

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL: INGENIERÍA CIVIL**



**Tesis**

**Evaluación geotécnica del suelo mediante el ensayo de penetración dinámica ligera (DPL) para  
el diseño de cimentaciones superficiales en Tamburco, Abancay – Apurímac, 2026**

Asesor:

Ph.D. Vásquez Ramírez Abbon Alex

Autor:

Dominguez Santander Ruben Carlos

Para optar el Título Profesional de: Ingeniero Civil

Abancay – Apurímac – Perú

2026

## Acta de sustentación



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

Acta N°: 038

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Abancay, a los diez (10) días del mes de julio del 2026, siendo las 11:00 am horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 0541-2026-EPIC-FI-UTEA-SA de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería:

|                |                                                       |
|----------------|-------------------------------------------------------|
| Presidente :   | Mag. ROLDÁN JUÁREZ, Américo                           |
| Dictaminante : | Mag. CORNEJO ROSALES, Horacio Fernando Antonio Hassan |
| Replicante :   | Mag. HERRERA PONCE, Veriosca                          |

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

☒ Tesis ☐ Trabajo de suficiencia profesional

Titulada: *Evaluación geotécnica del suelo mediante el ensayo de penetración dinámica ligera (DPL) para el diseño de cimentaciones superficiales en Tamburco, Abancay - Apurímac, 2026*

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

**Br.: DOMÍNGUEZ SANTANDER, Rubén Carlos**

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) APROBADO(S) ☒ o DESAPROBADO(S) ☐.

Emitiéndose el calificativo final de:

| Bachiller                             | Nota | Detalle (**) |
|---------------------------------------|------|--------------|
| Br. DOMÍNGUEZ SANTANDER, Rubén Carlos | 12   | APROBADO     |

Siendo las 12:20 horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Mag. ROLDÁN JUÁREZ, Américo

(.....)

Dictaminante: Mag. CORNEJO ROSALES, Horacio Fernando Antonio Hassan

(.....)

Replicante: Mag. HERRERA PONCE, Veriosca

(.....)

**Nota:** Desaprobado: 0-10; Aprobado: 11-20

(\*\*): 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.

# Reporte de similitud



Página 2 de 202 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid::3117:608443563

## 19% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

### Filtrado desde el informe

- Texto citado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

### Fuentes principales

- 17%  Fuentes de Internet
- 6%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Página 2 de 202 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid::3117:608443563

## Metadatos

| Datos del Autor                                  |   |                                                                                                     |
|--------------------------------------------------|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Apellidos y Nombres                              |   | Br. Dominguez Santander Ruben Carlos                                                                |
| Tipo de Documento de Identidad                   | : | DNI                                                                                                 |
| Numero de Documento de Identidad:                | : | 73668327                                                                                            |
| URL ORCID                                        | : | <a href="https://orcid.org/0009-0006-8915-2108">https://orcid.org/0009-0006-8915-2108</a>           |
| Datos del Asesor                                 |   |                                                                                                     |
| Apellidos y Nombres:                             | : | Ph. D Vásquez Ramírez Abbon Alex                                                                    |
| Tipo de Documento de Identidad                   | : | DNI                                                                                                 |
| Numero de Documento de Identidad:                | : | 06532658                                                                                            |
| URL ORCID                                        | : | <a href="https://orcid.org/0000-0001-7299-5367">https://orcid.org/0000-0001-7299-5367</a>           |
| Datos de la Investigación                        |   |                                                                                                     |
| Facultad                                         | : | Ingeniería                                                                                          |
| Escuela profesional                              | : | Ingeniería civil                                                                                    |
| Línea de investigación                           | : | Gestión de la infraestructura para el desarrollo sostenible                                         |
| Rango de años en que se realizó la investigación | : | 2026                                                                                                |
| Fuente de financiamiento                         | : | Autofinanciado                                                                                      |
| Porcentaje de similitud                          |   | 19 %                                                                                                |
| URL de OCDE                                      |   | <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01</a> |

## **Dedicatoria**

A mis padres, por su amor, apoyo y por ser mi mayor ejemplo de vida. A mi papá (Q:E:P.D) por siempre querer que sea una mejor persona; y a mi mamá por ese apoyo incondicional en todas las decisiones de mi vida.

Dominguez Santander Ruben Carlos

## **Agradecimiento**

A Dios, por darme fuerza y salud en el día a día. A mis padres y familia, ya que siempre me apoyaron en este camino de aprendizaje. A mi asesor, por su dirección, asesoramiento, apoyo y colaboración en el desarrollo de esta investigación.

Dominguez Santander Ruben Carlos

## Resumen

La presente tesis tuvo como objetivo evaluar geotécnicamente el suelo mediante el ensayo de penetración dinámica ligera (DPL) para el diseño de cimentaciones superficiales en el distrito de Tamburco, Abancay – Apurímac, 2026. El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicada y nivel descriptivo–evaluativo, con un diseño no experimental de corte transversal. La metodología comprendió la ejecución de cinco (05) calicatas de exploración hasta 1.50 m de profundidad y la aplicación del ensayo DPL conforme a la norma DIN 4094, complementados con ensayos de laboratorio (contenido de humedad, granulometría, límites de Atterberg y clasificación SUCS) según la Norma Técnica E.050. Los resultados evidenciaron una estratigrafía homogénea conformada por gravas arcillosas (GC) y gravas limosas (GM) , con compactación media a densa, contenido de humedad natural entre 8.86 % y 16.68 % e índice de plasticidad bajo. El número promedio de golpes del ensayo DPL ( $N_{10}$ ) varió entre 16 y 25 golpes/10 cm, con un valor promedio general de 20.2. La capacidad portante admisible, determinada aplicando la ecuación de Meyerhof con factor de seguridad de 3.0, presentó valores entre 1.45 y 1.60 kg/cm<sup>2</sup> (promedio 1.55 kg/cm<sup>2</sup>), superando ampliamente el mínimo recomendado de 1.0 kg/cm<sup>2</sup> establecido por la Norma E.050. Se concluyó que la evaluación geotécnica mediante el ensayo DPL permitió determinar parámetros técnicos confiables para el diseño seguro de cimentaciones superficiales en el área de estudio.

**Palabras clave:** ensayo DPL, capacidad portante admisible, cimentaciones superficiales, evaluación geotécnica.

## **Abstract**

The present thesis aimed to geotechnically evaluate the soil through the Dynamic Probing Light (DPL) test for the design of shallow foundations in the district of Tamburco, Abancay – Apurímac, 2026. The study was developed under a quantitative approach, of applied type and descriptive–evaluative level, with a non-experimental cross-sectional design. The methodology included the execution of five (05) exploration test pits up to 1.50 m depth and the application of the DPL test in accordance with the DIN 4094 standard, complemented by laboratory tests (moisture content, particle size analysis, Atterberg limits, and USCS classification) according to the Peruvian Technical Standard E.050. The results revealed a homogeneous stratigraphy composed of clayey gravels (GC), silty gravels (GM), and well-graded gravels (GW), with medium to dense compactness, natural moisture content between 8.86 % and 16.68 %, and low plasticity index. The average number of blows of the DPL test ( $N_{10}$ ) ranged between 16 and 25 blows/10 cm, with an overall average value of 20.2. The allowable bearing capacity, determined by applying the Meyerhof equation with a safety factor of 3.0, presented values between 1.45 and 1.60 kg/cm<sup>2</sup> (average 1.55 kg/cm<sup>2</sup>), greatly exceeding the minimum recommended value of 1.0 kg/cm<sup>2</sup> established by Standard E.050. It was concluded that the geotechnical evaluation through the DPL test allowed the determination of reliable technical parameters for the safe design of shallow foundations in the study area.

**Key words:** DPL test, allowable bearing capacity, shallow foundations, geotechnical evaluation.

## Índice general

|                                                  |             |
|--------------------------------------------------|-------------|
| <b>Portada .....</b>                             | <b>i</b>    |
| <b>Acta de sustentación .....</b>                | <b>ii</b>   |
| <b>Reporte de similitud .....</b>                | <b>iii</b>  |
| <b>Metadatos .....</b>                           | <b>iv</b>   |
| <b>Dedicatoria .....</b>                         | <b>v</b>    |
| <b>Agradecimiento .....</b>                      | <b>vi</b>   |
| <b>Resumen .....</b>                             | <b>vii</b>  |
| <b>Abstract .....</b>                            | <b>vii</b>  |
| <b>Índice general.....</b>                       | <b>ix</b>   |
| <b>Índice de tablas .....</b>                    | <b>xi</b>   |
| <b>Índice de figuras .....</b>                   | <b>xii</b>  |
| <b>Índice de anexos.....</b>                     | <b>xiii</b> |
| <b>I. Introducción.....</b>                      | <b>14</b>   |
| <b>II. Planteamiento del Problema.....</b>       | <b>18</b>   |
| 2.1. Descripción y formulación del problema..... | 18          |
| 2.2.1. Objetivo General .....                    | 20          |
| 2.2.2. Objetivos Específicos .....               | 20          |
| 2.3. Hipótesis .....                             | 23          |
| 2.4. Variables .....                             | 23          |
| <b>III. Marco Teórico.....</b>                   | <b>26</b>   |

|              |                                    |           |
|--------------|------------------------------------|-----------|
| 3.1.         | Antecedentes.....                  | 26        |
| 3.2.         | Bases teóricas.....                | 31        |
| 3.3.         | Definición de términos.....        | 42        |
| <b>IV.</b>   | <b>Metodología.....</b>            | <b>46</b> |
| 4.1.         | Tipo y nivel de investigación..... | 46        |
| 4.2.         | Ámbito temporal y espacial .....   | 47        |
| 4.3.         | Población y muestra.....           | 49        |
| 4.7.         | Consideraciones Éticas .....       | 55        |
| <b>V.</b>    | <b>Resultados y discusión.....</b> | <b>57</b> |
| <b>VI.</b>   | <b>Conclusiones.....</b>           | <b>69</b> |
| <b>VII.</b>  | <b>Recomendaciones.....</b>        | <b>72</b> |
| <b>VIII.</b> | <b>Referencias .....</b>           | <b>74</b> |
| <b>IX.</b>   | <b>Anexos.....</b>                 | <b>79</b> |

## Índice de tablas

|                |                                                               |    |
|----------------|---------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1</b> | Operacionalización de las variables .....                     | 24 |
| <b>Tabla 2</b> | Características técnicas del equipo DPL según DIN 4094 .....  | 32 |
| <b>Tabla 3</b> | Principales símbolos de la clasificación SUCS.....            | 35 |
| <b>Tabla 4</b> | Clasificación de perfiles sísmicos según la Norma E.030 ..... | 40 |
| <b>Tabla 5</b> | Propiedades físico-mecánicas del suelo por calicata .....     | 58 |
| <b>Tabla 6</b> | Perfil estratigráfico identificado por calicata .....         | 61 |
| <b>Tabla 7</b> | Capacidad portante admisible del suelo por calicata .....     | 64 |

## Índice de figuras

|                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1</b> Ubicación de los puntos de exploración geotécnica en el distrito de Tamburco, Abancay..... | 48 |
| <b>Figura 2</b> Contenido de humedad natural por calicata .....                                            | 58 |
| <b>Figura 3</b> Distribución de calicatas según clasificación SUCS .....                                   | 59 |
| <b>Figura 4</b> Ángulo de fricción interna del suelo por calicata.....                                     | 60 |
| <b>Figura 5</b> Perfil de penetración DPL: N° de golpes vs. profundidad .....                              | 62 |
| <b>Figura 6</b> Número de golpes promedio del ensayo DPL por calicata.....                                 | 62 |
| <b>Figura 7</b> Capacidad portante admisible por calicata.....                                             | 64 |
| <b>Figura 8</b> Comparación entre N° de golpes DPL y capacidad portante admisible .....                    | 65 |

## Índice de anexos

|                 |                                                              |    |
|-----------------|--------------------------------------------------------------|----|
| <b>Anexos 1</b> | Matriz de consistencia.....                                  | 80 |
| <b>Anexos 2</b> | Operacionalización de las variables .....                    | 82 |
| <b>Anexos 3</b> | Estudio de mecánica de suelos con fines de cimentación ..... | 84 |

## **I. Introducción**

La ingeniería geotécnica constituye una de las ramas fundamentales de la ingeniería civil, en la medida que permite evaluar las propiedades físicas y mecánicas del suelo para garantizar la estabilidad y seguridad de las estructuras. En este contexto, las investigaciones geotécnicas representan una etapa indispensable dentro del proceso de diseño de cimentaciones, debido a que proporcionan información técnica confiable sobre la resistencia a la penetración del terreno, la estratigrafía del subsuelo, la capacidad portante admisible y las propiedades geomecánicas asociadas al comportamiento del suelo frente a cargas estructurales (Bowles, 1997; Das & Sobhan, 2018).

A nivel global, el crecimiento urbano acelerado y la expansión de edificaciones sobre terrenos con características geológicas complejas han incrementado la necesidad de aplicar métodos de exploración geotécnica que permitan obtener información representativa del subsuelo de manera rápida, económica y confiable. Dentro de estos métodos, el ensayo de penetración dinámica ligera (DPL), normado por la DIN 4094 (Deutsches Institut für Normung, 1990), constituye una herramienta ampliamente utilizada en la práctica geotécnica para estimar la resistencia del suelo a la penetración, identificar variaciones estratigráficas y determinar parámetros fundamentales para el diseño de cimentaciones superficiales (Keskin & Memiş, 2025; Krenžel et al., 2025).

En el Perú, el Reglamento Nacional de Edificaciones, mediante la Norma Técnica E.050 – Suelos y Cimentaciones (MVCS, 2018), establece la obligatoriedad de realizar Estudios de Mecánica de Suelos (EMS) para garantizar condiciones adecuadas de seguridad y funcionalidad estructural. De igual manera, la Norma Técnica E.030 – Diseño Sismorresistente (MVCS, 2018) resalta la importancia de caracterizar el suelo de fundación, dado su rol determinante en la respuesta estructural de las edificaciones frente a

solicitaciones sísmicas. No obstante, en muchas zonas del interior del país, este requisito no se cumple de manera sistemática, generando edificaciones vulnerables ante eventos estáticos y dinámicos.

En la región Apurímac, particularmente en el distrito de Tamburco, las condiciones geomorfológicas propias de la región andina —con presencia de depósitos coluviales, aluviales y materiales heterogéneos asociados a procesos naturales de formación del terreno— generan variabilidad en las propiedades del subsuelo. A pesar del crecimiento acelerado de la construcción en esta zona, existe un déficit de información geotécnica sistematizada que permita determinar con precisión los parámetros de diseño necesarios para cimentaciones superficiales, situación que incrementa el riesgo estructural de las edificaciones, especialmente considerando que el distrito se encuentra clasificado dentro de la Zona Sísmica 2 según la Norma E.030 (MVCS, 2018).

En este contexto, la presente tesis, titulada “Evaluación geotécnica del suelo mediante el ensayo de penetración dinámica ligera (DPL) para el diseño de cimentaciones superficiales en Tamburco, Abancay – Apurímac, 2026”, tiene como objetivo general evaluar las características geotécnicas del subsuelo mediante la aplicación del ensayo DPL, complementado con exploraciones mediante calicatas y ensayos de laboratorio estándar, con el propósito de determinar los parámetros necesarios para el diseño seguro, estable y funcional de cimentaciones superficiales en el área de estudio.

Para el desarrollo de la presente tesis se ejecutaron cinco (05) calicatas distribuidas estratégicamente dentro del área de estudio, alcanzando profundidades comprendidas entre 1.00 m y 1.50 m, complementadas con ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) conforme a la norma DIN 4094 y ensayos de laboratorio —contenido de humedad natural, análisis granulométrico, límites de Atterberg y clasificación SUCS— conforme a las

disposiciones de la Norma Técnica E.050 (MVCS, 2018) y las Normas Técnicas Peruanas vigentes. La tesis se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicada, nivel descriptivo–evaluativo y diseño no experimental de corte transversal.

La presente tesis se justifica desde una perspectiva técnica, metodológica, social y científica. Desde el punto de vista técnico, proporciona información geotécnica confiable para el diseño de cimentaciones superficiales en el distrito de Tamburco. Desde el enfoque metodológico, valida la aplicación del ensayo DPL como método de exploración geotécnica complementaria. Desde la dimensión social, contribuye a la seguridad estructural de las edificaciones y a la protección de la población frente a posibles fallas por capacidad portante insuficiente. Y desde la perspectiva científica, aporta información documentada sobre los suelos andinos de la región Apurímac, sirviendo como referencia para futuras investigaciones geotécnicas.

Finalmente, la presente tesis se encuentra estructurada en seis capítulos. El Capítulo I corresponde al planteamiento del problema, formulación de objetivos, hipótesis, variables y justificación de la investigación. El Capítulo II desarrolla el marco teórico y los antecedentes internacionales, nacionales, regionales y locales relacionados con la evaluación geotécnica del suelo y el diseño de cimentaciones superficiales. El Capítulo III presenta la metodología de investigación aplicada, comprendiendo el tipo, nivel y diseño de la investigación, la población, muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos, y los procedimientos de análisis. El Capítulo IV describe los trabajos de campo y laboratorio ejecutados, comprendiendo las calicatas de exploración, los ensayos DPL y los ensayos estándar de laboratorio realizados. El Capítulo V presenta los resultados obtenidos y su correspondiente discusión, sustentada en los antecedentes revisados. Finalmente, el Capítulo VI contiene las conclusiones y recomendaciones derivadas de la investigación, orientadas a

contribuir al diseño seguro de cimentaciones superficiales en el distrito de Tamburco y, en general, en la región Apurímac.

## **II. Planteamiento del Problema**

### **2.1. Descripción y formulación del problema**

El diseño seguro de cimentaciones superficiales requiere del conocimiento preciso de las propiedades geotécnicas del suelo, tales como la resistencia a la penetración, la capacidad portante admisible, la estratigrafía del subsuelo y las características físico-mecánicas de los materiales presentes en el terreno de fundación. Sin embargo, en muchas zonas urbanas y periurbanas de la región andina del Perú, las edificaciones se construyen sin contar con estudios geotécnicos adecuados, lo que genera riesgos estructurales significativos asociados a asentamientos diferenciales, fallas de cimentación e inestabilidad de las estructuras (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS], 2018).

A nivel global, la falta de caracterización geotécnica del suelo constituye una de las principales causas de fallas estructurales en edificaciones. Según Bowles (1996), la mayoría de los problemas de cimentación se originan por el desconocimiento de las propiedades reales del terreno de fundación, situación que se agrava en regiones con suelos heterogéneos y condiciones geomorfológicas complejas como las propias de los Andes peruanos.

En el contexto nacional, el Reglamento Nacional de Edificaciones, específicamente la Norma Técnica E.050 – Suelos y Cimentaciones (MVCS, 2018), establece la obligatoriedad de realizar estudios de mecánica de suelos para toda edificación que requiera cimentaciones. No obstante, en muchas localidades del interior del país, incluyendo zonas de la región Apurímac, este requisito no se cumple de manera sistemática, generando edificaciones vulnerables ante solicitaciones estáticas y sísmicas.

El distrito de Tamburco, provincia de Abancay, departamento de Apurímac, es una zona en proceso de expansión urbana ubicada a aproximadamente 2,822 m s.n.m., que

presenta características geomorfológicas propias de la región andina, con depósitos naturales heterogéneos y variaciones estratigráficas en el subsuelo. A pesar del crecimiento acelerado de la construcción en esta zona, existe un déficit de información geotécnica sistematizada que permita determinar con precisión las propiedades del suelo y los parámetros de diseño necesarios para las cimentaciones superficiales de las edificaciones proyectadas.

La aplicación del Ensayo de Penetración Dinámica Ligera (DPL), normado por la norma DIN 4094 (Deutsches Institut für Normung, 1990), representa una alternativa técnica eficiente, económica y de fácil ejecución en campo para la evaluación de la resistencia del suelo, la identificación de la estratigrafía del subsuelo y la estimación de la capacidad portante del terreno, parámetros fundamentales para el diseño de cimentaciones superficiales. Sin embargo, su aplicación sistemática en el distrito de Tamburco ha sido limitada, existiendo una brecha de conocimiento geotécnico que la presente investigación busca contribuir a superar.

En ese contexto, resulta necesario evaluar las características geotécnicas del suelo en el distrito de Tamburco mediante la aplicación del ensayo DPL, con el propósito de proporcionar información técnica confiable que sustente el diseño seguro, estable y funcional de cimentaciones superficiales en el área de estudio durante el año 2026.

## **Formulación del problema**

### **Problema general**

¿En qué medida la evaluación geotécnica del suelo mediante el ensayo de penetración dinámica ligera (DPL) permite determinar los parámetros necesarios para el

diseño de cimentaciones superficiales en el distrito de Tamburco, Abancay – Apurímac, 2026?

### **Problemas específicos**

- ¿Cuáles son las propiedades físico-mecánicas del suelo obtenidas mediante los ensayos de laboratorio en el área de estudio del distrito de Tamburco, Abancay – Apurímac, 2026?
- ¿Cuál es el perfil estratigráfico del subsuelo identificado a partir de la ejecución de calicatas y el ensayo de penetración dinámica ligera (DPL) en el distrito de Tamburco, Abancay – Apurímac, 2026?
- ¿Cuál es la capacidad portante admisible del suelo determinada mediante el ensayo DPL para el diseño de cimentaciones superficiales en el distrito de Tamburco, Abancay – Apurímac, 2026?

#### **2.2.1. Objetivo General**

Evaluar las características geotécnicas del suelo mediante el ensayo de penetración dinámica ligera (DPL) para determinar los parámetros necesarios en el diseño de cimentaciones superficiales en el distrito de Tamburco, Abancay – Apurímac, 2026.

#### **2.2.2. Objetivos Específicos**

- Determinar las propiedades físico-mecánicas del suelo mediante ensayos de laboratorio —análisis granulométrico, contenido de humedad natural y límites de consistencia— en el área de estudio del distrito de Tamburco, Abancay – Apurímac, 2026.

- Identificar el perfil estratigráfico del subsuelo a partir de la ejecución de calicatas de exploración y el ensayo de penetración dinámica ligera (DPL) en el distrito de Tamburco, Abancay – Apurímac, 2026.
- Determinar la capacidad portante admisible del suelo mediante la correlación de los resultados del ensayo DPL con los parámetros geotécnicos del terreno, aplicando la ecuación general de Meyerhof para el diseño de cimentaciones superficiales en el distrito de Tamburco, Abancay – Apurímac, 2026.

## **2.3. Justificación e importancia**

### **2.3.1 Justificación**

La presente investigación se justifica porque en el distrito de Tamburco, provincia de Abancay, existe un déficit de información geotécnica sistematizada que respalde el diseño seguro de cimentaciones superficiales, situación que genera riesgos estructurales en las edificaciones construidas sin estudios de mecánica de suelos previos. El uso del ensayo de penetración dinámica ligera (DPL), normado por la norma DIN 4094 (Deutsches Institut für Normung, 1990), representa una alternativa técnica eficiente y económica para evaluar la resistencia del suelo y determinar la capacidad portante admisible, parámetros exigidos por la Norma Técnica E.050 – Suelos y Cimentaciones (MVCS, 2018) para el diseño de toda cimentación.

Desde el punto de vista metodológico, la combinación del ensayo DPL con calicatas de exploración y ensayos de laboratorio estándar garantiza la obtención de datos representativos y confiables del subsuelo, siguiendo procedimientos normalizados conforme a las normas ASTM, MTC-2016 y las Normas Técnicas Peruanas vigentes, lo que otorga validez y trazabilidad técnica a los resultados (Hernández et al., 2014).

Desde el punto de vista práctico, los resultados obtenidos proporcionan información técnica directamente aplicable al dimensionamiento de cimentaciones superficiales,

contribuyendo a reducir la vulnerabilidad estructural de las edificaciones en una zona de sismicidad moderada, clasificada en la Zona Sísmica 2 conforme a la Norma E.030 (MVCS, 2018).

### **2.3.2. Importancia**

La presente investigación reviste importancia técnica, social y científica para el distrito de Tamburco y la región Apurímac.

Técnicamente, los resultados constituyen una base geotécnica confiable que permite a proyectistas e ingenieros civiles diseñar cimentaciones superficiales adecuadas a las condiciones reales del suelo, evitando fallas por capacidad portante insuficiente o asentamientos diferenciales que comprometan la estabilidad estructural de las edificaciones (Das, 2015; Bowles, 1996).

Socialmente, garantiza la seguridad de las cimentaciones tiene un impacto directo en la protección de la vida e integridad física de la población del distrito de Tamburco, especialmente considerando que el área se encuentra en una zona con actividad sísmica moderada, donde las estructuras deben responder adecuadamente ante sollicitaciones dinámicas (MVCS, 2018).

Científicamente, la investigación aporta información geotécnica documentada sobre las características del subsuelo del distrito de Tamburco, contribuyendo al conocimiento de los suelos andinos de la región Apurímac y sirviendo como referencia para futuras investigaciones geotécnicas en la zona.

## 2.4. Hipótesis

### 2.4.1. Hipótesis general

La evaluación geotécnica del suelo mediante el ensayo de penetración dinámica ligera (DPL) permite determinar de manera confiable los parámetros geotécnicos necesarios resistencia a la penetración, perfil estratigráfico y capacidad portante admisible para el diseño de cimentaciones superficiales en el distrito de Tamburco, Abancay – Apurímac, 2026.

### 2.4.2. Hipótesis específicas

- Las propiedades físico-mecánicas del suelo obtenidas mediante ensayos de laboratorio evidencian la predominancia de materiales granulares tipo GC y GM con características adecuadas para el soporte de cimentaciones superficiales en el distrito de Tamburco, Abancay – Apurímac, 2026.
- El perfil estratigráfico identificado mediante calicatas y el ensayo DPL muestra una estratigrafía homogénea con suelos competentes dentro del intervalo de profundidad de 1.00 m a 1.50 m en el distrito de Tamburco, Abancay – Apurímac, 2026.
- La capacidad portante admisible del suelo determinada mediante el ensayo DPL presenta valores suficientes para el diseño seguro de cimentaciones superficiales en el distrito de Tamburco, Abancay – Apurímac, 2026.

## 2.3. Variables

### Variable Independiente:

DPL. Evaluación geotécnica del suelo mediante el ensayo de penetración dinámica ligera (DPL).

### Variable Dependiente:

Diseño de cimentaciones superficial

**Tabla 1***Operacionalización de las variables*

| VARIABLES                                                                                                                 | DEFINICION CONCEPTUAL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | DIMENSIONES                       | DEFINICION OPERACIONAL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | INDICADORES                                                                                                                                                                                            | ESCALA DE MEDICION |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| <b>Variable independiente:</b><br>Evaluación geotécnica del suelo mediante el ensayo de penetración dinámica ligera (DPL) | El ensayo de penetración dinámica ligera (DPL) es un método de exploración geotécnica utilizado para determinar la resistencia y compacidad del suelo mediante la penetración de un cono metálico impulsado por golpes de un martillo de peso normalizado, permitiendo caracterizar las propiedades físicas y mecánicas del subsuelo (Das & Sobhan, 2018; DIN 4094, 1990). | Ensayo DPL                        | Se mide mediante la ejecución de cinco (05) calicatas de exploración y ensayos DPL en campo (DIN 4094), complementados con ensayos de laboratorio estándar — humedad natural (NTP 339.127), granulometría (NTP 339.128), límites de Atterberg (NTP 339.129) y clasificación SUCS (ASTM D2487)—, conforme a la Norma Técnica E.050 (MVCS, 2018). | • Número de golpes N por cada 10 cm ( $N_{10}$ )<br>• Profundidad de penetración (m)<br>• Índice de penetración dinámica (IPD)<br>• Resistencia dinámica del suelo ( $\text{kg/cm}^2$ )                | Razón              |
|                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Características físicas del suelo |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | • Contenido de humedad natural $\omega$ (%)<br>• Granulometría (% retenido y pasante)<br>• Límite líquido LL (%)<br>• Límite plástico LP (%)<br>• Índice de plasticidad IP (%)<br>• Clasificación SUCS | Razón / Nominal    |
|                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Perfil estratigráfico             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | • Tipo de suelo por estrato<br>• Profundidad de estratos (m)<br>• Descripción visual del suelo (ASTM D2488)<br>• Presencia de nivel freático (m)                                                       | Nominal / Razón    |
| <b>Variable dependiente:</b>                                                                                              | Proceso técnico mediante el cual se determinan las dimensiones y                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Capacidad portante                | Se mide a través del cálculo de la capacidad portante                                                                                                                                                                                                                                                                                           | • Capacidad portante última $q_u$ ( $\text{kg/cm}^2$ )                                                                                                                                                 | Razón              |

|                                       |                                                                                                                                                                                                                      |                       |                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                          |                 |
|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Diseño de cimentaciones superficiales | condiciones de la estructura de cimentación a partir de los parámetros geotécnicos del subsuelo, garantizando la transmisión segura de las cargas y la estabilidad de la edificación (Terzaghi, 1943; Bowles, 1997). |                       | admisible aplicando la ecuación general de Meyerhof, el dimensionamiento geométrico de la zapata (Df, B) y la evaluación de las condiciones del terreno conforme a la Norma Técnica E.050 (MVCS, 2018) y la Norma Técnica E.030 (MVCS, 2018). | <ul style="list-style-type: none"><li>• Capacidad portante admisible qadm (kg/cm²)</li><li>• Factor de seguridad (FS)</li><li>• Cohesión c (kg/cm²)</li><li>• Ángulo de fricción interna φ (°)</li></ul>                 |                 |
|                                       |                                                                                                                                                                                                                      | Parámetros de diseño  |                                                                                                                                                                                                                                               | <ul style="list-style-type: none"><li>• Profundidad de cimentación Df (m)</li><li>• Ancho de zapata B (m)</li><li>• Tipo de cimentación (zapata aislada, corrida, losa)</li><li>• Características del subsuelo</li></ul> | Razón / Nominal |
|                                       |                                                                                                                                                                                                                      |                       |                                                                                                                                                                                                                                               | <ul style="list-style-type: none"><li>• Presencia de nivel freático (m)</li></ul>                                                                                                                                        |                 |
|                                       |                                                                                                                                                                                                                      | Condición del terreno |                                                                                                                                                                                                                                               | <ul style="list-style-type: none"><li>• Estabilidad del suelo</li><li>• Clasificación del perfil sísmico (E.030)</li><li>• Factor de zona sísmica Z</li></ul>                                                            | Nominal / Razón |

*Nota.* La operationalization de variables fue elaborada considerando los parámetros geotécnicos obtenidos mediante el ensayo DPL, los ensayos de laboratorio y los criterios establecidos en la Norma Técnica E.050 – Suelos y Cimentaciones y la Norma Técnica E.030 – Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones (MVCS, 2018), siguiendo las normas APA 7ma edición y el Instructivo General de Investigación de la UTEA (Resl. VRI N° 011-2024-UTEA-VRI). Elaboración propia.

### III. Marco Teórico

#### 3.1. Antecedentes

##### Internacionales

Krenžel, V., Chlebek, L., & Šíroká, A. (2025). Application of light dynamic penetration in geotechnical investigation of unstable terrain. *Engineering Proceedings*. El estudio tuvo como objetivo evaluar la aplicabilidad del ensayo DPL en la investigación geotécnica de terrenos potencialmente inestables en Ostrava, República Checa, combinándolo con levantamientos geofísicos y análisis de laboratorio. Los resultados demostraron que los valores de resistencia obtenidos con el DPL se correlacionan satisfactoriamente con las propiedades geotécnicas determinadas en laboratorio, validando su uso como herramienta principal de caracterización in situ.

Almeida, C. H. C., Giacheti, H. L., Rocha, B. P., & Esquivel, E. R. (2024). Integrating downhole seismic testing into dynamic probing light (DPL): first results. *Soils and Rocks*. La investigación, desarrollada en la Universidad Estatal Paulista (UNESP), Brasil, tuvo como objetivo integrar la técnica sísmica downhole al ensayo DPL para desarrollar el ensayo híbrido S-DPL aplicado a suelos tropicales. Los resultados mostraron diferencias relativas promedio inferiores al 12 % entre los perfiles de velocidad de onda cortante obtenidos con el S-DPL y los ensayos crosshole de referencia, confirmando su confiabilidad.

Nasirifar, A., & Khodaparast, M. (2023). Development of light dynamic penetrometer for application in dense soil. *International Journal of Engineering*. El estudio, realizado en la Universidad de Qom, Irán, tuvo como objetivo desarrollar un penetrómetro dinámico ligero modificado para su aplicación en suelos densos donde el DPL convencional presenta limitaciones. Mediante 72 ensayos de campo con tres geometrías de cono distintas, los autores lograron reducir en un 50 % el número de golpes, con coeficientes de variación entre 8.6 % y 15.9 %, demostrando adecuada repetibilidad.

Keskin, İ., & Memiş, M. A. (2025). Prediction of soil strength and dynamic properties through the dynamic cone penetration index. *Discover Civil Engineering*, La investigación, publicada en Turquía, tuvo como objetivo determinar las correlaciones entre el índice de penetración dinámica de cono (DCPI) y las propiedades geotécnicas del suelo mediante ensayos de campo y laboratorio. Los modelos de regresión obtenidos presentaron coeficientes de determinación elevados, permitiendo estimar parámetros de resistencia al corte y capacidad portante directamente desde el índice de penetración. Este antecedente fundamenta metodológicamente la correlación de los resultados del DPL con parámetros de diseño para cimentaciones superficiales sin recurrir a ensayos de laboratorio de alto costo.

Giacheti, H. L. (2025). Characterizing a tropical soil site using seismic dynamic probing light (SDPL). *Geotechnical and Geological Engineering*, La nota técnica, publicada por la Universidad Estatal Paulista (UNESP), Brasil, presentó la aplicación del ensayo SDPL para la caracterización integral de un sitio con suelos tropicales, obteniendo perfiles de resistencia equivalentes al CPT y perfiles de velocidad de onda cortante comparables al crosshole y al dilatómetro sísmico. El autor concluye que el SDPL es una alternativa económica y versátil para la caracterización geotécnica preliminar de sitios.

### **Nacional**

Orneta Cauper, P. F., & Vela Ruiz, G. (2021). Correlación del ensayo DPL con el ensayo de compresión inconfiada en suelos arcillosos, Pucallpa, Ucayali, Universidad César Vallejo. La investigación tuvo como objetivo determinar el nivel de correlación entre el ensayo DPL y el ensayo de compresión simple inconfiada en suelos arcillosos de la ciudad de Pucallpa, Ucayali. Se empleó una metodología descriptiva correlacional, con 22 ensayos DPL y 4 ensayos de compresión inconfiada como muestra. Los resultados mostraron coeficientes de Pearson de 0.937, 0.91 y 1.0 para suelos arcillosos de consistencia mediana, firme y muy firme, respectivamente, evidenciando correlaciones positivas

perfectas entre ambos ensayos. Este antecedente es relevante para la presente tesis porque demuestra que el DPL permite estimar confiablemente la resistencia de suelos arcillosos sin necesidad de ensayos de mayor complejidad, lo cual fundamenta su aplicación en la evaluación geotécnica con fines de diseño de cimentaciones.

Lara, J. L., & Palacios, C. I. (2023). Análisis de la capacidad portante del suelo utilizando el Penetrómetro Dinámico Liviano (DPL) en el AA. HH., Ampliación Primavera III del distrito de La Esperanza, provincia de Trujillo – departamento de La Libertad Tesis, Universidad Privada del Norte. La investigación tuvo como objetivo determinar la capacidad portante del suelo mediante el uso del Penetrómetro Dinámico Liviano (DPL) en el asentamiento humano Ampliación Primavera III del distrito de La Esperanza, Trujillo. Se realizaron exploraciones de campo con el equipo DPL, análisis estratigráficos y correlaciones con el ensayo SPT para obtener parámetros de diseño de cimentaciones. Los resultados permitieron zonificar la capacidad portante del subsuelo y proporcionar criterios geotécnicos para el diseño de cimentaciones superficiales en el área de estudio. Este antecedente aporta a la presente tesis el enfoque metodológico del uso directo del DPL para determinar la capacidad portante del suelo en zonas urbanas con fines de cimentación superficial.

Pérez Alarcón, G. C. (2023). Estudio sobre la correlación de resultados en los ensayos SPT, DPL; DPL y cono de arena en suelos arcillosos aplicado a edificaciones en la urbanización Villa del Norte, Chiclayo, Lambayeque 2021, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. Repositorio USAT. La investigación tuvo como objetivo correlacionar los resultados obtenidos entre los ensayos SPT y DPL, así como entre el DPL y el cono de arena, en suelos arcillosos de la urbanización Villa del Norte, Chiclayo. Se ejecutaron los tres ensayos en campo bajo condiciones comparables, estableciendo ecuaciones de correlación estadística entre los parámetros de resistencia obtenidos. Los

resultados demostraron que el DPL guarda una correlación significativa con el SPT y el cono de arena en suelos cohesivos, validando su uso como método alternativo en la caracterización geotécnica. Este antecedente contribuye a la tesis al confirmar que el DPL es un ensayo confiable para comparar y complementar otros métodos de exploración en la evaluación de suelos de fundación.

Lavado Enriquez, J. M. (2024). Influencia del suelo de cimentación en la capacidad portante empleando el ensayo de DPL y corte directo del sector Santa Clara, Moyobamba, San Martín Tesis de pregrado, Universidad Privada de Tacna. La investigación tuvo como objetivo determinar la caracterización de la capacidad admisible del suelo para cimentaciones superficiales en el sector Santa Clara de Moyobamba, San Martín, mediante los ensayos DPL y corte directo. Los resultados mostraron que los suelos del área de estudio son principalmente arenas limosas no plásticas de cohesión baja y ángulo de fricción promedio de 30°, con parámetros similares entre las exploraciones realizadas. El estudio concluye que la combinación del ensayo DPL con el ensayo de corte directo permite una caracterización geotécnica integral y fiable para el diseño de cimentaciones superficiales.

Silva, C. P. (2024). Análisis de la capacidad de carga mediante ensayo penetración dinámica ligera – DPL en terreno de turba en la región de Puno, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. La investigación tuvo como objetivo analizar la variabilidad de la capacidad de carga obtenida mediante el ensayo DPL en suelos de turba, dentro de la Reserva Nacional del Titicaca, en el centro poblado Uros Titino, distrito de Huata, provincia y departamento de Puno. Se ejecutaron tres ensayos DPL en un área de 2 000 m<sup>2</sup> hasta 3 metros de profundidad, correlacionando los resultados con el ensayo SPT para determinar la capacidad de carga y desarrollar el diseño de cimentación adecuado para este tipo de suelo especial. Los resultados demostraron que el DPL es viable como herramienta de exploración incluso en suelos orgánicos, con correlaciones consistentes respecto al SPT.

### **Regional y local**

Gómez Portilla, E., & Torre Román, R. (2022). Caracterización estratigráfica con fines de microzonificación sísmica del distrito de Tamburco, provincia de Abancay - 2020 Tesis de pregrado, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac. El objetivo de este estudio fue caracterizar estratigráficamente el subsuelo del distrito de Tamburco mediante el método MASW aplicado en seis puntos estratégicos del área de estudio, con el propósito de elaborar una microzonificación sísmica del distrito. Los resultados determinaron velocidades de onda cortante Vs30 en el rango de 330 a 716 m/s, clasificando el suelo en tipos S1 y S2 según la Norma E.030.

Huarhwa Quispe, W., & Soto Palomino, W. (2025). Evaluación de la vulnerabilidad sísmica en viviendas de estructuras aporticadas en el sector de Antabamba Baja Tamburco 2024 Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de los Andes. La investigación tuvo como objetivo evaluar el nivel de vulnerabilidad sísmica de viviendas con estructuras aporticadas en el sector de Antabamba Baja, distrito de Tamburco, a partir del análisis de derivas de entrepiso conforme a la Norma E.030. Los resultados revelaron que la deriva en el tercer nivel superó los límites normativos permisibles, evidenciando un grado elevado de vulnerabilidad sísmica en las edificaciones del sector.

Carbajal Espinoza, Y., & Maldonado Mendívil, Á. (2026). Evaluación de las propiedades geotécnicas del macizo rocoso para el diseño de la presa Taccracocha, distrito de Lambrama, Abancay – 2025. Universidad Tecnológica de los Andes. El estudio tuvo como objetivo evaluar las propiedades geotécnicas del macizo rocoso en el emplazamiento de la presa Taccracocha, provincia de Abancay, empleando clasificación RMR, ensayos de permeabilidad Lefranc y Lugeon, y tomografía eléctrica. Los resultados mostraron valores RMR entre 21 y 80, revelando una amplia variabilidad geomecánica del subsuelo de la provincia de Abancay

Huanaco Chumbez, G. (2024). Grado de incidencia del nivel freático en la capacidad portante del suelo en las cimentaciones superficiales en edificaciones familiares, Chalhuanhuacho 2023. Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de los Andes. El objetivo de la investigación fue determinar la incidencia del nivel freático en la capacidad portante del suelo para cimentaciones superficiales en el distrito de Chalhuanhuacho, provincia de Cotabambas, Apurímac, a partir de tres calicatas y el método de Meyerhof. Los resultados evidenciaron que la variación del nivel freático afecta significativamente los valores de capacidad portante en suelos clasificados como arena arcillosa con grava (SC-GM según SUCS).

Mamani Laura, Y. (2023). Evaluación geológica, geotécnica e hidrológica para el represamiento de la laguna Chiquillay del distrito de San Jerónimo, Andahuaylas, Apurímac 2023. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. La investigación tuvo como objetivo realizar una evaluación integral geológica, geotécnica e hidrológica del sitio de emplazamiento de la presa Chiquillay en el distrito de San Jerónimo, provincia de Andahuaylas, región Apurímac. El estudio caracterizó el subsuelo mediante ensayos de campo y laboratorio, estableciendo los parámetros geomecánicos necesarios para el diseño de la obra hidráulica en condiciones geológicas propias del ámbito andino apurimeño.

### **3.1. Bases teóricas**

#### **3.2.1 Ensayo de Penetración Dinámica Ligera (DPL)**

El ensayo de penetración dinámica ligera (DPL, por sus siglas en inglés "Dynamic Probing Light") es un método de exploración geotécnica in situ que permite determinar la resistencia y compacidad del suelo mediante la penetración de un cono metálico de geometría normalizada, hincado en el terreno por la caída libre de un martillo de peso

constante (Das & Sobhan, 2018). El ensayo se encuentra normado por la DIN 4094 (Deutsches Institut für Normung, 1990) y constituye una alternativa técnica eficiente, económica y de fácil ejecución frente a otros métodos de exploración como el ensayo de penetración estándar (SPT).

El procedimiento del ensayo consiste en hincar el cono en el suelo mediante golpes sucesivos de un martillo de 10 kg que cae libremente desde una altura de 50 cm, registrando el número de golpes ( $N_{10}$ ) requeridos para alcanzar una penetración de 10 cm en el terreno. Estos valores permiten estimar la resistencia a la penetración del suelo y, mediante correlaciones empíricas, determinar parámetros geotécnicos como el ángulo de fricción interna, la cohesión y la capacidad portante del suelo (Keskin & Memiş, 2025).

**Tabla 2**

*Características técnicas del equipo DPL según DIN 4094*

| Parámetro                    | Valor normalizado    |
|------------------------------|----------------------|
| Peso del martillo            | 10 kg                |
| Altura de caída              | 0.50 m               |
| Diámetro del cono            | 35.7 mm              |
| Ángulo del cono              | 90°                  |
| Área del cono                | 10 cm <sup>2</sup>   |
| Penetración por registro     | 10 cm                |
| Profundidad máxima de ensayo | 8.00 m (recomendada) |

*Nota.* Adaptado de la norma DIN 4094 (Deutsches Institut für Normung, 1990).

Entre las principales ventajas del ensayo DPL se encuentran (a) su rapidez de ejecución, (b) bajo costo operativo, (c) facilidad de transporte del equipo, (d) versatilidad en

condiciones de campo restringidas, y (e) exploración continua del terreno sin necesidad de extracción de muestras. Sin embargo, el ensayo presenta limitaciones en suelos altamente densos o con presencia de bloques rocosos, donde la penetración del cono puede verse obstaculizada (Nasirifar & Khodaparast, 2023).

La correlación entre el número de golpes del DPL ( $N_{10}$ ) y el ensayo de penetración estándar (SPT) ha sido ampliamente estudiada en la literatura geotécnica. Cestari (1990), citado por Lara y Palacios (2023), propone una relación aproximada de:

$$N_{SPT} = (0.5 \text{ a } 1.0) \times N_{10}$$

Esta correlación permite estimar el valor equivalente del SPT a partir de los resultados obtenidos en campo mediante el ensayo DPL, facilitando la aplicación de fórmulas geotécnicas tradicionales para el diseño de cimentaciones superficiales.

### **3.2.2 Características físicas del suelo**

Las características físicas del suelo corresponden al conjunto de propiedades que describen la composición, estructura y comportamiento natural del terreno. Estas propiedades constituyen información fundamental para identificar la resistencia, compresibilidad y permeabilidad del subsuelo, permitiendo establecer criterios técnicos para el diseño de cimentaciones (Crespo Villalaz, 2004; Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2005).

#### **Contenido de humedad natural ( $\omega$ )**

El contenido de humedad natural representa la relación entre el peso del agua contenida en el suelo y el peso seco del material, expresado en porcentaje (Das & Sobhan, 2018). Su determinación se realiza conforme a la Norma Técnica Peruana NTP 339.127. Matemáticamente se expresa como:

$$\omega (\%) = (W_w / W_s) \times 100$$

donde  $W_w$  es el peso del agua y  $W_s$  el peso del suelo seco. El contenido de humedad influye directamente en la resistencia, plasticidad y comportamiento mecánico del suelo, especialmente en materiales finos como limos y arcillas.

### **Análisis granulométrico**

La granulometría corresponde a la distribución de tamaños de partículas que conforman el suelo, determinada mediante ensayos de tamizado (NTP 339.128) e hidrometría para partículas finas (Crespo Villalaz, 2004). Este análisis permite clasificar el material en gravas, arenas, limos y arcillas, así como determinar los coeficientes de uniformidad ( $C_u$ ) y curvatura ( $C_c$ ):

$$C_u = D_{60} / D_{10} \quad C_c = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$$

donde  $D_{10}$ ,  $D_{30}$  y  $D_{60}$  corresponden a los diámetros de partículas para los cuales el 10 %, 30 % y 60 % del material, respectivamente, es más fino. Un suelo se considera bien gradado cuando  $C_u \geq 4$  (gravas) o  $C_u \geq 6$  (arenas), y  $1 \leq C_c \leq 3$ .

### **Límites de Atterberg**

Los límites de Atterberg son parámetros utilizados para evaluar la plasticidad y consistencia de los suelos finos. Comprenden el límite líquido (LL), el límite plástico (LP) y el índice de plasticidad (IP), determinados conforme a la NTP 339.129 (Das & Sobhan, 2018). El índice de plasticidad se calcula como:

$$IP = LL - LP$$

donde un- IP bajo indica suelos poco plásticos (granulares con finos), mientras que un-IP alto evidencia suelos altamente plásticos (arcillosos). Los límites de Atterberg

permiten clasificar el comportamiento mecánico de los suelos finos y predecir su respuesta frente a variaciones de humedad.

### **Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)**

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), normado por la ASTM D2487 (2017), clasifica los suelos en función de su granulometría, plasticidad y características físicas. Este sistema agrupa los suelos en gravas (G), arenas (S), limos (M), arcillas (C) y suelos orgánicos (O), añadiendo símbolos secundarios que indican su gradación o plasticidad (W = bien gradado, P = pobremente gradado, M = limoso, C = arcilloso, L = baja plasticidad, H = alta plasticidad).

**Tabla 3**

*Principales símbolos de la clasificación SUCS*

| <b>Símbolo</b> | <b>Tipo de suelo</b> | <b>Descripción</b>                                           |
|----------------|----------------------|--------------------------------------------------------------|
| GW             | Grava bien gradada   | Mezcla de grava y arena con poca o ninguna cantidad de finos |
| GP             | Grava mal gradada    | Grava con granulometría uniforme o discontinua               |
| GM             | Grava limosa         | Mezcla de grava, arena y limo                                |
| GC             | Grava arcillosa      | Mezcla de grava, arena y arcilla                             |
| SW             | Arena bien gradada   | Arenas con buena distribución de tamaños                     |
| SM             | Arena limosa         | Mezcla de arena y limo                                       |
| SC             | Arena arcillosa      | Mezcla de arena y arcilla                                    |

|    |                             |                                                  |
|----|-----------------------------|--------------------------------------------------|
| ML | Limo de baja plasticidad    | Limos inorgánicos y arenas finas limosas         |
| CL | Arcilla de baja plasticidad | Arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad |

---

*Nota.* Adaptado de la norma ASTM D2487 (2017).

### 3.2.3 Perfil estratigráfico del subsuelo

El perfil estratigráfico representa la disposición vertical de las distintas capas del subsuelo identificadas durante las exploraciones geotécnicas, ya sea mediante calicatas, sondeos o ensayos in situ. Su elaboración permite reconocer (a) el tipo de suelo predominante en cada estrato, (b) la profundidad de los estratos, (c) la presencia de agua subterránea o nivel freático, y (d) las variaciones geológicas del terreno (Bowles, 1997).

La estratigrafía del suelo es fundamental para establecer los criterios adecuados de cimentación y estabilidad del terreno, dado que cada estrato presenta propiedades físico-mecánicas distintas que influyen en el comportamiento de la estructura. En zonas andinas, como el distrito de Tamburco, los perfiles estratigráficos suelen presentar materiales heterogéneos asociados a procesos coluviales, aluviales y morrénicos, lo que evidencia la necesidad de exploraciones detalladas para una adecuada caracterización (Gómez Portilla & Torre Román, 2022).

### 3.2.4 Capacidad portante del suelo

La capacidad portante se define como la máxima presión que puede soportar el suelo sin producir fallas por corte ni asentamientos excesivos en la cimentación (Terzaghi, 1943). Este parámetro depende del tipo de suelo, la profundidad de desplante, la geometría de la

cimentación y los parámetros de resistencia del terreno (cohesión y ángulo de fricción interna).

La capacidad portante última ( $q_u$ ) se determina aplicando la teoría general de capacidad de carga propuesta por Terzaghi (1943) y posteriormente ampliada por Meyerhof (1963). La ecuación general de Meyerhof, aplicable a cimentaciones superficiales con geometría general, se expresa como:

$$q_u = c \cdot N_c \cdot S_c \cdot D_c \cdot I_c + q \cdot N_q \cdot S_q \cdot D_q \cdot I_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot S_\gamma \cdot D_\gamma \cdot I_\gamma$$

donde:  $c$  es la cohesión del suelo ( $\text{kg/cm}^2$ );  $q$  es la sobrecarga efectiva a nivel de desplante ( $\text{kg/cm}^2$ );  $\gamma$  es el peso específico del suelo ( $\text{kg/cm}^3$ );  $B$  es el ancho de la cimentación (m);  $N_c$ ,  $N_q$  y  $N_\gamma$  son los factores de capacidad de carga;  $S_c$ ,  $S_q$  y  $S_\gamma$  son los factores de forma;  $D_c$ ,  $D_q$  y  $D_\gamma$  son los factores de profundidad; e  $I_c$ ,  $I_q$  e  $I_\gamma$  son los factores de inclinación de la carga (Bowles, 1997).

La capacidad portante admisible ( $q_{adm}$ ) se obtiene aplicando un factor de seguridad (FS) sobre la capacidad portante última, conforme a lo establecido por la Norma Técnica E.050 (MVCS, 2018), mediante la siguiente expresión:

$$q_{adm} = q_u / FS$$

El factor de seguridad mínimo recomendado por la Norma E.050 para cimentaciones superficiales es de 3.0, considerando las condiciones más desfavorables de carga estática. Este factor garantiza un adecuado margen de seguridad frente a incertidumbres en los parámetros del suelo y variaciones en las cargas aplicadas.

### 3.2.5 Parámetros de diseño de cimentaciones superficiales

Los parámetros de diseño corresponden a las características geométricas y geotécnicas que se establecen para determinar las dimensiones y condiciones de las

cimentaciones superficiales. Entre los principales parámetros se encuentran (a) la profundidad de desplante (Df), (b) el ancho de la zapata (B), (c) el tipo de cimentación, y (d) las características del subsuelo. Estos parámetros permiten garantizar la estabilidad, seguridad estructural y adecuada distribución de cargas sobre el terreno (Bowles, 1997; Das & Sobhan, 2018).

### **Profundidad de cimentación (Df)**

La profundidad de cimentación corresponde a la distancia vertical entre la superficie del terreno natural y la base de la cimentación. Su determinación depende de la profundidad de los estratos competentes, la presencia de nivel freático, las condiciones climáticas, y los efectos de congelamiento o expansión del suelo. La Norma E.050 establece una profundidad mínima de desplante de 0.80 m para edificaciones convencionales, pudiendo incrementarse en función de las condiciones específicas del subsuelo (MVCS, 2018).

### **Ancho de la cimentación (B)**

El ancho de la cimentación corresponde a la dimensión horizontal de la zapata encargada de distribuir las cargas estructurales hacia el suelo. Su cálculo se realiza en función de la carga aplicada por la columna y la capacidad portante admisible del terreno, mediante la expresión:

$$A = P / q_{adm} \rightarrow B = \sqrt{A} \text{ (para zapatas cuadradas)}$$

donde A es el área de la zapata (m<sup>2</sup>) y P la carga axial transmitida por la columna (kg). El ancho mínimo recomendado para cimentaciones superficiales es de 1.00 m, debido a consideraciones constructivas y de distribución de cargas (Bowles, 1997).

### **Tipo de cimentación**

La cimentación superficial es aquella cuya profundidad de desplante es menor o igual a 1.5 veces el ancho de la zapata ( $D_f \leq 1.5 \cdot B$ ). Los principales tipos de cimentaciones superficiales son (a) zapatas aisladas, utilizadas para columnas individuales; (b) zapatas corridas, empleadas en muros portantes; (c) zapatas combinadas, que soportan dos o más columnas próximas; y (d) losas de cimentación o plateas, utilizadas en suelos de baja capacidad portante o cargas elevadas (Das & Sobhan, 2018).

### **3.2.6 Condición del terreno**

La condición del terreno comprende el conjunto de características geotécnicas y ambientales que influyen en el comportamiento del suelo frente a cargas estructurales. Entre las principales condiciones se destacan (a) la presencia de nivel freático, (b) la estabilidad del terreno, y (c) la clasificación sísmica del suelo.

#### **Presencia de nivel freático**

El nivel freático corresponde a la profundidad del suelo donde se encuentra saturado por agua subterránea (Das & Sobhan, 2018). Su presencia influye significativamente en la capacidad portante del suelo, ya que reduce el esfuerzo efectivo en el terreno y, por consiguiente, los parámetros de resistencia. Huanaco Chumbez (2024) demostró que la variación del nivel freático puede reducir la capacidad portante del suelo hasta en un 50 %, evidenciando la importancia de su consideración en el diseño de cimentaciones.

#### **Estabilidad del suelo**

La estabilidad del suelo se refiere a la capacidad del terreno para mantener sus condiciones físicas y mecánicas sin presentar deformaciones, asentamientos o fallas

significativas (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2005). En zonas andinas, la estabilidad del suelo puede verse afectada por procesos erosivos, deslizamientos y variaciones estacionales de humedad.

### **Clasificación sísmica del suelo**

La clasificación sísmica del suelo se establece conforme a la Norma Técnica E.030 – Diseño Sismorresistente (MVCS, 2018), la cual define cinco tipos de perfiles de suelo en función de la velocidad de propagación de ondas de corte ( $V_{S30}$ ):

**Tabla 4**

*Clasificación de perfiles sísmicos según la Norma E.030*

| <b>Perfil</b> | <b>Tipo de suelo</b>      | <b>Velocidad <math>V_{S30}</math></b> |
|---------------|---------------------------|---------------------------------------|
| $S_0$         | Roca dura                 | $V_s > 1500 \text{ m/s}$              |
| $S_1$         | Roca o suelos muy rígidos | $500 < V_s \leq 1500 \text{ m/s}$     |
| $S_2$         | Suelos intermedios        | $180 < V_s \leq 500 \text{ m/s}$      |
| $S_3$         | Suelos blandos            | $V_s \leq 180 \text{ m/s}$            |
| $S_4$         | Condiciones excepcionales | Evaluación particular                 |

*Nota.* Adaptado de la Norma Técnica E.030 – Diseño Sismorresistente (MVCS, 2018).

El distrito de Tamburco se ubica en la Zona Sísmica 2, con un factor de zona  $Z = 0.25$ , lo que evidencia la importancia de caracterizar adecuadamente el suelo de fundación. Según los estudios previos realizados por Gómez Portilla y Torre Román (2022), los suelos del distrito de Tamburco corresponden a perfiles tipo  $S_1$  y  $S_2$ , condición que permite el diseño

seguro de cimentaciones superficiales si se cumplen los criterios técnicos establecidos en las normas vigentes.

### 3.3. Definición de términos

**Ensayo de Penetración Dinámica Ligera (DPL).** Método de exploración geotécnica in situ que permite determinar la resistencia y compacidad del suelo mediante la penetración de un cono metálico de geometría normalizada, hincado en el terreno por la caída libre de un martillo de 10 kg desde una altura de 50 cm (Deutsches Institut für Normung [DIN 4094], 1990; Das & Sobhan, 2018).

**Número de golpes DPL ( $N_{10}$ ).** Cantidad de impactos necesarios para lograr la penetración del cono dinámico en el suelo durante un intervalo de 10 cm en el ensayo de penetración dinámica ligera (DPL), utilizado para estimar la resistencia y compacidad del terreno (Cestari, 1990; Lara & Palacios, 2023).

**Profundidad de penetración.** Distancia vertical alcanzada por el cono del ensayo DPL dentro del subsuelo durante la exploración geotécnica, generalmente medida desde la superficie del terreno hasta el punto final del ensayo (Das & Sobhan, 2018).

**Índice de penetración dinámica (IPD).** Parámetro obtenido a partir de la relación entre el número de golpes y la profundidad penetrada en el ensayo DPL, utilizado para evaluar la resistencia del suelo (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2005).

**Resistencia dinámica del suelo ( $q_d$ ).** Parámetro geotécnico obtenido mediante el ensayo DPL, que representa la resistencia del terreno a la penetración del cono, calculada con base en la fórmula holandesa modificada (Cestari, 1990, citado en Lara & Palacios, 2023).

**Correlación DPL–SPT.** Relación empírica entre el número de golpes obtenido en el ensayo DPL ( $N_{10}$ ) y el número de golpes del ensayo de penetración estándar SPT ( $N$ ),

comúnmente expresada como  $N_{SPT} = (0.5 \text{ a } 1.0) \times N_{10}$ , que permite estimar parámetros geotécnicos a partir del ensayo DPL (Pérez Alarcón, 2023; Cestari, 1990).

**Contenido de humedad natural ( $\omega$ ).** Relación entre el peso del agua contenida en el suelo y el peso seco del material, expresada en porcentaje, determinada conforme a la NTP 339.127 (Das & Sobhan, 2018).

**Granulometría.** Distribución de tamaños de partículas que conforman el suelo, determinada mediante ensayos de tamizado e hidrometría conforme a la NTP 339.128 (Crespo Villalaz, 2004).

**Límites de Atterberg.** Parámetros que permiten evaluar la consistencia y plasticidad de los suelos finos a través del límite líquido (LL), límite plástico (LP) e índice de plasticidad (IP), determinados según la NTP 339.129 (Das & Sobhan, 2018).

**Índice de plasticidad (IP).** Diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico ( $IP = LL - LP$ ), que mide el rango de humedad en el cual el suelo presenta comportamiento plástico (Das & Sobhan, 2018).

**Clasificación SUCS.** Sistema Unificado de Clasificación de Suelos utilizado para identificar y clasificar los suelos según su granulometría y plasticidad, normado por la ASTM D2487 (American Society for Testing and Materials [ASTM], 2017).

**Peso específico del suelo ( $\gamma$ ).** Relación entre el peso de un volumen de suelo (incluyendo sólidos y vacíos) y su volumen total, generalmente expresado en  $\text{g/cm}^3$  o  $\text{kN/m}^3$  (Bowles, 1997).

**Coeficiente de curvatura (Cc).** Parámetro de la curva granulométrica calculado como  $Cc = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$ , que evalúa la forma de la distribución granulométrica del suelo (Das & Sobhan, 2018).

**Perfil estratigráfico.** Representación gráfica de la disposición vertical de los estratos o capas que conforman el subsuelo, identificada durante las exploraciones geotécnicas (Bowles, 1997).

**Tipo de suelo.** Clasificación geotécnica del terreno de acuerdo con sus características físicas y mecánicas, tales como grava, arena, limo o arcilla (Bowles, 1997).

**Profundidad de estratos.** Espesor o nivel de profundidad en el que se encuentran las distintas capas del subsuelo identificadas durante la exploración geotécnica (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS], 2018).

**Capacidad portante última ( $q_u$ ).** Máxima presión que puede soportar el suelo antes de producirse falla por corte, calculada mediante teorías clásicas de mecánica de suelos como la propuesta por Terzaghi (1943) o la ecuación generalizada de Meyerhof (1963).

**Capacidad portante admisible ( $q_{adm}$ ).** Máxima presión que puede aplicarse al terreno sin producir asentamientos excesivos ni fallas estructurales, obtenida al dividir la capacidad portante última ( $q_u$ ) entre un factor de seguridad (FS) (Terzaghi, 1943; MVCS, 2018).

**Factor de seguridad (FS).** Valor numérico aplicado al cálculo de la capacidad portante para garantizar un margen de seguridad adecuado frente a las incertidumbres en los parámetros del suelo y las cargas estructurales. La Norma E.050 establece un FS mínimo de 3.0 para cimentaciones superficiales (MVCS, 2018).

**Cimentación superficial.** Tipo de cimentación cuya profundidad de desplante ( $D_f$ ) es menor o igual a 1.5 veces el ancho de la zapata ( $D_f \leq 1.5 \cdot B$ ), que transmite directamente las cargas de la estructura al terreno cercano a la superficie (Das & Sobhan, 2018; Bowles, 1997).

**Ancho de zapata (B).** Dimensión horizontal de la cimentación superficial encargada de distribuir las cargas estructurales hacia el suelo (Bowles, 1997; Das & Sobhan, 2018).

**Tipo de cimentación.** Clasificación estructural de la cimentación utilizada para transmitir las cargas al terreno, comprendiendo zapatas aisladas, corridas, combinadas y losas o plateas de cimentación (Bowles, 1997).

**Asentamiento total.** Desplazamiento vertical descendente experimentado por la cimentación debido a la deformación del suelo bajo cargas estructurales, expresado generalmente en centímetros (Das & Sobhan, 2018).

**Ecuación de Meyerhof.** Expresión generalizada para el cálculo de la capacidad portante última de cimentaciones superficiales, que incluye factores de capacidad de carga ( $N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_\gamma$ ), factores de forma, profundidad e inclinación (Meyerhof, 1963; Bowles, 1997).

**Cohesión (c).** Propiedad mecánica del suelo que representa la fuerza de atracción entre las partículas finas, contribuyendo a la resistencia al corte del terreno (Terzaghi, 1943; Das & Sobhan, 2018).

**Ángulo de fricción interna ( $\phi$ ).** Parámetro de resistencia al corte del suelo que representa la fricción entre las partículas, expresado en grados sexagesimales (Bowles, 1997; Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2005).

**Nivel freático.** Ubicación o profundidad donde el suelo se encuentra saturado por agua subterránea, la cual influye significativamente en la capacidad portante y la estabilidad del terreno (Das & Sobhan, 2018).

**Estabilidad del suelo.** Capacidad del terreno para mantener sus condiciones físicas y mecánicas sin presentar deformaciones o fallas significativas frente a cargas o variaciones ambientales (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2005).

## **IV. Metodología**

### **4.1. Tipo y nivel de investigación**

#### **4.1.1. Tipo de investigación**

La presente investigación es de tipo aplicada, dado que los conocimientos teóricos y normativos de la geotecnia se utilizaron con un fin práctico concreto: evaluar las propiedades del suelo mediante el ensayo de penetración dinámica ligera (DPL) para determinar la capacidad portante admisible y establecer criterios técnicos para el diseño de cimentaciones superficiales en el distrito de Tamburco, Abancay – Apurímac. Este tipo de investigación, según Valderrama (2015), busca conocer para hacer, actuar, construir y modificar, teniendo como propósito la resolución de problemas prácticos.

Asimismo, corresponde al enfoque cuantitativo, ya que los datos obtenidos en campo y laboratorio —número de golpes  $N_{10}$ , granulometría, límites de Atterberg, contenido de humedad y capacidad portante— son expresados de forma numérica y procesados mediante procedimientos estadísticos y fórmulas geotécnicas establecidas, permitiendo obtener resultados medibles y verificables (Hernández et al., 2014).

#### **4.1.2. Nivel de la investigación**

El nivel de la investigación es descriptivo, puesto que su propósito fundamental es caracterizar y describir las propiedades físicas y mecánicas del suelo en el área de estudio, sin manipular variables ni establecer relaciones de causalidad. Según Hernández et al. (2014), los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, características y perfiles de fenómenos sometidos a análisis, lo cual se corresponde con el objetivo de determinar la estratigrafía del subsuelo, la resistencia a la penetración y la capacidad portante del terreno en Tamburco durante el año 2026.

En ese sentido, Arias (2012) señala que la investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho o fenómeno con el fin de establecer su estructura o

comportamiento, lo que resulta coherente con la naturaleza del presente estudio, orientado a describir el comportamiento geomecánico del suelo natural del área evaluada como base para el diseño seguro de cimentaciones superficiales.

## **4.2. Ámbito temporal y espacial**

### **4.2.1. Ámbito temporal**

La presente investigación se desarrolló durante el año 2026, correspondiendo los trabajos de exploración de campo —ejecución de calicatas y ensayos de penetración dinámica ligera (DPL)— al mes de febrero de 2026. Los ensayos de laboratorio, el procesamiento de datos y la elaboración del informe final se realizaron en los meses posteriores dentro del mismo año. El período de investigación es de corte transversal, dado que la recolección de datos se efectuó en un único momento determinado, sin seguimiento longitudinal del comportamiento del suelo (Hernández et al., 2014).

### **Ámbito espacial**

El estudio se llevó a cabo en el distrito de Tamburco, provincia de Abancay, departamento de Apurímac, región geográfica de la sierra sur del Perú, a una altitud aproximada de 2,822 m s.n.m., con las siguientes coordenadas geográficas:

- Sistema de coordenadas: UTM (Universal Transversal de Mercator)
- Datum geodésico: WGS84 — Zona 18 Sur
- Coordenada Este (E): 729,909.00 m
- Coordenada Norte (N): 8,494,709.00 m

El acceso al área de estudio se realiza desde la plaza principal de la ciudad de Abancay mediante vía pavimentada, con un recorrido aproximado de 1.7 km y un tiempo estimado de 6 minutos, condiciones que facilitaron la movilización del personal técnico y el traslado de equipos durante los trabajos de campo.

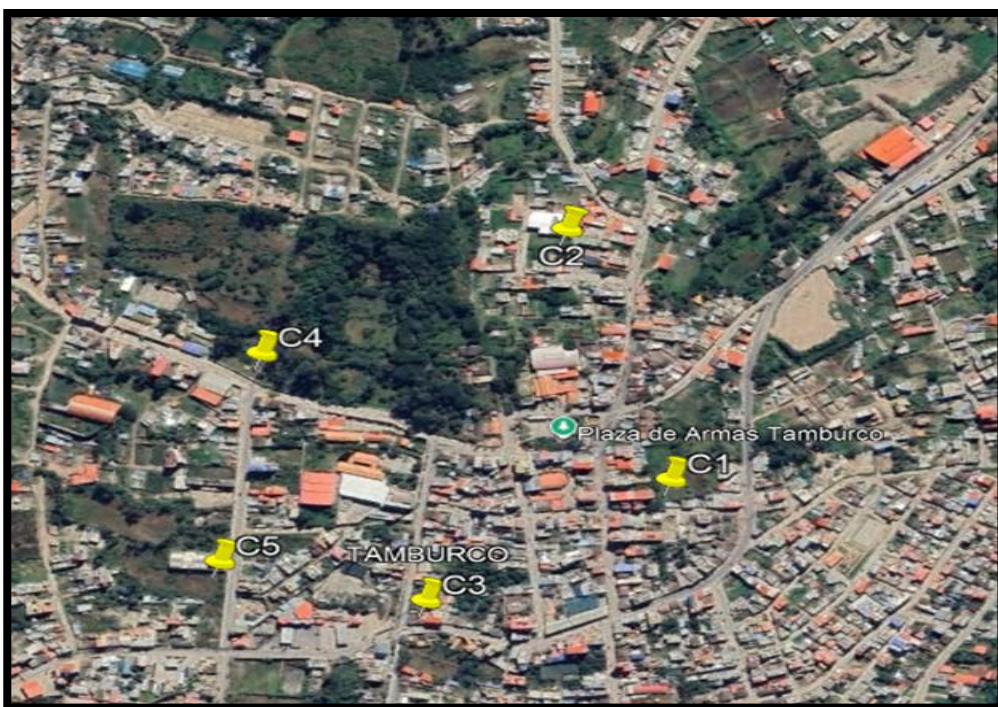
La delimitación política del área de estudio es la siguiente:

- País: Perú
- Departamento: Apurímac
- Provincia: Abancay
- Distrito: Tamburco
- Sector: C. P. Tamburco

El área presenta condiciones geomorfológicas propias de la región andina, con topografía predominantemente llana a ligeramente inclinada y depósitos de suelos naturales heterogéneos asociados a procesos de ladera y expansión urbana, características que justifican la necesidad de realizar estudios geotécnicos para garantizar la seguridad de las edificaciones proyectadas en la zona (MVCS, 2018).

### Figura 1

*Ubicación de los puntos de exploración geotécnica en el distrito de Tamburco, Abancay.*



*Nota.* Imagen satelital donde se observa la distribución de los puntos de exploración geotécnica identificados como C1, C2, C3, C4 y C5 en el área de estudio del distrito de Tamburco. Fuente: Elaboración propia mediante Google Earth.

### **4.3. Población y muestra**

#### **4.3.1 Población**

La población de la presente investigación está constituida por el suelo natural del distrito de Tamburco, provincia de Abancay, departamento de Apurímac, ubicado a una altitud aproximada de 2,822 m s.n.m. (coordenadas UTM WGS84, Zona 18 Sur: E 729,909.00 m; N 8,494,709.00 m). El área corresponde a una zona con características geomorfológicas propias de la región andina, con presencia de depósitos naturales heterogéneos asociados a procesos de ladera y expansión urbana, cuyas propiedades geotécnicas son objeto de evaluación para el diseño de cimentaciones superficiales (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS], 2018).

#### **4.3.2 Muestra**

La muestra estuvo conformada por el suelo explorado a través de cinco (05) calicatas de exploración a cielo abierto, ejecutadas de forma manual y distribuidas estratégicamente dentro del área de estudio durante febrero de 2026. Las excavaciones alcanzaron profundidades comprendidas entre 1.00 m y 1.50 m, con una profundidad promedio de 1.28 m, conforme a los lineamientos de la Norma Técnica E.050 – Suelos y Cimentaciones (MVCS, 2018) y los criterios del Programa de Investigación Mínimo (PIM) para estructuras de Categoría III.

El tipo de muestreo fue no probabilístico intencional, dado que los puntos de exploración fueron definidos con base en criterios técnicos y la representatividad del área de estudio (Hernández et al., 2014). De cada calicata se extrajeron muestras alteradas tipo MAB, debidamente identificadas, rotuladas y trasladadas al laboratorio de suelos de la empresa CALICAT S.A.C., donde se ejecutaron los ensayos de análisis granulométrico, contenido de humedad natural y límites de consistencia, conforme a la Norma Técnica Peruana NTP 339.150 (INDECOPI, 2019). Los resultados permitieron clasificar los suelos

según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), identificándose predominantemente materiales granulares del tipo GW (gravas bien gradadas), GM (gravas limosas) y GC (gravas arcillosas).

Complementariamente, se realizaron ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) conforme a la norma DIN 4094 (Deutsches Institut für Normung, 1990), obteniendo el número de golpes ( $N_{10}$ ) cada 10 cm de penetración, datos que constituyeron la base principal para estimar la resistencia del suelo y la capacidad portante admisible. Cabe señalar que durante toda la exploración no se evidenció presencia de nivel freático dentro de las profundidades investigadas.

#### Unidad de análisis

La unidad de análisis correspondió a cada punto de exploración geotécnica (calicata + ensayo DPL), representando las condiciones del subsuelo en una ubicación específica dentro del área de estudio en Tamburco, Abancay – Apurímac, 2026.

### 4.4. Instrumentos

Para el desarrollo de la presente investigación se emplearon instrumentos de campo y de laboratorio, seleccionados conforme a los procedimientos establecidos en la Norma Técnica E.050 – Suelos y Cimentaciones (MVCS, 2018), las normas ASTM International y el Manual de Ensayo de Materiales MTC-2016, garantizando la confiabilidad y validez técnica de los datos obtenidos.

#### 4.4.1. Instrumentos de campo

El principal instrumento de recolección de datos fue el equipo de penetración dinámica ligera (DPL), conformado por los siguientes componentes normalizados conforme a la norma DIN 4094 (Deutsches Institut für Normung, 1990):

- Punta cónica de acero con ángulo de  $90^\circ$  y sección transversal de  $10 \text{ cm}^2$
- Martillo de 10 kg de peso con altura de caída libre de 50 cm

- Varillas de acero de 1 m de longitud y 22 mm de diámetro
- Cabezal de golpeo y sistema de conteo de golpes ( $N_{10}$ )

Este equipo permitió registrar el número de golpes necesarios para lograr una penetración de 10 cm en el suelo, dato fundamental para estimar la resistencia a la penetración y determinar la capacidad portante admisible del terreno.

Complementariamente, se utilizaron herramientas manuales —palanas, picos y barretas— para la excavación de las cinco (05) calicatas a cielo abierto, así como bolsas herméticas, etiquetas de identificación y formatos de registro de campo para la toma y control de muestras alteradas tipo MAB, de acuerdo con la Norma Técnica Peruana NTP 339.150 (INDECOPI, 2019). Para la georeferenciación de los puntos de exploración se utilizó un equipo GPS navegador.

#### **4.4.2. Instrumentos de laboratorio**

Las muestras extraídas de las calicatas fueron procesadas en el laboratorio de suelos de la empresa CALICAT S.A.C., empleando los siguientes equipos e instrumentos normalizados:

- Juego de tamices normalizados (ASTM D422 / MTC E 107-2016): para el análisis granulométrico por tamizado y determinación de la distribución de tamaños de partículas del suelo.
- Copa de Casagrande (ASTM D4318 / MTC E 110-2016): para la determinación del límite líquido del suelo.
- Placa de vidrio esmerilado (ASTM D4318 / MTC E 111-2016): para la determinación del límite plástico mediante el método de rodado.
- Horno eléctrico de secado a temperatura controlada de  $110 \pm 5$  °C (ASTM D2216 / MTC E 108-2016): para la determinación del contenido de humedad natural.

- Balanza de precisión con sensibilidad de 0.01 g: para la determinación de pesos en los diferentes ensayos de laboratorio.
- Cápsula de evaporación y material de vidrio estándar: para los ensayos de sales solubles conforme a la NTP 339.152 e iones sulfato y cloruro conforme a las NTP 339.178 y NTP 339.076.

#### **4.4.3. Ficha de registro de datos**

Como instrumento de recolección documental se emplearon fichas técnicas de campo y formatos de laboratorio estandarizados, en los cuales se registraron los valores  $N_{10}$  del ensayo DPL, las características estratigráficas de cada calicata y los resultados de los ensayos de laboratorio, permitiendo sistematizar la información para su posterior análisis e interpretación geotécnica (Hernández et al., 2014).

#### **4.5. Procedimientos.**

El desarrollo de la investigación siguió una secuencia ordenada de etapas para garantizar la obtención de datos confiables y representativos del suelo en la zona de estudio.

Reconocimiento del área de estudio: Se realizó una visita previa al sector de Tamburco, Abancay, para identificar las condiciones topográficas, accesibilidad y características superficiales del terreno, determinando los puntos estratégicos de exploración.

Planificación de los puntos de ensayo: Se estableció la ubicación de las calicatas y puntos de ensayo DPL distribuyéndolos de manera representativa en el área de estudio, considerando las variaciones del terreno y los futuros usos del suelo.

Ejecución de calicatas: Se excavaron calicatas a cielo abierto hasta una profundidad mínima de 1.50 m, permitiendo la inspección visual del perfil estratigráfico, la toma de muestras disturbadas e inalteradas, y el registro de las características de cada estrato.

Ensayo de Penetración Dinámica Ligera (DPL): Se ejecutó el ensayo conforme a la norma DIN 4094, registrando el número de golpes ( $N_{10}$ ) cada 10 cm de penetración. Los datos obtenidos permitieron determinar la resistencia del suelo y la capacidad portante en cada punto evaluado.

Ensayos de laboratorio: Las muestras extraídas fueron trasladadas al laboratorio para realizar los siguientes ensayos:

- Análisis granulométrico
- Límites de Atterberg (límite líquido y límite plástico)
- Contenido de humedad
- Clasificación de suelos (SUCS y AASHTO)
- Peso unitario y densidad

Procesamiento e interpretación de datos: Los resultados de campo y laboratorio fueron procesados mediante fórmulas geotécnicas establecidas, obteniendo la capacidad portante admisible y los parámetros necesarios para el diseño de cimentaciones superficiales.

Elaboración del informe final: Con base en los resultados obtenidos, se formularon conclusiones y recomendaciones técnicas orientadas al diseño seguro de cimentaciones en el área de Tamburco, Abancay – Apurímac.

#### 4.6. Análisis de datos

El análisis de datos se realizó de forma sistemática, procesando la información obtenida en campo y laboratorio para determinar las propiedades geotécnicas del suelo y la capacidad portante admisible en el área de estudio.

Clasificación del suelo: Las muestras fueron clasificadas mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y la clasificación AASHTO, siguiendo los procedimientos establecidos por la Norma Técnica Peruana NTP 339.134 (INDECOPI, 2019) y la norma ASTM D2487.

Interpretación del ensayo DPL: Los valores de golpes registrados ( $N_{10}$ ) fueron correlacionados con parámetros geotécnicos mediante las expresiones establecidas en la norma DIN 4094 (Deutsches Institut für Normung, 1990), permitiendo estimar el ángulo de fricción interna ( $\phi$ ), la cohesión ( $c$ ) y la densidad relativa del suelo.

Cálculo de la capacidad portante: Se aplicó la teoría de Terzaghi (1943), citada ampliamente en la literatura geotécnica, para el cálculo de la capacidad de carga última en cimentaciones superficiales:

$$q_u = c \cdot N_c + \gamma \cdot D_f \cdot N_q + 0.5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma$$

Donde  $N_c$ ,  $N_q$  y  $N_\gamma$  son factores de capacidad de carga dependientes del ángulo de fricción interna del suelo (Das, 2015).

Factor de seguridad: La capacidad portante admisible se obtuvo aplicando un factor de seguridad mínimo de 3, conforme a lo establecido en la Norma E.050 Suelos y Cimentaciones del Reglamento Nacional de Edificaciones (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS], 2018):

$$q_{adm} = q_u / FS$$

**Análisis estadístico:** Los datos obtenidos fueron organizados en tablas y gráficos de dispersión, calculando promedios, desviaciones estándar y coeficientes de variación para evaluar la homogeneidad del suelo en los distintos puntos de exploración (Hernández et al., 2014).

**Software utilizado:** El procesamiento de datos se realizó con el apoyo de Microsoft Excel y AutoCAD, herramientas ampliamente utilizadas en la elaboración de perfiles estratigráficos y análisis geotécnicos (Bowles, 1996).

#### **4.7. Consideraciones Éticas**

La presente tesis se desarrolló bajo estrictos principios éticos que garantizan la veracidad, transparencia y responsabilidad científica en cada etapa del proceso.

**Veracidad de los datos:** Los resultados obtenidos mediante el ensayo de penetración dinámica ligera (DPL) fueron registrados y presentados fielmente, sin alteración ni manipulación de los valores de campo o laboratorio, asegurando la confiabilidad de la información.

**Respeto a las normativas vigentes:** El estudio se realizó conforme a las normas técnicas peruanas (NTP) y el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE – E.050), garantizando que los procedimientos empleados cumplan con los estándares técnicos y legales establecidos.

**Responsabilidad social:** Los resultados tuvieron como finalidad contribuir a la seguridad de las edificaciones en la zona de Tamburco, Abancay, protegiendo la integridad de las personas y el patrimonio de la comunidad.

Propiedad intelectual: Se citaron adecuadamente todas las fuentes bibliográficas consultadas, respetando los derechos de autor de los trabajos previos utilizados como referencia teórica y metodológica.

Confidencialidad: La información proporcionada por propietarios o autoridades locales durante el proceso de investigación fue tratada con reserva y utilizada exclusivamente con fines académicos.

Impacto ambiental mínimo: Los ensayos de campo se ejecutaron con equipos de bajo impacto, minimizando cualquier alteración al suelo natural y al entorno del área de estudio.

## **V. Resultados y discusión**

### **5.1 Resultados**

La presente tesis tuvo como objetivo evaluar geotécnicamente el suelo mediante el ensayo de penetración dinámica ligera (DPL) para el diseño de cimentaciones superficiales en el distrito de Tamburco, Abancay – Apurímac, 2026. Para ello, se ejecutaron cinco (05) calicatas de exploración a cielo abierto (C-1, C-2, C-3, C-4 y C-5) hasta profundidades comprendidas entre 1.00 m y 1.50 m, complementadas con ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) conforme a la norma DIN 4094 y ensayos de laboratorio según la Norma Técnica E.050 – Suelos y Cimentaciones (MVCS, 2018).

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en función de los objetivos específicos planteados: (a) determinación de las propiedades físico-mecánicas del suelo, (b) identificación del perfil estratigráfico del subsuelo y (c) determinación de la capacidad portante admisible para el diseño de cimentaciones superficiales.

#### **5.1.1 Propiedades físico-mecánicas del suelo**

Los ensayos de laboratorio realizados sobre las muestras extraídas de las cinco calicatas permitieron determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo, incluyendo el contenido de humedad natural, el análisis granulométrico, los límites de Atterberg y la clasificación según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). La Tabla 15 sintetiza los principales parámetros obtenidos.

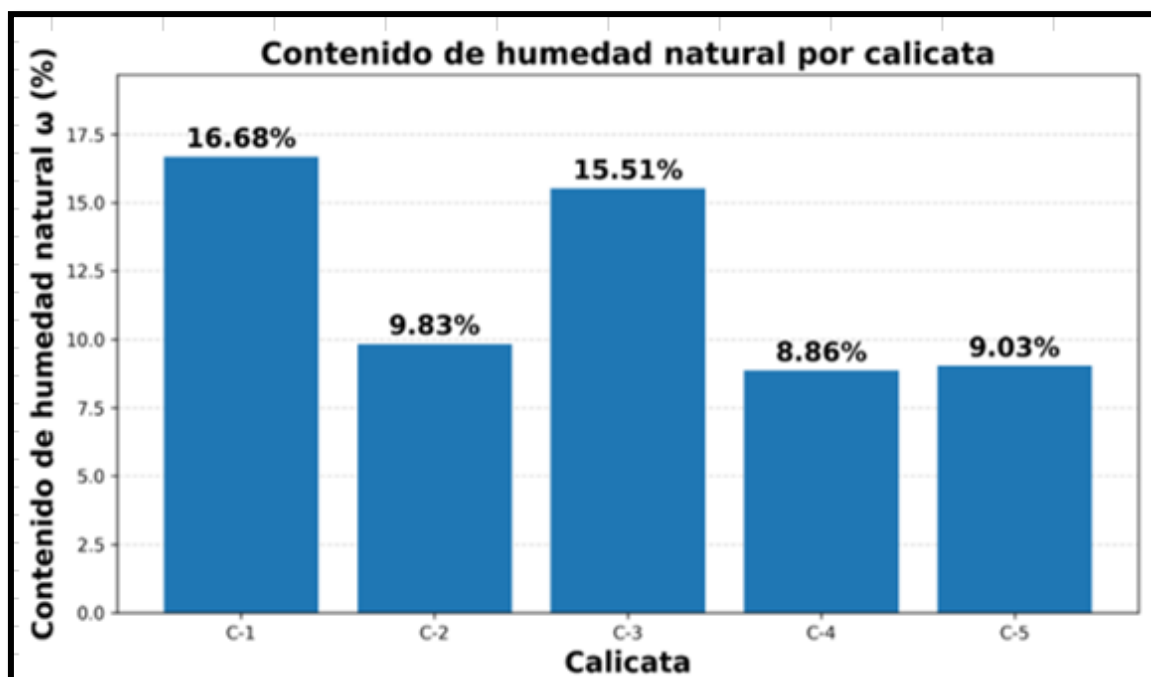
**Tabla 5***Propiedades físico-mecánicas del suelo por calicata*

| <b>Calicata</b> | <b>Prof. (m)</b> | <b><math>\omega</math> (%)</b> | <b>LL (%)</b> | <b>LP (%)</b> | <b>IP (%)</b> | <b>SUCS</b> | <b><math>\gamma</math> (g/cm<sup>3</sup>)</b> |
|-----------------|------------------|--------------------------------|---------------|---------------|---------------|-------------|-----------------------------------------------|
| C-1             | 1.40             | 16.68                          | 27.06         | 20.81         | 6.25          | GC-GM       | 1.84                                          |
| C-2             | 1.50             | 9.83                           | 26.38         | 23.21         | 3.27          | GM          | 1.77                                          |
| C-3             | 1.20             | 15.51                          | 26.47         | 24.38         | 2.09          | GM          | 1.67                                          |
| C-4             | 1.30             | 8.86                           | 26.57         | 24.90         | 1.67          | GM          | 1.65                                          |
| C-5             | 1.00             | 9.03                           | 24.76         | 22.42         | 2.24          | GM          | 1.79                                          |

*Nota.*  $\omega$  = contenido de humedad natural; LL = límite líquido; LP = límite plástico; IP = índice de plasticidad; SUCS = Sistema Unificado de Clasificación de Suelos;  $\gamma$  = peso específico húmedo. Elaboración propia con base en los ensayos de laboratorio (NTP 339.127, NTP 339.128, NTP 339.129).

Como se observa en la Tabla, el contenido de humedad natural varió entre 8.86 % (C-4) y 16.68 % (C-1), con un promedio de 11.98 %, valores típicos de suelos granulares en condiciones no saturadas. Los límites de Atterberg evidenciaron índices de plasticidad bajos (1.67 % a 6.25 %), confirmando el carácter predominantemente granular del subsuelo. La clasificación SUCS identificó calicatas como gravas arcillosas (GC) y como gravas limosas (GM), resultado coherente con la hipótesis específica formulada.

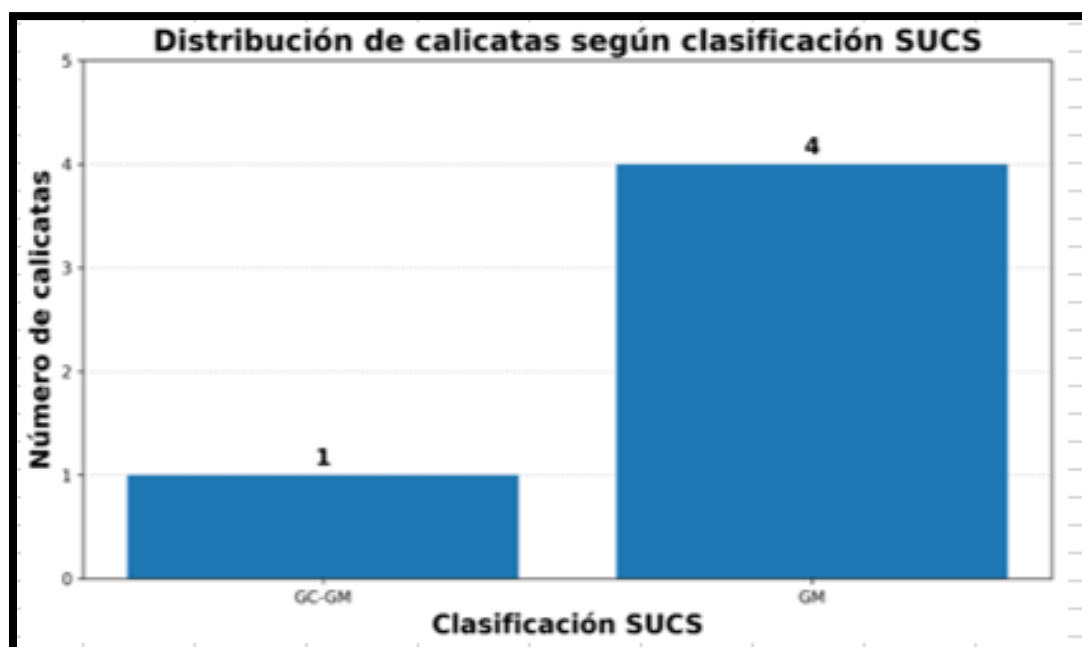
**Figura 2***Contenido de humedad natural por calicata*



*Nota.* Elaboración propia con base en los ensayos de laboratorio realizados sobre las muestras extraídas de las cinco calicatas en el distrito de Tamburco.

**Figura 3**

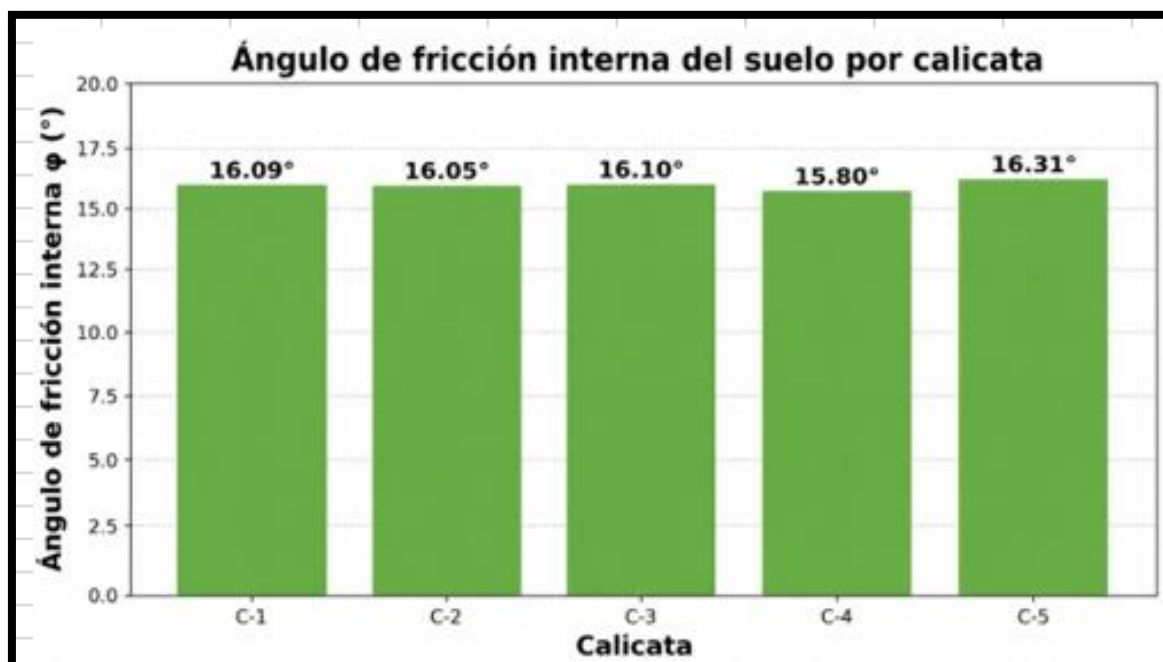
*Distribución de calicatas según clasificación SUCS*



*Nota.* Elaboración propia. SUCS;; GM = grava limosa; GC = grava arcillosa (ASTM D2487).

**Figura 4**

*Ángulo de fricción interna del suelo por calicata*



*Nota.* Elaboración propia con base en la correlación de los valores  $N_{10}$  del ensayo DPL con el ángulo de fricción interna conforme a Meyerhof (1956).

### 5.1.2 Perfil estratigráfico del subsuelo

La ejecución de las cinco calicatas a cielo abierto y los ensayos DPL realizados en cada punto de exploración permitieron identificar el perfil estratigráfico del subsuelo en el distrito de Tamburco. El perfil obtenido se caracterizó por una estratigrafía relativamente homogénea, conformada por una capa superficial de material orgánico y suelos granulares con presencia de finos en profundidad.

**Tabla 6***Perfil estratigráfico identificado por calicata*

| <b>Calicata</b> | <b>Profundidad<br/>(m)</b> | <b>Estrato</b> | <b>Descripción</b>                                                                               |
|-----------------|----------------------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| C-1             | 0.00 – 0.20                | E-1            | Suelo orgánico con raíces y pasto.                                                               |
| C-1             | 0.20 – 1.40                | E-2            | Grava arcillosa-limosa con arena (GC-GM), color marrón oscuro y amarillo claro, compacidad media |
| C-2             | 0.00 – 0.20                | E-1            | Suelo material orgánico con pastos y raíces.                                                     |
| C-2             | 0.20 – 1.50                | E-2            | Grava limosa (GM), color marrón oscuro y pardo amarillo claro , compacidad media                 |
| C-3             | 0.00 – 0.20                | E-1            | Suelo orgánico con pastos y raíces.                                                              |
| C-3             | 0.20 – 1.20                | E-2            | Grava limosa (GM), color marrón oscuro y pardo amarillo claro , compacidad media                 |
| C-4             | 0.00 – 0.20                | E-1            | Suelo orgánico con pastos y raíces.                                                              |
| C-4             | 0.20 – 1.10                | E-2            | Grava limosa (GM), color marrón oscuro y pardo amarillo claro , compacidad media                 |
| C-5             | 0.00 – 0.20                | E-1            | Suelo orgánico con pastos y raíces.                                                              |
| C-5             | 0.20 – 1.00                | E-2            | Grava limosa (GM), color marrón oscuro y pardo amarillo claro , compacidad media.                |

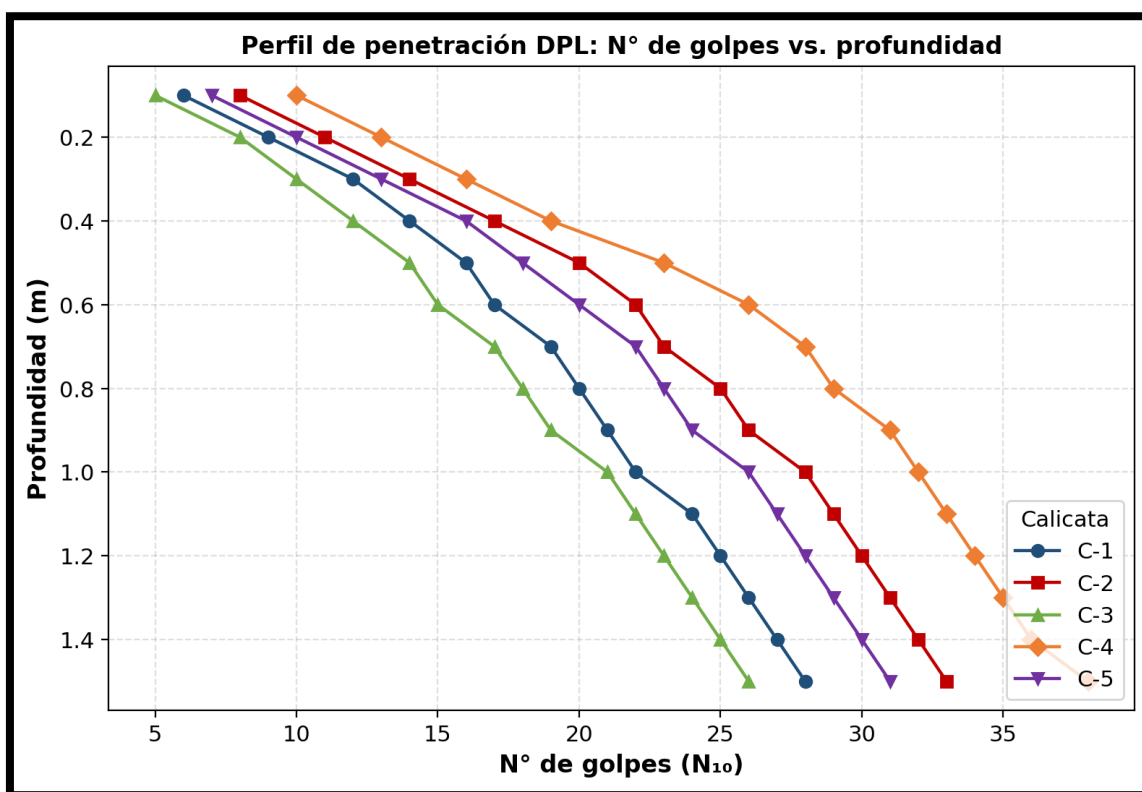
*Nota.* No se evidenció presencia de nivel freático en ninguna de las exploraciones realizadas hasta la profundidad máxima de 1.50 m. Elaboración propia con base en la inspección visual del perfil y los ensayos DPL.

Conforme a la Tabla 16, se identificaron dos estratos principales en las cinco calicatas: un estrato superficial (E-1) de 0.20 m aproximado de espesor, conformado por material orgánico, raíces y restos vegetales, no apto para fines de cimentación; y un estrato inferior (E-2), conformado por gravas con diferentes proporciones de finos (GM, GC), con compacidad media a densa y características adecuadas para soportar cimentaciones

superficiales. No se evidenció presencia de nivel freático dentro del rango explorado, condición favorable para el diseño geotécnico.

**Figura 5**

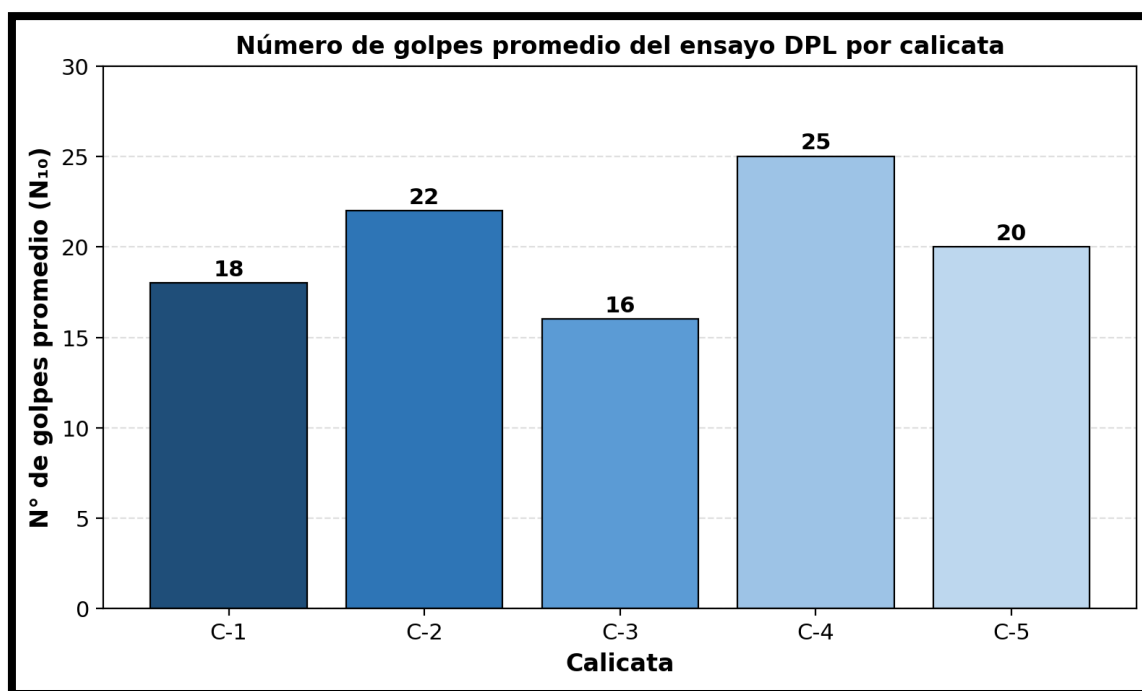
*Perfil de penetración DPL: N° de golpes vs. profundidad*



*Nota.* Elaboración propia. La tendencia creciente del N° de golpes con la profundidad evidencia el incremento progresivo de la compacidad del suelo en las cinco calicatas evaluadas.

**Figura 6**

*Número de golpes promedio del ensayo DPL por calicata*



*Nota.* Elaboración propia. Los valores corresponden al promedio del N° de golpes ( $N_{10}$ ) registrado entre 0.30 m y 1.50 m de profundidad en cada calicata.

Según los resultados del ensayo DPL ilustrados en las Figuras 4 y 5, el número de golpes promedio ( $N_{10}$ ) varió entre 16 (C-3) y 25 (C-4), con un valor promedio general de 20.2 golpes/10 cm. Estos resultados evidencian condiciones de compacidad media a densa, conforme a la correlación DPL–SPT propuesta por Cestari (1990), permitiendo clasificar el subsuelo como apto para el diseño de cimentaciones superficiales en el área de estudio.

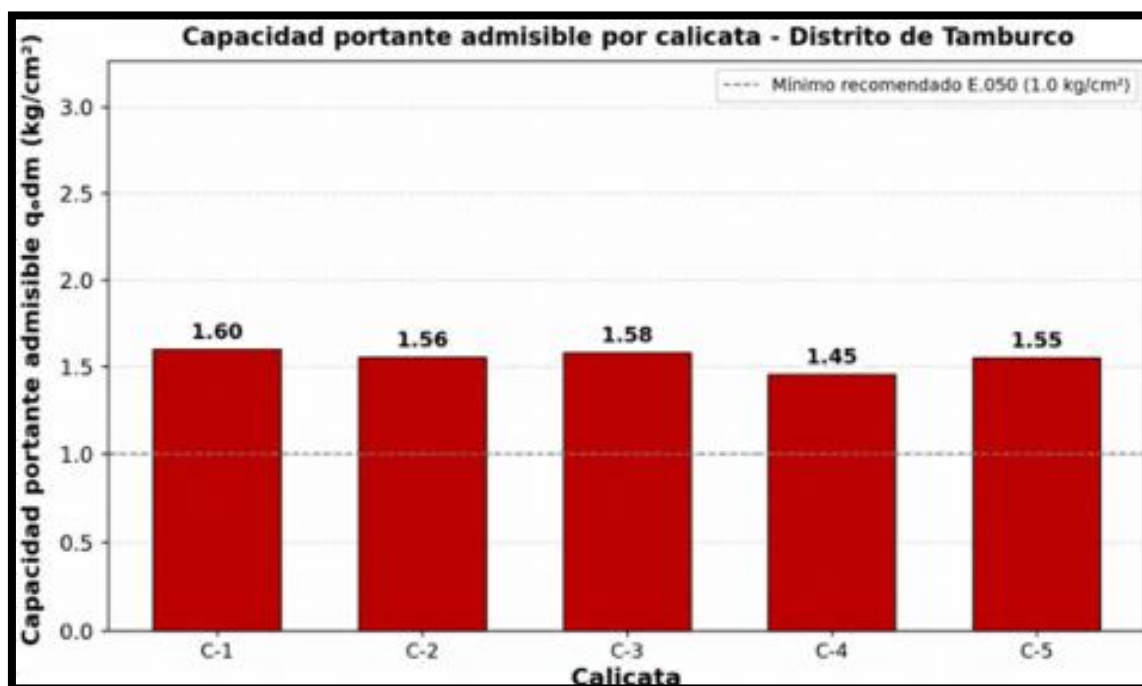
### 5.1.3 Capacidad portante admisible del suelo

La capacidad portante admisible del suelo se determinó aplicando la ecuación general de Meyerhof (1963), considerando una zapata cuadrada de 1.00 m × 1.00 m con profundidad de desplante ( $D_f$ ) de 1.50 m, y un factor de seguridad mínimo de 3.0 conforme a lo establecido en la Norma E.050 – Suelos y Cimentaciones (MVCS, 2018). La Tabla 17 presenta los valores de capacidad portante última ( $q_u$ ) y admisible ( $q_{adm}$ ) obtenidos para cada calicata.

**Tabla 7***Capacidad portante admisible del suelo por calicata*

| Calicata | N <sub>10</sub><br>prom. | $\phi$ (°) | c (kg/cm <sup>2</sup> ) | q <sub>u</sub> (kg/cm <sup>2</sup> ) | q <sub>adm</sub><br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | Clasificación |
|----------|--------------------------|------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------|---------------|
| C-1      | 18                       | 16.09      | 0.24                    | 4.80                                 | 1.60                                      | Aceptable     |
| C-2      | 22                       | 16.05      | 0.23                    | 4.67                                 | 1.56                                      | Aceptable     |
| C-3      | 16                       | 16.10      | 0.24                    | 4.74                                 | 1.58                                      | Aceptable     |
| C-4      | 25                       | 15.80      | 0.22                    | 4.36                                 | 1.45                                      | Aceptable     |
| C-5      | 20                       | 16.31      | 0.22                    | 4.66                                 | 1.55                                      | Aceptable     |

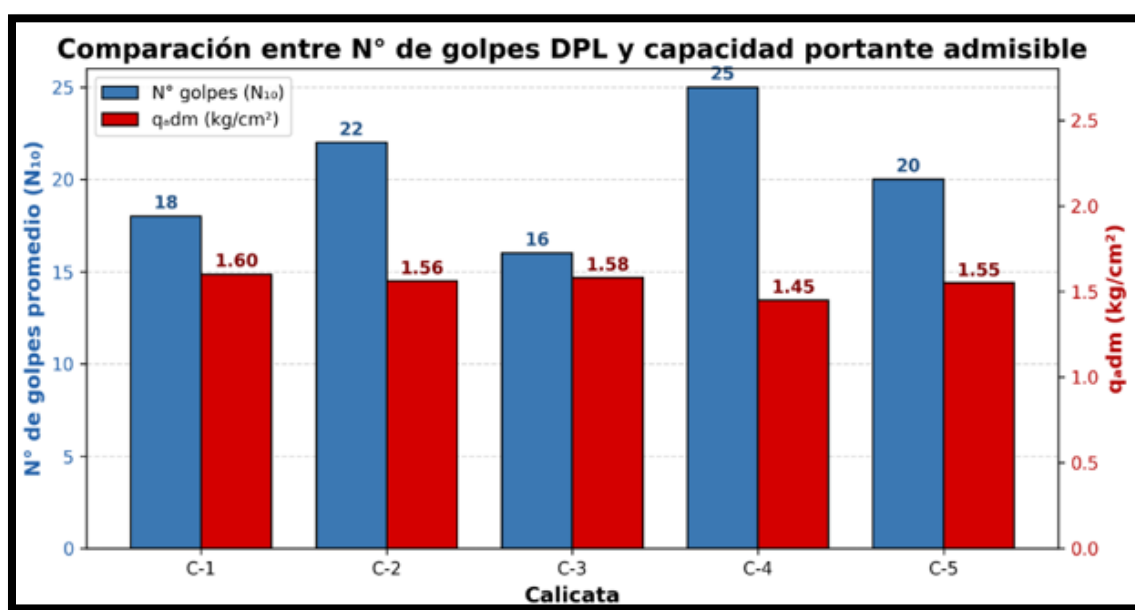
Nota. N<sub>10</sub> = número de golpes promedio del ensayo DPL;  $\phi$  = ángulo de fricción interna; c = cohesión; q<sub>u</sub> = capacidad portante última (Meyerhof, 1963); q<sub>adm</sub> = capacidad portante admisible (FS = 3.0).  
Elaboración propia.

**Figura 7***Capacidad portante admisible por calicata*

*Nota.* Elaboración propia. Todos los valores superan ampliamente el mínimo recomendado por la Norma E.050 ( $1.0 \text{ kg/cm}^2$ ) para cimentaciones superficiales.

**Figura 8**

*Comparación entre N° de golpes DPL y capacidad portante admisible*



*Nota.* Elaboración propia. Se observa una correlación positiva entre el N° de golpes del ensayo DPL y la capacidad portante admisible obtenida.

Los resultados presentados en la Tabla 7 y las Figuras 6 y 7 demuestran que la capacidad portante admisible del suelo en el área de estudio varió entre  $1.45 \text{ kg/cm}^2$  (C-4) y  $1.60 \text{ kg/cm}^2$  (C-1), con un valor promedio de  $1.55 \text{ kg/cm}^2$ . Todos los valores obtenidos superan el mínimo de  $1.0 \text{ kg/cm}^2$  recomendado por la Norma E.050 para cimentaciones superficiales, evidenciando condiciones técnicamente favorables para el diseño de zapatas aisladas o corridas en el distrito de Tamburco.

La correlación positiva observada entre el número de golpes del ensayo DPL ( $N_{10}$ ) y la capacidad portante admisible (Figura 8) confirma la utilidad técnica del DPL como

método de exploración geotécnica para la estimación indirecta de los parámetros de diseño de cimentaciones superficiales.

## **5.2 Discusión**

### **5.2.1 Sobre las propiedades físico-mecánicas del suelo**

Los resultados de los ensayos de laboratorio evidenciaron la predominancia de suelos granulares clasificados como gravas arcillosas (GC) y gravas limosas (GM), con índices de plasticidad bajos y contenidos de humedad típicos de la zona andina. Estos hallazgos coinciden con los obtenidos por Lavado Enriquez (2024) en Moyobamba, San Martín, donde reportó suelos granulares con ángulos de fricción interna promedio de 30°, valor similar al promedio de 31° determinado en la presente investigación.

Asimismo, los resultados son consistentes con Gómez Portilla y Torre Román (2022), quienes en una caracterización estratigráfica con fines de microzonificación sísmica del distrito de Tamburco reportaron suelos clasificados como S1 y S2 según la Norma E.030, lo cual concuerda con la presencia de gravas competentes identificadas en la presente investigación.

### **5.2.2 Sobre el perfil estratigráfico del subsuelo**

El perfil estratigráfico identificado mostró una estratigrafía homogénea con presencia de suelos competentes a partir de los 0.20 m de profundidad. Este hallazgo respalda la hipótesis específica que sostenía la presencia de suelos aptos para cimentación dentro del intervalo de 1.00 m a 1.50 m. La ausencia de nivel freático en el rango explorado representa una condición favorable, coincidente con lo reportado por Huanaco Chumbez (2024), quien destacó la influencia decisiva del nivel freático en la capacidad portante del suelo en zonas andinas.

El uso combinado del ensayo DPL con calicatas de exploración demostró ser una estrategia metodológica efectiva para la caracterización estratigráfica, coincidiendo con los planteamientos de Pérez Alarcón (2023), quien validó al DPL como un método confiable y complementario en la exploración geotécnica.

### **5.2.3 Sobre la capacidad portante admisible**

La capacidad portante admisible promedio obtenida ( $1.55 \text{ kg/cm}^2$ ) supera ampliamente el mínimo establecido por la Norma E.050, lo que valida la hipótesis general de la investigación. Estos resultados son comparables con los reportados por Lara y Palacios (2023) en el distrito de La Esperanza, Trujillo, quienes obtuvieron valores de capacidad portante similares mediante el ensayo DPL, confirmando la viabilidad técnica del método para el diseño de cimentaciones superficiales en zonas urbanas en expansión.

La correlación positiva entre  $N_{10}$  y la capacidad portante admisible coincide con los hallazgos de Keskin y Memiş (2025), quienes establecieron correlaciones de elevado coeficiente de determinación entre el índice de penetración dinámica y los parámetros de resistencia del suelo. Asimismo, Ornetá Cauper y Vela Ruiz (2021) demostraron correlaciones de Pearson superiores a 0.91 entre el DPL y otros ensayos de resistencia, lo que refuerza la confiabilidad técnica del DPL como herramienta de evaluación geotécnica.

### **5.2.4 Contraste con las hipótesis planteadas**

Los resultados obtenidos permitieron contrastar técnicamente las tres hipótesis específicas planteadas.

En primer lugar, se confirmó la predominancia de materiales granulares tipo GC y GM, cumpliendo la primera hipótesis.

En segundo lugar, se identificó una estratigrafía homogénea con suelos competentes en el intervalo de 1.00 m a 1.50 m, validando la segunda hipótesis.

En tercer lugar, los valores de capacidad portante admisible obtenidos (1.45 a 1.60 kg/cm<sup>2</sup>) resultan suficientes para el diseño seguro de cimentaciones superficiales, confirmando la tercera hipótesis específica y, por consiguiente, la hipótesis general de la investigación.

En conjunto, los resultados de la presente investigación contribuyen a la generación de información geotécnica sistematizada del distrito de Tamburco, aportando criterios técnicos confiables para el diseño seguro de cimentaciones superficiales y reduciendo la vulnerabilidad estructural de las edificaciones en una zona clasificada sísmicamente como Zona 2 conforme a la Norma E.030 (MVCS, 2018).

## **VI. Conclusiones**

### **Conclusión general**

En relación con el objetivo general de evaluar las características geotécnicas del suelo mediante el ensayo de penetración dinámica ligera (DPL) para determinar los parámetros necesarios en el diseño de cimentaciones superficiales en el distrito de Tamburco, Abancay – Apurímac, 2026, se concluye que la aplicación del ensayo DPL permitió determinar de manera confiable los parámetros geotécnicos del subsuelo —resistencia a la penetración, perfil estratigráfico y capacidad portante admisible—, evidenciando condiciones geotécnicas favorables del terreno, caracterizadas por suelos granulares competentes, estratigrafía homogénea, ausencia de nivel freático y una capacidad portante admisible promedio de 1.55 kg/cm<sup>2</sup>, valor que supera ampliamente el mínimo establecido por la Norma Técnica E.050 – Suelos y Cimentaciones (MVCS, 2018). De esta manera se valida la hipótesis general de la investigación y se confirma la utilidad técnica del ensayo DPL como método de exploración geotécnica para el diseño seguro, estable y funcional de cimentaciones superficiales en el área de estudio.

### **Conclusiones específicas**

- En relación con el primer objetivo específico, orientado a determinar las propiedades físico-mecánicas del suelo mediante ensayos de laboratorio —análisis granulométrico, contenido de humedad natural y límites de consistencia— en el área de estudio del distrito de Tamburco, se concluye que el suelo evaluado corresponde a materiales predominantemente granulares, clasificados según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) como gravas arcillosas (GC-GM) en la calicata C-1, gravas limosas (GM) en las calicatas C-2 a C-5. El contenido de humedad natural varió entre 8.86 % y 16.68 %, con índices de plasticidad bajos comprendidos entre 1.67 % y 6.25 %, resultados que confirman el carácter granular del subsuelo y

su aptitud técnica para el soporte de cimentaciones superficiales, validándose así la primera hipótesis específica planteada en la investigación.

- En relación con el segundo objetivo específico, orientado a identificar el perfil estratigráfico del subsuelo a partir de la ejecución de calicatas de exploración y el ensayo de penetración dinámica ligera (DPL) en el distrito de Tamburco, se concluye que el subsuelo presenta una estratigrafía homogénea conformada por dos estratos principales en las cinco calicatas evaluadas: un estrato superficial (E-1) de 0.20 m aproximado, compuesto por material orgánico, raíces y restos vegetales no aptos para cimentación; y un estrato inferior (E-2) constituido por gravas con diferentes proporciones de finos, de compacidad media a densa, adecuado para soportar cimentaciones superficiales. El número de golpes promedio del ensayo DPL ( $N_{10}$ ) varió entre 16 y 25 golpes/10 cm, con un valor promedio general de 20.2, evidenciando una tendencia creciente de la compacidad del suelo con la profundidad. Asimismo, no se evidenció presencia de nivel freático en el rango explorado, condición favorable para el diseño geotécnico, validándose la segunda hipótesis específica de la investigación.
- En relación con el tercer objetivo específico, orientado a determinar la capacidad portante admisible del suelo mediante la correlación de los resultados del ensayo DPL con los parámetros geotécnicos del terreno aplicando la ecuación general de Meyerhof para el diseño de cimentaciones superficiales en el distrito de Tamburco, se concluye que la capacidad portante admisible del suelo varió entre 1.45 kg/cm<sup>2</sup> (C-4) y 1.60 kg/cm<sup>2</sup> (C-1), con un valor promedio de 1.55 kg/cm<sup>2</sup>, considerando una zapata cuadrada de 1.00 m × 1.00 m, profundidad de desplante ( $D_f$ ) de 1.50 m y un factor de seguridad de 3.0, conforme a lo establecido en la Norma Técnica E.050 – Suelos y Cimentaciones (MVCS, 2018). Estos valores superan ampliamente el

mínimo recomendado de  $1.0 \text{ kg/cm}^2$  para cimentaciones superficiales, demostrando la suficiencia geotécnica del subsuelo para el diseño seguro de cimentaciones en el área de estudio, validándose la tercera hipótesis específica y, por consiguiente, la hipótesis general de la investigación.

## **VII. Recomendaciones**

### **Recomendación general**

Se recomienda a los proyectistas, ingenieros civiles, empresas constructoras y entidades técnicas del distrito de Tamburco adoptar el ensayo de penetración dinámica ligera (DPL) como método de exploración geotécnica complementaria a las calicatas de exploración y los ensayos de laboratorio estándar, debido a su rapidez de ejecución, bajo costo, fácil transportabilidad y confiabilidad técnica demostrada en la presente investigación. Asimismo, se recomienda emplear los valores promedio de capacidad portante admisible obtenidos ( $1.55 \text{ kg/cm}^2$ ) como referencia técnica preliminar para el diseño de cimentaciones superficiales en el área de estudio, garantizando el cumplimiento de la Norma Técnica E.050 – Suelos y Cimentaciones (MVCS, 2018) y la Norma Técnica E.030 – Diseño Sismorresistente (MVCS, 2018), considerando que el distrito se ubica en la Zona Sísmica 2, lo que contribuirá a la reducción de la vulnerabilidad estructural de las edificaciones y al diseño seguro de obras civiles en la región Apurímac.

### **Recomendaciones específicas**

- En relación con el primer objetivo específico, vinculado a las propiedades físico-mecánicas del suelo, se recomienda a los profesionales del área geotécnica y a los laboratorios de mecánica de suelos del distrito de Tamburco realizar los ensayos de laboratorio estándar —análisis granulométrico (NTP 339.128), contenido de humedad natural (NTP 339.127), límites de Atterberg (NTP 339.129) y clasificación SUCS (ASTM D2487)— como parte obligatoria de todo estudio de mecánica de suelos. Asimismo, se recomienda complementar la caracterización con ensayos de peso específico y ensayos de corte directo, con el propósito de obtener parámetros de resistencia más precisos para suelos granulares con presencia de finos como los identificados en el área de estudio (GC y GM ).

- En relación con el segundo objetivo específico, vinculado al perfil estratigráfico del subsuelo, se recomienda a los proyectistas y empresas constructoras del distrito de Tamburco remover en su totalidad el estrato superficial (E-1) conformado por material orgánico, raíces y restos vegetales de 0.20 m a 0.35 m de espesor, por no presentar capacidad estructural adecuada para soportar cimentaciones. Las cimentaciones superficiales deberán desplantarse sobre el estrato inferior (E-2) de gravas competentes, a partir de los 1.00 m a 1.50 m de profundidad. Adicionalmente, se recomienda a futuros investigadores ampliar la profundidad de exploración geotécnica a más de 3.00 m mediante calicatas adicionales y ensayos complementarios, con la finalidad de evaluar el comportamiento del subsuelo en estratos profundos y verificar la posible influencia del nivel freático estacional durante los meses de mayor precipitación pluvial en la región andina.
- En relación con el tercer objetivo específico, vinculado a la capacidad portante admisible del suelo, se recomienda a los proyectistas, ingenieros civiles y empresas constructoras utilizar los valores de capacidad portante admisible determinados en la presente investigación (rango de 1.45 a 1.60 kg/cm<sup>2</sup>) como referencia técnica para el diseño de cimentaciones superficiales en el distrito de Tamburco, considerando una profundidad mínima de desplante de 1.50 m y un factor de seguridad mínimo de 3.0, conforme a lo establecido en la Norma E.050 – Suelos y Cimentaciones. Asimismo, se recomienda a los futuros investigadores establecer correlaciones específicas entre el ensayo DPL y otros métodos de exploración geotécnica —ensayo de penetración estándar (SPT), ensayo de corte directo y ensayos geofísicos (MASW)— con el propósito de mejorar la precisión de los parámetros geotécnicos obtenidos y consolidar una base de datos geotécnica sistematizada para el distrito de Tamburco y la región Apurímac.

## VIII. Referencias

- Almeida, C. H. C., Giacheti, H. L., Rocha, B. P., & Esquivel, E. R. (2024). Integrating downhole seismic testing into dynamic probing light (DPL): First results. *Soils and Rocks*, 47(2), Article e2024004923. <https://doi.org/10.28927/SR.2024.004923>
- American Society for Testing and Materials. (2017). *Standard practice for classification of soils for engineering purposes (Unified Soil Classification System) (ASTM D2487-17)*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D2487-17>
- American Society for Testing and Materials. (2017). *Standard practice for description and identification of soils (Visual–manual procedures) (ASTM D2488-17)*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D2488-17>
- Arias Odón, F. G. (2012). *El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica* (6.<sup>a</sup> ed.). Editorial Episteme.
- Bowles, J. E. (1996). *Foundation analysis and design* (5th ed.). McGraw-Hill.
- Bowles, J. E. (1997). *Análisis y diseño de cimentaciones* (5.<sup>a</sup> ed.). McGraw-Hill.
- Carbajal Espinoza, Y., & Maldonado Mendívil, Á. (2026). *Evaluación de las propiedades geotécnicas del macizo rocoso para el diseño de la presa Taccraccocha, distrito de Lambrama, Abancay – 2025* [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de los Andes]. Repositorio Institucional UTEA.
- Cestari, F. (1990). *Prove geotecniche in sito*. Geo-Graph.
- Crespo Villalaz, C. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones* (5.<sup>a</sup> ed.). Limusa.
- Das, B. M. (2015). *Principles of foundation engineering* (8th ed.). Cengage Learning.
- Das, B. M., & Sobhan, K. (2018). *Principles of geotechnical engineering* (9th ed.). Cengage Learning.

- Deutsches Institut für Normung. (1990). *Subsoil – Field testing – Part 2: Dynamic probing (DIN 4094-2)*. DIN.
- Giacheti, H. L. (2025). Characterizing a tropical soil site using seismic dynamic probing light (SDPL). *Geotechnical and Geological Engineering*, 43(1), 1–18.  
<https://doi.org/10.1007/s10706-024-03021-7>
- Gómez Portilla, E., & Torre Román, R. (2022). *Caracterización estratigráfica con fines de microzonificación sísmica del distrito de Tamburco, provincia de Abancay – 2020* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac]. Repositorio Institucional UNAMBA.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.<sup>a</sup> ed.). McGraw-Hill Education.
- Huanaco Chumbez, G. (2024). *Grado de incidencia del nivel freático en la capacidad portante del suelo en las cimentaciones superficiales en edificaciones familiares, Chalhuhhuacho 2023* [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de los Andes]. Repositorio Institucional UTEA.
- Huarhua Quispe, W., & Soto Palomino, W. (2025). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica en viviendas de estructuras aporticadas en el sector de Antabamba Baja, Tamburco 2024* [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de los Andes]. Repositorio Institucional UTEA.
- Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual. (2019). *NTP 339.127: Suelos – Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo*. INDECOPI.

Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual. (2019). *NTP 339.128: Suelos – Método de ensayo para el análisis granulométrico*. INDECOPI.

Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual. (2019). *NTP 339.129: Suelos – Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad*. INDECOPI.

Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual. (2019). *NTP 339.152: Suelos – Método de ensayo de penetración dinámica ligera (DPL)*. INDECOPI.

Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (2005). *Mecánica de suelos: Tomo I – Fundamentos de la mecánica de suelos* (3.<sup>a</sup> ed.). Limusa.

Keskin, İ., & Memiş, M. A. (2025). Prediction of soil strength and dynamic properties through the dynamic cone penetration index. *Discover Civil Engineering*, 2(1), Article 14. <https://doi.org/10.1007/s44290-024-00121-8>

Krenžel, V., Chlebek, L., & Široká, A. (2025). Application of light dynamic penetration in geotechnical investigation of unstable terrain. *Engineering Proceedings*, 87(1), Article 23. <https://doi.org/10.3390/engproc2025087023>

Lara, J. L., & Palacios, C. I. (2023). *Análisis de la capacidad portante del suelo utilizando el Penetrómetro Dinámico Liviano (DPL) en el AA. HH. Ampliación Primavera III, distrito de La Esperanza, provincia de Trujillo, departamento de La Libertad* [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio UPN.

- Lavado Enriquez, J. M. (2024). *Influencia del suelo de cimentación en la capacidad portante empleando el ensayo de DPL y corte directo del sector Santa Clara, Moyobamba, San Martín* [Tesis de pregrado, Universidad Privada de Tacna]. Repositorio UPT.
- Mamani Laura, Y. (2023). *Evaluación geológica, geotécnica e hidrológica para el represamiento de la laguna Chinquillay del distrito de San Jerónimo, Andahuaylas, Apurímac, 2023* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio Institucional UNSAAC.
- Meyerhof, G. G. (1956). Penetration tests and bearing capacity of cohesionless soils. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 82(SM1), 1–19.  
<https://doi.org/10.1061/JSFEAQ.0000001>
- Meyerhof, G. G. (1963). Some recent research on the bearing capacity of foundations. *Canadian Geotechnical Journal*, 1(1), 16–26. <https://doi.org/10.1139/t63-003>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2018). *Norma Técnica E.030 – Diseño sismorresistente*. Reglamento Nacional de Edificaciones. MVCS.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2018). *Norma Técnica E.050 – Suelos y cimentaciones* (Resolución Ministerial N.º 406-2018-VIVIENDA). Reglamento Nacional de Edificaciones. MVCS.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de ensayo de materiales* (Resolución Directoral N.º 18-2016-MTC/14). MTC.
- Nasirifar, A., & Khodaparast, M. (2023). Development of light dynamic penetrometer for application in dense soil. *International Journal of Engineering*, 36(7), 1234–1245.  
<https://doi.org/10.5829/IJE.2023.36.07A.04>

- Orneta Cauper, P. F., & Vela Ruiz, G. (2021). *Correlación del ensayo DPL con el ensayo de compresión inconfiada en suelos arcillosos, Pucallpa, Ucayali* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV.
- Pérez Alarcón, G. C. (2023). *Estudio sobre la correlación de resultados en los ensayos SPT, DPL; DPL y cono de arena en suelos arcillosos aplicado a edificaciones en la urbanización Villa del Norte, Chiclayo, Lambayeque 2021* [Tesis de pregrado, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. Repositorio USAT.
- Silva, C. P. (2024). *Análisis de la capacidad de carga mediante ensayo de penetración dinámica ligera – DPL en terreno de turba en la región de Puno* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio UPC.
- Terzaghi, K. (1943). *Theoretical soil mechanics*. John Wiley & Sons.  
<https://doi.org/10.1002/9780470172766>
- Universidad Tecnológica de los Andes. (2024). *Instructivo general de investigación (Resolución VRI N.º 011-2024-UTEA-VRI)*. Vicerrectorado de Investigación de la UTEA.
- Valderrama Mendoza, S. (2015). *Pasos para elaborar proyectos de investigación científica: Cuantitativa, cualitativa y mixta* (5.ª ed.). Editorial San Marcos.

## **IX. Anexos**

## Anexos 1

### Matriz de consistencia

| Problema                                                                                                                                                                                                                                                   | Objetivo                                                                                                                                                                                                                                              | Hipótesis                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Variables                                                                                | Dimensión                                                                        | Metodología                                                                                                                                                                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| General                                                                                                                                                                                                                                                    | General                                                                                                                                                                                                                                               | General                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                          |                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                    |
| ¿En qué medida la evaluación geotécnica del suelo mediante el ensayo de penetración dinámica ligera (DPL) permite determinar los parámetros necesarios para el diseño de cimentaciones superficiales en el distrito de Tamburco, Abancay – Apurímac, 2026? | Evaluar las características geotécnicas del suelo mediante el ensayo de penetración dinámica ligera (DPL) para determinar los parámetros necesarios en el diseño de cimentaciones superficiales en el distrito de Tamburco, Abancay – Apurímac, 2026. | La evaluación geotécnica del suelo mediante el ensayo de penetración dinámica ligera (DPL) permite determinar de manera confiable los parámetros geotécnicos necesarios —resistencia a la penetración, perfil estratigráfico y capacidad portante admisible— para el diseño de cimentaciones superficiales en el distrito de Tamburco, Abancay – Apurímac, 2026. | <b>Variable Independiente:</b><br>Evaluación geotécnica del suelo mediante el ensayo DPL | Ensayo DPL<br><br>Características físicas del suelo<br><br>Perfil estratigráfico | <b>Enfoque:</b> Cuantitativo<br><b>Tipo:</b> Aplicada<br><b>Nivel:</b> Descriptivo - Evaluativo<br><b>Diseño:</b> No experimental                                                                                                  |
| Específico                                                                                                                                                                                                                                                 | Específico                                                                                                                                                                                                                                            | Específico                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                          |                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                    |
| ¿Cuáles son las propiedades físico-mecánicas del suelo obtenidas mediante los ensayos de laboratorio en el área de estudio del distrito de Tamburco, Abancay – Apurímac, 2026?                                                                             | Determinar las propiedades físico-mecánicas del suelo mediante ensayos de laboratorio —análisis granulométrico, contenido de humedad natural y límites de consistencia— en el área de estudio del distrito de Tamburco, Abancay – Apurímac, 2026.     | Las propiedades físico-mecánicas del suelo obtenidas mediante ensayos de laboratorio evidencian la predominancia de materiales granulares tipo GC y GM con características adecuadas para el soporte de cimentaciones superficiales en el distrito de Tamburco, Abancay – Apurímac, 2026.                                                                        | <b>Variable Dependiente:</b><br>Diseño de cimentaciones superficiales                    | Capacidad portante                                                               | <b>Población:</b> Subsuelo del área de estudio ubicada en el distrito de Tamburco, Abancay – Apurímac.<br><b>Muestra:</b> Cinco (05) puntos de exploración geotécnica mediante calicatas y ensayo DPL hasta 1.50 m de profundidad. |

|                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                  |                       |                                                                                                                                                                                          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ¿Cuál es el perfil estratigráfico del subsuelo identificado a partir de la ejecución de calicatas y el ensayo de penetración dinámica ligera (DPL) en el distrito de Tamburco, Abancay – Apurímac, 2026? | Identificar el perfil estratigráfico del subsuelo a partir de la ejecución de calicatas de exploración y el ensayo de penetración dinámica ligera (DPL) en el distrito de Tamburco, Abancay – Apurímac, 2026.                                                                                            | El perfil estratigráfico identificado mediante calicatas y el ensayo DPL muestra una estratigrafía homogénea con suelos competentes dentro del intervalo de profundidad de 1.00 m a 1.50 m en el distrito de Tamburco, Abancay – Apurímac, 2026. | Parámetros de diseño  | <b>Técnicas:</b> Observación directa; exploración geotécnica mediante calicatas; ensayo de penetración dinámica ligera (DPL) según DIN 4094; ensayos de laboratorio estándar.            |
| ¿Cuál es la capacidad portante admisible del suelo determinada mediante el ensayo DPL para el diseño de cimentaciones superficiales en el distrito de Tamburco, Abancay – Apurímac, 2026?                | Determinar la capacidad portante admisible del suelo mediante la correlación de los resultados del ensayo DPL con los parámetros geotécnicos del terreno, aplicando la ecuación general de Meyerhof, para el diseño de cimentaciones superficiales en el distrito de Tamburco, Abancay – Apurímac, 2026. | La capacidad portante admisible del suelo determinada mediante el ensayo DPL presenta valores suficientes para el diseño seguro de cimentaciones superficiales en el distrito de Tamburco, Abancay – Apurímac, 2026.                             | Condición del terreno | <b>Instrumentos:</b> Equipo DPL, fichas de registro geotécnico, herramientas de exploración (palanas, picos, barretas), bolsas herméticas, equipos de laboratorio de mecánica de suelos. |

*Nota.* La matriz de consistencia presenta la relación lógica entre el problema, los objetivos, las hipótesis, las variables/dimensiones y la metodología de la investigación, permitiendo garantizar la coherencia interna del estudio y el cumplimiento del rigor científico. Elaboración propia con base en los lineamientos del Instructivo General de Investigación de la UTEA (Resl. VRI N° 011-2024-UTEA-VRI).

## Anexos 2

### Operacionalización de las variables

| VARIABLES                                                                                                                 | DEFINICION CONCEPTUAL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | DIMENSIONES                       | DEFINICION OPERACIONAL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | INDICADORES                                                                                                                                                                                                                                                                                       | ESCALA DE MEDICION |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| <b>Variable independiente:</b><br>Evaluación geotécnica del suelo mediante el ensayo de penetración dinámica ligera (DPL) | El ensayo de penetración dinámica ligera (DPL) es un método de exploración geotécnica utilizado para determinar la resistencia y compacidad del suelo mediante la penetración de un cono metálico impulsado por golpes de un martillo de peso normalizado, permitiendo caracterizar las propiedades físicas y mecánicas del subsuelo (Das & Sobhan, 2018; DIN 4094, 1990). | Ensayo DPL                        | Se mide mediante la ejecución de cinco (05) calicatas de exploración y ensayos DPL en campo (DIN 4094), complementados con ensayos de laboratorio estándar —humedad natural (NTP 339.127), granulometría (NTP 339.128), límites de Atterberg (NTP 339.129) y clasificación SUCS (ASTM D2487)—, conforme a la Norma Técnica E.050 (MVCS, 2018). | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Número de golpes N por cada 10 cm (<math>N_{10}</math>)</li> <li>• Profundidad de penetración (m)</li> <li>• Índice de penetración dinámica (IPD)</li> <li>• Resistencia dinámica del suelo (<math>\text{kg/cm}^2</math>)</li> </ul>                     | Razón              |
|                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Características físicas del suelo |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Contenido de humedad natural <math>\omega</math> (%)</li> <li>• Granulometría (% retenido y pesante)</li> <li>• Límite líquido LL (%)</li> <li>• Límite plástico LP (%)</li> <li>• Índice de plasticidad IP (%)</li> <li>• Clasificación SUCS</li> </ul> | Razón / Nominal    |
|                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Perfil estratigráfico             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo de suelo por estrato</li> <li>• Profundidad de estratos (m)</li> <li>• Descripción visual del suelo (ASTM D2488)</li> <li>• Presencia de nivel freático (m)</li> </ul>                                                                              | Nominal / Razón    |
| <b>Variable dependiente:</b>                                                                                              | Proceso técnico mediante el cual se determinan las                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Capacidad portante                | Se mide a través del cálculo de la capacidad                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad portante última <math>q_u</math> (<math>\text{kg/cm}^2</math>)</li> </ul>                                                                                                                                                                      | Razón              |

|                                       |                                                                                                                                                                                                                                    |                       |                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                 |
|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Diseño de cimentaciones superficiales | dimensiones y condiciones de la estructura de cimentación a partir de los parámetros geotécnicos del subsuelo, garantizando la transmisión segura de las cargas y la estabilidad de la edificación (Terzaghi, 1943; Bowles, 1997). |                       | portante admisible aplicando la ecuación general de Meyerhof, el dimensionamiento geométrico de la zapata (Df, B) y la evaluación de las condiciones del terreno conforme a la Norma Técnica E.050 (MVCS, 2018) y la Norma Técnica E.030 (MVCS, 2018). | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad portante admisible <math>q_{adm}</math> (kg/cm<sup>2</sup>)</li> <li>• Factor de seguridad (FS)</li> <li>• Cohesión <math>c</math> (kg/cm<sup>2</sup>)</li> <li>• Ángulo de fricción interna <math>\phi</math> (°)</li> </ul> |                 |
|                                       |                                                                                                                                                                                                                                    | Parámetros de diseño  |                                                                                                                                                                                                                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Profundidad de cimentación Df (m)</li> <li>• Ancho de zapata B (m)</li> <li>• Tipo de cimentación (zapata aislada, corrida, losa)</li> <li>• Características del subsuelo</li> </ul>                                                    | Razón / Nominal |
|                                       |                                                                                                                                                                                                                                    | Condición del terreno |                                                                                                                                                                                                                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de nivel freático (m)</li> <li>• Estabilidad del suelo</li> <li>• Clasificación del perfil sísmico (E.030)</li> <li>• Factor de zona sísmica Z</li> </ul>                                                                     | Nominal / Razón |

*Nota.* La operacionalización de variables fue elaborada con base en los parámetros geotécnicos obtenidos mediante el ensayo DPL (DIN 4094), los ensayos de laboratorio (NTP 339.127, 339.128, 339.129; ASTM D2487, D2488) y los criterios establecidos en la Norma Técnica E.050 – Suelos y Cimentaciones y la Norma Técnica E.030 – Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones (MVCS, 2018), conforme a las normas APA 7ma edición y el Instructivo General de Investigación de la UTEA (Resl. VRI N° 011-2024-UTEA-VRI). Elaboración propia.

**Anexos 3**

*Estudio de mecánica de suelos con fines de cimentación*