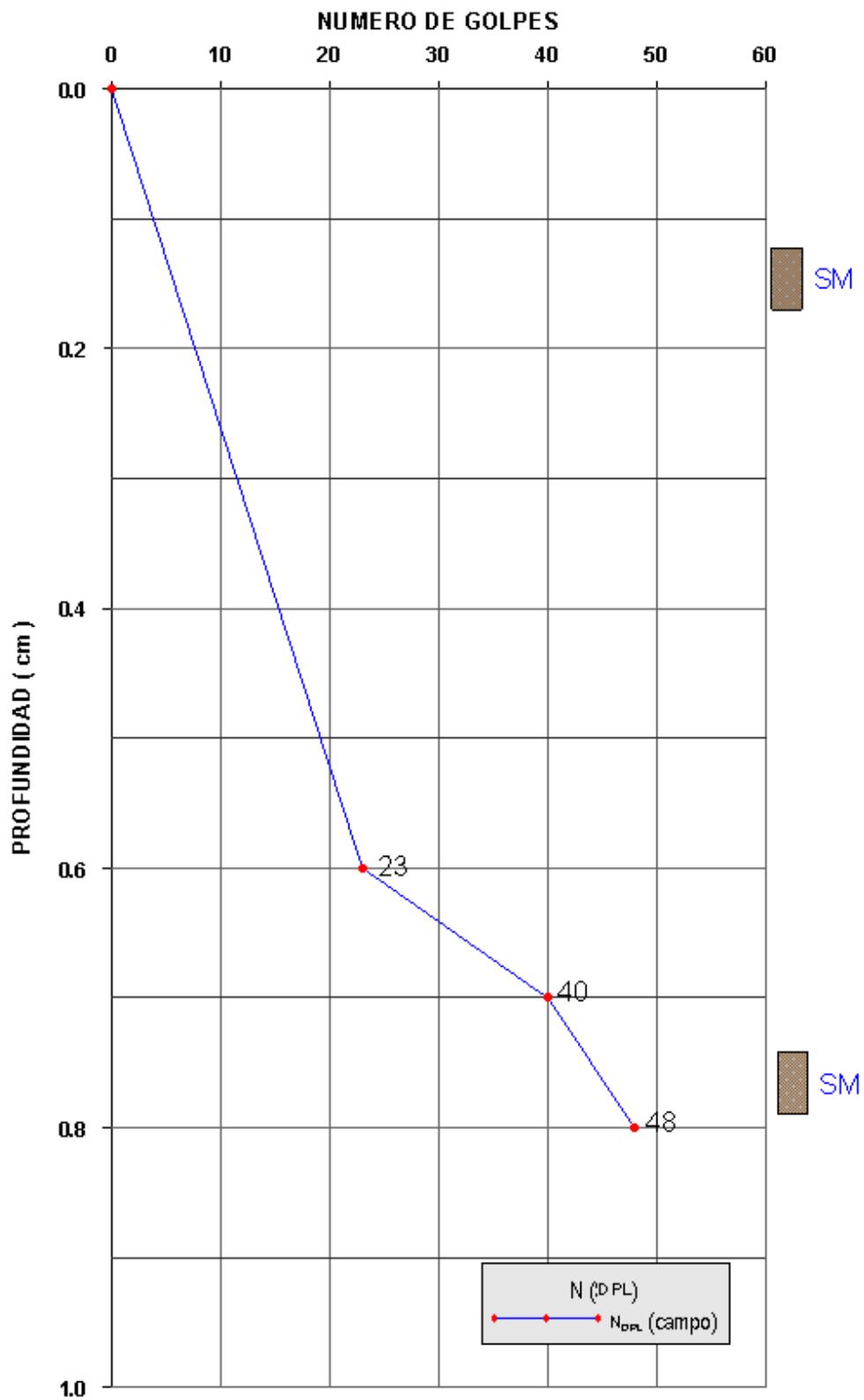


Figura 28. Gráfico N(DPL-02) vs. Profundidad. Fuente: Elaboración propia.

### **ENSAYO DPL-03: PROFUNDIDAD 0.50m. – 0.90m.**

Los primeros 0.50m, se perforaron con la ayuda de una posteadora manual, que nos permitió retirar el material de relleno suelto que se encontraba en la parte superficial; por lo tanto, la evaluación de la resistencia del suelo se efectuó a partir de los 0.50m de profundidad, obteniéndose un valor promedio de resistencia del suelo de  $N=30.5$  golpes que corresponde a un suelo arenoso bien graduado SW; a partir de los 0.90 m de profundidad, se vio un rechazo del suelo, ya que se efectuaron los 50 golpes, y la varilla no penetró los 0.10 m que debía penetrar. En la Figura 29, se muestra la ejecución del ensayo DPL - 03, y en la Figura 30, se muestra el gráfico  $N(\text{DPL-03})$  vs. profundidad.



*Figura 29. Vista del ensayo DPL - 03, en la imagen se puede observar el equipo de DPL sin la contra masa, se estaba colocando el equipo lo más perpendicular posible, para comenzar con el ensayo.*

# DPL-03

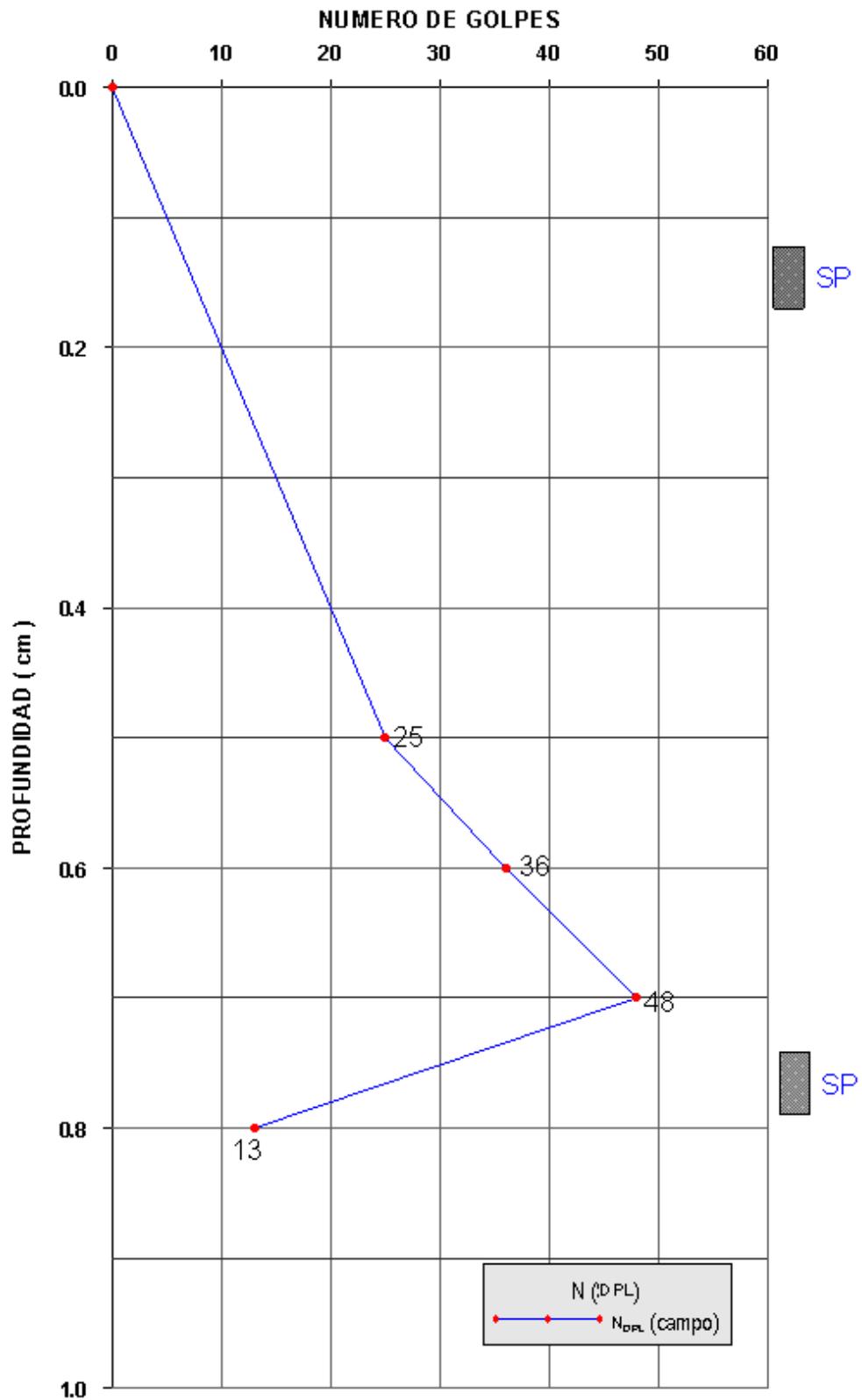


Figura 30. Gráfico N(DPL-03) vs. Profundidad. Fuente: Elaboración propia.

### **ENSAYO DPL-04: PROFUNDIDAD 0.50m. – 0.80m.**

Los primeros 0.50m, se perforaron con la ayuda de una posteadora manual, que nos permitió retirar el material de relleno suelto que se encontraba en la parte superficial; por lo tanto, la evaluación de la resistencia del suelo se efectuó a partir de los 0.50m de profundidad, obteniéndose un valor promedio de resistencia del suelo de  $N=35.3$  golpes que corresponde a un suelo arenoso pobremente graduado SP; a partir de los 0.80 m de profundidad, se vio un rechazo del suelo, ya que se efectuaron los 50 golpes, y la varilla no penetró los 0.10 m que debía penetrar. En la Figura 31, se muestra la ejecución del ensayo DPL - 04, y en la Figura 32, se muestra el gráfico  $N(DPL-04)$  vs. profundidad.



*Figura 31. Vista del ensayo DPL - 04, en la imagen se puede observar el equipo de DPL, en el último ensayo, donde se produjo el rechazo, a una profundidad aproximada de 0.90m.*

## DPL-04

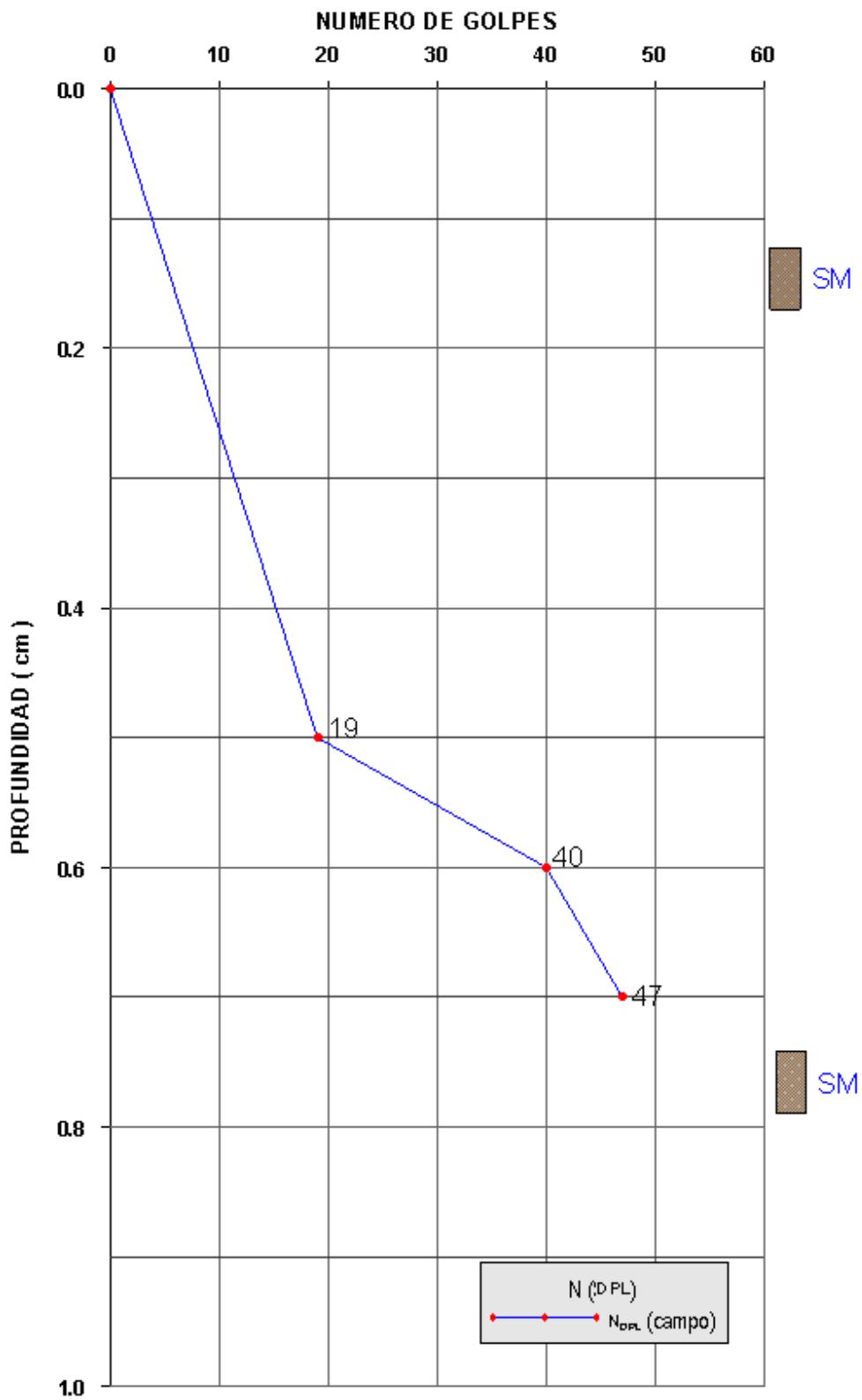


Figura 32. Gráfico N(DPL-04) vs. Profundidad. Fuente: Elaboración propia.

### **ENSAYO DPL-05: PROFUNDIDAD 0.50m. – 1.80m.**

Los primeros 0.50m, se perforaron con la ayuda de una posteadora manual, que nos permitió retirar el material de relleno suelto que se encontraba en la parte superficial; por lo tanto, la evaluación de la resistencia del suelo se efectuó a partir de los 0.50m de profundidad, obteniéndose un valor promedio de resistencia del suelo de  $N=25.23$  golpes que corresponde a un suelo arenoso más fino, probablemente una arena del tipo SM; a partir de los 1.80 m de profundidad, se vio un rechazo del suelo, ya que se efectuaron los 50 golpes, y la varilla no penetró los 0.10 m que debía penetrar. En la Figura 33, se muestra la ejecución del ensayo DPL - 05, y en la Figura 34, se muestra el gráfico  $N(\text{DPL-05})$  vs. profundidad.



*Figura 33. Vista del ensayo DPL - 05, en la imagen se puede observar el equipo DPL, en el cual se debieron ensamblar 02 varillas, ya que la profundidad de penetración fue de aproximadamente 1.80m.*

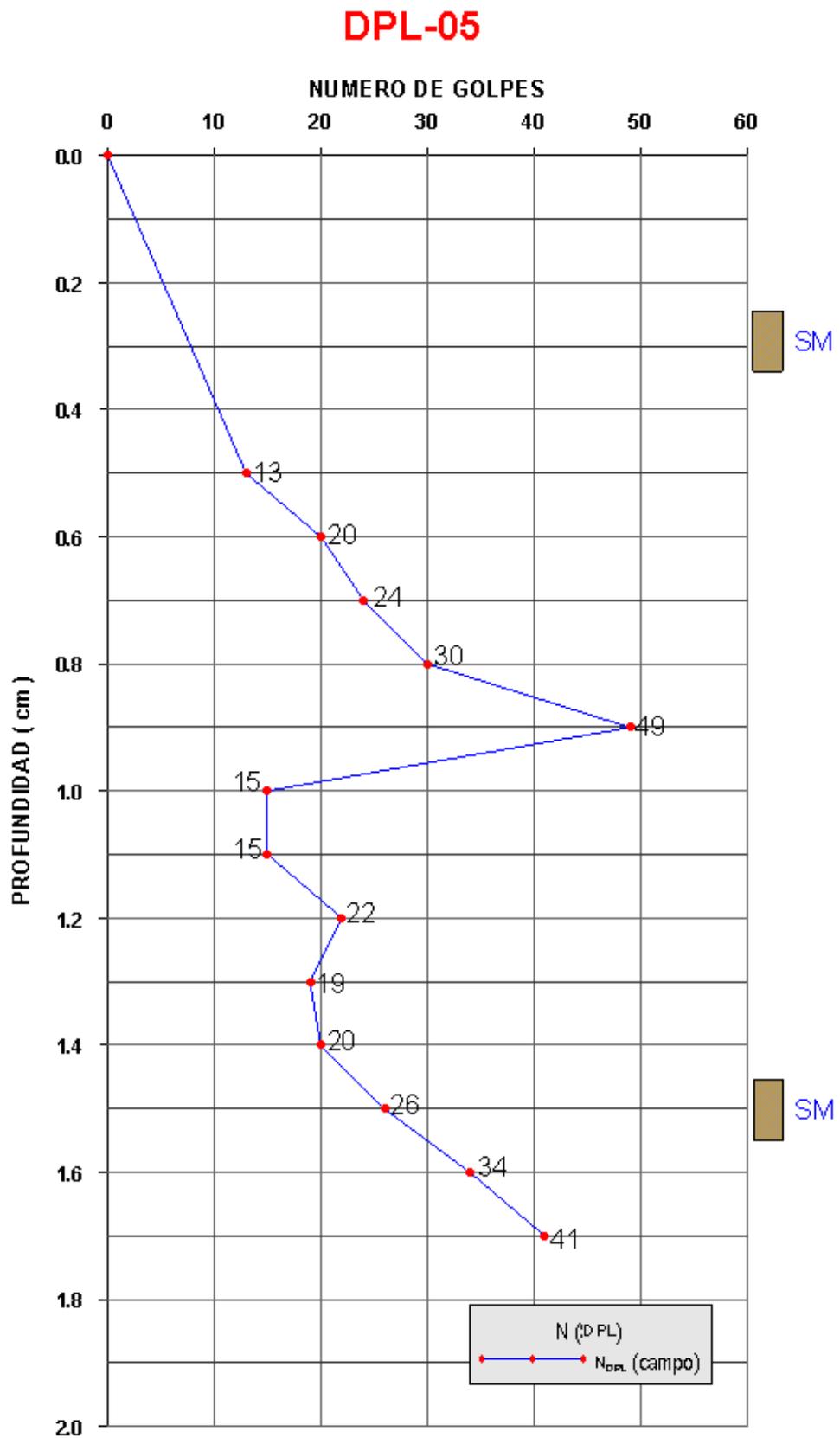


Figura 34. Gráfico N(DPL-05) vs. Profundidad. Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.1.4. Resumen de los ensayos de campo ejecutados y procesados

En las Tablas 20 y 21, se muestra un resumen de los ensayos SPT y DPL ejecutados en campo, respectivamente.

*Tabla 20. Resumen de los ensayos SPT realizados.*

ENSAYO	SUCS	PROFUNDIDAD	N <sub>campo</sub>	N' 60
SPT - 01	SP	0,50m - 0,95m	44	38,71
	SP	1,50m - 1,95m	29	25,51
SPT - 02	SM	0,50m - 0,95m	45	39,59
	SM	1,50m - 1,95m	68	59,82
	SM	2,50m - 2,95m	70	52,62

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21. Resumen de los ensayos DPL realizados.

ENSAYO	PROFUNDIDAD	N <sub>campo</sub>
DPL - 01	0,50m - 0,60m	32
	0,60m - 0,70m	35
	0,70m - 0,80m	50
DPL - 02	0,60m - 0,70m	23
	0,70m - 0,80m	40
	0,80m - 0,90m	48
DPL - 03	0,50m - 0,60m	25
	0,60m - 0,70m	36
	0,70m - 0,80m	48
	0,80m - 0,90m	13
DPL - 04	0,50m - 0,60m	19
	0,60m - 0,70m	40
	0,70m - 0,80m	47
DPL - 05	0,50m - 0,60m	13
	0,60m - 0,70m	20
	0,70m - 0,80m	24
	0,80m - 0,90m	30
	0,90m - 1,00m	49
	1,00m - 1,10m	15
	1,10m - 1,20m	15
	1,20m - 1,30m	22
	1,30m - 1,40m	19
	1,40m - 1,50m	20
	1,50m - 1,60m	26
	1,60m - 1,70m	34
1,70m - 1,80m	41	

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4.1.5. Ensayos de laboratorio:

En los trabajos de exploración del suelo se tomaron las muestras representativas de todos los estratos de cada calicata realizada, para su posterior clasificación en el Laboratorio de Mecánica de Suelos. Las calicatas fueron distribuidas de tal manera de poder obtener un registro de la estratigrafía general de la zona de estudio.

Con las muestras obtenidas se realizaron los siguientes ensayos de acuerdo a las Normas Standards de la American Society for Testing and Materials:

- \* Análisis Granulométrico Norma ASTM D 422.
- \* Límite Líquido Norma ASTM D 423.
- \* Límite Plástico Norma ASTM D 424.
- \* Clasificación de Suelos Norma ASTM D 2487.
- \* Contenido de Humedad Natural en Laboratorio Norma ASTM D 2216.
- \* Ensayo de Corte Directo Norma ASTM D 3080.
- \* Ensayo de Peso Unitario Volumétrico ASTM D 2937.
- \* Ensayo de Gravedad específica de los sólidos Norma ASTM D854.

#### **4.1.1.6. ANÁLISIS GRANULOMETRICO.**

Se analizaron 08 muestras representativas correspondientes a los diferentes estratos obtenidos de la clasificación por inspección manual y visual a lo largo de todo el perfil estratigráfico, obtenidas de las calicatas, ubicadas de la siguiente manera:

- ✓ Muestras Obtenidas de las Calicatas:
  - Calicata C - 01 (02 Muestras)
  - Calicata C - 02 (02 Muestras)
  - Calicata C - 03 (02 Muestras)
  - Calicata C - 04 (02 Muestras)
- Siendo realizados los análisis granulométricos de cada muestra en el Laboratorio según la norma ASTM D-422. En las Tablas 22, 23, 24 y 25, se muestran los reportes de los ensayos de granulometría.

Tabla 22. Reporte de la granulometría de la Calicata C-01

<b>CALICATA 01</b>	<b>PROFUNDIDAD</b>	<b>CLASIF. SUCS</b>	<b>CLASIF. AASHTO</b>	<b>% FINO</b>
M – 01	0.50 m	SW	A - 1 - b	3.82
M – 02	1.50m	ML	A – 4	54.26

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23. Reporte de la granulometría de la Calicata C-02

<b>CALICATA 02</b>	<b>PROFUNDIDAD</b>	<b>CLASIF. SUCS</b>	<b>CLASIF. AASHTO</b>	<b>% FINO</b>
M – 01	0.50m	SP	A - 1 - b	1.89
M – 02	1.50m	SP	A - 1 - b	1.29

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24. Reporte de la granulometría de la Calicata C-03

<b>CALICATA 03</b>	<b>PROFUNDIDAD</b>	<b>CLASIF. SUCS</b>	<b>CLASIF. AASHTO</b>	<b>% FINO</b>
M – 01	0.50m	SM	A - 1 - b	16.97
M – 02	1.50m	SM	A - 1 - b	17.89

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25. Reporte de la granulometría de la Calicata C-04.

<b>CALICATA 04</b>	<b>PROFUNDIDAD</b>	<b>CLASIF. SUCS</b>	<b>CLASIF. AASHTO</b>	<b>% FINO</b>
M – 01	0.50m	SM	A - 1 - b	24.63
M – 02	1.50m	SM	A - 1 - b	20.46

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.1.7. LIMITES DE CONSISTENCIA.

De igual forma se calcularon para las muestras representativas de las calicatas, los Límites de Consistencia, siendo estos el Límite Líquido y el Límite Plástico.

- Las Tablas 26, 27, 28 y 29 muestran los valores de los límites de consistencia obtenidos de las muestras de las calicatas ejecutadas.

Tabla 26. Límites de consistencia de la Calicata C-01.

<b>CALICATA 01</b>	<b>PROFUNDIDAD</b>	<b>L.L. (%)</b>	<b>L.P. (%)</b>	<b>I.P (%)</b>
M – 01	0.50m	NP	NP	NP
M – 02	1.50m	23.20	22.76	0.44

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 27. Límites de consistencia de la Calicata C-02.**

<b>CALICATA 02</b>	<b>PROFUNDIDAD</b>	<b>L.L. (%)</b>	<b>L.P. (%)</b>	<b>I.P. (%)</b>
M – 01	0.50m	NP	NP	NP
M – 02	1.50m	NP	NP	NP

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 28. Límites de consistencia de la Calicata C-03.**

<b>CALICATA 03</b>	<b>PROFUNDIDAD</b>	<b>L.L. (%)</b>	<b>L.P. (%)</b>	<b>I.P. (%)</b>
M – 01	0.50m	23.10	19.91	3.19
M – 02	1.50m	22.60	21.38	1.22

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 29. Límites de consistencia de la Calicata C-04.**

<b>CALICATA 04</b>	<b>PROFUNDIDAD</b>	<b>L.L. (%)</b>	<b>L.P. (%)</b>	<b>I.P. (%)</b>
M – 01	0.50m	22.20	20.43	1.77
M – 02	1.50m	21.20	20.07	1.13

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.1.8. HUMEDAD NATURAL

Realizadas las calicatas y evaluado los perfiles estratigráficos que mostraba cada una de ellas, se tomaron muestras representativas de los estratos para obtener su contenido de humedad natural con la que podemos definir si el suelo se encuentra en estado húmedo o saturado y así evaluar los parámetros en su condición más desfavorable (caso saturado) si así el suelo se presentara.

- Las tablas 30, 31, 32 y 33 muestran los resúmenes de los valores de las humedades naturales obtenidas de cada estrato obtenido de las calicatas:

*Tabla 30. Contenido de Humedad Natural de la Calicata C-01.*

<b>CALICATA 01</b>	<b>PROFUNDIDAD</b>	<b>HUMEDAD ( % )</b>
M – 01	0.50m	2.04
M – 02	1.50m	3.99

Fuente: Elaboración propia.

*Tabla 31. Contenido de Humedad Natural de la Calicata C-02.*

<b>CALICATA 02</b>	<b>PROFUNDIDAD</b>	<b>HUMEDAD ( % )</b>
M – 01	0.50m	1.28
M – 02	1.50m	1.63

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32. Contenido de Humedad Natural de la Calicata C-03.

<b>CALICATA 03</b>	<b>PROFUNDIDAD</b>	<b>HUMEDAD ( % )</b>
M – 01	0.50m	2.63
M – 02	1.50m	3.47

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 33. Contenido de Humedad Natural de la Calicata C-04.

<b>CALICATA 04</b>	<b>PROFUNDIDAD</b>	<b>HUMEDAD ( % )</b>
M – 01	0.50m	1.76
M – 02	1.50m	3.48

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.1.9. DENSIDAD NATURAL

Así mismo se determinó de las muestras obtenidas de las Calicatas, la densidad natural.

Las tablas 34, 35, 36 y 37, muestran los valores obtenidos para las muestras de las calicatas ejecutadas.

Tabla 34. Densidad Natural de la Calicata C-01.

<b>CALICATA 01</b>	<b>PROFUNDIDAD</b>	<b>DENSIDAD NATURAL ( gr/cm<sup>3</sup> )</b>	<b>HUMEDAD NATURAL ( % )</b>
M – 01	0.50m	1.986	2.04
M – 02	1.50m	1.483	3.99

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 35. Densidad Natural de la Calicata C-02.

<b>CALICATA 02</b>	<b>PROFUNDIDAD</b>	<b>DENSIDAD NATURAL ( gr/cm3 )</b>	<b>HUMEDAD NATURAL ( % )</b>
M – 01	0.50m	2.182	1.28
M – 02	1.50m	1.607	1.63

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 36. Densidad Natural de la Calicata C-03.

<b>CALICATA 03</b>	<b>PROFUNDIDAD</b>	<b>DENSIDAD NATURAL ( gr/cm3 )</b>	<b>HUMEDAD NATURAL ( % )</b>
M – 01	0.50m	1.878	2.63
M – 02	1.50m	1.587	3.47

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 37. Densidad Natural de la Calicata C-04.

<b>CALICATA 04</b>	<b>PROFUNDIDAD</b>	<b>DENSIDAD NATURAL ( gr/cm3 )</b>	<b>HUMEDAD NATURAL ( % )</b>
M – 01	0.50m	1.739	1.76
M – 02	1.50m	1.743	3.48

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.1.10. ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Obtenidas las muestras representativas de las calicatas, se prosiguió a ejecutar los ensayos de Corte Directo en muestras remoldeadas a su densidad natural y saturando la muestra en la etapa del corte con la finalidad de encontrar sus parámetros de resistencia del material estudiado, simulando la condición en que se encuentran en el campo.

A partir de la Tabla 38 hasta la Tabla 41, y desde la Figura 35 hasta la Figura 42, se indican los valores de los resultados obtenidos de cada muestra analizada en cada una de las calicatas.

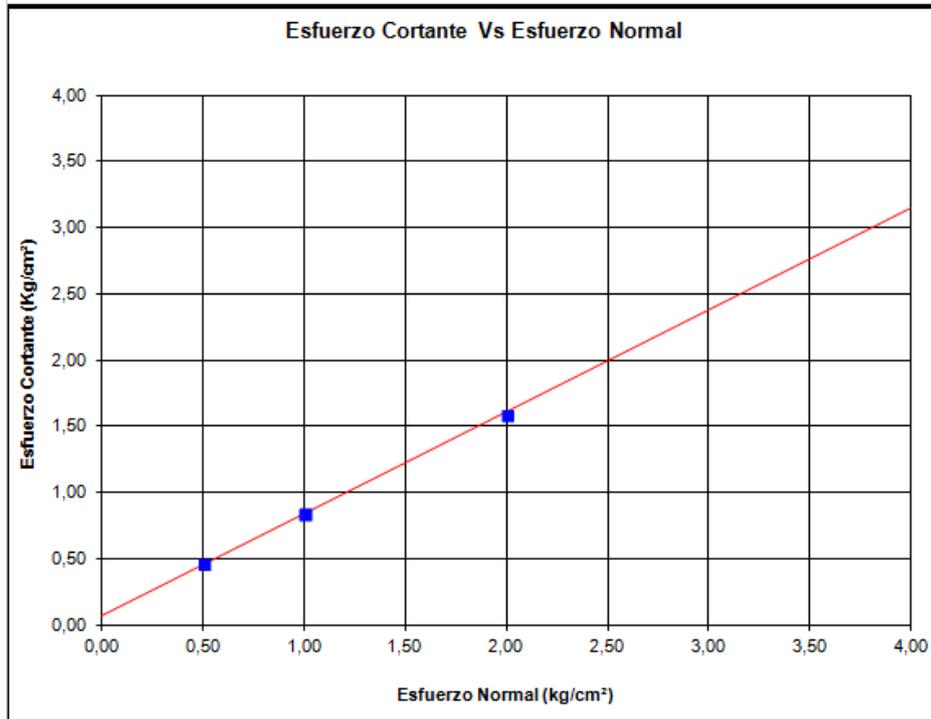
#### Parámetros de Resistencia:

*Tabla 38. Resultados del ensayo de corte directo para la calicata C-01.*

<b>MATERIAL</b>	<b>SUCS</b>	<b>FRICCIÓN ( ° )</b>	<b>COHESION ( Kg/cm<sup>2</sup> )</b>
C-01 M-01 0.50m	SW	37.60°	0.07
C-01 M-02 1.50m	ML	27.70°	0.03

Fuente: Elaboración propia.

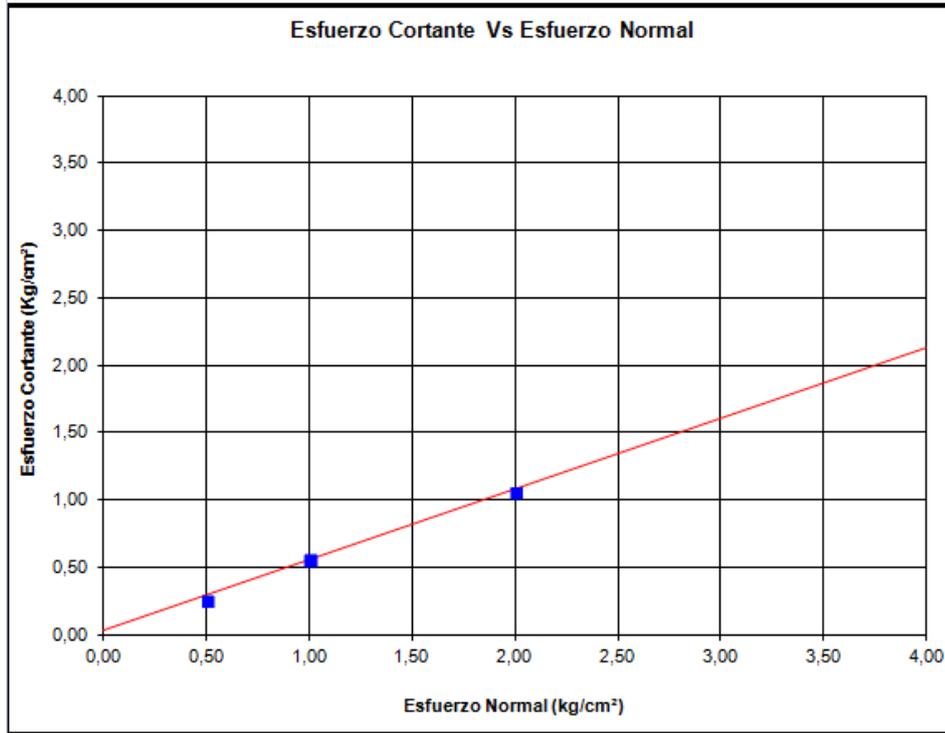
PARAMETROS DE RESISTENCIA



COHESION (c)	(kg/cm²)	0,07
ANGULO DE FRICCION ( $\phi$ )	(°)	37,60

Figura 35. Gráfico de la envolvente del ensayo de corte directo en la calicata C-01, M-01. Fuente: Elaboración propia.

PARAMETROS DE RESISTENCIA



COHESION (c)	(kg/cm²)	0,03
ANGULO DE FRICCION (ϕ)	( ° )	27,70

Figura 36. Gráfico de la envolvente del ensayo de corte directo en la calicata C-01, M-02. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 39. Resultados del ensayo de corte directo para la calicata C-02.

<b>MATERIAL</b>	<b>SUCS</b>	<b>FRICCIÓN ( ° )</b>	<b>COHESION ( Kg/cm2 )</b>
C-02 M-01 0.50m	SP	40.61°	0.07
C-02 M-02 1.50m	SP	33.72°	0.00

Fuente: Elaboración propia.

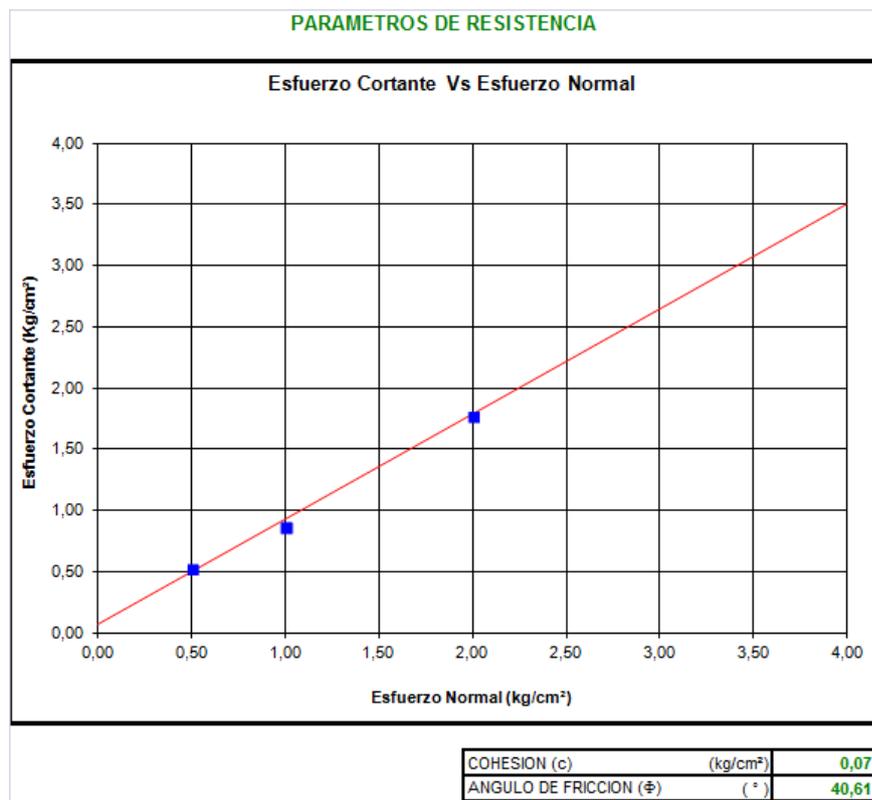


Figura 37. Gráfico de la envolvente del ensayo de corte directo en la calicata C-02, M-01. Fuente: Elaboración propia.

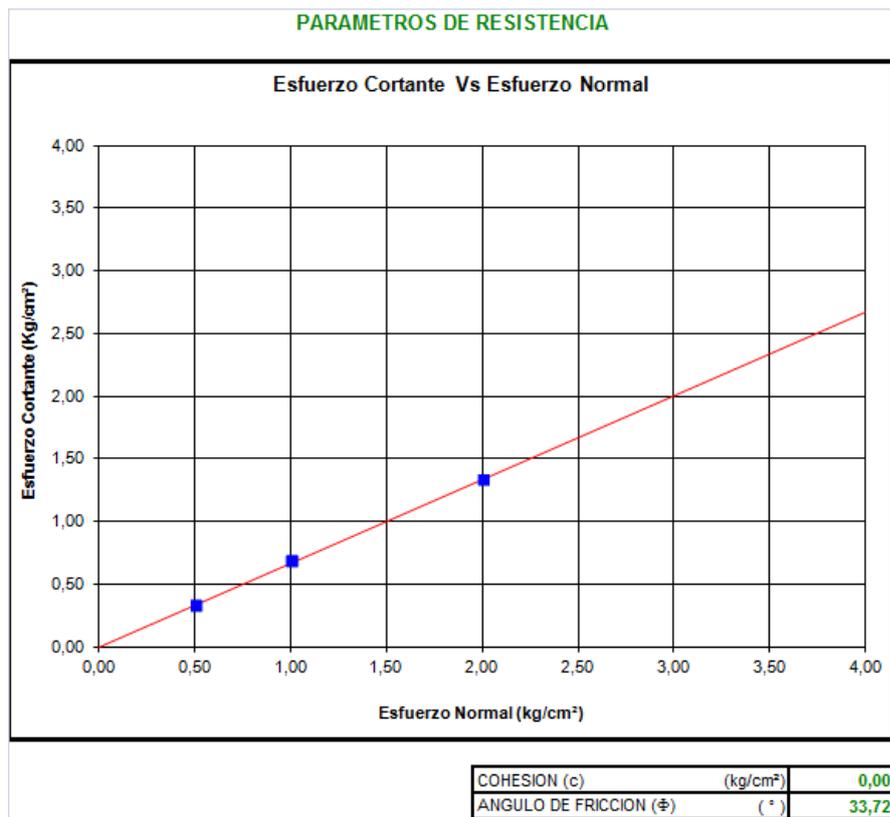


Figura 38. Gráfico de la envolvente del ensayo de corte directo en la calicata C-02, M-02. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 40. Resultados del ensayo de corte directo para la calicata C-03.

<b>MATERIAL</b>	<b>SUCS</b>	<b>FRICCIÓN ( ° )</b>	<b>COHESION ( Kg/cm2 )</b>
C-03 M-01 0.50m	SM	33.52°	0.03
C-03 M-02 1.50m	SM	36.22°	0.00

Fuente: Elaboración propia.

## PARAMETROS DE RESISTENCIA

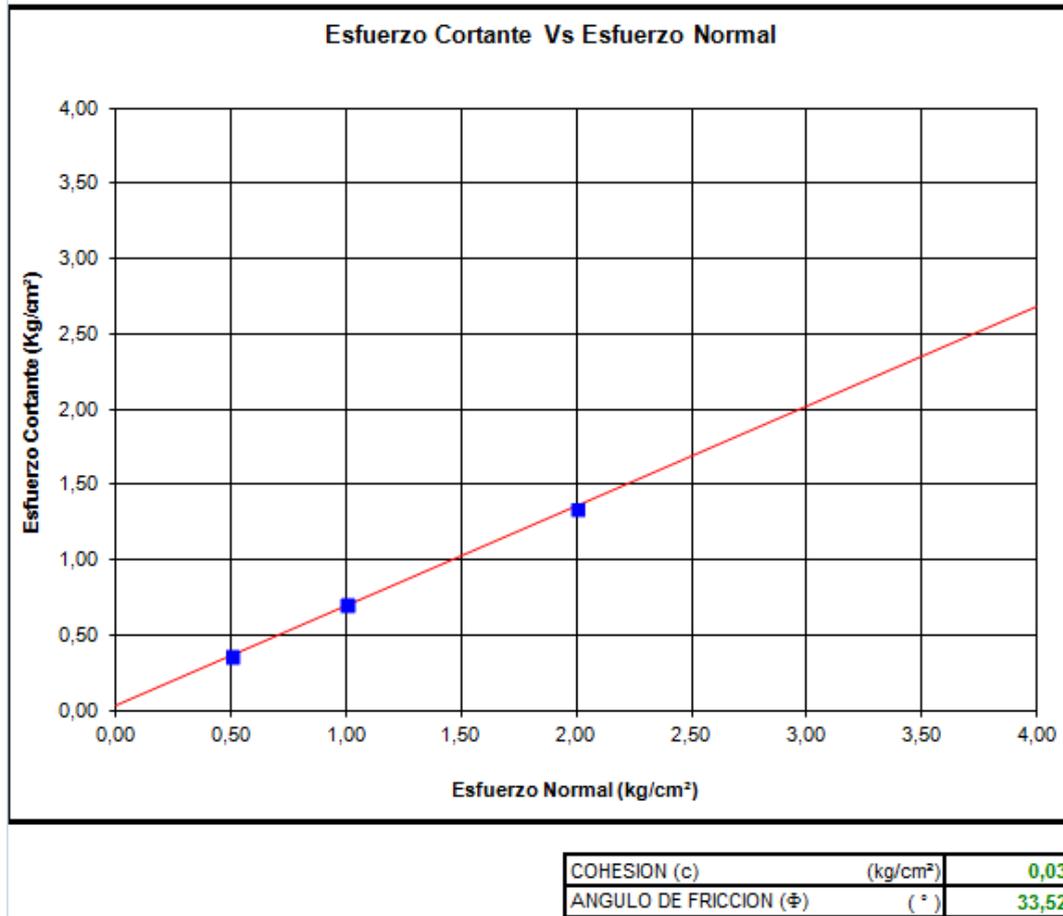
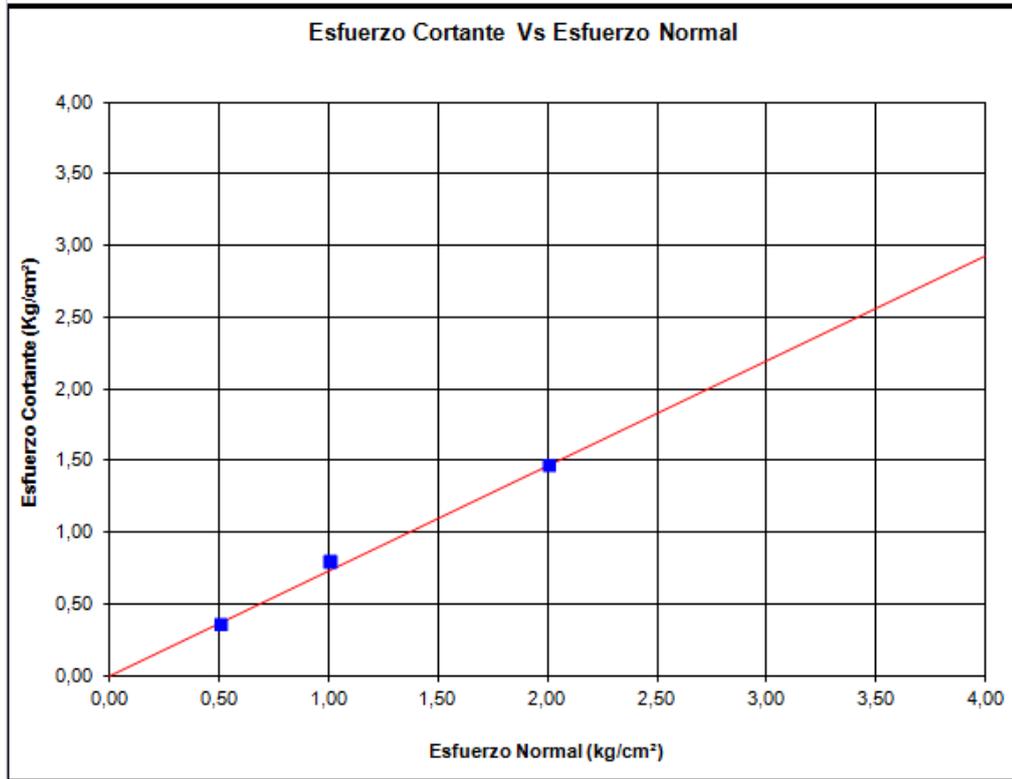


Figura 39. Gráfico de la envolvente del ensayo de corte directo en la calicata C-03, M-01. Fuente: Elaboración propia.

PARAMETROS DE RESISTENCIA



COHESION (c)	(kg/cm <sup>2</sup> )	0,00
ANGULO DE FRICCION (ϕ)	(°)	36,22

Figura 40. Gráfico de la envolvente del ensayo de corte directo en la calicata C-03, M-02. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 41. Resultados del ensayo de corte directo para la calicata C-04.

MATERIAL	SUCS	FRICCION (°)	COHESION (Kg/cm <sup>2</sup> )
C-04 M-01 0.50m	SM	32.52°	0.03
C-04 M-02 1.50m	SM	32.52°	0.00

Fuente: Elaboración propia.

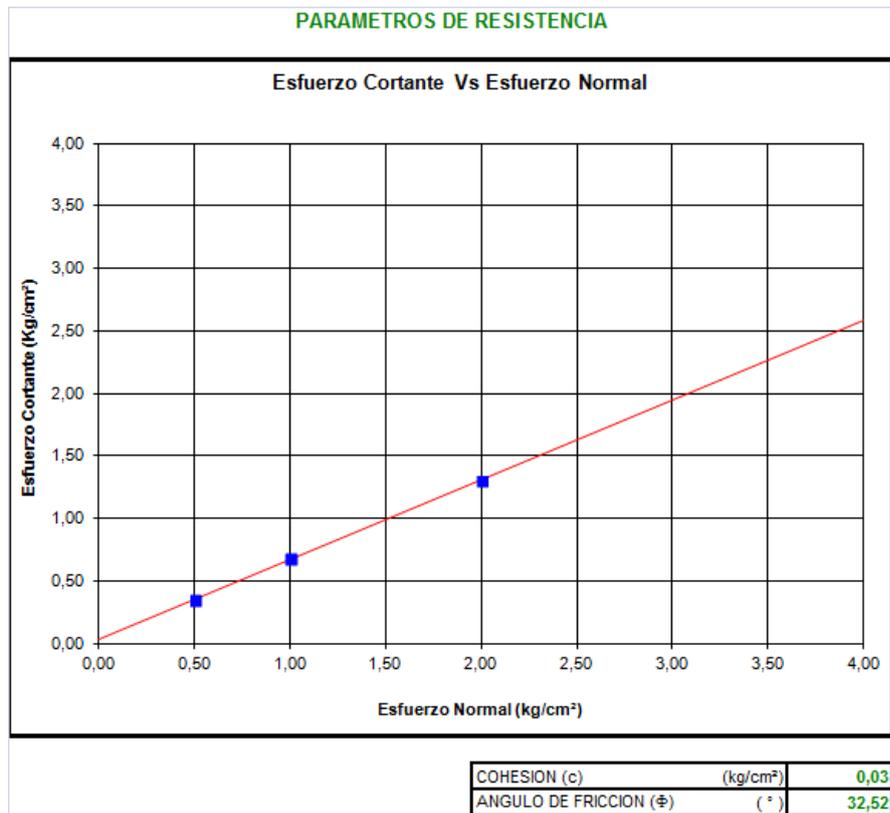


Figura 41. Gráfico de la envolvente del ensayo de corte directo en la calicata C-04, M-01. Fuente: Elaboración propia.

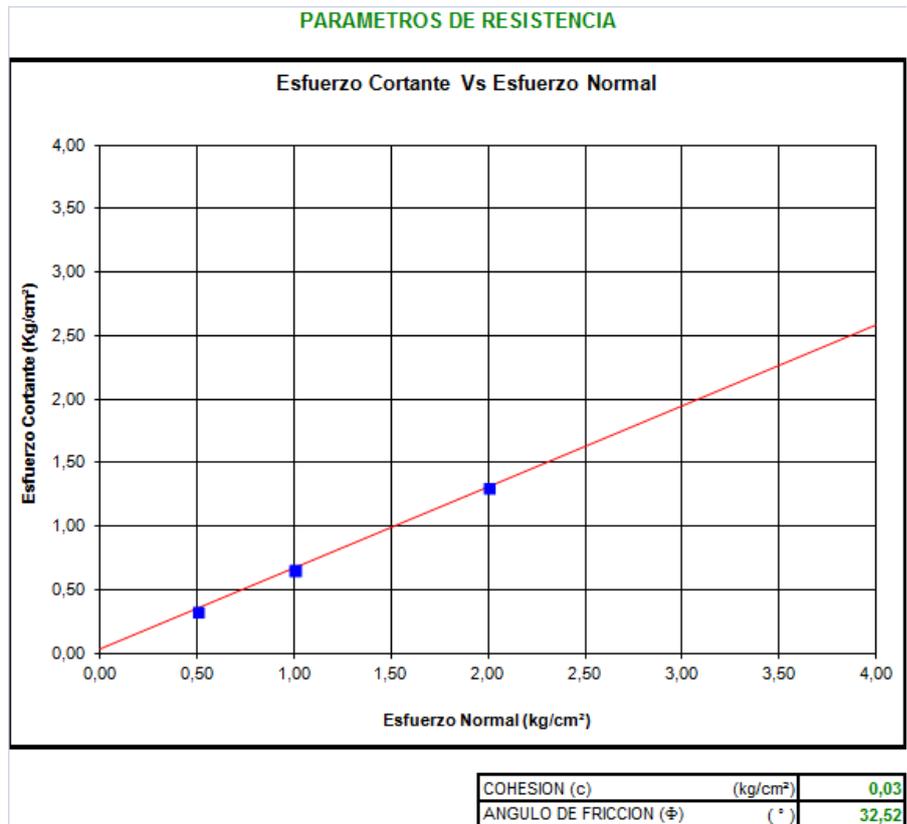


Figura 42. Gráfico de la envolvente del ensayo de corte directo en la calicata C-04, M-02. Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.1.11. GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS

De las muestras obtenidas de las calicatas, se ha realizado su peso específico de los sólidos, según la norma ASTM D 854.

Las Tablas 42, 43, 44 y 45, muestran los valores obtenidos para las muestras de las calicatas ejecutadas.

*Tabla 42. Resultados del ensayo de gravedad específica de los sólidos para la calicata C-01.*

<b>CALICATA 01</b>	<b>PROFUNDIDAD</b>	<b>Gs</b>
M – 01	0.50m	2.74
M – 02	1.50m	2.78

Fuente: Elaboración propia.

*Tabla 43. Resultados del ensayo de gravedad específica de los sólidos para la calicata C-02.*

<b>CALICATA 02</b>	<b>PROFUNDIDAD</b>	<b>Gs</b>
M – 01	0.50m	2.70
M – 02	1.50m	2.74

Fuente: Elaboración propia.

*Tabla 44. Resultados del ensayo de gravedad específica de los sólidos para la calicata C-03.*

<b>CALICATA 03</b>	<b>PROFUNDIDAD</b>	<b>Gs</b>
M – 01	0.50m	2.74
M – 02	1.50m	2.72

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 45. Resultados del ensayo de gravedad específica de los sólidos para la calicata C-04.

CALICATA 04	PROFUNDIDAD	Gs
M – 01	0.50m	2.75
M – 02	1.50m	2.75

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.1.12. Resumen de los ensayos de laboratorio realizados

Las Tablas 46 y 47, muestran un resumen de resultados, donde se observan las características geotécnicas de cada una de las muestras ensayadas.

Tabla 46. Resumen de resultados de los ensayos de laboratorio.

CALICATAS	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	$\gamma_{\text{natural}}$ (gr/cm <sup>3</sup> )	W%	IP%	<N° 200	SUCS	$\phi_{\text{laboratorio}}$
C-01	M-01	0,50	1,986	2,04	N.P.	3,82	SW	37,6
	M-02	1,50	1,483	3,99	0,44	54,26	ML	27,7
C-02	M-01	0,50	2,182	1,28	N.P.	1,89	SP	40,61
	M-02	1,50	1,607	1,63	N.P.	1,29	SP	33,72
C-03	M-01	0,50	1,878	2,63	3,19	16,97	SM	33,52
	M-02	1,50	1,587	3,47	1,22	17,89	SM	36,22
C-04	M-01	0,50	1,739	1,76	1,77	24,63	SM	32,52
	M-02	1,50	1,743	3,48	1,13	20,46	SM	32,52

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 47. Ángulo de fricción promedio, por tipo de suelo y profundidad.

TIPO DE SUELO	PROFUNDIDAD	$\phi$ promedio
SP	0,50m	39,11°
SP	1,50m	30,71°
SM	0,50m	33,02°
SM	1,50m	34,37°

Fuente: Elaboración propia.

#### **4.1.1.13. PERFIL ESTRATIGRÁFICO DE LAS CALICATAS REALIZADAS:**

Con los resultados de los ensayos de campo y laboratorio se ha determinado el perfil estratigráfico del subsuelo del área en estudio.

En líneas generales los estratos están constituidos inicialmente por un material formado de arenas sueltas de origen eólico, que ha sido transportado por el viento, contaminado con algunos desperdicios generados por los pobladores de la zona, continuando con el depósito arenoso, que se encuentra en un estado de baja humedad, son arenas gruesas, del tipo SW y SP, con bajo porcentaje de fino y no presenta límites de consistencia, en otros casos, el depósito presenta más finos que en los suelos anteriores, clasificado como SM.

Las arenas encontradas en la zona, se encuentran en un alto grado de compacidad, con altas densidades; además, se observaron lentes de un material definido como "caliche", que es una especie de granos de arena, que se encuentran altamente compactados (a simple vista, parece una formación rocosa); este material, complicó la realización de los ensayos, como se había proyectado inicialmente.

Para las calicatas C-03 y C-04, se encontró una arena más fina, con alguna presencia de limos sin plasticidad, de bajo contenido de humedad, en estados de compacidad mediana-alta.

En todas las calicatas cuya profundidad máxima alcanzó hasta 1.50m, no se detectó presencia de niveles freáticos ni filtraciones por las paredes excavadas, se encontraron algunas gravas pequeñas .

De acuerdo a las excavaciones realizadas y complementados con los ensayos de laboratorio a las muestras de los estratos encontrados se puede describir de forma general los perfiles estratigráficos.

### **CALICATA C-01:**

En la calicata C-01, se registraron dos estratos, cuya profundidad de excavación fue de 1.50 m., superficialmente, se observa una arena eólica suelta, seguido de un material arenoso, de granos gruesos, que se extiende hasta 1.00 m., con presencia de algunas gravillas, en estado compacto, de color grisáceo, no presenta límites de consistencia, su porcentaje de finos es 3.82%, el material tiene una humedad de 2.04%, la clasificación SUCS corresponde a un suelo del tipo SW; a unos 0.20m. de profundidad, se encontró un lente de caliche, de aproximadamente 8 cm. de espesor.

Continuando con el depósito arenoso, se observa en la Figura 43 y 44 un estrato con un material fino, que se extiende hasta los 1.50 m. explorados. El material, de color beige oscuro, se encuentra en estado semi-compacto, presenta 54.26% de finos, presenta un bajo índice de plasticidad de 0.44%, el material tiene una humedad de 3.99%. además se observó dentro del estrato, bloques compuestos por el material fino, con presencia de arenas, la clasificación SUCS de este material es ML. En la Figura 45, se muestra el perfil estratigráfico de la calicata C-01.

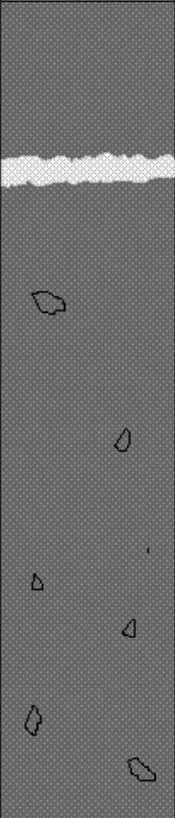


*Figura 43. Vista de la ubicación de la calicata C-01, en la imagen se puede observar el equipo de cono y arena, utilizado para realizar el ensayo de densidad in situ.*



*Figura 44. Vista del perfil estratigráfico de la calicata C-01, se observan los dos estratos definidos, y el lente de caliche a 0.20m. de profundidad.*

**PERFIL ESTRATIGRAFICO  
CALICATA C - 01**

PROF. (cm)	CLASIFICACION		DESCRIPCION DEL MATERIAL
	SUCS	AASHTO	
0			
50	SW	A - 1 b	 <p>En la parte superficial, se observan arenas sueltas, con lentes de caliche aproximadamente a 0.20m de profundidad, seguido de un material de arenoso, de granos gruesos, de color grisáceo, con presencia de algunas gravillas, el estrato presenta una densidad natural de 1.986g/cm<sup>3</sup>, con un contenido de humedad natural de 2.04%, no presenta limites de consistencia, con un bajo porcentaje de finos de 3.82%, segun el sistema unificado de clasificacion de suelos, pertenece a un suelo del tipo SW, el angulo de friccion calculado mediante el ensayo de corte directo es de 37.6°.</p>
100			
150	ML	A - 4	 <p>En este estrato, se encontro un material mas fino, de color beige oscuro, que se encuentra en un estado semi-compacto, se observan bloques de material fino, su densidad natural es de 1.483g/cm<sup>3</sup>, con un contenido de humedad natural de 3.99%, presenta un bajo indice de plasticidad de 0.44%, el porcentaje de finos es de 54.26%, el angulo de friccion obtenido con el ensayo de corte directo es de 27.7°; pertenece a un tipo de suelo ML.</p>

LIMA, JULIO DEL 2015

Figura 45. Perfil estratigráfico de la calicata C-01. Fuente: Elaboración propia.

### **CALICATA C-02:**

En la calicata C-02, se registraron dos estratos, cuya profundidad de excavación fue de 1.50 m., superficialmente, se observa una arena eólica suelta, seguido de un material arenoso, de granos gruesos, que se extiende hasta 1.00 m., sin presencia de gravillas, en estado altamente compacto, de color gris, no presenta límites de consistencia, su porcentaje de finos es 1.89%, el material tiene una humedad de 1.28%, la clasificación SUCS corresponde a un suelo del tipo SP.

Continuando con el depósito arenoso, se observa en las Figuras 46 y 47 un material muy similar, que se extiende hasta los 1.50 m. explorados. El material, es de color gris con mezclas marrones, se encuentra en estado compacto, presenta 1.29% de finos, no presenta límites de consistencia, el material tiene una humedad de 1.63% la clasificación SUCS de este material es SP. En la Figura 48, se muestra el perfil estratigráfico de la calicata C-02.



*Figura 46. Vista de la ubicación de la calicata C-02.*



*Figura 47. Vista del perfil estratigráfico de la calicata C-02, se observa que los dos estratos encontrados, son bastante similares.*

**PERFIL ESTRATIGRAFICO  
CALICATA C - 02**

PROF. (cm)	CLASIFICACION		DESCRIPCION DEL MATERIAL
	SUCS	AASHTO	
0			
50	SP	A - 1 b	En la parte superficial, se observan arenas sueltas, seguido de un material arenoso, de granos gruesos, de color gris, sin presencia de gravillas, el estrato presenta una alta densidad natural de 2.182g/cm <sup>3</sup> , con un contenido de humedad natural de 1.28%, no presenta limites de consistencia, con un bajo porcentaje de finos de 1.89%, segun el sistema unificado de clasificacion de suelos, pertenece a un suelo del tipo SP, el angulo de friccion calculado mediante el ensayo de corte directo es de 40.61°.
100	SP	A - 1 b	En este estrato, se encontro un material muy similar al anterior, de color gris, con, algunas mezclas de color marron, su densidad natural es de 1.607g/cm <sup>3</sup> , con un contenido de humedad natural de 1.63%, no presenta limites de consistencia, el porcentaje de finos es de 1.29%, el angulo de friccion obtenido con el ensayo de corte directo es de 33.72°; pertenece a un tipo de suelo SP.
150			

LIMA, JULIO DEL 2015

Figura 48. Perfil estratigráfico de la calicata C-02. Fuente: Elaboración propia.

### **CALICATA C-03:**

En la calicata C-03, se registraron dos estratos, cuya profundidad de excavación fue de 1.50 m., superficialmente, se observa una arena eólica suelta, seguido de un material arenoso, de granos medianos, con presencia de finos, que se extiende hasta el primer metro de profundidad, con poca presencia de gravillas, en estado altamente compacto, de color marrón claro, presenta un bajo índice de plasticidad de 3.19%, su porcentaje de finos es 16.97%, el material tiene una humedad de 2.63%, la clasificación SUCS corresponde a un suelo del tipo SM. Al igual que en las calicatas mencionadas anteriormente, se encontraron lentes del material denominado como "caliche", como se observará en la figura N°50.

Continuando con el depósito arenoso, se observa en las Figuras 49 y 50 un material muy similar al anterior, que se extiende hasta los 1.50 m. explorados. El material, es de color marrón, se encuentra en estado compacto, presenta 17.89% de finos, con un bajo índice de plasticidad de 1.22%, el material tiene una humedad de 3.47% la clasificación SUCS de este material es SM; se observan bloques del material fino compactado. En la Figura 51, se muestra el perfil estratigráfico de la calicata C-03.



*Figura 49. Vista de la ubicación de la calicata C-03.*



*Figura 50. Vista del perfil estratigráfico de la calicata C-03, se observa que los dos estratos encontrados, son bastante similares, también se puede distinguir el lente de caliche encontrado.*

**PERFIL ESTRATIGRAFICO  
CALICATA C - 03**

PROF. (cm)	CLASIFICACION		DESCRIPCION DEL MATERIAL
	SUCS	AASHTO	
0			
50	SM	A - 1 b	 <p>En la parte superficial, se observan arenas sueltas, con lentes de caliche aproximadamente a 0.40m de profundidad, seguido de un material de arenoso, de granos medianos, con presencia de finos, de color marron claro, con presencia de algunas gravillas, el estrato presenta una alta densidad natural de 1.878g/cm<sup>3</sup>, con un contenido de humedad natural de 2.63%, presenta un indice de plasticidad de 3.19%, con un porcentaje de finos de 16.97%, segun el sistema unificado de clasificacion de suelos, pertenece a un suelo del tipo SM, el angulo de friccion calculado mediante el ensayo de corte directo es de 33.52°.</p>
100	SM	A - 1 b	<p>En este estrato, se encontro un material similar al anterior, de color marron claro, se observan bloques de material fino, su densidad natural es de 1.587g/cm<sup>3</sup>, con un contenido de humedad natural de 3.47%, presenta un indice de plasticidad de 1.22%, el porcentaje de finos es de 17.89%, el angulo de friccion obtenido con el ensayo de corte directo es de 36.22°; pertenece a un tipo de suelo SM.</p>
150			

LIMA, JULIO DEL 2015

Figura 51. Perfil estratigráfico de la calicata C-03. Fuente: Elaboración propia.

**CALICATA C-04:**

En la calicata C-04, se registraron dos estratos, cuya profundidad de excavación fue de 1.50 m., superficialmente, se observa una arena eólica suelta, seguido de un material arenoso, de granos medianos, con presencia de finos, que se extiende hasta el primer metro de profundidad, con poca presencia de gravillas, en estado altamente compacto, de color marrón claro, presenta un bajo índice de plasticidad de 1.77%, su porcentaje de finos es 24.63%, el material tiene una humedad de 1.76%, la clasificación SUCS corresponde a un suelo del tipo SM. Al igual que en las calicatas mencionadas anteriormente, se encontraron lentes del material denominado como "caliche", como se observará en la figura N°53.

Continuando con el depósito arenoso, se observa en las Figuras 52 y 53 un material muy similar al anterior, que se extiende hasta los 1.50 m. explorados. El material, es de color marrón amarillento, se encuentra en estado compacto, presenta 20.46% de finos, con un bajo índice de plasticidad de 1.13%, el material tiene una humedad de 3.48% la clasificación SUCS de este material es SM; se observan bloques del material fino compactado. En la Figura 54, se muestra el perfil estratigráfico de la calicata C-04.



*Figura 52. Vista de la ubicación de la calicata C-04.*



*Figura 53. Vista del perfil estratigráfico de la calicata C-04, se observa que los dos estratos encontrados, son bastante similares, también se puede distinguir el pequeño orificio que quedó como consecuencia de realizar el ensayo de cono y arena para calcular la densidad natural.*

## PERFIL ESTRATIGRAFICO CALICATA C - 04

PROF. (cm)	CLASIFICACION		DESCRIPCION DEL MATERIAL
	SUCS	AASHTO	
0			
50	SM	A - 1 b	 <p>En la parte superficial, se observan arenas sueltas, con bloques de caliche, seguido de un material de arenoso, de granos medianos, con presencia de finos, de color marron claro, con poca presencia de algunas gravillas, el estrato presenta una densidad natural de 1.739g/cm<sup>3</sup>, con un contenido de humedad natural de 1.76%, presenta un indice de plasticidad de 1.77%, con un porcentaje de finos de 24.63%, segun el sistema unificado de clasificacion de suelos, pertenece a un suelo del tipo SM, el angulo de friccion calculado mediante el ensayo de corte directo es de 32.52°.</p>
100	SM	A - 1 b	<p>En este estrato, se encontro un material similar al anterior, de color marron amarillento, se observan bloques de material fino, su densidad natural es de 1.743g/cm<sup>3</sup>, con un contenido de humedad natural de 3.48%, presenta un indice de plasticidad de 1.13%, el porcentaje de finos es de 20.46%, el angulo de friccion obtenido con el ensayo de corte directo es de 32.52°; pertenece a un tipo de suelo SM.</p>
150			

LIMA, JULIO DEL 2015

Figura 54. Perfil estratigráfico de la calicata C-04. Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2. Resultados de la investigación:

Luego de haber realizado los ensayos de campo y laboratorio, se procede a correlacionar el valor del ángulo de fricción, obtenido en el laboratorio, y el Número de golpes corregido (N'60) obtenido con el ensayo de campo SPT. A continuación se muestran las figuras que relacionan el ángulo de fricción, con el número de golpes SPT corregido (N'60):

##### 4.2.1. Primera Correlación: ensayo SPT-01 con el ángulo de fricción del suelo SP a 0.50m:

Tipo de suelo: SP.

Profundidad: 0.50m.

$\phi$  obtenido con el Corte Directo: 39.11°

Ncampo: 44 golpes.

N'60: 38.71

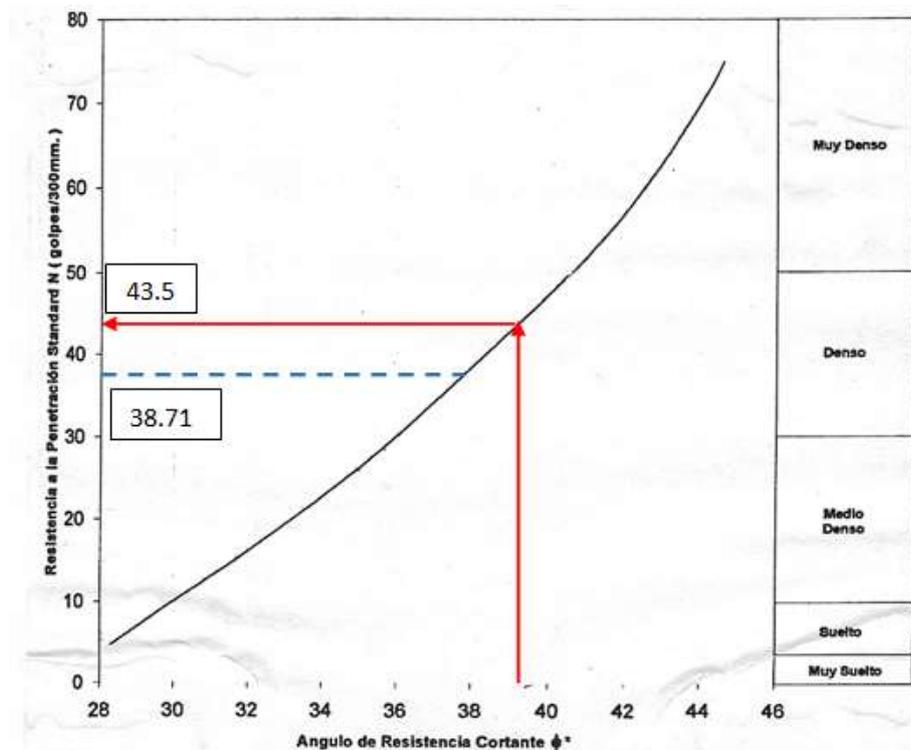


Figura 55. Correlación del Ángulo de Fricción y el valor N del SPT (Peck, Hanson y Thorburn.). Correlación del ensayo SPT-01, con el ángulo de fricción del suelo SP a 0.50m. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 55, se muestra la obtención del N'60 correlacionado, que es el N que corresponde al ángulo de fricción real, obtenido en el laboratorio, cuyo valor obtenido con el gráfico es de 43.5; se observa el desfase que existe entre el N'60 calculado con el ensayo SPT (N'60), cuyo valor es 38.71, y el N'60 correlacionado con el ángulo de fricción calculado con el ensayo de corte directo.

#### 4.2.2. Segunda Correlación: ensayo SPT-01 con el ángulo de fricción del suelo SP a 1.50m:

Tipo de suelo: SP.

Profundidad: 1.50m.

$\phi$  obtenido con el Corte Directo:  $30.71^\circ$

Ncampo: 29 golpes.

N'60: 25.51

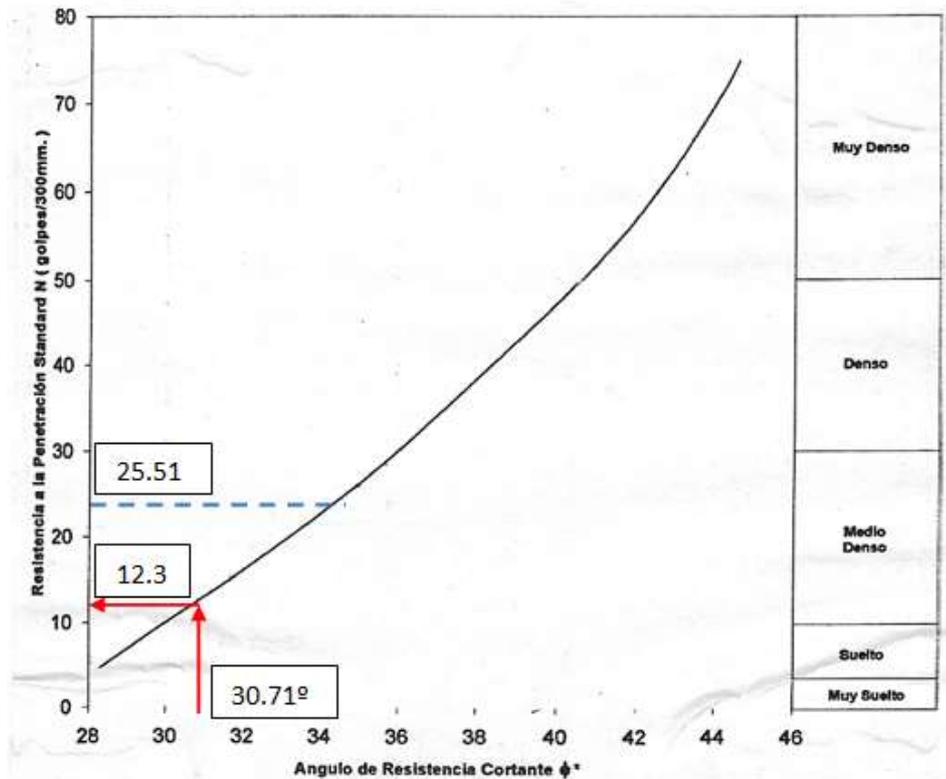


Figura 56. Correlación del Ángulo de Fricción y el valor N del SPT (Peck, Hanson y Thorburn.). Correlación del ensayo SPT-01, con el ángulo de fricción del suelo SP a 1.50m. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 56, se muestra la obtención del N'60 correlacionado, que es el N que corresponde al ángulo de fricción real, obtenido en el laboratorio, cuyo valor obtenido con el gráfico es de 12.3; se observa el desfase que existe entre el N'60 calculado con el ensayo SPT (N'60), cuyo valor es 25.51, y el N'60 correlacionado con el ángulo de fricción calculado con el ensayo de corte directo.

### 4.2.3. Tercera Correlación: ensayo SPT-02 con el ángulo de fricción del suelo SM a 0.50m:

Tipo de suelo: SM.

Profundidad: 0.50m.

$\phi$  obtenido con el Corte Directo:  $33.02^\circ$

Ncampo: 45 golpes.

N'60: 39.59

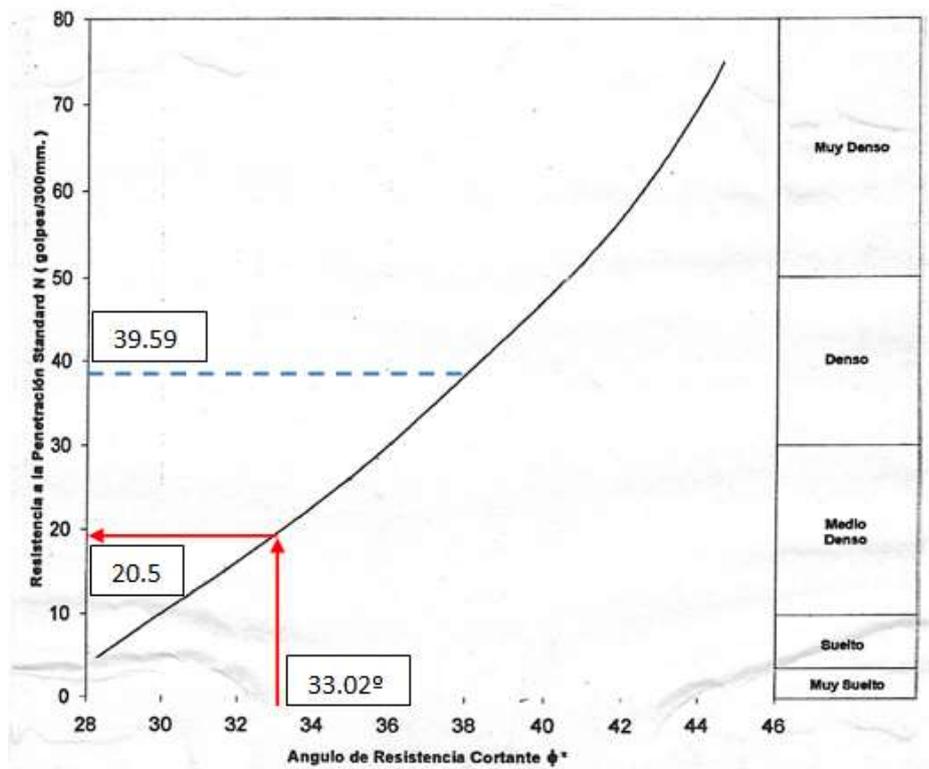


Figura 57. Correlación del Ángulo de Fricción y el valor N del SPT (Peck, Hanson y Thorburn.). Correlación del ensayo SPT-02, con el ángulo de fricción del suelo SM a 0.50m. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 57, se muestra la obtención del N'60 correlacionado, que es el N que corresponde al ángulo de fricción real, obtenido en el laboratorio, cuyo valor obtenido con el gráfico es de 20.5; se observa el desfase que existe entre el N'60 calculado con el ensayo SPT (N'60), cuyo valor es 39.59, y el N'60 correlacionado con el ángulo de fricción calculado con el ensayo de corte directo.

#### 4.2.4. Cuarta Correlación: ensayo SPT-02 con el ángulo de fricción del suelo SM a 1.50m:

Tipo de suelo: SM.

Profundidad: 1.50m.

$\phi$  obtenido con el Corte Directo:  $34.37^\circ$

Ncampo: 68 golpes.

N'60: 59.82

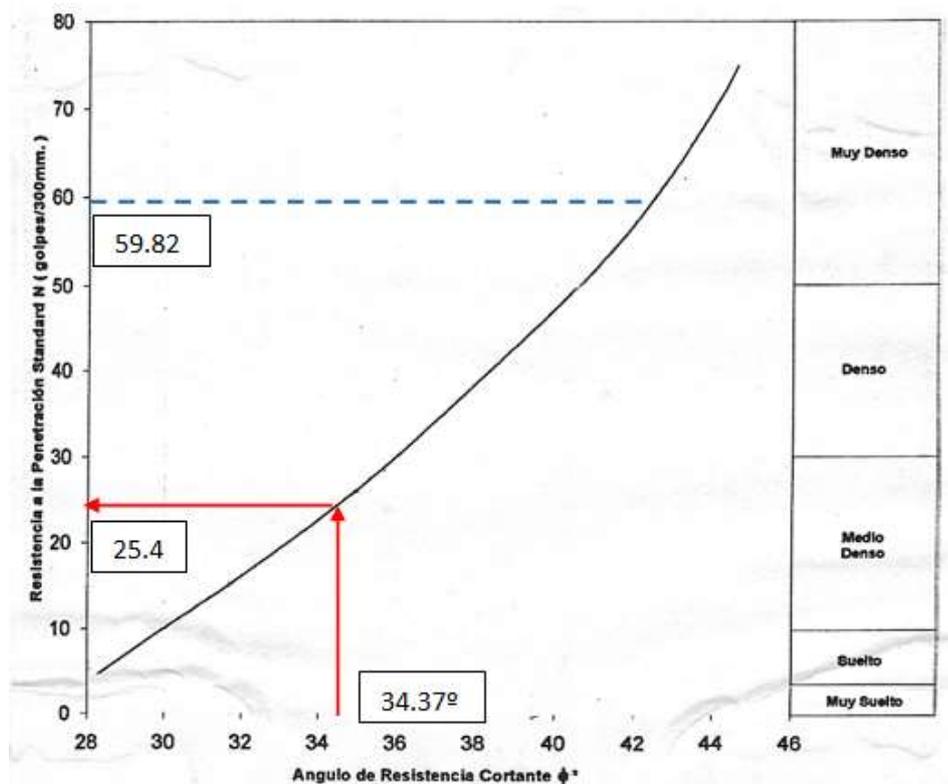


Figura 58. Correlación del Ángulo de Fricción y el valor N del SPT (Peck, Hanson y Thorburn.). Correlación del ensayo SPT-02, con el ángulo de fricción del suelo SM a 1.50m. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 58, se muestra la obtención del N'60 correlacionado, que es el N que corresponde al ángulo de fricción real, obtenido en el laboratorio, cuyo valor obtenido con el gráfico es de 25.4; se observa el desfase que existe entre el N'60 calculado con el ensayo SPT (N'60), cuyo valor es 59.82, y el N'60 correlacionado con el ángulo de fricción calculado con el ensayo de corte directo.

#### 4.2.5. Correlación entre los ensayos $N_{SPT}$ y $N_{DPL}$ :

A continuación se muestra la Tabla 48, donde se observan los valores medidos y ordenados de los ensayos de campo, que corresponden al número de golpes SPT y al número de golpes DPL más representativos, con respecto a la profundidad del SPT.

Tabla 48. Valores de  $N_{SPT}$  y  $N_{DPL}$ , medidos y ordenados.

Punto	SPT	DPL
1	29	26
2	44	36
3	45	40
4	68	50

Fuente: Elaboración propia.

Dichos datos, fueron llevados a un gráfico (Figura 59), donde se muestra la curva exponencial, con la cual llegamos a una relación entre los valores del  $N_{SPT}$  y  $N_{DPL}$ :

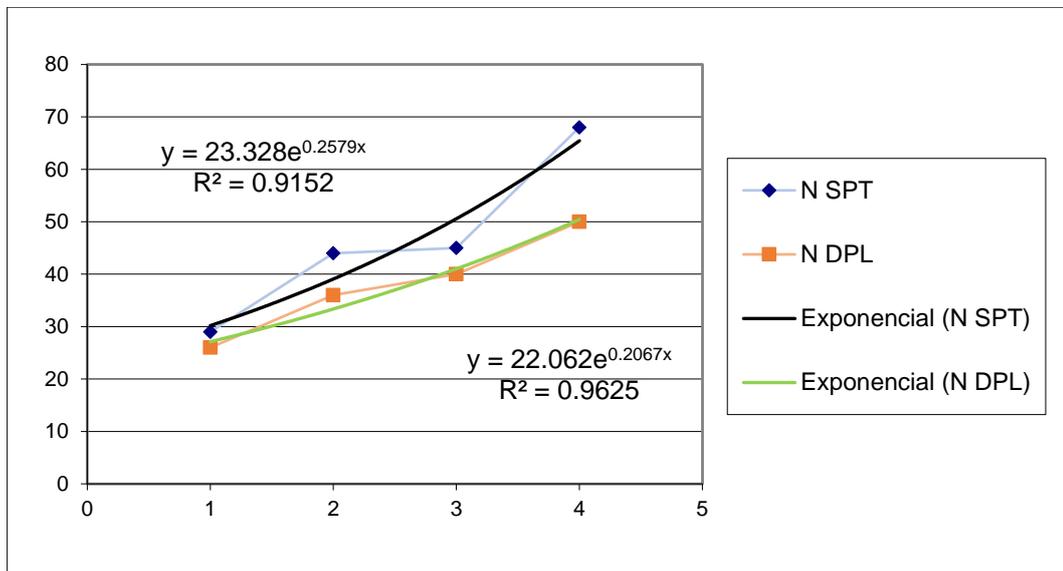


Figura 59. Gráfico de curvas exponenciales, ajustadas a los ensayos de campo. Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente, se calcula una relación entre curvas, operando las ecuaciones exponenciales, cuya relación es:

$$N_{SPT} = 1.198 * N_{DPL}$$

La relación calculada, sólo es válida hasta la profundidad de 1.80m (profundidad límite del ensayo de DPL) y sólo será aplicable en el material arenoso que comprende el terreno.

Con los datos mostrados en la Tabla 48, se utilizó el modelo estadístico de regresión lineal, con la finalidad de obtener el efecto del  $N_{SPT}$  sobre el  $N_{DPL}$ ; el modelo utilizado, está asociado a un coeficiente de Pearsson (R), que mide el grado de predicción entre las variables.

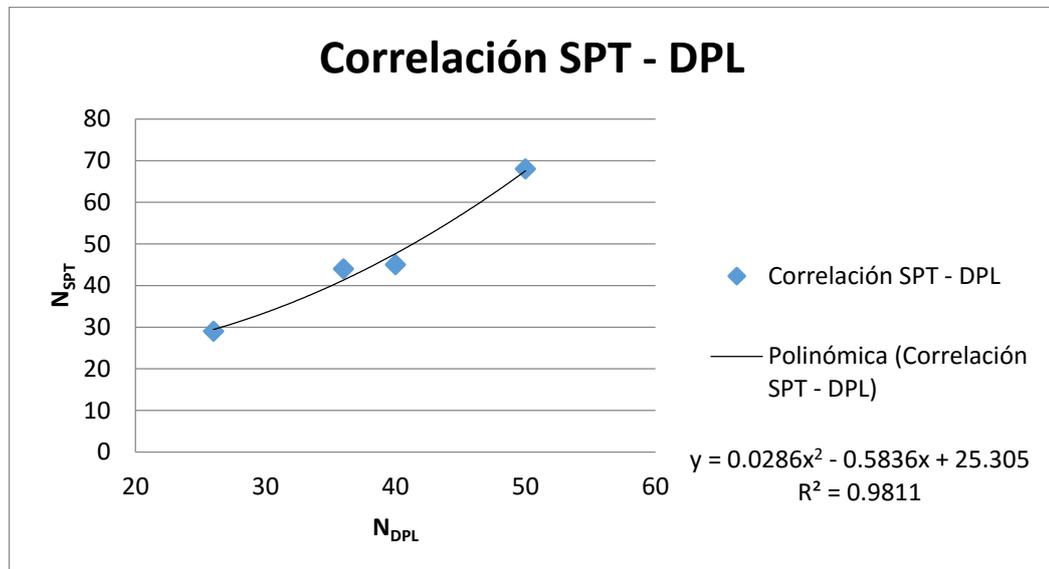


Figura 60. Correlación SPT - DPL. Fuente: Elaboración propia.

De la Figura 60, se obtiene la siguiente ecuación:

$$N_{SPT} = 0,0286 N_{DPL}^2 - 0,5836 N_{DPL} + 25,305$$
$$R^2 = 0,9811$$

Y un coeficiente de Pearsson de 0.9811, valor cercano a la unidad, que nos indica una buena capacidad de predicción.

Este procedimiento, fue realizado con la finalidad de comprobar la validez de los datos utilizados en la figura N°59, y con los resultados obtenidos, se indica que los datos son válidos.

#### **4.3. Contrastación de Hipótesis**

Como se puede observar en la Figura 60, se afirma que el valor  $N_{SPT}$ , es directamente proporcional al valor  $N_{DPL}$ . Por lo tanto, se acepta la hipótesis planteada.

Observando el gráfico de Peck, Hanson y Thorburn, se afirma que a mayor ángulo de fricción, mayor es el número de golpes.

El ángulo de fricción obtenido en el laboratorio, no concuerda con el ángulo de fricción obtenido con el gráfico de Peck, Hanson y Thorburn, y es demostrado en los resultados anteriores.

Al ser el  $N_{DPL}$ , directamente proporcional al  $N_{SPT}$ , se afirma que a mayor  $N_{DPL}$ , mayor es el ángulo de fricción, hasta una profundidad de 1.80m.

#### **4.4 Discusión.**

De acuerdo a la investigación realizada, se proponen dos ecuaciones de correlación que responden al problema principal, siendo ambas confiables; las ecuaciones fueron obtenidas con el método de mínimos cuadrados.

Tal como se muestra en la Figura 60, se afirma que el valor  $N_{SPT}$ , es directamente proporcional al valor  $N_{DPL}$ .

Luego de observar el gráfico de Peck, Hanson y Thorburn, se afirma que a mayor ángulo de fricción, mayor es el número de golpes.

El ángulo de fricción obtenido en el laboratorio, no concuerda con el ángulo de fricción hallado con el gráfico de Peck, Hanson y Thorburn, y es demostrado en los resultados mostrados anteriormente.

Al ser el  $N_{DPL}$ , directamente proporcional al  $N_{SPT}$ , se afirma que a mayor  $N_{DPL}$ , mayor será el ángulo de fricción, hasta una profundidad de 1.80m.

Con respecto al antecedente del gráfico realizado por Peck, Hanson y Thorburn, se confirma que el suelo arenoso de la Asociación Agropecuaria Sumac Pacha, no es compatible.

## **CONCLUSIONES.**

De la investigación de campo basada en excavaciones manuales, mediante 04 calicatas; ensayos de resistencia, mediante equipos SPT y DPL; y ensayos de densidad de campo, mediante el equipo de cono y arena; y los ensayos de laboratorio, de las muestras, basados en la caracterización para la clasificación y determinación de parámetros, mediante ensayos de corte directo, además de recopilación de información y análisis y cálculos efectuados, se concluye lo siguiente:

1. Los materiales encontrados en la zona, de manera general, se clasifican como suelos granulares del tipo arenas, clasificadas como arenas pobremente graduadas (SP) y arenas limosas(SM).
2. El suelo de la zona de estudio, es un suelo que tiene un bajocontenido de humedad natural, hasta un 4% como máximo valor.
3. En la zona de estudio, el depósito arenoso, posee una alta densidad natural, lo cual fue comprobado mediante el ensayo de cono y arena que se aplicó en cada una de las calicatas.
4. Se realizaron 2 ensayos SPT, denominados SPT-01 y SPT 02. En los ensayos SPT, las profundidades máximas a las que llegaron las cañas partidas fueron de 1.50 m y 2.50 m, respectivamente, los rangos de número de golpes penetrados en los últimos 30cm, fueron de 29golpes/pie a 70golpes/pie.
5. Se realizaron 5 ensayos DPL, denominados DPL-01, DPL-02, DPL-03, DPL-04 y DPL-05. En los ensayos DPL, la profundidad máxima alcanzada fue de 1.80m, debido a la alta densidad del material. Los números de golpes alcanzados, por cada 0.10m de penetración, varían desde los 13 hasta los 50 golpes.
6. Con la finalidad de comprobar los parámetros obtenidos de forma indirecta, se realizaron ensayos de corte directo en las 8 muestras obtenidas, 2 por cada calicata y a diferentes profundidades, para determinar de manera

directa los parámetros de resistencia de los suelos, de las cuales se obtuvieron valores casi nulos de cohesión, y valores del ángulo de fricción que oscilan de los  $27.7^\circ$  y  $40.61^\circ$ .

7. Con los datos obtenidos a través los ensayos, se realizaron las correlaciones de los valores  $N_{SPT}$  y  $N_{DPL}$  de campo, a través de dos métodos. El primer método, basado en un modelo matemático, que ajusta una línea curva exponencial a cada una de las dispersiones generadas por cada uno de los ensayos, conocido como el método de mínimos cuadrados, con el cual se obtuvo el siguiente factor de correlación:

$$N_{SPT} = 1.198 * N_{DPL}$$

Y un segundo análisis de correlación, también basado en el método de mínimos cuadrados, que ajusta ambos resultados de campo a una fórmula polinómica de segundo grado, presentada a continuación:

$$N_{SPT} = 0,0286 N_{DPL}^2 - 0,5836 N_{DPL} + 25,305$$

Ambos métodos fueron validados por especialistas en estadística, con un buen grado de confiabilidad, cercano a 1.

8. Las correlaciones obtenidas, serán válidas hasta profundidades de 1.80m.
9. La correlación obtenida de los ensayos de campo y laboratorio, son únicos y exclusivos de la zona en estudio (Terreno de 1000m<sup>2</sup> dentro de la Asociación Agropecuaria Sumac Pacha).
10. De la ecuación se puede deducir que los números de golpes  $N_{SPT}$  y  $N_{DPL}$  son directamente proporcionales.
11. Del gráfico de Peck, Hanson y Thorburn, se concluye que no es aplicable en las arenas de la zona en estudio, ya que los ángulos de fricción obtenidos mediante el ensayo de laboratorio de corte directo, son diferentes a los ángulos de fricción obtenidos con el gráfico de Peck, Hanson y Thorburn.

12. Al ser  $N_{SPT}$  y  $N_{DPL}$  directamente proporcionales, se afirma que a mayor  $N_{DPL}$ , mayor será el ángulo de fricción del material.

## **RECOMENDACIONES.**

Luego de haber realizado los ensayos de campo SPT y DPL, se recomienda lo siguiente:

1. Los ensayos de penetración, llegaron como máximo a profundidades de 2.50m., presentando dificultades para llegar a mayores profundidades, por lo tanto, se recomienda la utilización de perforadoras mecánicas.
2. Se recomienda, realizar una norma técnica, para estandarizar el ensayo de DPL en el Perú, esto debido a que la utilización de éste equipo viene en aumento.
3. Todas las conclusiones y recomendaciones, así como las ecuaciones de correlación indicadas en la presente investigación, pertenecen únicamente a la zona de estudio, no podrán ser aplicadas indiscriminadamente para soluciones a otros sectores con problemas geotécnicos por más cercanos ó similares que estuvieran, dado a que su comportamiento será completamente diferente al considerado en el presente estudio.

## FUENTES DE INFORMACIÓN

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Aburto Aburto M. & Rodrigues Lopez D. (2012). *Caracterización de la Resistencia de un material de banco para su uso como relleno compactado*. (Tesis de Grado de Ingeniero Civil). Universidad Nacional Autónoma de México, México D. F.
- Atala 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.
- Figueiredo L. C., Cunha R. P. & Conciani W. (2013). *An overview on existing dynamic cone penetration test research related to the Central Area of Brazil*. Taylor & Francis group. Londres, Inglaterra.
- Hernandez S., Fernandez C., Baptista L.(Eds). (2014). *Metodología de la Investigación*. Mexico: Mc Grall Hill
- Historia de la Geotecnia - Terzaghi y el SPT. (2015). *Apuntes de Geotécnia con énfasis en laderas*. Retrieved from <http://geotecnia-sor.blogspot.pe/search/label/SPT>
- Ministerio de Transpotes y comunicaciones (2013). *E-050 Suelos y cimentaciones*. Lima, Perú.
- 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.
- Norma Técnica Peruana,. (2013). *NORMA E.050 SUELOS Y CIMENTACIONES. MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCION Y SANEAMIENTO, NORMA TECNICA PERUANA (1st ed.)*. LIMA: MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCION Y SANEAMIENTO.
- Menardi, R. L. (2003). Determinación in situ de propiedades ingenieriles de los suelos y su relación con el ensayo normal de penetración.
- Nilsson T. (2011). *Comparaciones entre DPL NILSSON y SPT*. (Thomas Nilsson Geoconsultores). Curitiba, Brasil.
- Nilsson, T. (2004). Comparações entre DPL Nilsson e SPT. *Geosul 2004-IV Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica da Região Sul*.

Nilsson T. (2008). *Parameter approach from DPL test*. (Thomas Nilsson Geoconsultores). Brasil.

Olivares Seminario, E., & Ramírez Lozano, G. (2012). *Ajuste de la correlación de los resultados de las auscultaciones por cono de Peck con los resultados del ensayo de Penetración Estándar* (Doctoral dissertation, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas-UPC).

**ANEXOS:**

ANEXO 01. MATRIZ DE CONSISTENCIA.

ANEXO 02. ENSAYOS DE GRANULOMETRÍA

ANEXO 03. LÍMITES DE CONSISTENCIA

ANEXO 04. CONTENIDO DE HUMEDAD

ANEXO 05. DENSIDAD IN SITU

ANEXO 06. PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE LOS SÓLIDOS

ANEXO 07. ENSAYOS DE CORTE DIRECTO